



**MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE
ET DE LA JEUNESSE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Rapport du jury

Concours : Agrégation externe

Section : Sciences de la Vie, sciences de la Terre et de l'Univers

Session 2023

Rapport de jury présenté par : Cécile ROBIN, professeure des universités
Présidente du jury

Rapport de jury

Agrégation de SV-STU

Session 2023

Cécile ROBIN, professeure des universités
Présidente du Jury

1. Présentation du concours

- 1.1. Organisation et modalités du concours
 - 1.1.1 Épreuves écrites d'admissibilité
 - 1.1.2 Épreuves d'admission
- 1.2. Le déroulement du concours 2023
 - 1.2.1 Le calendrier
 - 1.2.2 Le déroulement pratique des épreuves d'admission du concours

2. Quelques éléments statistiques

- 2.1. De la candidature à l'admission
 - 2.1.1. Les candidats par secteurs
 - 2.1.2 Les candidats par sexe
 - 2.1.3 Âges des candidats
 - 2.1.4. Les candidats par statuts et/ou professions aux différentes étapes du concours
 - 2.1.5. Répartition géographique des candidats
 - 2.1.6. L'évolution du concours sur le long terme
- 2.2. Quelques données statistiques concernant l'écrit
 - 2.2.1. Épreuve écrite de secteur A
 - 2.2.2. Épreuve écrite de secteur B
 - 2.2.3. Épreuve écrite de secteur C
- 2.3. Quelques données statistiques concernant les épreuves pratiques
- 2.4. Quelques données statistiques concernant les épreuves d'admissibilité et d'admission pour les candidats admissibles

3. Programme du concours

4. Épreuves écrites

- 4.1. Épreuve écrite du secteur A
 - 4.1.1. Le sujet proposé
 - 4.1.2. Commentaires généraux sur l'épreuve
 - 4.1.3. Commentaires détaillés sur l'épreuve
- 4.2. Épreuve écrite du secteur B
 - 4.2.1. Le sujet proposé
 - 4.2.2. Commentaires généraux sur la compréhension et le traitement du sujet
 - 4.2.3. Commentaires détaillés sur l'épreuve
- 4.3. Épreuve écrite du secteur C
 - 4.3.1. Le sujet proposé
 - 4.3.2. Commentaires généraux sur l'épreuve

4.3.3 Commentaires détaillés sur l'épreuve

5. Les épreuves pratiques

- 5.1 Epreuve de travaux pratiques de spécialité du secteur A : Sujet et commentaires
- 5.2 Epreuve de travaux pratiques de spécialité du secteur B : Sujet et commentaires
- 5.3 Epreuve de travaux pratiques de spécialité du secteur C : Sujet et commentaires
- 5.4 Epreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur A : Sujet et commentaires
- 5.5 Epreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur B : Sujet et commentaires
- 5.6 Epreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur C : Sujet et commentaires

6. Les Épreuves Orales

- 6.1 Déroulement des épreuves
 - 6.1.1 Conditions de préparation
 - 6.1.2 Présentation et entretiens de la leçon d'option
 - 6.1.3 Présentation et entretiens de la leçon de contre-option
- 6.2 Constats et conseils pour les épreuves orales
 - 6.2.1 La leçon d'option : une épreuve de haut niveau scientifique visant à répondre à une problématique
 - 6.2.2 Le recul nécessaire pour traiter des thèmes plus ou moins classiques
 - 6.2.3 L'exploitation des documents imposés dans la leçon d'option
 - 6.2.4 Le choix et l'exploitation du matériel au service de la leçon (option et contre-option)
 - 6.2.5 Une démarche scientifique incontournable
 - 6.2.6 Un véritable travail de synthèse et de choix
 - 6.2.7 Une communication d'une qualité suffisante
 - 6.2.8 Une indispensable réactivité
 - 6.2.9 Les critères d'évaluation des leçons
- 6.3 Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur A
 - 6.3.1 Maitriser les connaissances
 - 6.3.2 Intégrer de nouvelles connaissances pendant la préparation de la leçon
 - 6.3.3 Organiser l'exposé
 - 6.3.4 Travailler à toutes les échelles et construire le sens biologique
 - 6.3.5 S'appuyer sur du réel pour illustrer la leçon
 - 6.3.6 Adopter une démarche scientifique dans l'exploitation des documents
 - 6.3.7 Adopter une démarche didactique
 - 6.3.8 Maitriser l'oral
 - 6.3.9 Rester mobilisé pour les entretiens
- 6.4 Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur B
 - 6.4.1 Des connaissances naturalistes à privilégier sans négliger les connaissances de base
 - 6.4.2 Exploitation du matériel et intégration dans l'exposé
- 6.5 Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur C
 - 6.5.1 Connaissances scientifiques
 - 6.5.2 Organisation de l'exposé / Démarche
 - 6.5.3 Exploitation des documents fournis et des documents complémentaires
 - 6.5.4 Communication
- 6.6 Liste des leçons d'option de la session 2023
- 6.7 Liste des leçons de contre-option de la session 2023

1. Présentation du concours

1.1. Organisation et modalités du concours

Le concours comporte des épreuves écrites d'admissibilité constituées de trois compositions et des épreuves d'admission constituées de deux épreuves de travaux pratiques et de deux épreuves orales.

Lors de l'inscription, le candidat formule **un choix irréversible** se rapportant au champ disciplinaire principal sur lequel porteront les épreuves. Trois secteurs (A, B ou C) sont ouverts au choix des candidats et détaillés ci-dessous.

Les modalités d'organisation du concours découlent de **l'arrêté du 28 décembre 2009 fixant les modalités des concours de l'agrégation.**

Le champ disciplinaire de l'agrégation externe de Sciences de la Vie - Sciences de la Terre et de l'Univers couvre les trois secteurs suivants :

- secteur A : biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire ; leur intégration au niveau des organismes ;
- secteur B : biologie et physiologie des organismes et biologie des populations, en rapport avec le milieu de vie ;
- secteur C : sciences de la Terre et de l'Univers, interactions entre la biosphère et la planète Terre.

Le programme du concours concerne l'ensemble des épreuves d'admissibilité et d'admission. Il est réparti en connaissances générales et connaissances de spécialité. Le niveau des connaissances générales correspond à la Licence universitaire. Le programme de spécialité, quand il est précisé pour un secteur, porte alors sur des connaissances de niveau Master.

Les Sciences de la Vie sont présentées de façon groupée, la répartition entre secteurs A et B est indiquée à la fin de la présentation générale des Sciences de la Vie. Les multiples facettes des SV-STU ne peuvent pas être toutes connues d'un candidat. Le programme limite donc le champ d'interrogation possible en occultant certaines questions et/ou en réduisant leur volume. Dans de nombreux cas, des exemples apparaissent qui semblent les plus appropriés, ce qui n'exclut pas d'en choisir d'autres en connaissant ceux qui sont explicitement indiqués.

1.1.1 Épreuves écrites d'admissibilité.

Les trois épreuves écrites d'admissibilité portent chacune sur un secteur différent.

Elles peuvent comporter ou non une analyse de documents :

- 1° Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A (durée : cinq heures ; coefficient 2).
- 2° Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B (durée : cinq heures ; coefficient 2).
- 3° Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C (durée : cinq heures ; coefficient 2).

1.1.2 Épreuves d'admission.

1° Épreuve de travaux pratiques portant, sur le programme du secteur choisi par le candidat lors de son inscription : A, B ou C (durée : six heures ; coefficient 3).

2° Épreuve de travaux pratiques portant sur les programmes de connaissances générales correspondant aux secteurs n'ayant pas fait l'objet de la première épreuve d'admission (durée : quatre heures ; coefficient 2).

3° Épreuve orale portant sur le programme du secteur choisi par le candidat lors de l'inscription pour la première épreuve d'admission. L'ordre de passage des candidats et les intitulés de leçons sont associés de façon aléatoire par la présidence du concours.

- durée de la préparation : quatre heures
- durée de l'épreuve : une heure et vingt minutes maximum [présentation orale et pratique : cinquante minutes maximum ; entretien avec le jury : trente minutes maximum]
- coefficient 5.

4° Épreuve orale portant sur les programmes des connaissances générales des deux autres secteurs hors le secteur choisi par le candidat. L'ordre de passage des candidats et les intitulés de leçons sont associés de façon aléatoire par la présidence du concours.

Le sujet porte :

sur le programme des connaissances générales et sur des questions scientifiques d'actualité se rapportant au secteur B et C pour les candidats ayant choisi, lors de l'inscription, le secteur A pour la première épreuve d'admission ;

sur les programmes des connaissances générales et sur des questions scientifiques d'actualité se rapportant aux secteurs A et C pour les candidats ayant choisi, lors de l'inscription, le secteur B pour la première épreuve d'admission ;

sur les programmes des connaissances générales et sur des questions scientifiques d'actualité se rapportant aux secteurs A et B pour les candidats ayant choisi, lors de l'inscription, le secteur C pour la première épreuve d'admission.

- Durée de la préparation : quatre heures.
- Durée de l'épreuve : une heure et dix minutes maximum, [présentation orale et pratique : quarante minutes maximum ; entretien avec le jury : trente minutes]
- coefficient 4.

Ces modalités sont résumées dans le tableau 1

	Durée	Coefficients	Nombre de points
1. Épreuves écrites d'admissibilité			
1.1. Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A	5h	2	40
1.2. Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B	5h	2	40
1.3. Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C	5h	2	40
Total des épreuves écrites			120
2. Épreuves d'admission			
2.1 Épreuves de travaux pratiques			
2.1.1 Épreuve portant sur le programme du secteur choisi (secteur A, B ou C suivant le choix du candidat)	6h	3	60
2.1.2 Épreuve portant sur le programme général des deux autres secteurs	4h	2	40
Total des épreuves pratiques			100
2.2 Épreuve orales			
2.2.1 Épreuve portant sur le programme du secteur choisi (secteur A, B ou C suivant le choix du candidat)	4h + 50 min.+ 30 min.	5	100
2.2.2 Épreuve portant sur le programme général des deux autres secteurs	4h + 40 min.+ 30 min	4	80
Total des épreuves orales			180
Total général		20	400

Tableau 1. Les modalités du concours

1.2. Le déroulement du concours 2023

1.2.1 Le calendrier

Admissibilité : épreuves écrites

- lundi 6 mars 2023 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A,
- mardi 7 mars 2023 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B,
- mercredi 8 mars 2023 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C.

Les résultats de l'admissibilité ont été publiés le 27 avril 2023 à 10 h 50.

Admission : épreuves pratiques

- vendredi 2 juin 2023 : accueil des candidats des secteurs A, B et C,
- samedi 3 juin 2023 : travaux pratiques portant sur le programme de spécialité (secteur A, ou B, ou C),
- dimanche 4 juin 2023 : travaux pratiques portant sur le programme général des deux autres secteurs.

Admission : épreuves orales

- du dimanche 18 juin 2023 au jeudi 29 juin 2023.

Les résultats de l'admission ont été publiés le vendredi 30 juin 2023 à 17 h 10.

1.2.2 Le déroulement pratique des épreuves d'admission du concours

Les questions administratives à toutes les étapes du concours ont été réglées avec l'aide très efficace des personnes des services de la DGRH. Les problèmes financiers et matériels du concours ont été résolus grâce au soutien du Service Inter-Académique des Examens et Concours.

Les épreuves pratiques se sont déroulées au Centre de Formation Pratique en Biologie (CFPB) de la Faculté des Sciences et Ingénierie de Sorbonne Université pour les candidats des secteurs A et B, et au laboratoire de SVT du Lycée Saint-Louis (44 boulevard Saint-Michel, 75006 Paris) pour ceux du secteur C.

D'excellentes conditions matérielles ont été offertes dans les locaux du bâtiment Atrium grâce à l'obligeance du responsable du CFPB.

Il en fut de même au Lycée Saint-Louis grâce au soutien de Madame la Proviseure, de Madame la Proviseure adjointe, de Madame l'Intendante et de toute l'équipe d'intendance et d'administration. Il est important de souligner que les candidats ont pu disposer pendant les épreuves pratiques du concours de calculatrices électroniques fournies par le SIEC.

Les épreuves orales se sont déroulées au Lycée Saint-Louis (44 boulevard Saint Michel, 75006 Paris) grâce à l'accueil de toutes les personnes citées plus haut. Le bon fonctionnement des épreuves orales a été permis grâce à l'aide de personnels techniques de loge et d'entretien. Le Lycée Henri IV a prêté une partie du matériel utilisé par les candidats pendant leurs épreuves orales. Des équipements EXAO ont été fournis par les établissements Jeulin et Sordalab. Pour le bon fonctionnement des épreuves d'admission, le bureau du concours a pu s'appuyer sur une équipe technique de grande qualité, qui comportait des personnels de Sorbonne Université, équipe à laquelle se sont joints un professeur de chaire supérieure au Lycée St Louis, deux professeurs agrégés des Lycées Pierre Gilles de Gennes de Paris et Gustave Eiffel de Gagny et de 16 personnels de laboratoires travaillant dans le secteur des Sciences de la Vie et de la Terre dans différents lycées de la France métropolitaine.

Ce groupe a fait preuve comme à chaque session de grandes compétences, d'efficacité, d'une grande conscience professionnelle et d'un dynamisme de tous les instants, permettant ainsi un déroulement des épreuves des travaux pratiques du concours dans des conditions optimales malgré des contraintes matérielles qui imposaient un travail sur deux sites (Lycée Saint-Louis, Sorbonne Université) pour les épreuves de travaux pratiques. De plus, la même équipe a assuré dans un délai très court la préparation des salles, des collections, de la bibliothèque et du matériel informatique nécessaire à l'oral sur le site du Lycée Saint-Louis.

L'investissement personnel et le dévouement de l'ensemble de cette équipe se sont particulièrement manifestés vis-à-vis des candidats par un accueil et un suivi chaleureux et bienveillant pendant la préparation des leçons tout en gardant la réserve indispensable à l'équité du concours. Cette approche, associée à une coopération permanente avec les membres du jury des différentes commissions, a permis le bon déroulement de la session dans un esprit permettant aux candidats de faire valoir leurs qualités dans les meilleures conditions.

2. Quelques éléments statistiques

2.1 De la candidature à l'admission

2.1.1 Les candidats par secteurs

Candidats inscrits 873

Candidats présents aux 3 écrits 462 soit 48,42 % des inscrits

Candidats présents pour chaque épreuve écrite

Écrit secteur A	460	52.7 % des inscrits
Écrit secteur B	449	51.4 % des inscrits
Écrit secteur C	446	51.1 % des inscrits

Candidats admissibles 151 soit 17,3 % des inscrits

32,7 % des présents aux 3 écrits

Secteur A	46	30,5 % des admissibles
Secteur B	68	45 %
Secteur C	37	24,5 %

Candidats admis 70 soit 46,4 % des admissibles

15,2 % des présents aux 3 écrits 8 % des inscrits

Secteur A	25	35,7 % des admis
Secteur B	30	42,9 %
Secteur C	15	21,4 %

La totalité des postes mis au concours (70) a été pourvue.

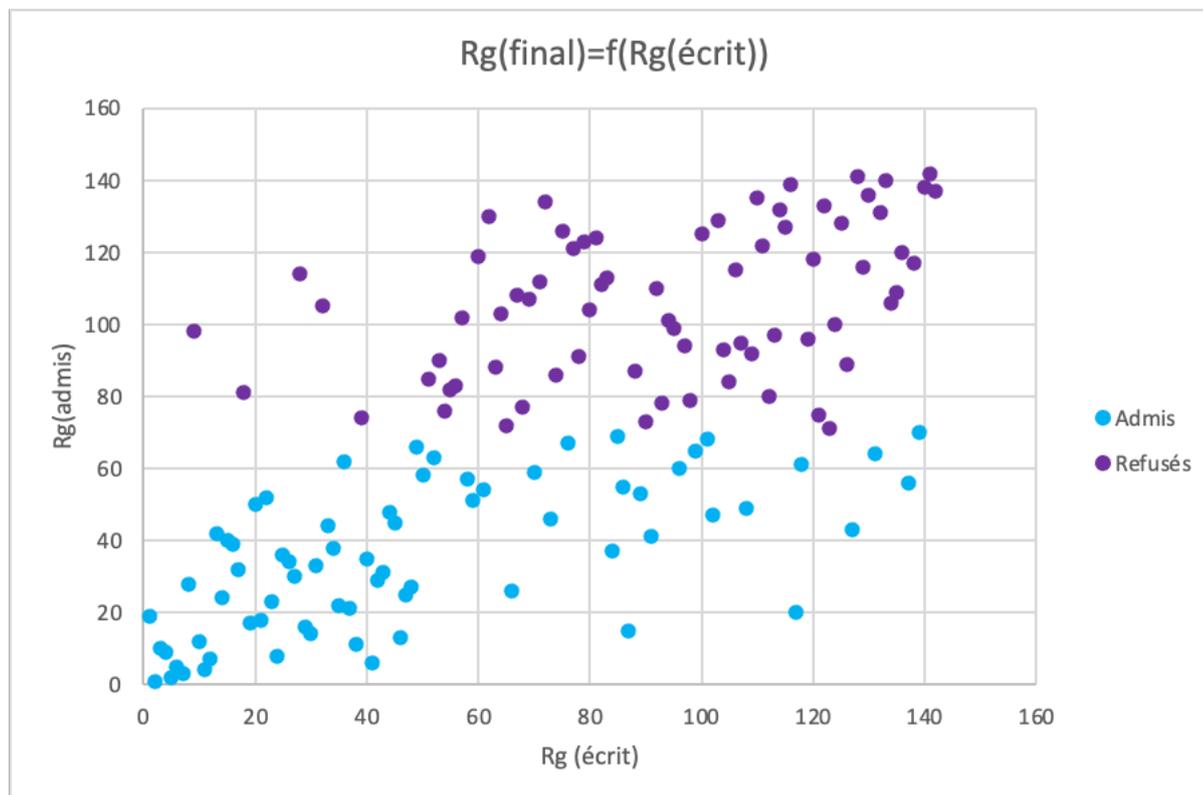
Tout au long du concours l'égalité de traitement des candidats selon les secteurs a été assurée par des harmonisations adaptées aux différentes épreuves, reposant sur les modalités d'évaluation ainsi que de la qualité des prestations et non pas sur la recherche d'une répartition proportionnelle au nombre de candidats en lice.

Pour cette session, la barre d'admissibilité est de 7,26/20. La moyenne des candidats qui ont présenté les trois épreuves écrites est de 6,35/20 et celle des admissibles est de 10,51/20. Les meilleurs candidats obtiennent de très bons résultats aux trois épreuves. Le jury souligne la grande homogénéité et les très bons résultats des candidats classés dans les 50 premiers après les écrits.

Pour l'admission, à l'issue de l'ensemble des épreuves, la moyenne de l'ensemble des candidats a été de 9,07 et celle des candidats admis de 11,16. La barre d'admission a été de 8,29/20.

Tout au long des épreuves du concours, les compétences scientifiques et pédagogiques des candidats sont les principaux critères d'évaluation. Lors des épreuves d'admissibilité, il est attendu des candidats qu'ils soient capables de présenter des connaissances structurées, qui viennent soutenir des démonstrations et des raisonnements qui permettent de répondre à une question scientifique énoncée clairement en introduction. Si les épreuves écrites servent à écarter des candidats dont les connaissances et compétences scientifiques sont jugées trop faibles, les épreuves pratiques et orales permettent au jury de sélectionner ceux qui manifestent de la façon la plus évidente des qualités de futurs enseignants. Dans les deux types d'épreuves, il est attendu du candidat qu'il démontre rigueur scientifique et aptitudes pédagogiques.

Chaque année, il est rappelé que toutes les épreuves ont leur importance, notamment lors de l'admission. Il est d'ailleurs très intéressant de noter que les épreuves pratiques et orales peuvent avoir un effet reclassant spectaculaire. Cela s'exprime dans le graphe suivant sur l'évolution du rang entre les écrits et l'admission. Quatre candidats placés au-delà de la 120^e place à l'écrit ont été admis et un candidat termine le concours à la 20^e place alors qu'il était au-delà de la 110^e place à l'issue des écrits.



Il est donc essentiel de souligner que le concours est un processus long et qu'il ne faut jamais baisser les bras ou se relâcher avant la fin.

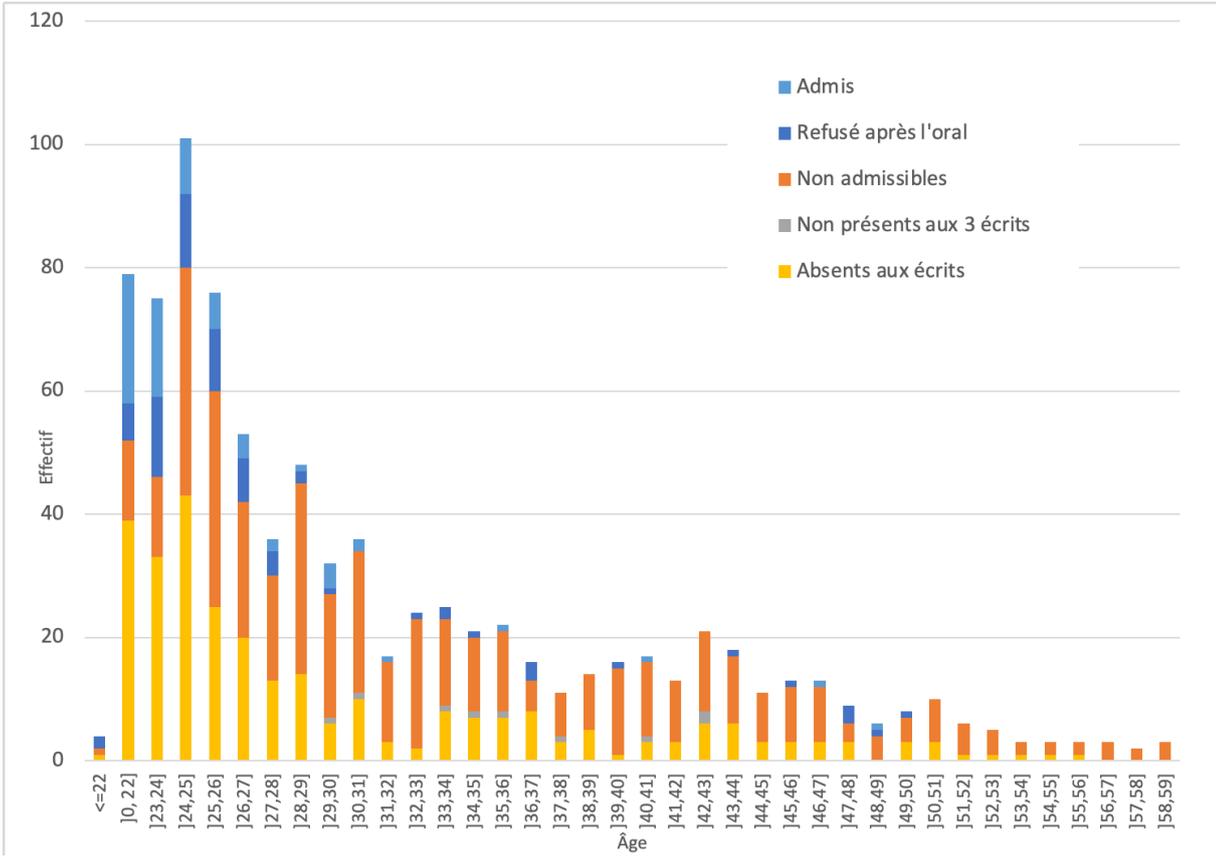
2.1.2 Les candidats par sexe

Répartition	Inscrits	Présents	Admissibles	Présents aux épreuves orales	Admis
♀	554 soit 63,5 %	299 soit 64,7,2 %	99 soit 65,6 %	93 soit 65,5 %	44 soit 62,9 %
♂	319 soit 36,5 %	163 soit 35,3 %	52 soit 34,4 %	49 soit 34,5 %	26 soit 37,1 %

La répartition des candidats par sexe est nettement en faveur des femmes pour les admissibles, conformément au ratio des inscrits. Cette répartition se maintient globalement tout au long du concours.

2.1.3 Âges des candidats

Bien que les inscrits, et même les candidats se répartissent sur une large gamme d'âge, force est de constater que l'agrégation externe reste un concours réussi par des étudiants assez jeunes comme le montrent les histogrammes ci-dessous qui reprennent la distribution des âges en fonction des inscrits, des candidats éliminés (non présents aux trois épreuves écrites), des candidats admissibles et des candidats admis. En effet, l'immense majorité des lauréats sont soit en M2 (année de naissance théorique : 1998) soit en année de préparation à l'agrégation post-master (année de naissance théorique : 1996-7). Les lauréats plus âgés sont logiquement moins nombreux, mais il est possible, comme cette année encore, de voir des professeurs certifiés venir passer et réussir le concours de l'agrégation externe.



2.1.4 Les candidats par statuts et/ou professions aux différentes étapes du concours :

	Inscrits	%	Présents aux 3 écrits	%	non admissibles	%	Admissibles présents à l'oral	%	Admis	%
Accompagnant des élèves en situation de handicap (AESH)	1	0,11%	1	0,23%	1	0,35%	0	0,00%		0,00%
Agent non titulaire fonction publique	2	0,23%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
Agriculteurs	1	0,11%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
Artisans / commerçants	2	0,23%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
Assistant d'éducation	14	1,60%	10	2,32%	10	3,46%	0	0,00%		0,00%
Cadres secteur privé convention collective	8	0,92%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
Certifié	360	41,24%	145	33,64%	112	38,75%	33	23,24%	10	14,29%
Contractuel 2nd degré	51	5,84%	20	4,64%	20	6,92%	0	0,00%		0,00%
Contractuel enseignant supérieur	5	0,57%	2	0,46%	2	0,69%	0	0,00%		0,00%
Contractuel formation continue	2	0,23%	2	0,46%	2	0,69%	0	0,00%		0,00%
Contractuel MEN Administratif ou technique	1	0,11%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
Élève d'une ENS	24	2,75%	23	5,34%	1	0,35%	22	15,49%	18	25,71%
Ens.stagiaire 2e deg. col/lyc	40	4,58%	21	4,87%	12	4,15%	9	6,34%	4	5,71%
Enseignant du supérieur	1	0,11%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
Enseignant non titulaire établissement scolaire étranger	1	0,11%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
Etud.hors inspe (prépa cned)	2	0,23%	2	0,46%	1	0,35%	1	0,70%	1	1,43%
Etud.hors inspe (prépa mo.univ)	81	9,28%	79	18,33%	26	9,00%	53	37,32%	32	45,71%
Etud.hors inspe (prépa privée)	4	0,46%	1	0,23%	1	0,35%	0	0,00%		0,00%
Etud.hors inspe (sans prépa)	10	1,15%	4	0,93%	3	1,04%	1	0,70%		0,00%
Étudiant en inspe en 1ere année	3	0,34%	2	0,46%	2	0,69%	0	0,00%		0,00%
Étudiant en inspe en 2eme année	90	10,31%	65	15,08%	53	18,34%	12	8,45%	2	2,86%
Fonctionnaire stagiaire de la fonction publique	1	0,11%	1	0,23%	1	0,35%	0	0,00%		0,00%
Formateurs dans secteur privé	5	0,57%	2	0,46%	2	0,69%	0	0,00%		0,00%
Maître auxiliaire	15	1,72%	7	1,62%	6	2,08%	1	0,70%	1	1,43%
Maître contr.et agréé rem tit	14	1,60%	5	1,16%	4	1,38%	1	0,70%		0,00%
Maître délégué	4	0,46%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
PEPS	1	0,11%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
Personnel de la fonction publique	3	0,34%	1	0,23%	1	0,35%	0	0,00%		0,00%
Personnel de la fonction territoriale	2	0,23%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
Personnel enseignant non titulaire fonction publique	4	0,46%	2	0,46%	2	0,69%	0	0,00%		0,00%
Personnel enseignant titulaire fonction publique	12	1,37%	5	1,16%	3	1,04%	2	1,41%		0,00%
PLP	6	0,69%	1	0,23%	1	0,35%	0	0,00%		0,00%
Professeur associé 2nd degré	30	3,44%	13	3,02%	9	3,11%	4	2,82%	1	1,43%
Professeur des écoles	9	1,03%	2	0,46%	2	0,69%	0	0,00%		0,00%
Professions libérales	6	0,69%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
Salariés secteur industriel	1	0,11%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
Salariés secteur tertiaire	6	0,69%	2	0,46%	2	0,69%	0	0,00%		0,00%
Sans emploi	46	5,27%	12	2,78%	9	3,11%	3	2,11%	1	1,43%
Vacataire du 2nd degré	4	0,46%	1	0,23%	1	0,35%	0	0,00%		0,00%
Vacataire enseignant du sup.	1	0,11%	0	0,00%		0,00%	0	0,00%		0,00%
Totaux	873	1	431	1	289	1	142	1	70	1

Lecture du tableau : la 3^e colonne (en orange) donne le % de répartition des différentes professions des inscrits ; la 5^e colonne (en bleu) donne le % de candidats présents au sein de la profession ; la 7^e colonne (en jaune) donne le % des présents à l'écrit et non admissibles de la profession, la 9^e colonne (en magenta) donne le % de présents aux épreuves d'admissibilité enfin la 11^e colonne donne le % des admis par profession.

Si les candidats inscrits ont des statuts variés, cette variété est bien moindre parmi les admis.

En effet, les admis se répartissent en 3 grandes catégories : 41 sont étudiants, soit 63 % (masters disciplinaires hors ESPE ou année de préparation à l'agrégation) ; 10 sont élèves à l'ENS, soit 15 %, et 8 sont jeunes certifiés ou certifiés stagiaires, soit 12,3 %.

Il est intéressant de constater que des certifiés sont admissibles. Ce constat est en totale adéquation avec l'analyse sur les années de naissances des lauréats. C'est un vrai plaisir de voir des professeurs certifiés venir passer l'agrégation externe ; cela témoigne d'un investissement personnel très fort et nous tenons à les en féliciter.

2.1.5 Répartition géographique des candidats :

	Inscrits	%	Présent	%	Admissibles	% d'admissibles parmi les présents de l'académie	Admis	% d'admis parmi les admissibles de l'académie
ACADÉMIE D'AIX MARSEILLE	42	4,81%	17	3,93 %	7	4,9 %	2	2,86%
ACADÉMIE D'AMIENS	23	2,63%	13	3,00 %	3	2,1 %		0,00%
ACADÉMIE D'ORLÉANS- TOURS	29	3,32%	17	3,93 %	4	2,8 %	2	2,86%
ACADÉMIE DE BESANCON	12	1,37%	4	0,92 %	1	0,7 %		0,00%
ACADÉMIE DE BORDEAUX	26	2,98%	10	2,31 %	5	3,5 %	1	1,43%
ACADÉMIE DE CLERMONT- FERRAND	9	1,03%	6	1,39 %	0	0		0,00%
ACADÉMIE DE CORSE	3	0,34%	3	0,69 %	0	0		0,00%
ACADÉMIE DE DIJON	15	1,72%	7	1,62 %	0	0		0,00%
ACADÉMIE DE GRENOBLE	31	3,55%	18	4,16 %	3	2,1 %	1	1,43%
ACADÉMIE DE LA GUADELOUPE	17	1,95%	10	2,31 %	0	0		0,00%
ACADÉMIE DE LA GUYANE	3	0,34%		0,00 %	0	0		0,00%
ACADÉMIE DE LA MARTINIQUE	7	0,80%	4	0,92 %	0	0		0,00%
ACADÉMIE DE LA NOUVELLE CALÉDONIE	1	0,11%	1	0,23 %	0	0		0,00%
ACADÉMIE DE LA POLYNÉSIE FRANCAISE	1	0,11%	1	0,23 %	0	0		0,00%
ACADÉMIE DE LA RÉUNION	13	1,49%	10	2,31 %	0	0		0,00%
ACADÉMIE DE LILLE	46	5,27%	29	6,70 %	1	0,7 %		0,00%
ACADÉMIE DE LIMOGES	5	0,57%	3	0,69 %	0	0		0,00%
ACADÉMIE DE LYON	62	7,10%	13	3,00 %	31	2,2 %	22	31,43%
ACADÉMIE DE MAYOTTE	2	0,23%	1	0,23 %	0	0		0,00%
ACADÉMIE DE MONTPELLIER	40	4,58%	19	4,39 %	14	9,9 %	7	10,00%
ACADÉMIE DE NANCY-METZ	18	2,06%	10	2,31 %	1	0,7 %	1	1,43%
ACADÉMIE DE NANTES	34	3,89%	27	6,24 %	0	0		0,00%
ACADÉMIE DE NICE	19	2,18%	11	2,54 %	3	2,1 %	1	1,43%
ACADÉMIE DE NORMANDIE	32	3,67%	18	4,16 %	0	0		0,00%

ACADÉMIE DE PARIS	2	0,23%	2	0,46 %	0	0	0,00%
ACADÉMIE DE POITIERS	32	3,67%	12	2,77 %	3	2,1 %	1 1,43%
ACADÉMIE DE REIMS	16	1,83%	7	1,62 %	2	1,4 %	1 1,43%
ACADÉMIE DE RENNES	39	4,47%	14	3,23 %	8	5,6 %	4 5,71%
ACADÉMIE DE STRASBOURG	43	4,93%	10	2,31 %	15	10,6 %	12 17,14%
ACADÉMIE DE TOULOUSE	32	3,67%	15	3,46 %	1	0,7 %	0,00%
SIEC - ACADÉMIES DE CRETEIL PARIS VERSAILLES	219	25,09 %	121	27,9 4%	40	28,2 %	15 21,43%
	873		433		142		70

Lecture du tableau : la 3e colonne (en bleu) donne le % de répartition des inscrits dans les académies ; la 5e colonne (en jaune) donne le % de candidats dans chaque académie par rapport au nombre d'inscrits dans l'académie ; la 7e colonne (en magenta) donne le % d'admis par rapport au nombre de candidats présents aux écrits dans l'académie ; enfin la dernière colonne (en vert) donne le % d'admis par académie par rapport au nombre d'admissibles de l'académie.

Les candidatures se répartissent dans de très nombreuses académies. Cependant, il est frappant de constater le contraste entre ce nombre et celui, beaucoup plus modeste, des académies qui présentent des candidats admis. Sur les 30 secteurs géographiques qui présentent des candidats, 17 ont des candidats admissibles et seuls 13 ont des admis.

À y regarder de près, on remarque que les différences académiques sont marquées dès l'admissibilité. Le mouvement de concentration des centres de préparation à l'agrégation de SV-STU, amorcé depuis plusieurs années, se retrouve cette année encore. La haute technicité du concours et des stratégies universitaires spécifiques de préparation aux concours de recrutement expliquent ce phénomène.

2.1.6 L'évolution du concours sur le long terme

année	nombre de postes mis au concours	nombre d'inscrits	nombre de présents	nombre d'admissibles	nombre d'admis	liste complémentaire
1993	154	1439	819	233	148	Non
1994	154	1581	950	241	154	Non
1995	154	1770	1034	242	142	Non
1996	154	2041	1252	245	154	Non
1997	130	2273	1473	245	130	Non
1998	150	2416	1413	240	150	Non
1999	155	2477	1491	257	155	Non
2000	160	2678	1749	278	160	Non
2001	165	2924	1828	276	165	Non
2002	177	2521	1537	346	177	6
2003	198	2440	1553	378	198	Non
2004	160	2793	1733	334	160	Non
2005	160	2921	1827	334	160	Non
2006	105	3075	1707	257	105	Non
2007	105	2704	1489	259	105	Non
2008	87	2300	1420	217	87	Non
2009	87	1858	1056	196	87	Non
2010	80	1766	928	180	80	Non
2011	65	1354	592	145	65 (+1)	Non

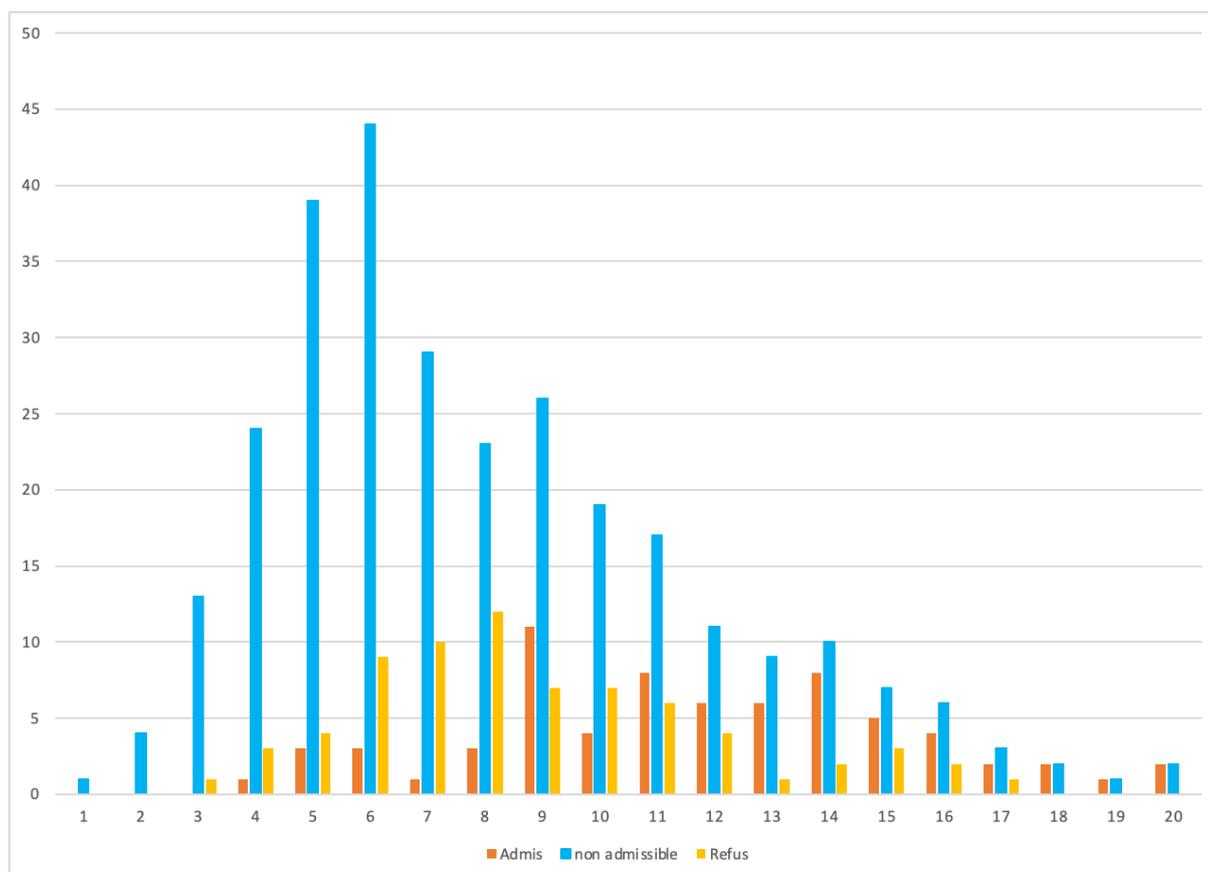
2012	70	1535	636	155	70	Non
2013	80	1729	705	180	80	Non
2014	85	1455	650	190	85	Non
2015	101	1308	650	234	101	Non
2016	103	1464	640	231	103	Non
2017	95	1494	662	225	95	Non
2018	76	1359	578	178	76	Non
2019	65	1217	548	149	65	Non
2020	65	1099	492	140	65	Non
2021	65	1046	484	145	65	Non
2022	65	919	445	146	65	4
2023	70	873	431	151	70	Non

2.2 Quelques données statistiques concernant l'écrit

Il va de soi que ces valeurs décrivent plus les modalités adoptées pour l'harmonisation (calage des médianes et des écarts types tout en exploitant toute la gamme des notes disponibles) qu'un résultat à commenter.

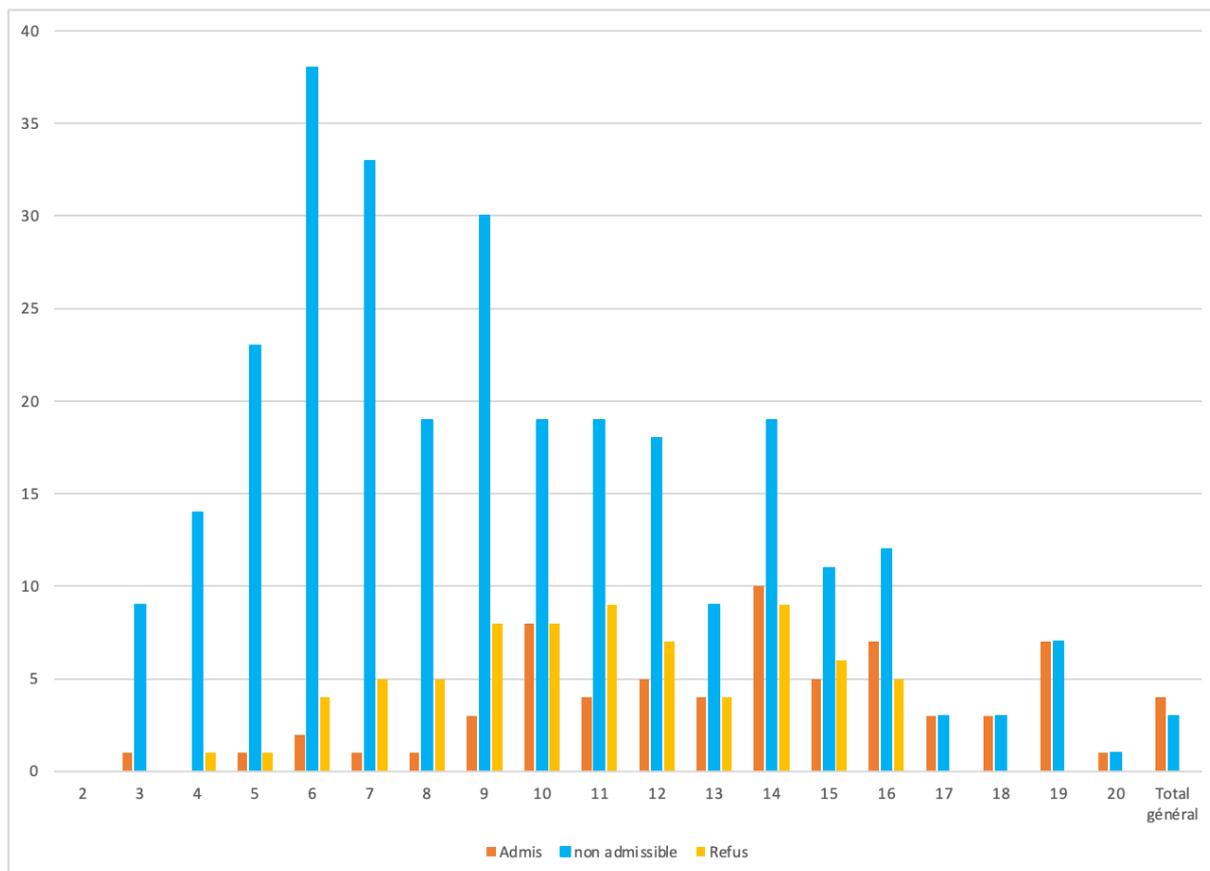
2.2.1 Épreuve écrite de secteur A

Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur A pour les candidats non admissibles, les candidats admissibles non admis et les candidats admis



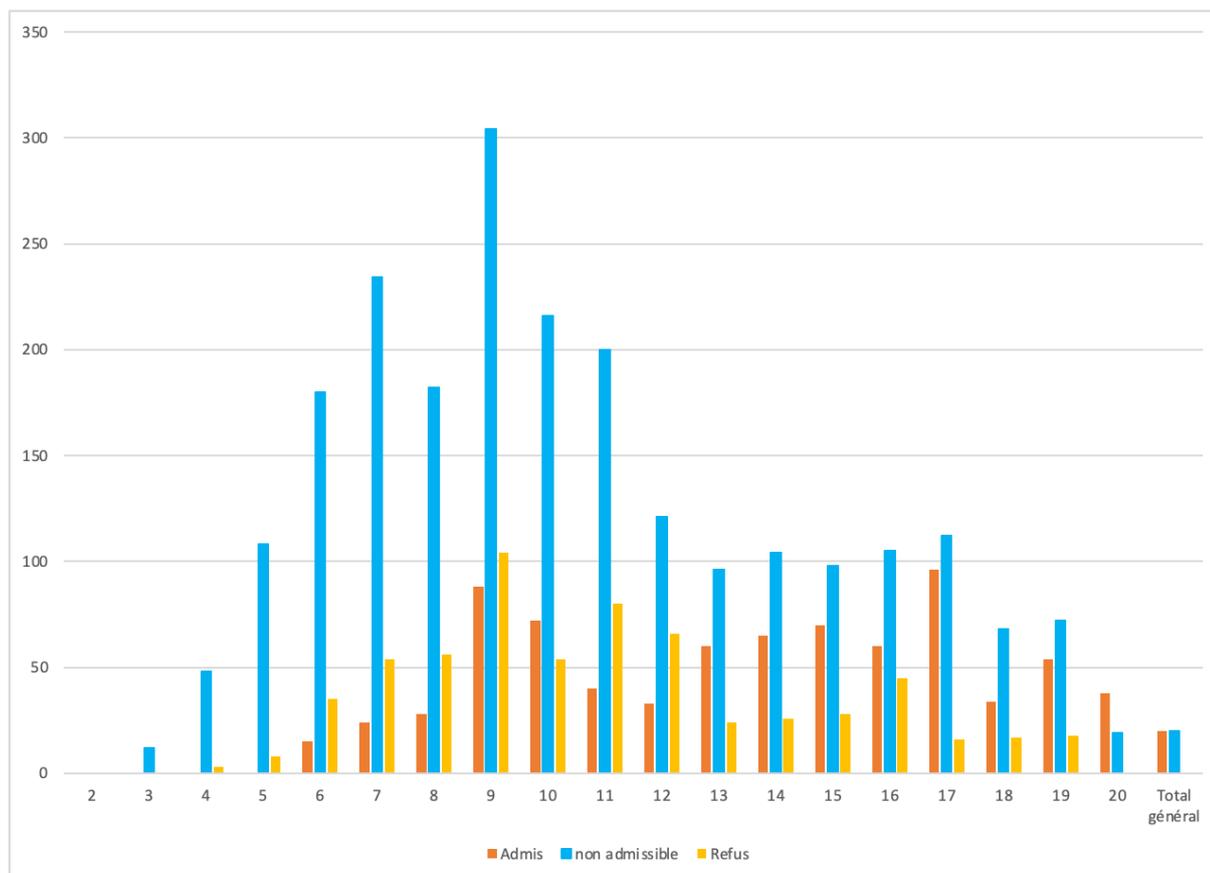
2.2.2 Épreuve écrite de secteur B

Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur B pour les candidats non admissibles, les candidats admissibles non admis et les candidats admis



2.2.3 Épreuve écrite de secteur C

Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur C pour les candidats non admissibles, les candidats admissibles non admis et les candidats admis



2.3 Quelques données statistiques concernant les épreuves pratiques

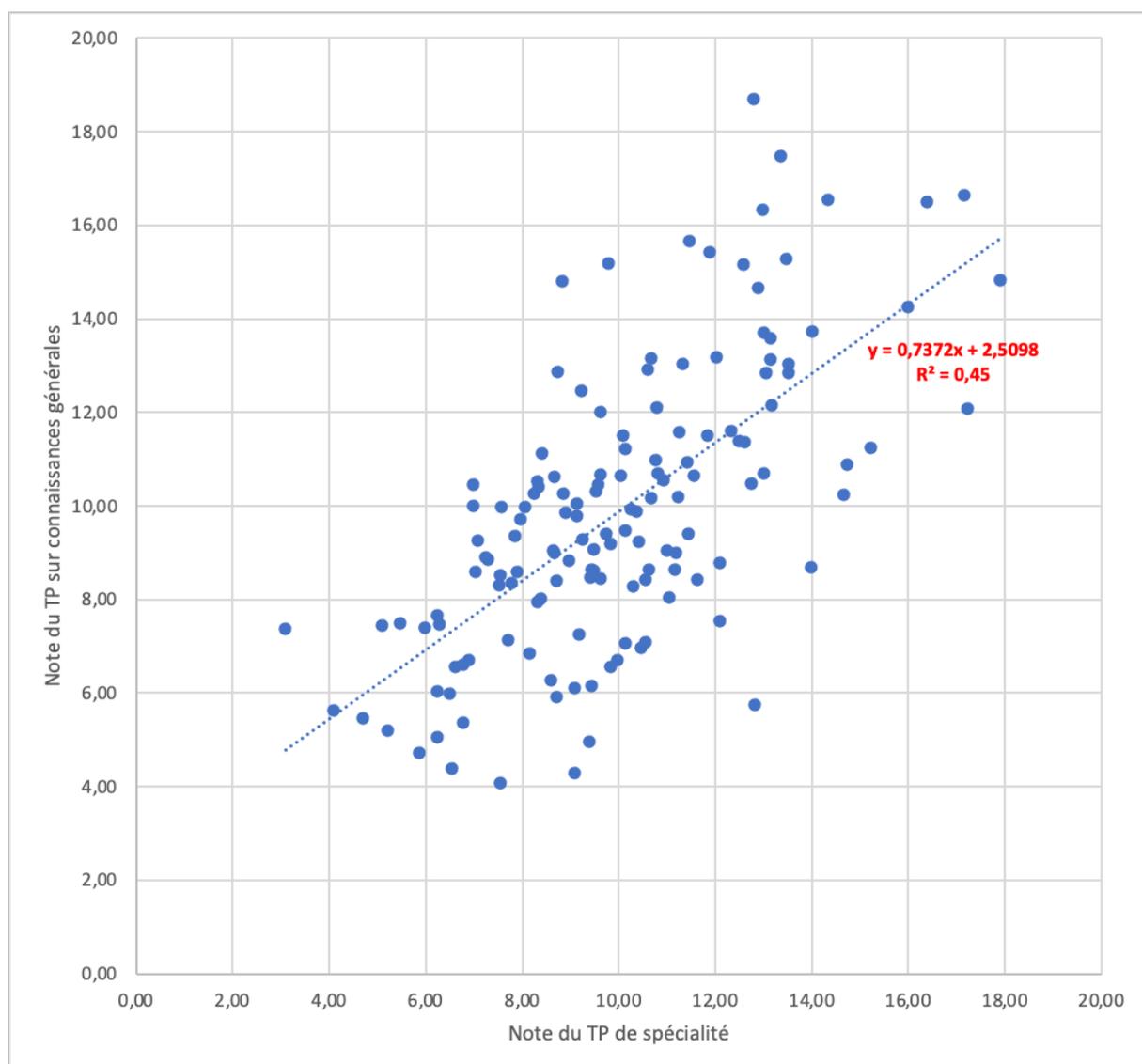
	TP sur le programme de spécialité secteur A	TP sur le programme de spécialité secteur B	TP sur le programme de spécialité Secteur C	TP sur le programme de connaissances générales partie A	TP sur le programme de connaissances générales Partie B	TP sur le programme de connaissances générales Partie C
Moyenne	10	10	10	9,93	9,95	9,96
Écart type	2,21	1,91	2,9	2,1	3,1	4
Max	14,7	17,9	17,2	16,6	17,8	20
Min	4,7	2,97	5,2	3,34	1,4	2,7

Dans ce tableau, par exemple le 9,93 est la moyenne des B + C sur la partie A du TP de contre-option.

Le graphique suivant montre le nuage de points obtenus en mettant en relation la note du TP de spécialité et la note du TP sur connaissances générales obtenues par chaque candidat :

$$f(\text{note du TP sur connaissances générales}) = \text{note du TP de spécialité.}$$

Le jury note la forte cohérence entre les deux notes obtenus ($R^2=0,45$). Cela traduit les compétences similaires qui sont à mettre en œuvre au cours de ces deux épreuves. Le jury rappelle que la somme des coefficients des épreuves de travaux pratiques atteint 5 et que celles-ci jouent un rôle important pour l'admission.



2.4 Quelques données statistiques concernant les épreuves d'admissibilité et d'admission pour les candidats admissibles

	Spécialité des candidats admissibles			Ensemble des candidats admissibles
	A	B	C	
Moyenne générale par secteur candidat écrit	9,93	10,10	9,84	9,98
Moyenne pour l'écrit « A »	9,89	9,08	9,03	9,29
Moyenne pour l'écrit « B »	9,80	11,04	9,40	10,25
Moyenne pour l'écrit « C »	10,09	10,19	11,08	10,41
Moyenne TP Option	10	10	10	10
Moyenne TP contre option	9,99	9,92	10,01	9,95
Moyenne Oral Option	6,59	6,96	6,03	6,60
Moyenne Oral contre option	7,99	7,25	6,33	7,20

Dans ce tableau, par exemple, en contre option, c'est la moyenne des candidats sur le total de l'épreuve. Ainsi les A ont 9,99 de moyenne quand on considère leur moyenne sur la partie B et sur la partie C.

3. Programme du concours

Ce programme est disponible sur le site du Ministère de l'Éducation Nationale à l'adresse suivante :

<https://www.devenirenseignant.gouv.fr/media/9898/download>

Le programme de l'agrégation externe des Sciences de la Vie-Sciences de la Terre et de l'Univers (SV-STU) précise le socle des connaissances sur lesquelles les épreuves du concours sont élaborées. Cependant, il convient de bien rappeler que les connaissances ne sont pas une fin en soi et que les éléments du programme sont avant tout à considérer comme des outils à la disposition des candidats pour faire la démonstration de leurs compétences de scientifiques et de futurs enseignants.

Le programme est présenté sous la forme de paragraphes qui ne doivent pas cloisonner des domaines qui gagnent à être mis en relation. De même si le jury est attentif lors des épreuves d'admission au secteur choisi par les candidats, il est attendu, quand cela est pertinent, que des liens entre des secteurs disjoints puissent être effectués (changement d'échelle, de temps et d'espace par exemple).

Le haut niveau scientifique de l'agrégation nécessitera donc du candidat qu'il fasse la démonstration de sa maîtrise des différents éléments d'une démarche scientifique tout au long des épreuves du concours. Si les épreuves d'admissibilité se concentrent avant tout sur la capacité du candidat à organiser ses idées autour d'une problématique justifiée et construite selon une stratégie rigoureuse et raisonnée, les épreuves d'admission vérifient ses compétences scientifiques et pédagogiques exprimées en temps réel dans des épreuves pratiques ou des exposés oraux.

Tout au long des épreuves du concours, le jury aura le souci de faire travailler les candidats sur des documents scientifiques originaux qui peuvent donc (depuis la session 2018) être rédigés en langue anglaise.

4. Épreuves écrites

Remarque : un travail de cohérence et de coordination des grands principes de notation a été mené dans le cadre des 3 sujets d'écrit.

4.1 Épreuve écrite du secteur A :

4.1.1 Le sujet proposé

Les microorganismes et la santé des organismes pluricellulaires.

NB : Les virus seront considérés comme des microorganismes.

4.1.2 Commentaires généraux sur l'épreuve

Rappel sur les attendus d'un écrit de secteur A

Le secteur A a pour thématique la **biologie cellulaire et moléculaire**. Il était donc attendu la présentation d'aspects moléculaires et mécanistiques précis. Pour prendre l'exemple de la symbiose entre fabacées et mycorhize, une simple mention des flux de molécules entre les deux organismes est insuffisante. De même, en immunologie, les termes génériques de « récepteur » ou de « molécule spécifique » ne sont pas suffisamment précis.

La majorité des copies était de bonne qualité en termes de syntaxe et d'orthographe.

Cependant, en tant que futur enseignant, le candidat se doit de **maitriser des concepts, du vocabulaire et par conséquent faire preuve de précision et pertinence dans les termes utilisés**. Il convient de proscrire toute formulation simpliste qui, par des intentions vraisemblablement pédagogiques, rendent le discours imprécis voire incorrect : des expressions telles que « la peau et les muqueuses servent de bouclier », « une chasse sans pitié et sans merci est menée contre ces microorganismes », ou encore « ce n'est pas la petite bête qui mange la grosse » n'ont pas leur place dans une copie d'agrégation.

Les Sciences de la Vie sont des **sciences expérimentales**. La démarche expérimentale complète est rarement présente. Elle doit comprendre une hypothèse, une présentation succincte du protocole et des résultats expérimentaux (penser aux axes des figures et aux légendes), et leur interprétation. Cette démarche n'est que trop rarement rencontrée dans les copies. En effet, les expériences sont souvent présentées comme des illustrations de concept, et non pas utilisées pour construire un modèle. Il n'est pas pertinent ou trop chronophage de présenter la démarche expérimentale pour toutes les notions du sujet, néanmoins une présentation complète pour au moins un concept clef a été fortement valorisée dans les copies.

Enfin, nous rappelons que la **présentation de schémas clairs (et suffisamment grands) ou de tableaux** sont souvent les bienvenus, et plus pédagogiques que de longs textes (lorsqu'ils sont intégrés et commentés dans le déroulé de la copie).

Points clefs relatifs au sujet

Introduction

L'introduction doit permettre au candidat de **contextualiser le sujet et d'en analyser les termes** pour aboutir à une problématique logique, sous la forme d'un questionnement, ou non, et d'explicitier le fil directeur de la composition en lien avec la problématique énoncée.

Il faut **éviter les accroches « passe-partout »** dans les introductions. Par exemple, cette année, les introductions auraient pu rappeler que nous célébrions les 40 ans de la découverte du VIH-1, ou présenter le cas de l'émergence du SARS-CoV-2.

Les microorganismes

En introduction, il était davantage attendu de présenter la diversité taxonomique des microorganismes, ainsi que la diversité de leurs interactions. Les bactéries et virus étaient systématiquement cités. Cependant les parasites unicellulaires, les champignons étaient souvent oubliés.

Le jury souhaite faire noter que **de trop nombreux candidats semblent ne pas connaître l'organisation des microorganismes**. De nombreuses copies ont présenté des eubactéries compartimentées ; les cycles et structures viraux étaient globalement faux. Pour rappel, tous les virus à ARN ne sont pas des rétrovirus, les particules virales des virus au programme ont toutes des organisations différentes (structure des génomes et capsides).

Les candidats ont dans la majorité fait la distinction entre microbe pathogène et commensal/bénéfique, mais n'ont pas insisté sur les différences entre parasites intracellulaires et extracellulaires et qui pouvaient faciliter la description des réponses immunitaires différentes.

Un certain nombre de candidats a décidé de traiter de la diversité des microorganismes dans une première partie. Cela était globalement contre-productif : elle était rarement mise en lien avec le sujet proprement dit. **Il est à rappeler que le « et » présent dans un sujet invite les candidats à confronter les deux termes et non pas à les traiter séparément.**

Lien microorganisme et maladie

Il était important de remarquer **que toute interaction entre microorganisme potentiellement pathogène et son hôte ne conduit pas systématiquement au développement d'une maladie**. La diversité des réponses interindividuelles était souvent absente, en particulier les notions de sensibilité (génétique ou non), porteur asymptomatique, charge, inoculum, etc.

Enfin, il était important de **faire la distinction entre corrélation et causalité**, ce qui est souvent nécessaire dans les études sur le microbiote et la santé humaine par exemple. Les candidats pouvaient faire appel aux critères de Koch ou Hill, bien que ceux-ci n'aient pas été explicitement attendus.

La présentation des cycles de développement ne sont pertinents que lorsqu'ils sont mis en lien avec le sujet. Par exemple, la présentation du cycle d'un bactériophage seul n'a que peu de sens en soi mais permet d'illustrer le recours aux microorganismes afin de lutter contre certaines bactéries antibiorésistantes. De plus, certains cycles viraux pouvaient être présentés pour indiquer les cibles des molécules antivirales et leur effet sur le cycle (naturelles ou traitements).

La réponse immunitaire

Le jury s'étonne des très nombreuses erreurs dans les concepts de base en immunologie, notions introduites et classiquement développées en cycle 4 ou en lycée. Cela est d'autant plus fâcheux au sortir d'une pandémie virale de plusieurs années.

Ainsi des confusions quant aux mécanismes d'activation des LB par le contact BCR/AG et leur possible rôle de cellules présentatrices d'antigène ont été observées. Le rôle du complément était souvent oublié.

Les différentes fonctions des anticorps n'étaient que rarement présentées. Rappelons que ce n'est pas parce qu'un individu a séroconverti que le pathogène est éliminé.

Le jury a aussi noté des confusions en ce qui concerne les rôles et les mécanismes moléculaires relatifs aux différentes cellules de l'immunité. Ainsi, les NK sont souvent confondues avec des LTC ; de même, de trop nombreux candidats confondent les modes d'activation du BCR et du TCR.

Certaines notions sont souvent abordées mais de façon très superficielle, en particulier dans la réponse immunitaire immédiate/innée :

- la phagocytose était souvent illustrée par des cellules enveloppant un pathogène. Il aurait été intéressant de présenter les changements du cytosquelette à l'origine de la déformation de la cellule immunitaire. De plus, la phagocytose est trop souvent présentée comme un processus permettant uniquement d'éliminer des bactéries et de rejeter les débris cellulaires dans l'environnement. Il est regrettable que les divers mécanismes de chargement du CMH ainsi que le rôle de cette phagocytose dans l'activation de l'immunité adaptative n'aient été que trop peu développés.

- l'inflammation est souvent présentée au niveau des critères de chaleur, rougeur, douleur, gonflement. Cependant, il était intéressant de compléter cela au niveau moléculaire en présentant d'une part l'activation endothéliale et d'autre les molécules chimio-attractantes (IL-8 par exemple), leurs récepteurs et voies de signalisations associées (protéines à 7 domaines transmembranaires et associées aux protéines G trimériques).

- De même, plutôt que d'utiliser des termes génériques tels que DAMP/PAMP et PRR, il aurait été préférable de présenter des exemples concrets de la diversité des TLR (localisation et ligands).

Les candidats auraient dû présenter les différences entre lymphocytes en lien avec la nature du microbe (en particulier intra cellulaire/extracellulaire, de façon très schématique) :

- il manquait souvent la présentation des mécanismes de chargement des peptides au CMH, expliquant l'origine différente des peptides dans les deux cas. La présentation croisée était un plus.
- le rôle des lymphocytes T CD4 et leur rôle auxiliaire/helper (Th1/Th2) en fonction du type de pathogène rencontré n'ont que très peu été cités.
- seules quelques rares copies ont présenté correctement le complexe TCR – CMH/peptide, avec les molécules de co-activation. Le rôle des protéines CD3 et la transduction du signal étaient absents.

L'immunité végétale, explicitement au programme, n'a été que trop rarement développée et a fait défaut dans de nombreuses copies d'autant plus que la diversité des exemples des organismes pluricellulaires était valorisée.

Enfin, la capacité des pathogènes à échapper à la réponse immunitaire, pourtant présente au programme, a été complètement ignorée.

Traitement/prophylaxie/prévention/vaccinations/santé publique

La notion de prévention est très importante, sachant que l'hygiène sera un sujet à traiter au collège et au lycée, et a été largement omise (sauf parfois quelques mentions de masque ou de gel hydroalcoolique).

En ce qui concerne les traitements antiviraux et antibiotiques, les cibles et modes d'action étaient généralement absents. La notion d'échappement au traitement et d'apparition de résistances était plus fréquente.

Le principe de la vaccination et de la mémoire immunitaire a été souvent mentionné, sans mettre en avant explicitement l'importance de la vaccination sur une réponse plus rapide. La diversité des approches vaccinales n'était que rarement présentée (avec un exemple de microorganisme cible par type vaccinal). Pour rappel, il n'existe pas à ce jour de vaccin anti-VIH.

Les candidats auraient pu faire le lien entre efficacité de transmission du pathogène (R_0 , R effectif) et couverture vaccinale nécessaire pour éviter une épidémie. Cette notion n'était pas forcément attendue mais avait fait l'objet de nombreuses discussions d'actualité des dernières années.

Microbiote et santé

Seul le microbiote intestinal a été traité. La plupart des copies a présenté le lien entre dysbiose et obésité, ainsi que la compétition entre bactéries déjà en place et bactéries nouvellement introduites. Cependant les autres fonctions ont été globalement omises : éducation du système immunitaire, axe intestin-cerveau, etc. Les facteurs microbiens en jeu sont souvent absents : SCFA, ADN bactérien, LPS.

L'évolution du microbiote au cours de la vie n'a généralement pas été traitée. Nous attendions par exemple des références à l'impact de l'alimentation sur le microbiote, la mise en place du microbiote (naissance par voie basse vs césarienne, allaitement, etc), le rôle du microbiote sur la perméabilité intestinale.

Utilisation des microorganismes en santé

L'utilisation des microorganismes en biotechnologie a été assez fréquemment abordée mais les concepts devaient être développés en lien avec le sujet. Ainsi les fermentations agroalimentaires devaient être accompagnées de leur intérêt pour la santé (meilleure conservation des aliments, élimination de composés toxiques etc.).

De même, les systèmes d'origine microbienne (polymérase, enzymes de restriction, CRISPR/Cas) n'ont pas toujours été présentés sous l'angle de leur impact en santé.

Enfin l'utilisation des microorganismes dans la transgénèse ou la production de protéines recombinantes était souvent absente.

4.1.3

Ces commentaires ne constituent en aucun cas un plan type ou un corrigé, mais ils présentent les notions attendues et des développements et exemples qui pouvaient expliciter ces notions

Introduction	# analyse du sujet qui débouche sur des fils directeurs ancrés dans un sens biologique ou géologique	
	# contexte # analyse des termes du sujet # problématique	
annonce du plan = axe directeur en lien avec la problématique		
Développement	Sous-parties	Contenu et items possibles
Les microorganismes	Identification des microorganismes	Méthodes génétiques : principes de la métagénomique (ciblée / shotgun), PCR quantitative (ARNr16s), RT-q-PCR, empreinte moléculaire (DGGE), séquençage à haut-débit, génotypages (MLVA, MLST), etc... Méthodes antigéniques : immunohistochimie, ELISA, etc... Méthodes métaboliques : galeries API, culture sur milieu spécifique, cinétique de croissance, antibiorésistance, etc. Méthodes microscopiques : microscope électronique, colorations spécifiques, morphologie, ... Autres : spectrométrie de masse, ...
	Diversité des microorganismes	Bactéries (archées), virus, champignons (levure), unicellulaires eucaryotes avec cycle de parasite (tels que trypanosomes, plasmodium), archées, bactéries, phages, organismes microscopiques pluricellulaires (ex : acariens) / intracellulaire, extracellulaire Cycles : viral, bactérien parasitaire
	Diversité des interactions	Commensale/pathogène/parasite/mutualiste ; colonisation vs infection - définition de microbiote
L'infection	Voies de contamination	
	Les facteurs chimiques et physiques inhibant favorisant la colonisation	
	Facteurs biochimiques	Peptides antimicrobiens, ...
	Facteurs de compétition biologiques	Compétition avec les pathogènes, Rôles anti-pathogènes : compétition, destruction des pathogènes : sécrétion de bactéricides (ex : antibiotiques, lugdunine de Staphylococcus lugdunensis, dermicidine) ou protéases (ex : Malassezia, coupent les ponts protéiques entre staphylocoque doré)
	Passage des barrières	
	Notion de tropisme et spectre d'hôte	Notion de spectre d'hôte (espèce / organisme / cellule) Mécanisme : récepteurs de l'entrée, récepteur d'endocytose, etc.
Reconnaissance des microorganismes et réponse immunitaire de l'organisme pluricellulaire	Réponse de la cellule infectée	Reconnaissance du microorganisme : PAMP (LPS, flageline) / PRR (TLR attendu, etc.) ; PTI
		Facteurs inhibant l'infection au niveau de la cellule : facteurs de restriction et miRNA, IFN
		Mort cellulaire (réponse hypersensible des plantes)
		Réponse végétale locale : LAR - épaissement, phytoalexines
	Réponse locale du tissu	DAMP ; ETI
		Inflammation : médiateurs chimiques, recrutement des cellules immunitaires et activation endothélium, cytokines
	Réponse immunité innée	Phagocytose et phagocytes (macrophage, neutrophiles + cellules de vers et insectes)
		Les autres cellules de l'immunité innée : granulocytes (antiparasites, radicaux libres, peptides antimicrobiens : MBP, EDN) et mastocytes ; NK
Le complément		
Présentation	CPA - diversité des types cellulaires	
	Présentation du CMH1 et 2, et des voies de "chargement" du peptide	

	Réponse T	Reconnaissance et activation - complexe CMH/TCR (diversité TCR), corécepteurs (CD4/CD8), facteurs de costimulation (CTLA4/PD1) et signalisation cellulaire / sélection clonale
		Différenciation et fonction CTL
		Les fonctions régulatrices (TH1 viral, Th2 bactérie, TH17, T reg)
	Réponse B	Du BCR au plasmocyte (activation du BCR)
		Diversité des Anticorps et fonctions
	Résistance systémique végétale	Activation de l'immunité végétale (hormones végétales)
		Résistance systémique induite (par les microorganismes PGPR comme rhizobactéries et implication de l'acide jasmonique et éthylène)
		Résistance systémique acquise (SAR) : acide salicylique et modification des propriétés tissulaires dans toute la plante
	Echappement au système immunitaire	Inhibition des mécanismes de mort cellulaire Mutation, recombinaison, réassortiment Transferts génétiques : réassortiments entre souches, transformation, conjugaison Latence et réservoir Biofilm, encapsulation Leurre moléculaire, synthèse de cytokines, de récepteurs solubles Echappement à la phagocytose
	Pathogènes et infection	Lien infection/maladie
Etat maladif (fièvre, fatigue, etc.) / inflammation systémique		
Génétique de l'hôte		
Impact de l'inoculum et la charge		
Lien microbe maladie (critères de Hill et Koch)		
Co-infection		
Effets délétères induits indirectement par le microorganisme en lien avec une réponse inadaptée du système immunitaire		Maladies auto-immunes induites par une infection Amplification de l'infection par anticorps facilitants Inflammations aiguës : septicémie, œdèmes, endocardites, méningites, orages de cytokines Allergies
Effets délétères induits directement par le microorganisme		Altération de la réponse immunitaire (immunosuppression)
		Cancérisation directe (virus et bactéries oncogènes)
		Les toxines bactériennes facteurs de virulence, transferts horizontaux,
	Effet nutrition sur photosynthèse (mosaïque du tabac) perturbation du transport des gaz respiratoires : plasmodium et éclatement des globules rouges, virus respiratoires (pneumonies, gripes, tuberculose) parasites et cycle hépatique (douve)	
	Effets développementaux et plasticité tissulaire Perturbation du développement embryonnaire, de la fructification, des échanges mère-fœtus Toxoplasmose, CMV, Zika, rubéole, champignons ravageurs de cultures fruits et fleurs Plasticité tissulaire	
Microbiote et fonctions biologiques	Microbiote / Diversité temporelle et spatiale	Proportions, différentes surfaces, effet de l'âge, du cycle, alimentation, traitements Acquisition
	Fonction immunitaire	Education du système immunitaire et tolérance : effet anti-inflammatoire des fibres (SCFA) et butyrate ; importance des plaques de Peyer et cellules M ; bactéries commensales favorisent la RI : LPS active TLR et donc la voie nfKb qui favorise la commutation de classe (meilleure réponse vaccinale) ; DC tolérogènes
		Effet des dysbioses : prolifération de microorganismes opportunistes ; augmentation de l'expression virale (HIV) Effet des dysbioses : inflammations chroniques car SI suractivé
	Fonction de nutrition et métabolisme	Aide au prélèvement : mycorhize/rhizobium ; mise en place de l'infection et attraction

		Ajout de voies métaboliques : synthèse de vitamines différents types de fermentation digestions de substances indigestes
		Microorganismes directement consommés par l'organisme
	Fonctions reproductives et développementales	Modification de l'architecture tissulaire Contrôle de la floraison, fructification, germination orchidée Microbiote vaginal et fertilité Synthèse ou dégradation de précurseurs volatiles ou d'hormones végétales qui régulent croissance
	Fonctions neuroendocrines / axe cerveau intestin	Nature du lien : stimulation directe de cellules nerveuses (nerf vague) par métabolites synthèse de précurseur de neuromédiateurs passant par la circulation générale stimulation des sécrétions endocrines locales stimulation des cellules du SI qui sécrètent des cytokines neuroactives
		Effet des dysbioses : stress anxiété, obésité, parkinson Obésité et maladies métaboliques
Prévention et utilisation par l'homme	Prévenir	Prophylaxie et prévention primaire : éducation à la santé, limitation de la contamination par asepsie, hygiénisme
	Mémoire et Vaccin	Mémoire
		Vaccins
	Traitements	Immunothérapies
		Chimiothérapie (antibio/antiviraux/autres)
		Résistance/échappement
	Lutte biologique / armes	
	Favoriser certains microorganismes bénéfiques	Action directe : transfert fécal, probiotique, ensemencement du sol,
Utilisation des microorganismes ou de leurs composants comme traitement	Phagothérapie	
	CRISPR en thérapie génique	
Utilisation en biotechnologies	Protéines recombinantes issues de bactéries, les enzymes de restriction ou polymérases	
	Transgénése et modifications de génomes : vecteurs viraux (pour CAR-T), Agrobacter	
Qualité des démonstrations et de l'argumentation		
Qualité du plan et de l'organisation de la copie	Adéquation au sujet	
	Cohérence (niveau hiérarchique homogène des découpages du plan)	
	Logique dans la progression de la copie	
	Unités paragraphiques : une idée par paragraphe en adéquation avec son titre	
	Transitions : explicitent la logique de changer de paragraphe/partie	
Illustrations	Richesse de la copie en illustrations	
	Qualité des illustrations : soignées (titre, légende, échelle si pertinent), font apparaitre une hiérarchisation des informations apportées par l'illustration, intégrées au discours	
Orthographe/syntaxe		
Clarté/concision/soin		
Conclusion	Synthèse (qui n'est pas une simple redite) des idées fortes développées au long de l'exposé avec ou pas un schéma de synthèse	
	Ouverture de qualité vers un prolongement intéressant du sujet/remise en perspective	

4.2. Épreuve écrite du secteur B

4.2.1 Le sujet proposé

Sexualité et sexualisation

4.2.2 Commentaires généraux sur la compréhension et le traitement du sujet

Le sujet « Sexualité et sexualisation » a été choisi parce qu'il couvre un vaste champ du programme du secteur. Il nécessitait en effet **d'intégrer différents aspects de la biologie des organismes (physiologie, éthologie, écologie, génétique et évolution) et différentes échelles du vivant (des molécules aux comportements).**

Poser le périmètre du sujet : délimiter le sujet mais diversifier les données scientifiques

La délimitation du sujet a souvent posé problème pour certains candidats, qui l'ont abordé avec une approche restreinte à la physiologie de l'organisme et limitée aux Mammifères voire à l'espèce humaine. **L'anthropocentrisme s'est révélé en effet présent dans un grand nombre de copie. Ouvrir l'esprit des élèves à la diversité des processus biologiques est un enjeu important pour l'enseignement des SVT.**

Le jury attend des candidats qu'ils diversifient leurs exemples. Par exemple, si la démonstration du déterminisme chromosomique du sexe pouvait s'appuyer sur l'exemple des Mammifères au programme, il était attendu de montrer que plusieurs types de sexualisations pouvaient exister avec leur déterminisme associé.

Le contexte sert d'ancrage à l'introduction et doit permettre d'aboutir à la problématique.

La contextualisation ne doit donc pas être décorréler de la ou les problématiques choisies. Si des contextes centrés sur l'espèce humaine étaient possibles, ils devaient absolument être élargis ensuite.

L'introduction du devoir ne sert pas uniquement à décrire un plan, mais doit permettre de placer le sujet dans le contexte du monde vivant, de définir les termes du sujet, d'annoncer la problématique et de préciser la démarche que le candidat va utiliser pour y répondre.

Tous les termes du sujet doivent être définis avec soin, les limites du sujet doivent être clairement posées et doivent être justifiées.

Un sujet de synthèse nécessite de prendre un temps de réflexion en début d'épreuve afin d'évaluer l'ensemble des notions devant être traitées dans le temps imparti et de dégager une problématique permettant de développer le sujet dans toutes ses dimensions.

Il était d'ailleurs indispensable que le sujet s'inscrive dans une problématique de biologie évolutive.

Construire une démarche scientifique démonstrative et didactique

Il est attendu d'un enseignant qu'il sache construire une démarche scientifique et didactique cohérente, au cours de laquelle une question pertinente est posée. **C'est bien à partir d'une argumentation basée sur des constats, des données précises de nature variée que les notions doivent être construites. La démarche scientifique est la seule démarche qui permette de faire progresser la connaissance en s'appuyant sur des faits scientifiques, et non sur des affirmations non étayées.**

Les conclusions tirées de plusieurs expériences peuvent alors être agencées pour construire un modèle, c'est-à-dire une interprétation de la réalité cohérente avec les observations.

Certains candidats **exposent d'abord les notions puis font appel ensuite à ce qu'ils croient être une démonstration.** Cela dénote une **incompréhension de la façon dont les modèles scientifiques se construisent. La démarche scientifique doit toujours partir de faits pour aller vers des concepts et non l'inverse.**

Cependant citer les expériences ne suffit pas. Le candidat doit expliciter les notions qu'il dégage de ces expériences ou de ces exemples, en lien avec les questionnements spécifiques du sujet.

Dans l'argumentaire, il pouvait être tout à fait approprié de réinvestir des connaissances des techniques de biologie moléculaire. Il est d'ailleurs **vivement apprécié que les candidats démontrent qu'ils ne cloisonnent pas les secteurs A et B** en incrémentant leur démonstration de données moléculaires rigoureuses.

Un certain nombre de copies ont néanmoins fait appel à une démonstration appropriée (cf grille). Suivre une démarche scientifique prend du temps, mais constitue un **investissement très efficient pour la conduite de la démonstration et est donc fortement valorisé dans la grille de correction**. Cela a été très bien fait dans certaines copies, mais reste encore trop peu fréquent.

La démarche démonstrative permet ainsi de raisonner sur des faits observés, ce qui peut **éviter de nombreuses dérives finalistes** encore trop présentes dans les copies (cf remarque suivante).

Proscrire tout usage du finalisme dans les copies

Comme chaque année, le jury alerte les candidats sur l'usage récurrent du finalisme qui **démontre que la réflexion biologique de la théorie de l'évolution n'est pas encore intégrée**.

Le sujet se prêtait à des points spécifiques attribués à la maîtrise des concepts fondamentaux de l'évolution et de la sélection naturelle. Il apparaît d'ailleurs indispensable que les candidats à l'agrégation maîtrisent correctement tous les aspects de la théorie de la sélection naturelle et **élargissent leur réflexion sur la sélection sexuelle, item valorisé dans la grille compte tenu du sujet**.

Le jury entend rester **très vigilant concernant une vision finaliste** du vivant, **inacceptable pour un futur enseignant de sciences**.

Utiliser des illustrations au service de la problématique et de la démonstration

Les illustrations sont nécessaires et souvent appréciées quand elles sont judicieuses et de bonne qualité. Elles doivent avant tout servir à illustrer le propos et **renforcer l'argumentation scientifique des notions développées**.

73% des copies présentent une richesse d'illustrations. Ces illustrations sont généralement de taille suffisante et comportent un titre. Lorsque cela s'y prête, les ordres de grandeur doivent être précisés, notamment quand le schéma présente différentes échelles d'étude.

Le titre proposé est parfois trop général et constitue d'ailleurs un **indicateur que l'illustration n'appuie pas la démonstration**.

Les informations apportées dans les illustrations sont souvent descriptives et les légendes de nature structurale. Le jury tient à rappeler que les illustrations doivent soutenir des concepts et qu'un schéma qui n'est pas accompagné par une explication même courte n'a que peu d'intérêt. D'ailleurs 23% des copies obtiennent tous les points associés au soin de ces illustrations (titre, légende, échelle si cela est pertinent) et à leur cohérence au sujet (le candidat doit faire apparaître une hiérarchisation des informations apportées par l'illustration, intégrée au discours et en lien avec le sujet).

Ce n'est pas au correcteur d'extraire de l'illustration les idées maîtresses et les arguments en lien avec la problématique posée.

Quelques copies présentent des schémas d'un **simplisme désolant** ; **il est conseillé de ne pas réaliser ce type d'illustrations qui tendent à déprécier la copie**.

Choisir un ou des exemples pertinents

Il est rappelé que les différentes notions doivent être étayées par des exemples précis. Il est plus **judicieux d'associer un exemple à une notion que de multiplier les exemples pour une même notion**. Par exemple, il n'était pas souhaitable d'exposer une pluralité de modalités de différenciation gonadique lors de la sexualisation mais plutôt de construire une démonstration à partir d'un exemple en essayant de relier la différenciation des gonades au déterminisme génétique, au contrôle hormonal et aux manifestations comportementales.

Il est aussi tout à fait possible de développer plusieurs aspects d'un même exemple à différents niveaux du devoir. Néanmoins, certains items nécessitaient de s'appuyer sur des **exemples variés pour argumenter la diversité des processus biologiques** (cf grille) et le jury a été **sensible à la culture scientifique et naturaliste de certains candidats**.

S'exprimer dans un langage précis, concis et intelligible, structurer le corps de la composition de façon cohérente et clarifier la démarche adoptée

Le candidat doit s'exprimer de façon claire, précise en ayant toujours le souci d'utiliser un vocabulaire adéquat. **L'agrégation recrute de futurs enseignants et le jury évalue aussi le didactisme du candidat.**

Tout au long de la rédaction du devoir, le candidat doit toujours veiller à rester concis et dans le cadre du sujet (23% des copies ont 100% compris cela contre 26% qui ne sont pas en adéquation avec le sujet). Un questionnement précisément posé dans l'introduction évite cet écueil.

Par exemple, le jury a pu lire une description générique de certains processus (méiose, gamétogénèse), la description des cellules sexuelles ou l'énumération de comportements sexuels sans que cela ne soit inscrit dans une démarche visant à démontrer telle ou telle notion, et donc sans que cela ne réponde à un questionnement.

Les titres des parties et sous-parties doivent être rigoureusement choisis en adéquation avec la problématique ou les questionnements formulés en introduction. On attend donc que le plan soit conçu pour s'ajuster au mieux à la spécificité du sujet. **Les titres génériques, qui n'apportent pas de notion-clé pour ce sujet spécifiquement, sont donc à proscrire.**

Le plan doit être un support pour clarifier la démarche adoptée et les étapes du raisonnement. 57% des copies n'ont pas de cohérence globale (niveau hiérarchique homogène des découpages du plan).

Les transitions entre les paragraphes doivent être logiques et justifiées.

Le jury a noté que, dans l'ensemble, les copies étaient soignées, dans un français correct avec peu de fautes d'orthographe ou de grammaire (71% des copies ont tous les points associés à cet item).

Prendre le temps de conclure

D'une manière générale, la conclusion est nécessaire pour récapituler de façon concise les idées fortes développées dans le devoir, répondre à la problématique posée en introduction et formuler de nouvelles questions qui ouvrent les perspectives au sujet.

La conclusion est parfois négligée voire absente, sans doute à cause d'une mauvaise gestion du temps. Rappelons qu'elle doit comporter une synthèse des idées principales en s'assurant qu'elle réponde explicitement à la problématique présentée en introduction, ainsi qu'une ouverture sur des notions connexes. Trop souvent cette synthèse reprend de façon linéaire ou désordonnée les notions développées dans la copie.

Un schéma bilan peut accompagner la conclusion mais il ne peut pas constituer à lui seul une conclusion.

L'ouverture, quand elle était faite, a rarement été réussie car trop éloignée du sujet ou trop naïve. Parfois, l'ouverture met l'accent sur une notion qui aurait dû faire partie du développement.

En bilan, les copies des candidats admissibles sont celles qui ont révélé des connaissances solides **dans l'ensemble des domaines, en intégrant une approche évolutive et démonstrative, et qui ont su gérer le temps alloué à l'épreuve.**

4.2.3 Commentaires détaillés

Une version modifiée de la grille d'items utilisés pour la notation des copies est présentée. Ces commentaires ne constituent en aucun cas un plan type ou un corrigé, mais ils présentent les notions attendues et des développements et exemples qui pouvaient expliciter ces notions.

Agrégation externe Épreuve du secteur B	Sujet : Sexualisation et sexualité	Compléments sur les attendus	Commentaires	Pourcentage des copies ayant eu des points à l'item
Introduction	<p>Contexte</p> <p>Analyse du sujet qui débouche sur des fils directeurs ancrés dans un sens biologique</p>	<p>Sexualité = combinaison de gènes provenant de 2 individus différents, dans de nouveaux arrangements. Dans tout le monde vivant, des phénomènes sexuels existent, menant à l'incorporation de gènes issus d'autres individus et à la création de nouveaux génomes.</p> <p>Prise en compte au sens le plus large de la sexualisation et de la sexualité avec composantes génétiques, hormonales, comportementales (ne pas restreindre aux eumétazoaires). Peut notamment inclure des organismes comme les eumycètes avec types sexuels, voire les eubactéries avec parasexualité. Attention à l'approche anthropocentrée.</p> <p>Définition de sexualisation et différence entre les deux termes (sexualisation / sexualité) attendue dans l'introduction. Avec sexualisation qui reprend la détermination des sexes et sexualité qui inclut la rencontre des</p>	<p>Analyse du sujet : prise en compte du « et » : les définitions des 2 termes orientaient vers une apposition (avec approche chronologique) mais certains candidats ont réalisé des tentatives abouties de mise en relation de la sexualisation et de la sexualité. Le contrôle hormonal lors de la sexualisation et les liens de cause à effet en termes de comportement lors de la sexualité se prêtaient bien à ce type de mise en relation.</p> <p>Quelques candidats excluent les végétaux !</p>	<p>22% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 5% n'ont aucun point.</p>

	(facultative ou obligatoire) ; autres exemples possibles	<p>Lien avec limitation /empêchement de l'autogamie ; Cycles avec alternance reproduction sexuée/asexuée et cycles avec parthénogénèse (pucerons, abeilles, rotifères...).</p> <p>Lien avec modes /milieux de vie particuliers.</p> <p>Conséquences / avantages reproductifs : à relier à d'autres items.</p>		
Sexualisation- Sexe chromosomique versus génétique	XY/XX, ZZ/ZW, autres systèmes (champignons, drosophile...), système ABCDE	<p>Diversité des systèmes là encore attendue ; le plus souvent, l'un des sexes est homogamétique, homozygote quant au gène le déterminant : femelle chez les Mammifères qui possède les chromosomes XX et la plupart des Amphibiens Anoures (tous les Ranidae sauf le Xenopus) mais c'est le mâle chez certains Poissons, les Oiseaux et les Lépidoptères qui est homogamétique.</p> <p>Quantité de gènes actifs reste la même chez les deux sexes car l'un des deux chromosomes doublés est inactivé dans les cellules embryonnaires, formant une masse de chromatine appelée corpuscule de Barr chez les Mammifères.</p> <p>Autres systèmes avec intervention des autosomes.</p> <p>Élargissement à des sexualisations sans différenciation poussée (signes +/- champignons).</p>		10% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 22% n'ont aucun point

<p>Sexualisation - sexe gonadique (voies incluses) /gamétique</p>	<p>Exemple des mammifères : TDF et SRY -> déterminisme sexuel et développement des gonades, voies génitales et gamètes mâles ou femelles (gamétogénèse).</p>	<p>Phénotype sexuel constitué par l'ensemble des caractères sexuels primaires (fonctionnement du système nerveux central, voies génitales, organes génitaux externes) déterminés pendant la vie fœtale ou immédiatement après la naissance, et par l'ensemble des caractères secondaires qui se mettent en place plus tardivement lors de la puberté</p> <p>- Proposition d'arguments/démonstration concernant le déterminisme sexuel des gonades des mammifères, et l'implication du gène SRY :</p> <p>- Anomalies hétérosomales liées aux observations du sexe phénotypique,</p> <p>- Explicitation des « inversions sexuelles » en lien avec des mutations ; observation de sexe phénotypique en discordance avec le sexe chromosomique.</p> <p>- Transgénèse d'un fragment d'ADN contenant le gène sry murin dans une souris femelle XX qui entraîne le développement de testicule (avec stérilité).</p> <p>- Gène SRY retrouvé chez tous les Mammifères (placentaires et marsupiaux), où il semble toujours jouer ce rôle de déterminant masculin. Chronologie de</p>	<p>Chronologie des événements pas toujours explicitée ou maîtrisée.</p> <p>Quelques candidats décrivent la mise en place des caractères sexuels secondaires sans expliquer le passage de la gonade indifférenciée au stade embryonnaire à la différenciation gonadique.</p> <p>Un assez grand nombre de copies proposent des arguments et des démonstrations dans cette partie ce qui a été valorisé dans le barème. En général, ces démonstrations ont utilisé les anomalies chromosomiques voire les « inversions sexuelles ».</p> <p>Par contre, très peu de données génétiques complètes apparaissent dans les copies : les cascades d'expressions génétiques sont très rarement mentionnées. Les différentes échelles d'études (cellulaires, moléculaires) sont très rarement présentes.</p>	<p>18% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 22% n'ont aucun point</p>
--	--	--	--	---

		l'expression de ce gène coïncide avec la période de détermination du sexe.	Quelques candidats ont effectué la même démarche démonstrative en prenant les système ABCDE des Angiospermes , exemple pertinent qui a été pris en compte dans la notation.	
Sexualisation -sexe hormonal	<p>Exemple des mammifères : hormones pendant la vie fœtale et puberté (complexe HT-HP-gonades étendues aux cellules somatiques impliquées).</p> <p>Testostérone, masculinisation, apparition des caractères sexuels secondaires ; Œstrogène, féminisation (démasculinisation).</p> <p>Effets maternels par exemple sur les niveaux de testostérone ; épigénétique.</p>	<p>- Proposition d'arguments/démonstration concernant l'environnement hormonal pendant le développement embryonnaire dans le déterminisme gonadique</p> <p>☐ Présence, dans l'utérus gravide, d'embryons mâles à proximité d'un embryon femelle entraîne une masculinisation des voies génitales de l'embryon femelle.</p> <p>- Chez les bovins, " free-martinisme" : aboutit à la naissance d'une génisse stérile ; phénomène, naturel ou artificiel, où deux faux jumeaux de sexes différents sont connectés par voie sanguine in utero, par l'intermédiaire du placenta. La femelle génétique naît alors intersexuée, c'est-à-dire profondément modifiée dans le sens mâle. Ceci est dû aux hormones masculinisantes (testostérone et l'hormone antimüllérienne) produites par les testicules et véhiculées par voie sanguine jusqu'à l'embryon femelle.</p> <p>- Travaux d'Alfred Jost (1950) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ablation des gonades d'un fœtus de mammifère sexuellement indifférencié 	<p>Les expériences de Jost sont souvent utilisées dans l'argumentaire.</p>	18% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 22% n'ont aucun point

		<p>entraîne un développement femelle, aussi bien au niveau du tractus interne que des organes génitaux externes, et ceci, quel que soit son sexe génétique. Ainsi, la détermination du sexe est équivalente à la détermination des testicules. Sexe femelle est le sexe "par défaut".</p> <ul style="list-style-type: none"> • Castration d'un fœtus mâle ou femelle conduit à la féminisation des voies génitales et des organes génitaux externes. <p>Développement des canaux de Wolff et la disparition des canaux de Müller.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Greffe d'un testicule dans un fœtus femelle conduit à la masculinisation des voies génitales et des organes génitaux externes. <p>Sexualisation de l'hypothalamus (aire préoptique) avec déterminisme hormonal. Possibilité de relier cette sexualisation à la détermination des comportements sexuels (lordose chez la femelle, monte chez le mâle)</p>	<p>Les liens attendus sexualisation gonadique/sexualisation hormonale sont souvent réalisées à partir de schémas récapitulatifs.</p> <p>Quelques erreurs sur les cellules impliquées dans la synthèse des hormones (testostérone, AMH notamment)</p> <p>Quasiment aucune donnée sur la mise en évidence d'une sexualisation de l'hypothalamus. Bon nombre de candidats ont perdu du temps sur le contrôle hormonal (HT-HP-gonades) pubertaire. Celui-ci pouvait être mentionné dans le maintien des caractères sexuels secondaires mais beaucoup de digressions/absence de lien au sujet ont été constatés. Certains candidats restent peu précis ou confondent sexualisation au stade embryonnaire et contrôle</p>	
--	--	--	--	--

			<p>hormonal aux stades pubertaire et adulte.</p> <p>Les candidats méconnaissent ces aspects. Aucune expérimentation proposée ou de données étayées d'épigénétique.</p>	
Sexualisation-sexe comportemental	Manifestations comportementales des sexes mâles et femelles ; aspects saisonniers, hormonaux, phénologie ; lien agressivité/dominance/ testostérone.	<p>Comportement de reproduction contrôlé par les hormones sexuelles et les phéromones.</p> <p>Aspects saisonniers ; œstrus.</p> <p>Comportements innés et acquis ; apprentissage ; système de récompense</p>	<p>Cet item est malheureusement traité de façon incomplète.</p> <p>Quelques copies proposent les circuits de récompenses sexuelles avec les centres nerveux et les voies nerveuses associés.</p>	<p>6% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 58% n'ont aucun point</p>
Détermination environnementale de la sexualisation	Cas de déterminisme par des facteurs abiotiques, biotiques	<p>Facteurs abiotiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Influence éventuelle de plusieurs facteurs de l'environnement : pH de l'eau (poissons), le rapport K⁺/Ca²⁺ dans l'eau (amphibiens), l'humidité du substrat (reptiles) et la température (vertébrés ectothermes), température, photopériode chez les végétaux. - Détermination du sexe peut être influencée par la température d'incubation des œufs : mécanisme appelé TSD (Temperature dependent Sex Determination) par opposition au déterminisme strict du sexe imposé par les 	<p>La diversité des facteurs abiotiques et biotiques est rarement proposée.</p> <p>Le mécanisme TSD est souvent cité avec quelques exemples maîtrisés (proposition de courbe de pourcentage mâles/ femelles en</p>	<p>7% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 58% n'ont aucun point</p>

		<p>chromosomes sexuels ou GSD (Genotypic Sex Determination).</p> <p>Démonstration /arguments : Période thermosensible de la différenciation des gonades déterminée chez divers lézards, tortues et crocodiliens, en transférant les œufs d'un milieu thermo-masculinisant vers un milieu thermo-féminisant (ou inversement), à divers stades du développement embryonnaire, puis en examinant la sex-ratio au voisinage de l'éclosion. Établissement de la période thermosensible et de la température pivot.</p> <p>- Facteurs épigénétiques chez le criquet migrateur (<i>Locusta migratoria</i>) : facteurs externes (température, photopériode, sécheresse, alimentation, densité de population) ou internes (âge des reproductrices), et lien avec le système endocrine (corpora allata). Individus homochromes, sédentaires et solitaires, avec dimorphisme sexuel accentué et forte fécondité. Autres individus pigmentés, migrants et grégaires (ravage des cultures), avec dimorphisme sexuel et fécondité atténués. Transformations réversibles.</p> <p>Facteurs biotiques</p>	<p>fonction de la température). Cependant la démarche démonstrative est quasi absente.</p> <p>Même constat : très peu de données d'épigénétique.</p> <p>Quelques copies font référence à un exemple mais souvent peu détaillé et peu démonstratif.</p>	
--	--	--	--	--

		Exemple possible : Cas de déterminisme par infection par une bactérie féminisante (<i>Wolbachia</i>) des cloportes ; apports nourriciers des larves d'hyménoptères ; Stylops parasites des hyménoptères et inversion sexuelle par réduction des apports trophiques des larves ; « castration parasitaire » induite par <i>Sacculina carcini</i> parasite de Crabes comme <i>Carcinus maenas</i> ...		
Apparition des chromosomes sexuels	Hypothèses de l'origine des sexes e.g. sauts de séquences génétiques (exogènes) et/ou mutations		Item très rarement rencontré et dans ces rares cas juste cité.	1% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 98% n'ont aucun point
Évolution et maintien du sexe : les coûts	Coûts élevés : trouver un partenaire (risque de célibat), soin éventuel (au partenaire et jusqu'aux descendants), trade-off, coût de produire un descendant différent de soi, coût de production des mâles), une espèce tierce permettant la rencontre des		Coûts rarement mentionnés et quand cela est le cas, rarement étayés dans les copies, sinon en faisant le lien avec les combats (compétition intrasexuelle) entre mâles.	1% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 80% n'ont aucun point

	gamètes par exemple et les coûts associés.			
Évolution et maintien du sexe : les bénéfices	<p>Mais des bénéfices : brassages génétiques (méiose et fécondation) et polymorphisme ; sélection (Reine rouge, face aux changements biotiques mais aussi abiotiques), hétérosis, évitement consanguinité (aspects populationnels), mutations bénéfiques envahissent plus facilement (par rapport à la multiplication asexuée), mutations délétères sont possiblement purgées (avec recombinaisons pendant la méiose, par rapport au cliquet de Müller dans populations asexuées) Systèmes d'incompatibilité</p>	Possible comparaison avec les organismes asexués pour montrer les avantages du sexe.	<p>Les candidats font rarement appel à des données expérimentales ou tout autre argument. Les schémas sont peu démonstratifs (par exemple méiose sans positionner 2 couples d'allèles pour expliciter le brassage intrachromosomique).</p> <p>Cet item se prêtait à une présentation de différentes théories permettant d'expliquer l'apparition et surtout le maintien du sexe avec les hypothèses associées. La discussion sur les causes éventuelles du maintien du sexe dans les populations est quasi absente.</p>	2% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 62% n'ont aucun point

Anisogamie	Différence de taille et quantité de gamètes, base des différences entre sexes		Des descriptifs souvent longs sans associer d'idées maitresses, sans réaliser un lien évolutif.	6% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 80% n'ont aucun point
Systèmes d'appariement	Polygynie logiquement mais diversité des systèmes d'appariement (monogamie, polyandrie, polygynandrie = promiscuité), lien fitness	Conséquences en termes de choix de partenaire et de compétition intrasexuelle.	Très peu de mention de cette diversité des systèmes d'appariement et de leur conséquence dans les copies.	1% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 83% n'ont aucun point
Séquences comportementales et signaux de reconnaissances	Rapprochement des partenaires (signaux), synchronisation des cycles, reconnaissance, parades, attraction d'autres espèces (exemple de mutualisme)	Diversité des signaux et séquence comportementale complète. Communication et comportement reproducteur (nature, production et réception des signaux, fonctions, adaptations aux contraintes environnementales et sociales).	Approche souvent « catalogue » des signaux ; il manque souvent une séquence comportementale complète.	4% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 36% n'ont aucun point
Sexualité et notion d'espèce	Isolement reproducteur pré-accouplement jusqu'au zygote (désynchronisation),		Lien entre sexualité et espèce parfois cité en lien avec les signaux qui divergent et qui peuvent conduire à des isollements reproducteurs. Peu	1% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet

	peut aller jusqu'à l'hybridation (vigueur hybride= hétérosis et même jusqu'à la spéciation sympatrique)		de notion d'hybridation dans les copies.	item ; 80% n'ont aucun point
Sélection sexuelle	Définition sélection	Pour qu'un trait soit soumis à la sélection : variabilité (diversité génétique, polymorphisme), héritabilité et amélioration fitness (succès reproducteur différentiel).	Cité avec avantage sélectif mais rarement complet.	4% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 71% n'ont aucun point
Compétition intrasexuelle	Apparition de traits extravagants permettant d'accéder au partenaire sexuel (bois des cerfs, armes...)	Attente d'exemples de compétitions entre mâles (et entre femelles parfois), avec apparition de caractères extravagants.	Mentionné mais souvent sans lien avec la sélection sexuelle. Parfois en le reliant à un coût de la reproduction.	4% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 67% n'ont aucun point
Compétition intersexuelle	Choix du partenaire (traits doivent être fidèles), théorie du handicap. Choix liés à des bénéfices directs et/ou indirects (génétiques, choix pour la dissimilarité et/ou l'hétérozygotie)	Possibles démonstrations théoriques.	Retrouvé dans les copies mais pas toujours. A parfois fait l'objet d'une démonstration théorique qui a été valorisé par le barème.	8% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 63% n'ont aucun point
Sex-ratio	Sex-ratio opérationnel impacte la réussite		Peu de copies intègre les sex-ratios et leur conséquence. Très peu de	1% des candidats réussissent à

	dans la reproduction (Fisher), lien aux systèmes d'appariement.		lien avec les systèmes d'appariement et la sélection sexuelle.	obtenir 100% des points sur cet item ; 98% n'ont aucun point
Cas particuliers Transferts horizontaux / parasexualité...	Transferts horizontaux pourraient-ils être considérés comme du sexe ? Parasexualité à valoriser ; Hybridation si pas dit ailleurs ; symbioses et rencontres des sexes...		Valorisé quand mentionné (rarement)	2% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 85% n'ont aucun point
Conclusion	Synthèse (qui n'est pas une simple redite) des idées fortes développées au long de l'exposé avec ou pas un schéma de synthèse. Ouverture de qualité vers un prolongement intéressant du			16% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 42% n'ont aucun point. 18% des candidats réussissent à obtenir 100% des points sur cet item ; 82% n'ont aucun point

	sujet/remise en perspective.			
Argumentation/démonstration	Une démarche démonstrative est attendu tout au long du sujet et est valorisée			Au maximum par copie, nous avons eu 3 démonstrations (13% des copies) et 57% des copies n'utilisent aucune démonstration dans le traitement du sujet

4.3 Épreuve écrite du secteur C

4.3.1 Le sujet proposé

Les ressources minérales

(les ressources en eau ne sont pas attendues)

4.3.2 Commentaires généraux sur l'épreuve

Ce sujet traite d'un thème connu de la plupart des candidat(e)s voire pour certaines parties, connu des « non scientifiques » de par les enjeux environnementaux, mais dont les processus de genèse sont souvent peu voire pas explicités. Il ne s'agissait évidemment pas de faire un catalogue de tout ce qui peut être de près ou de loin lié aux ressources minérales et à leur utilisation. Le but était d'utiliser la pluridisciplinarité des Sciences de la Terre afin de comprendre et de montrer comment se forment les ressources minérales, quelles en sont les caractéristiques, et en quoi l'étude des processus de genèse permet de comprendre leur formation, leur enrichissement, leur exploitation et d'en évaluer les limites. La durée de l'épreuve impose une hiérarchisation et un choix d'exemples judicieux afin d'illustrer la composition de manière démonstrative et scientifique.

Le sujet « les ressources minérales » permettait une approche transverse des Sciences de la Terre en traitant des ressources aussi bien en domaine interne, qu'en domaine externe et à la transition entre domaines interne et externe. Les approches se devaient d'être pluridisciplinaires, avec une démarche démonstrative en géochimie et/ou géophysique et/ou structurale.

Le titre, très court, ne suggérait pas de problématique ni de plan, à l'exception du fait que les ressources en eau n'étaient pas attendues. Toutefois, une démarche scientifique partant de l'analyse des caractéristiques chimiques, physiques et/ou structurales des différentes ressources minérales (à l'aide d'observations, de descriptions, de présentation des méthodes d'études), s'orientant ensuite vers la compréhension et la quantification des processus à l'origine des ressources minérales, permettait une démonstration sur la formation des ressources minérales depuis les ressources « primaires » (fusion partielle, cristallisation fractionnée...), puis liées à l'hydrothermalisme (altération, dissolution...), et au transport et/ou au dépôt (précipitation, évaporation...), pour enfin traiter de l'exploitation des ressources minérales et de leurs limites. Les caractérisations et les propriétés physico-chimiques des roches et des minéraux permettaient également d'aborder les matériaux de constructions et industriels en termes de ressources non métallifères. Bien que d'autres plans, ou manières de traiter le sujet soient possibles (sans que cela ne défavorise le candidat), c'est cette approche que nous avons utilisée dans le barème de correction et dans les éléments de corrigé présentés dans ce rapport (grille de corrections). On ne peut que regretter que certains devoirs ne soient qu'une juxtaposition d'exemples sans démonstration de l'origine de la ressource et surtout sans lien entre cette origine et les propriétés intéressantes qui en découlent.

Il est important de noter que le jury a souhaité que la correction soit une occasion de privilégier les copies qui montrent une rigueur de démonstration scientifique, basée sur des exemples clefs par rapport à celles qui font étalage de connaissances sans démarche. Il est important de commencer par les observations, les mesures plutôt que par les modèles. De la même manière, nous avons apprécié les copies où la quantification des processus (des valeurs, des chiffres, des équations) a été mise en avant tout au long du devoir.

Remarques générales sur la forme du devoir

- Éviter la monochromie ;
- Aérer l'écriture ;
- Pas suffisamment de figures avec un titre, des échelles et une légende, sans pour autant tout décrire ensuite dans le texte; les figures doivent venir en appui à la démonstration ;
- Absence de transition qui marquent l'absence de réflexion poussée sur le sujet et les processus dans certaines copies.

Remarques générales sur le fond du devoir

L'introduction est généralement réussie, même si l'accroche est parfois fantaisiste et la problématique non soignée. L'introduction doit mettre en perspective le sujet, en analyser tous les termes et poser une problématique en montrant comment le plan suivi va permettre d'avancer dans cette problématique. L'introduction permet également de poser les limites du sujet. En effet, le sujet est vaste mais il possède des limites, notamment concernant les ressources énergétiques. La plupart des candidats ont traité les énergies fossiles comme ressources minérales sans toutefois présenter une réflexion poussée sur la présence de la matière organique. Typiquement, le charbon est une roche sédimentaire composée d'une fraction minérale (argile, quartz,...) mais la matière organique est également présente, contenu dans les "macéraux" (vitrinite, inertinite, exinite) dérivés de débris végétaux. De la même manière, le pétrole, le gaz ou gaz de schiste ne contiennent que du C organique, et ne sont pas *sensu stricto* des ressources minérales. Si le devoir présentait les combustibles fossiles dans leur ensemble, il devait également être discuté dans quelle mesure les combustibles fossiles sont des ressources minérales. Dans le barème présenté ci-dessous, le jury a choisi d'inclure les énergies fossiles en accordant un poids important à la réflexion d'inclure les énergies fossiles dans les ressources minérales énergétiques, mais il a également pris en considération le choix argumenté de ne pas les présenter dans la copie.

Les notions de ressources minérales ont été relativement bien décrites (gisement, gîte, minéral...) et les principaux ensembles mentionnés : Ressources métallifères, Ressources non métallifères et Ressources énergétiques.

Globalement, les *ressources métallifères* ont été décrites par gîtes : les gîtes minéraux hydrothermaux, les gîtes minéraux sédimentaires et résiduels mais très peu de copies ont traité les gîtes magmatiques. Bien qu'extrêmement importantes dans la formation des ressources minérales, les relations pétrogénétiques entre les différents gisements métallifères n'ont été également que très rarement mentionnées et beaucoup de candidats ont décrit la formation des roches sans démontrer quels étaient les processus à l'origine des enrichissements en élément chimique. Certaines notions, à la base des ressources minérales (e.g. règles de Goldschmidt, compatibilité/incompatibilité des éléments, notion de coefficient de partage), souvent évoquées, n'ont été finalement que rarement mis en relation avec le sujet (mobilité des ions entraînant une forte concentration). De même, de nombreuses confusions (terres rares considérées comme « en faible quantité » ou comme « minéraux rares » ; Lithium considéré comme une terre rare...) et un manque de précision important (« certaines roches », « certains contextes »...) traduisent un manque évident de connaissances sur la genèse des ressources minérales.

Dans ce sujet, l'ensemble des exemples traités se devaient d'apporter des informations sur l'origine et la formation des ressources minérales. L'absence de réflexion sur les processus de manière récurrente, a souvent déséquilibré le plan en faveur des aspects les moins géologiques (comme la maison et les matériaux de construction ou les risques).

Enfin, la réflexion sur la genèse des ressources minérales a souvent permis aux candidats d'introduire l'exploitation des ressources (exploration, développement, impacts, conséquences...). Cependant, le volet économique des ressources n'a été quasiment jamais abordé dans les copies. Il en est de même avec les enjeux géopolitiques des matières premières.

Barème et possible déroulé du sujet

Le barème présenté ci-dessous est structuré de façon radiale depuis la genèse magmatique des ressources minérales, l'hydrothermalisme, la sédimentation/placer (Terre Interne vers l'Externe) car les évolutions sont souvent dans cette direction, puis les matériaux et ressources énergétiques et l'exploitation des ressources.

4.3.3 Commentaires détaillés

Le commentaire présenté ci-dessous est structuré de façon radiale depuis la genèse magmatique des ressources minérales, l'hydrothermalisme, la sédimentation/placer (Terre Interne vers l'Externe) car les évolutions sont souvent dans cette direction, puis les matériaux et ressources énergétiques et l'exploitation des ressources.

Introduction	
Analyse du sujet qui débouche sur des fils directeurs ancrés dans une approche géologique, Contexte	
Analyse des termes du sujet, problématique, amorce du plan	

Notions de ressources minérales		
Définitions		Ressources minérales
		Gîte minéral
		Minerai
Répartition	Ressources liées à des processus	Enrichissements liés à des processus géologiques (fusion, cristallisation, métamorphisme), préservation en milieu anoxique et diagénèse
	Répartition hétérogène en lien avec contexte géologique de formation	Subduction (Cu), Boucliers continentaux (Fe), Obduction (Ni), Rift (potasse), Marge passive (pétrole) - lien avec contexte géologique, climat
	Grands types de ressources	Métalliques, non métalliques, énergétiques
Notions économiques	Facteurs de concentration	Concentration « économique » d'un élément à un moment donné sur l'abondance crustale moyenne de l'élément
		Prix, réserves et indice de criticité
	Facteurs économiques	Difficulté et coût d'extraction, concentration, demande/cours de l'élément
		Evaluation de la rentabilité

Ressources métallifères		
Principaux types de gisements métallifères	Définition "métallifère"/"métallique"	contient métal - filon, gisement, gîte
	Différents Gîtes minéraux	Gîtes magmatiques, hydrothermaux, sédimentaires, en placers, résiduels
	Relations pétrogénétiques	Source, extraction, accumulation
Gîtes minéraux magmatiques	Distribution élément/processus	Notion de compatibilité/incompatibilité - Règle de Goldschmidt liés aux processus magmatiques, fusion partielle + cristallisation fractionnée
	Intrusions litées	Elements groupes du platine, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt (+Re, Au)
		Sidérophile - chalcophile
		Processus: fort taux de fusion et cristallisation +/- assimilation intrusions litées - Bushveld, Noril'sk Chromitites - cristallisation fractionnée + mélange magmatique ou assimilation Gisements - Merenski Reef, Noril'sk
Carbonatites	Elements Terres rares - Lanthanides	
	Abondances manteau/croûte	
	Très faible taux de fusion + cristallisation + immiscibilité magmas alcalins Minéraux magmatiques Hautes T - apatites Métamorphisme - minéraux basses températures: britholite, monazite, xenotime, bastnäsité Gisements - Bayan Obo, Mountain Pass	
Granites pegmatitiques	Définitions- roches gros grains - fin de cristallisation - filons ou amas - REE, Li, Ta, ...	
	LCT granite subalumineux à subalcalins/subduction (ex Limousin) ou intraplaque et NYF - granite peralumineux anatexie-collision (Strange Lake Canada)	
	Magma différencié (cristallisation fractionnée) + fluants + 10% eau avec sur-refroidissement, déséquilibre Gisements - minéraux, éléments...	
Gîtes minéraux hydrothermaux	Facteurs clés	Fluides: eaux météoriques, fluides aqueux magmatiques, eaux juvéniles, ou mélange Actions des fluides: dissolution, transport, dépôt
	Gîtes hydrothermaux liés aux roches magmatiques	Fluides magmatiques et météoriques
		Dorsales : T élevée, eau de mer, lessivage, précipitation des métaux, VMS, gisements
		Porphyres : faible P, subduction-ceintures orogéniques, Cu, Mo, gisements
Gîtes hydrothermaux liés aux bassins sédimentaires	Skarns : métasomatisme, roches sédimentaires/magmas, Haute/moyenne/basse T; zonation dépôts : Sn, W, Mo, Pb...	
	Bassins sédimentaires - lien avec orogène, métamorphisme, intrusion zones cisailantes, pression hydrostatique importante, T, filons	
	Gisements + minéraux, éléments	
Gîtes minéraux sédimentaires	Formations océaniques rubanées de fer (BIF ou Ibabirites)	Oxygénation océan, archéen-début protérozoïque, précipitation Fe ³⁺ , Roches rubanées, alternance bandes siliceuses et minéraux ferrugineux Gisements - ex Minas Geraes, Brésil
	Placers	Gisement secondaire, alluvionnaire
		Sédimentation par gravité, diagramme de Hjulström - érosion, transport, dépôts Gisements
Gîtes minéraux résiduels	Facteurs clés	Altération, hydrolyse, dissolution - goldschmidt Climat tropical humide - T, précipitations, lessivage Transport, précipitation - seuil solubilité lié évaporation, EH et PH, T
	Latérisation	Processus pédogénèse, dégradation des minéraux, concentration en Al, Fe Profil latéritique: zone lessivage (saprolite), zone accumulation (argiles tachetées, cuirasses), sol - distribution Fe, Ni, Al, Mn, Au
		Gisement Nickel, Bauxite

Les ressources non métallifères		
Gîtes minéraux sédimentaires ou issus des minéraux résiduels	Dépôts évaporitiques	Sursaturation milieu
		Lagunes, bassins faibles profondeur (remplissage, subsidence, séquences rubanées)
		Sebkhas/salars - lacs continentaux fermés - gisements salpetres, nitrate sodium,... exemple
Les matériaux de constructions	Kaolinisation	Altération feldspaths, réaction albite=>kaolinite Gisement de kaolin, ex saint Mathurin
	Définitions	Roches ou minéraux, brut ou transformé, carrière
	Pierres de construction et pierres ornementales	Contexte régional Exploitation, extraction Exemples
Les matériaux industriels	Granulats	provenance: alluvion,ou roches concassées de nature variables Exemple : sable, graviers pour bétons, reseau routiers...
	Liants et enduits, briques et tuiles	Platre, chaux, ciment, béton, briques exemple d'utilisation
	Sables et grès siliceux	principalement grain de quartz Utilisation - moule fonderie, sidérurgie, électronique...
Minéraux Gemmes	Calcaires et dolomies	Calcite (CaCO3) et Dolomite (Ca, Mg)(CO3)2
	Feldspaths	Utilisation - amendement agricole, fabrication verre, sidérurgie, ... silico-aluminates de sodium, potassium, calcium
	Argiles	Utilisation (ceramique, verre) - gisement (Aude, Pyrénées) Silico-aluminates à structure en feuillets, altération feldspaths et silicates FeMg
	Engrais et fertilisants	Potasse, nitrate, phosphate Gisements
	Abrasifs	Minéraux ou mélange de minéraux en fonction dureté Exemple de gisement - diamant, ...
		Exemple de processus

Les ressources énergétiques		
Les éléments radioactifs	Uranium	Radioactif, isotopes (ratio naturel), désintégration
		Métallique et énergétique - Enrichissement lié aux granites (lessivage puis piégeage dans failles, discordance)
		Processus - Redox (mobile/oxydant...) Gisement - minéraux Pitchblende ou uraninite
Les combustibles fossiles	Gisements	Impacts environnementaux, exploitation, traitement
		Stokage des déchets (principe, stokage en profondeur: milieu fermé, asismique, compétent...) - Site expérimental de Bure
	Introduction	Définition, 3 états, notion hydrocarbure C et H
		Discussion sur ressources minérales/hydrocarbures
		exploitation: gisements continentaux, plateformes continentales, domaine + profond, on-shore, off-shore Gisements les + importants
Figures incontournables	Formation: production MO, préservation, diagénèse + enfouissement, migration et piège	
	Diagramme de Van Krevelen + Fenetre a huile et à gas	
Hydrocarbures liquides et/ou gazeux (Pétrole et/ou Gaz)	Environnements	
	Migration et piège	
	Exploitation - gisement	
Charbons	Pétrole non conventionnel , Gaz naturel, Huile et gaz de schistes - impacts environnementaux	
	surtout paléozoïque; bassin flexural d'avant chaine, environnement lacustre, plaine deltaïque (cyclothème), rifts	
	Evolution thermique de la matière organique - ref diag Van Krevelen Maturation, enfouissement, subsidence - tourbe, lignite, bitume, anthracite	

Exploitation des ressources		
Explorations	Process, méthode de prospection	Méthode de prospection et extraction en lien avec les processus de concentration
Conséquences	Progrès, développement	Développement technologique, économique et social
	Modification paysages, Impacts écosystèmes	modification végétation et sol, morcèlement ou perte biotopes... Exemple bassins houillers réhabilitation des carrières
	Traitement et rejet des déchets	Terrils, stabilité mécanique, combustion spontanée, circulation eaux météoriques et pollution
	Pollution des eaux	Rivière et nappe phréatique (H2S, mercure, cyanure), toxicité
	Pollution atmosphérique	Poussières, aérosols lors de l'exploitaion Effets indirects: utilisation des energies fossiles - CO2...
Limites de l'exploitation des ressources	Ressources non renouvelables ou épuisables	Définition, indice criticité
	Conflits internationaux	Relation conflit, économie et ressources naturelles
Remédiation	Recyclage	Métaux: important si forte criticité, préoccupation environnements, gain energie
	Transition énergétique	Energie fossile vers energie renouvelable (solaire, eolien, geothermei...), enjeux

Conclusion	
Synthèse (qui n'est pas une simple redite) des idées fortes développées au long de l'exposé avec ou pas un schéma de synthèse	
Ouverture de qualité vers un prolongement intéressant du sujet/remise en perspective : Développement durable, Apports du géologue lors de la prospection et de l'exploitation, Ressources « extraterrestres », ...	

5. Les épreuves pratiques

Les sujets présents dans ce rapport peuvent présenter une mise en page un peu différente de celle utilisée lors des épreuves car ils contiennent des éléments de réponse aux questions.

5.1 Épreuve de travaux pratiques de spécialité du secteur A : Sujet et commentaires

Le sujet d'option proposé pour le secteur A de la session 2023 portait sur l'étude anatomique et fonctionnelle du rein de Mammifère. Ce sujet faisait appel à la mise en œuvre de compétences théoriques et pratiques en biologie cellulaire, en biologie moléculaire, en biochimie, en physiologie animale et en électrophysiologie. Il permettait ainsi une évaluation transversale des compétences de secteur A. Il permettait également de tester les capacités d'analyse et de réflexion des candidats sur différents types de données expérimentales. De plus, plusieurs parties sur ordinateur (logiciel Genigen2, utilisation d'un tableur) ont permis d'évaluer les aptitudes des candidats à utiliser les outils informatiques, indispensables pour le métier d'enseignant de SV-STU.

Ce TP comportait 3 parties, et il était proposé aux candidats une feuille de route comprenant un planning et des indications leur permettant de s'organiser durant l'épreuve. La plupart des candidats ont réalisé les différentes manipulations proposées dans les deux premières parties du TP, ce qui témoigne d'une bonne lecture du sujet et d'une bonne organisation. Néanmoins, peu de candidats ont traité correctement la troisième partie du TP et fait les manipulations associées, ce qui s'est donc révélé discriminant. Dans l'ensemble, les candidats ont présenté de bonnes connaissances théoriques sur les différents sujets. En revanche, l'application pratique de ces connaissances à un sujet précis est souvent approximative.

La majorité des candidats a montré de bonnes qualités manipulatoires. L'utilisation du matériel de laboratoire de base est plutôt bien connue des candidats (pipettes, centrifugeuse, colorimètre, ...). Le jury tient cependant à souligner quelques points importants :

- les manipulations impliquant des enzymes telles que la polymérase doivent être réalisées sur glace. Ceci était indiqué dans le sujet mais trop de candidats ne l'ont pas fait, ce qui impacte le résultat des expériences mais aussi la notation en salle : la capacité à intégrer toutes les précisions indiquées dans les protocoles fait partie de l'évaluation.
- les règles d'hygiène et sécurité associées aux expérimentations sont peu respectées par les candidats. Trop de candidats conservent leurs gants après manipulation et se touchent le visage / tapent à l'ordinateur / boivent dans leurs gourdes avec leurs gants.
- une bonne manipulation implique une bonne organisation de la paillasse. De nombreux candidats laissent trainer des cônes sales et du matériel usagé sur la paillasse.

Rappelons que l'organisation de l'espace de travail et le respect des règles élémentaires de bonnes pratiques sont également évalués en salle par les examinateurs.

Enfin, il était demandé d'appeler le jury à l'issue de certaines expériences pour vérifier les résultats. Certains candidats oublient d'appeler le jury ou bien ne sont pas prêts ou n'ont pas terminé lorsqu'ils appellent le jury. Ces oublis sont fortement dommageables pour les candidats et impactent nécessairement leur notation.

Le code couleur adopté pour la suite de la correction est le suivant : en bleu des remarques sur les réponses apportées par les candidats ; en rouge des éléments de correction.

□

AGRÉGATION DE SCIENCES DE LA VIE - SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

CONCOURS EXTERNE – EPREUVES D'ADMISSION – Session 2023

□

TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITÉ DU SECTEUR A Durée totale : 6 heures

ÉTUDE ANATOMIQUE ET FONCTIONNELLE D'UN ORGANE : LE REIN

Les 3 parties sont indépendantes :

- **Partie I : Exploration anatomique et fonctionnelle d'un organe : le rein**
Durée conseillée : 1h30 - barème indicatif : 25 points sur 100
- **Partie II : Identification d'un échantillon par une technique de biologie moléculaire**
Durée conseillée : 2h00 - barème indicatif : 35 points sur 100
- **Partie III : Etude du fonctionnement rénal en situation pathologique**
Durée conseillée : 2h30 - barème indicatif : 40 points sur 100

L'utilisation de la calculatrice est autorisée. Celle-ci sera fournie au candidat.

Les réponses aux questions figureront dans les cadres réservés à cet effet.

N'oubliez pas d'appeler les examinateurs lorsque cela est demandé.

PREAMBULE :

Attention ! Certaines manipulations comportent des étapes longues ou la mise en route d'appareils par le jury : les conditions et les temps limites de réalisation de ces étapes sont indiqués ci-dessous.

Indications sur l'organisation de l'épreuve :

- Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes.
- La partie I.A comporte une dissection
- La partie II comporte une préparation d'ADN génomique (40min), suivie de la réalisation d'une PCR (2h), et d'une électrophorèse (1h). Pensez à mettre à profit les multiples temps d'attente pour anticiper sur les manipulations suivantes ou la réponse aux questions. **Un seul gel vous sera fourni. Les dépôts devront se faire au minimum 1h avant la fin de l'épreuve sous la supervision du jury.** La prise de photographie sera réalisée par le jury et la photographie vous sera remise.
- La partie III.C comporte une manipulation de dosage (30min).
- Les réponses à chaque question sont à apporter dans le cadre prévu à cet effet. Une lecture du sujet dans son intégralité est utile notamment pour s'imprégner de la problématique proposée.
- Tout le matériel nécessaire aux manipulations est disposé sur les paillasses de chaque candidat. **Il ne sera pas délivré de matériel ou d'échantillon supplémentaire.** Le jury rappelle que **toutes les manipulations de biologie moléculaire utilisant des enzymes doivent être intégralement réalisées dans la glace.**
- Au cours de l'épreuve, certains résultats seront contrôlés par les membres du jury en salle. L'énoncé mentionnant cette obligation, vous appellerez un membre du jury qui examinera votre résultat.
- **Planning indicatif :**
 - t0 : Réalisation de la dissection (I.A.1)
 - t + 40min : Extraction d'ADN (II.A)
 - t + 2h : Lancement de la PCR (II.C)
 - t + 4h : Lancement du gel d'électrophorèse (II.C)
 - Les autres parties peuvent être intercalées dans ce planning à la volonté du candidat.

Partie I : Exploration anatomique et fonctionnelle d'un organe : le rein

Partie A : Dissection d'un rein de mammifère avec identification des structures associées

I.A.1 – Effectuer une dissection de rein de mammifère à partir de l'organe que vous avez à votre disposition. Il vous revient de choisir le plan de coupe adapté à une observation la plus complète possible des structures de cet organe.

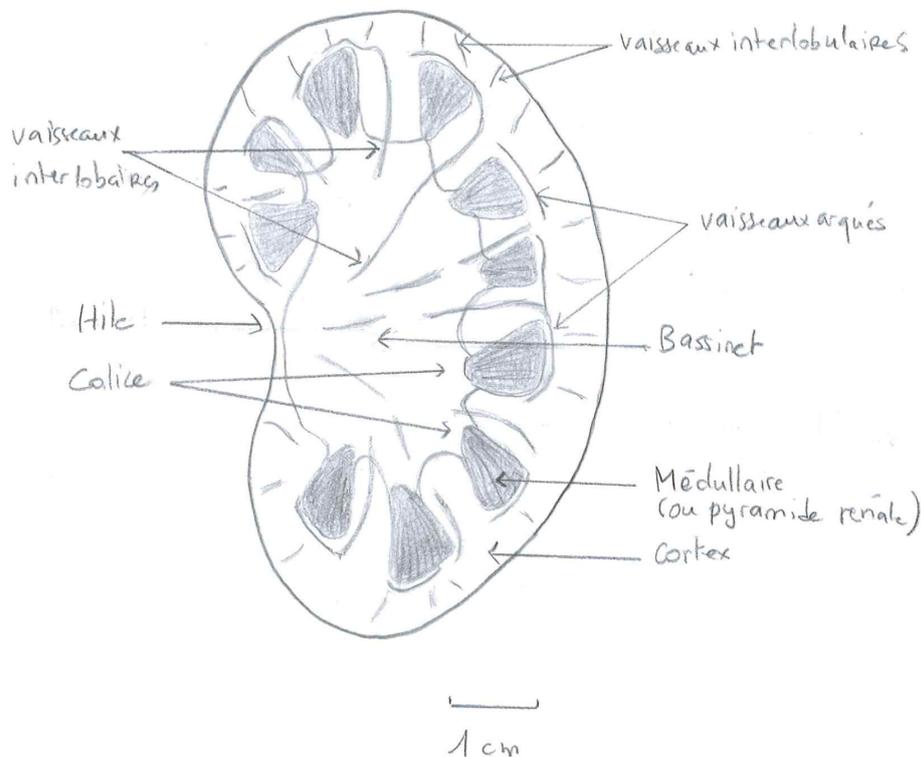
A partir de votre dissection, réalisez un dessin d'observation titré et légendé du rein.

Appelez un examinateur afin qu'il évalue la qualité de la préparation.

▣ Réponse à la question IA1

La majorité des candidats a réalisé la dissection rein selon le plan de coupe attendu (coupe longitudinale). Quelques dessins étaient de très bonne qualité. Après dissection, il est à noter qu'il n'est pas possible de distinguer les artères et les veines. On attendait donc des candidats qu'ils indiquent le nom des vaisseaux. Par ailleurs, sur les préparations fournies aux candidats l'artère rénale, la veine rénale et l'uretère étaient pratiquement totalement sectionnés. De ce fait, leur identification étant délicate, il n'était pas attendu des candidats qu'ils dessinent et légendent ces structures.

Dessin d'une coupe longitudinale
d'un rein de mammifère observé à l'œil nu



I.A.2 – Rappelez les fonctions des différentes parties légendées sur votre dessin.

▫ Réponse à la question IA2

La plupart des candidats a décrit le rôle fonctionnel des néphrons, mais peu d'entre eux ont présenté le rôle des vaisseaux sanguins, des calices et du bassinnet. Il est à noter qu'aucun d'entre eux n'a décrit le rôle de la capsule rénale.

- Capsule rénale : rôle de protection du rein.

- Vaisseaux sanguins : vaisseaux artériels : apport de l'O₂, des nutriments (glucose, ...) aux cellules rénales ; vaisseaux veineux : retour du sang vers le cœur, après filtration et ajustement des entrées aux sorties (pour l'eau et les solutés tels que les ions). Le sang veineux quittant les reins est dépourvu des déchets du métabolisme (urée, NH₄⁺), et des déchets extérieurs (par exemple certains médicaments).

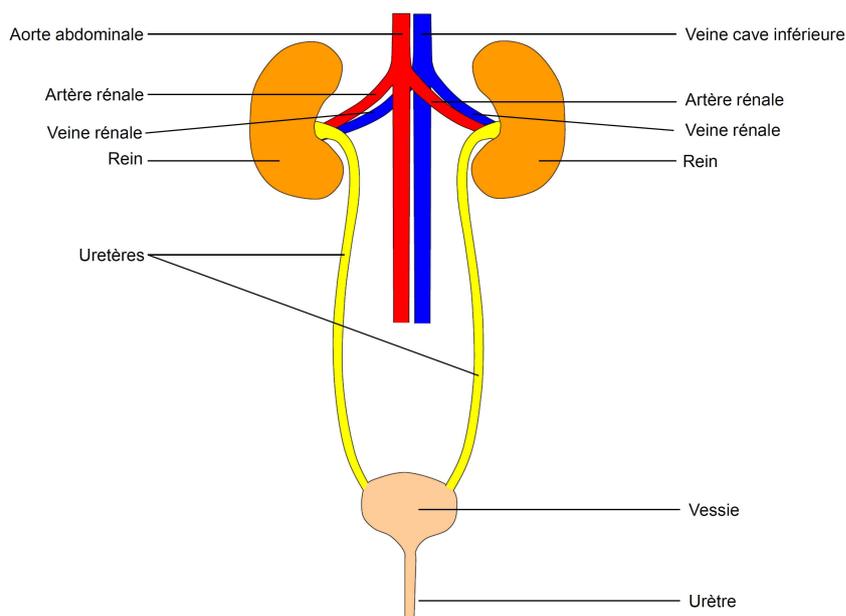
- Cortex et médullaire : contiennent les néphrons qui sont les unités fonctionnelles du rein. Les néphrons permettent la formation de l'urine définitive par l'élaboration d'un ultrafiltrat glomérulaire (ou urine primitive) au niveau de la barrière de filtration glomérulaire, puis par remaniement de cet ultrafiltrat le long des différents segments tubulaires par des phénomènes de réabsorption et de sécrétion.

- Calices, bassinnet : permettent le transport de l'urine définitive vers la vessie via l'uretère.

I.A.3 – A l'aide d'un schéma légendé le plus précis possible, replacez l'organe étudié dans l'appareil auquel il appartient.

▫ Réponse à la question IA3

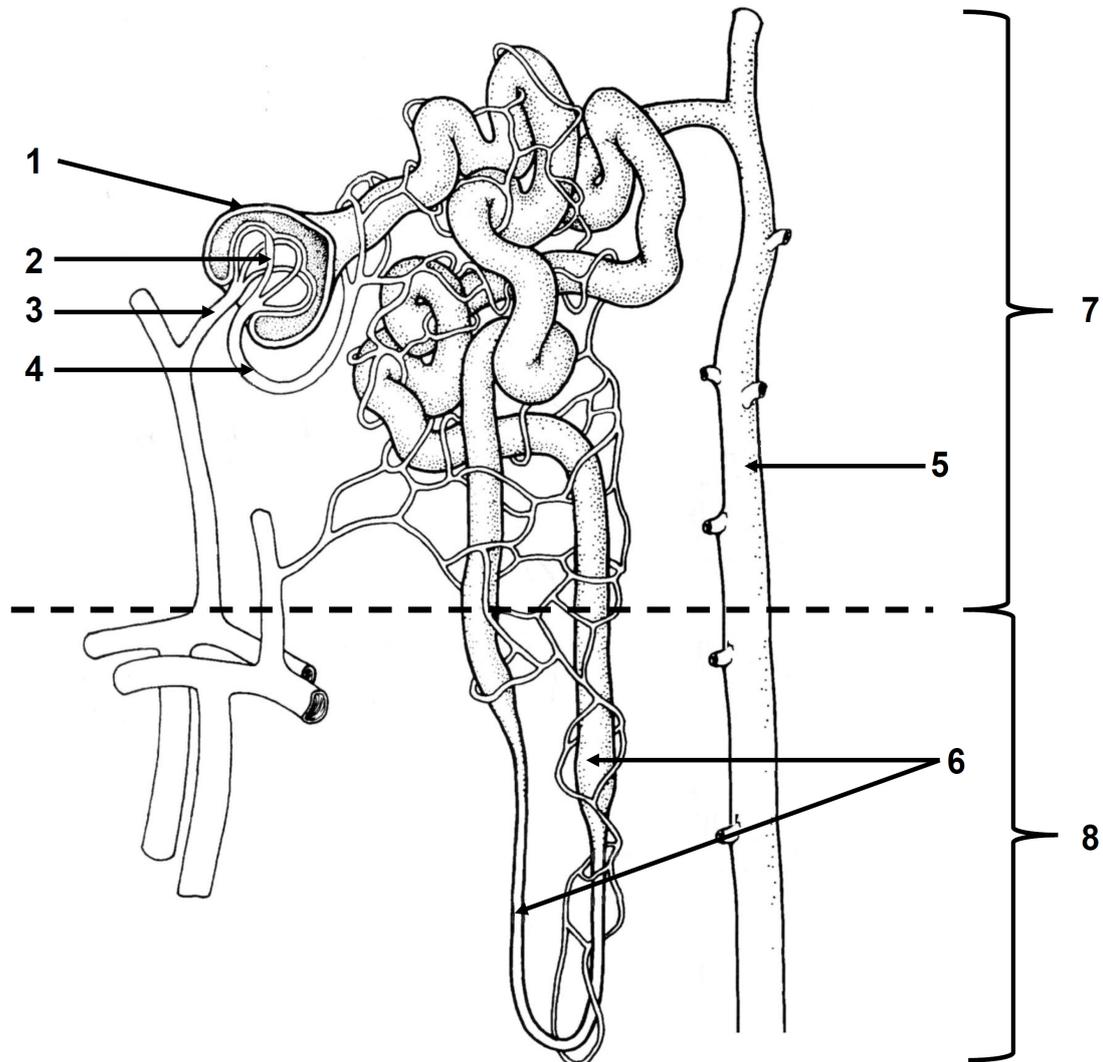
On attendait ici un schéma de l'appareil urinaire. La plupart des candidats ont fait figurer sur leur schéma les deux reins, les deux uretères, la vessie et l'urètre. En revanche, peu d'entre eux y ont également représenté la vascularisation de cet appareil. Un exemple de schéma attendu est présenté ci-dessous.



I.A.4. La figure ci-dessous illustre schématiquement un néphron et les vaisseaux sanguins qui l'alimentent.

Placez des flèches indiquant le sens de circulation du sang dans les vaisseaux sanguins, et indiquez par les couleurs conventionnelles le circuit veineux et le circuit artériel.

Nommez les structures numérotées.



□ Réponse à la question IA4
Nommez les structures numérotées :

La réponse à cette question ne posait pas de difficultés particulières, mais peu de candidats ont été en mesure d'identifier correctement les différentes structures. En effet, beaucoup d'entre eux ont confondu la capsule de Bowman avec le glomérule, et l'anse de Henle avec le tubule proximal. Par ailleurs, certains d'entre eux ont identifié l'artériole afférente comme étant l'artère rénale, d'autres ont identifié l'artériole efférente comme étant la veine rénale.

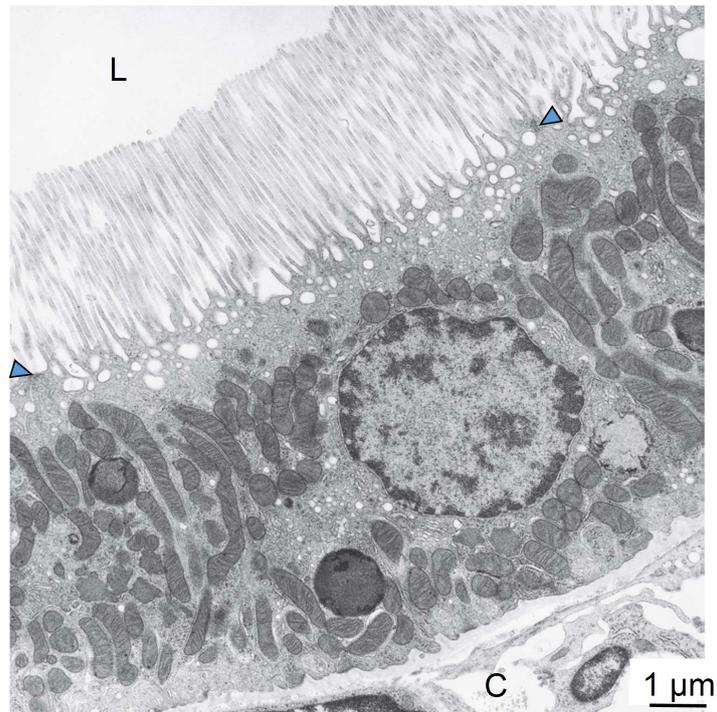
1 – Capsule de Bowman
2 – Glomérule
3 – Artériole afférente
4 – Artériole efférente

5 – Canal collecteur cortical
6 – Anse de Henle
7 – Cortex
8 – Médullaire

Partie B : Analyse des structures cellulaires associées au rein

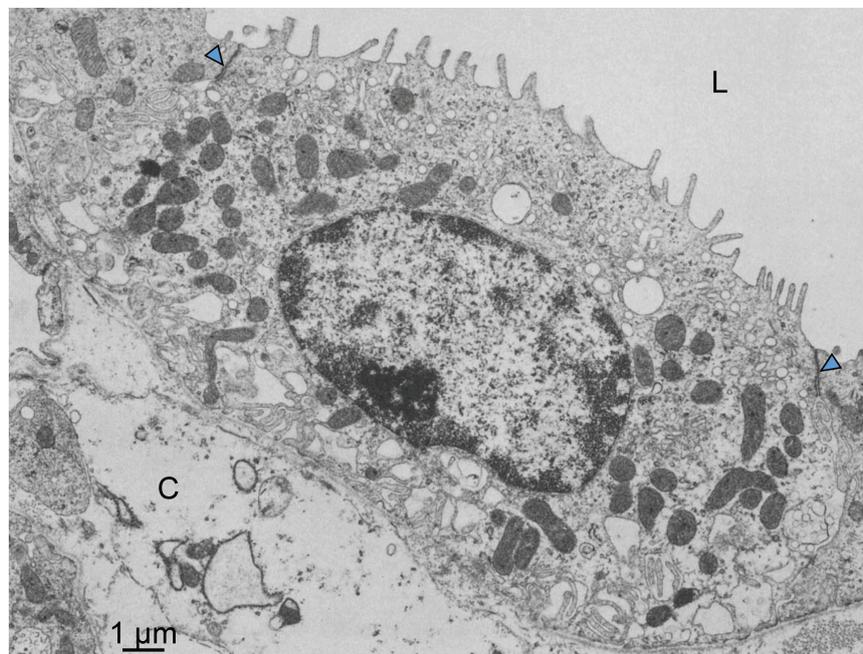
Les clichés présentés ci-dessous ont été obtenus pour deux types de cellules du tubule rénal.

Tubule contourné proximal



X 9000

Canal collecteur cortical



X 12000

Pointes de flèche : jonction serrée ; L : lumière du tubule ; C : lumière du capillaire sanguin.

I.B.1 Quel type de microscopie a permis l'obtention de ces clichés ? Justifiez votre réponse.

▫ Réponse à la question IB1

Pour cette question, la majorité des candidats a identifié le type de microscopie ayant permis l'obtention des deux clichés, et l'ont correctement justifié de façon argumentée.

On observe sur les deux clichés l'ultrastructure des cellules : cet aspect est non visible en microscopie optique (organites, microvillosités, ...). Les clichés ont donc été obtenus par microscopie électronique à transmission.

I.B.2 Décrivez le principe de cette microscopie, ainsi que les différentes étapes expérimentales nécessaires à l'obtention de ces clichés.

▫ Réponse à la question IB2

Le principe de la microscopie électronique à transmission est globalement connu pour la plupart des candidats, mais les différentes étapes ont souvent été présentées de manière incomplète.

Principe : Le microscope électronique utilise un faisceau de particules d'électrons, émis par le canon à électrons et traversant des anneaux électromagnétiques (agissant comme des lentilles) pour converger sur une coupe ultrafine de l'échantillon à observer. Les électrons qui interagissent avec les atomes du tissu biologique qui a été préalablement imprégné de sels de métaux lourds (uranium, plomb, osmium, ...) sont réfractés. Les autres traversent l'échantillon et convergent au travers de lentilles électromagnétiques sur un écran de visualisation ou un film photographique. Les constituants cellulaires sont donc révélés avec divers degrés de contraste, du plus clair au plus sombre.

Etapes : 1) Prélèvement de l'échantillon ; 2) Fixation ; 3) Rinçage ; 4) Déshydratation ; 5) Inclusion dans de la résine ; 6) Coupes ultrafines avec un ultramicrotome ; 7) Etalement sur grille métallique ; 8) Contraste avec des sels de métaux lourds ; 9) Observation.

I.B.3 Déterminez la largeur de la cellule de tubule contourné proximal présentée sur le cliché ci-dessous. Justifiez votre calcul.

▫ Réponse à la question IB3

La plupart des candidats a déterminé correctement la largeur de la cellule.

La largeur de la cellule peut être déterminée en s'appuyant sur la localisation des jonctions serrées qui délimitent les cellules entre elles. La largeur de la cellule est donc comprise entre ~9 et 11 μm .

I.B.4 Légendez un maximum d'éléments identifiés sur les deux clichés.

Les légendes sont à indiquer directement sur les images page 6.

Sur chacun des clichés, le cytoplasme, le noyau et ses constituants (hétérochromatine, ...), ainsi que les mitochondries ont été pour la plupart du temps correctement identifiés. Il est cependant à noter que certains candidats n'ont pas identifié l'enveloppe nucléaire, la bordure en brosse et les microvillosités. Peu d'entre eux ont identifié la lame basale. Sur les deux clichés, on remarque la présence de vésicules de taille variable dont le contenu est peu dense aux électrons. Ces structures pouvant être de nature différentes (vésicules d'endocytose recouvertes ou non de clathrine, endosomes précoces, ...) et difficilement identifiables vu le grossissement de clichés : il n'était pas attendu des candidats qu'ils légendent ces structures. Sur le cliché du tubule contourné proximal, on observe par ailleurs plusieurs vésicules d'un diamètre d'environ 1 μm dont le contenu est très dense aux électrons. Leur nature étant également difficilement identifiable (lysosome, autolysosome, ...), il n'était pas attendu des candidats qu'ils légendent ces structures.

I.B.5 En analysant ces deux clichés, établissez une relation entre les structures cytologiques et la fonction de transport des solutés par ces deux types de cellules rénales.

▫ Réponse à la question IB5

De nombreux candidats ont répondu à cette question de manière très superficielle. Très peu d'entre eux ont en effet analysé avec précision les structures cytologiques des deux types de cellules et l'ont mis en relation avec la fonction de transport des solutés.

Cellule du tubule contourné proximal : on observe une bordure en brosse développée et de nombreuses mitochondries.

Cellule du canal collecteur cortical : on observe peu de microvillosités, et les mitochondries sont moins nombreuses.

Les microvillosités augmentent la surface d'absorption des cellules au niveau de leur pôle apical qui contient des canaux et des transporteurs ioniques. Les mitochondries interviennent également dans le transport des ions et d'autres substances dissoutes par les cellules rénales. Dans ce cadre, elles produisent de l'énergie sous forme d'ATP nécessaire au fonctionnement des transports actifs primaires tels que la Na^+/K^+ -ATPase exprimée sur la membrane basolatérale des cellules. Les transports actifs primaires assurent indirectement le fonctionnement des transports actifs secondaires. En effet, le déplacement d'une molécule contre son gradient chimique ou électrochimique à travers ces derniers est rendu possible par l'énergie provenant du déplacement d'une molécule dans le sens de son gradient électrochimique établi par les transporteurs actifs primaires.

De ce fait, dans la mesure où les microvillosités et les mitochondries sont plus nombreuses dans les cellules du tubule contourné proximal, on peut conclure que ces cellules présentent une capacité d'absorption supérieure à celle du canal collecteur cortical.

Partie II : Identification d'un échantillon par une technique de biologie moléculaire : la PCR

Les reins étudiés dans la partie I ont été fournis par un abattoir. Cependant, nous ne connaissons pas l'espèce animale à laquelle appartient cet organe. Etant donné sa taille, celui-ci peut être un rein de porc, de veau, ou de mouton. Pour savoir précisément à quelle espèce appartient le rein dont vous disposez, vous allez utiliser une technique classique de biologie moléculaire : la PCR.

Partie A : Réaliser une extraction d'ADN à partir d'un échantillon biologique.

Pour réaliser votre PCR, vous devez au préalable réaliser une **extraction d'ADN génomique** à partir d'un échantillon du rein de la partie I. Pour cela, vous suivrez le protocole suivant :

- Prélever un morceau de rein d'environ 0,5cm³ et le placer dans le mortier.
- Ajouter 4mL de tampon de lyse (TLyse – détergent) et l'intégralité du sel contenu dans le tube "Sel". Broyer l'échantillon dans le tampon et le sel à l'aide du pilon.
- Placer l'entonnoir fourni sur l'erenmeyer 50mL. Placer 1 épaisseur de gaze + 1 épaisseur de coton dans l'entonnoir et verser le broyat dessus. Seul le liquide doit passer à travers le filtre. Presser le coton avec la gaze pour récupérer le filtrat.
- Transvaser le volume de filtrat récolté dans un tube Falcon® de 15mL.
- Préparer un volume d'éthanol 100 glacial équivalent au volume du filtrat.
Demander au jury pour récupérer le tube d'éthanol à -20°C.
- Ajouter délicatement l'éthanol sur les parois du tube avec un pipette. Un précipité blanc doit se former à l'interface filtrat/éthanol.
- Patienter quelques minutes le temps que le précité remonte vers la surface. *Si le précipité ne remonte pas, éliminer l'éthanol progressivement avec la pipette. Jusqu'à avoir accès au précipité blanc.*
- Prélever le précipité avec la pipette P1000 et le transvaser dans un microtube 1,5mL.
- Centrifuger le tube à 10 000rpm pendant 4 minutes.
- Récupérer délicatement le microtube ; un culot blanc doit s'être formé au fond du tube. Éliminer un maximum de surnageant avec la pipette.
- Placer votre tube ouvert dans la plaque chauffante à 37°C (paillasse commune) et laisser évaporer l'éthanol quelques minutes.
- Quand le culot est bien sec, ajouter 50µL d'eau ultra pure (H₂O UP). Resuspendre le culot en faisant des aller-retours avec la pipette. *Si le mélange est trouble, centrifuger 2 minutes à 10 000 rpm et récupérer uniquement le surnageant.* Utiliser 1µL de cette extraction d'ADN pour faire votre PCR (cf. Partie II.C).

▫ Réponse à la question IIA1

Les principales étapes du protocole d'extraction et les rôles des différentes solutions sont bien connus des candidats.

- Broyage mécanique avec le pilon + tampon de Lyse avec détergent pour perméabiliser les membranes (lyse cellulaire) et extraire l'ADN + NaCl qui facilite le broyage mécanique et la solubilisation de l'ADN.
- Filtration pour se débarrasser des débris cellulaires dont un maximum de protéines
- Précipitation de l'ADN hors de la phase aqueuse par l'éthanol 100 glacial
- Récupération de la chromatine (ADN + protéines résiduelles) et changement de tube pour se débarrasser de toutes les autres molécules extraites dans le filtrat.
- Centrifugation pour concentrer l'ADN précipité dans un culot.
- Elimination de l'éthanol et re-suspension de l'ADN dans de l'eau.

II.A.1 – Précisez l'intérêt des différentes étapes de ce protocole en indiquant la fonction des produits utilisés lors de cette purification.

II.A.2 – Selon vous, quel est le degré de pureté de l'ADN que vous avez extrait ? *Justifiez*

▫ Réponse à la question IIA2

Peu de candidats ont conscience que ce type protocole d'extraction permet d'extraire la chromatine (ADN + histones). Les réponses étaient donc généralement superficielles et non argumentées.

Ce protocole d'extraction est plutôt approximatif et ne permet pas d'éliminer correctement les protéines de l'échantillon. Il aurait fallu passer par une étape de déprotéinisation au phénol-chloroforme ou utiliser une colonne de filtration spécialisée.

II.A.3 – Pour vérifier la pureté de l'extraction ADN et déterminer la concentration en ADN, on pourrait mesurer l'absorbance à 260nm et 280nm. En quoi cette mesure permet-elle de répondre à ces questions ?

▫ Réponse à la question IIA3

La majorité des candidats connaît le principe de cette mesure. Les explications étaient globalement de bonne qualité.

L'ADN absorbe à 260nm mais peu à 280nm, alors que les protéines absorbent plus à 280nm qu'à 260nm. L'ARN absorbe beaucoup plus à 260nm qu'à 280nm. Ainsi, le rapport A260/A280 d'un échantillon contenant de l'ADN pur sans contamination protéique doit être compris entre 1,8 et 2,0. Les valeurs inférieures à 1,8 indiquent une contamination par des protéines, et les rapports supérieurs à 2,0 indiquent une contamination par l'ARN.

Complément : Une mesure du rapport A260/A230 peut également être effectuée pour identifier les traces résiduelles de solvants (absorbant beaucoup à 230nm).

Partie B : Le choix des amorces de PCR

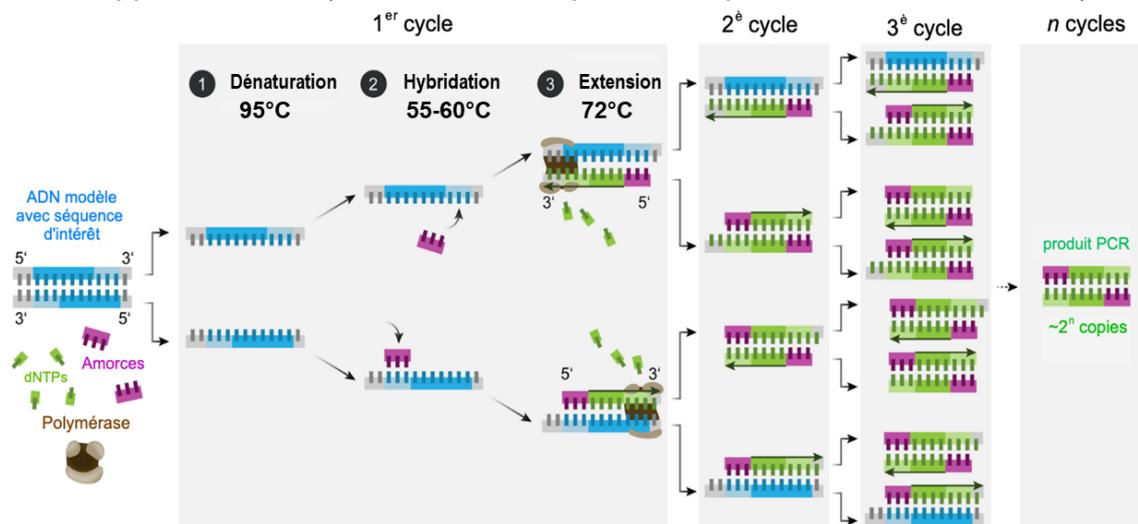
Il n'est pas nécessaire d'avoir répondu à cette partie B pour préparer votre PCR (Partie C). Le jury vous propose des amorces déjà préparées pour la partie C.

L'objectif de cette partie est de proposer une méthode de PCR pour identifier spécifiquement le rein de la partie I, à partir de l'ADN génomique extrait dans la partie II.A.

II.B.1 – Rappelez brièvement, et à l'aide d'un schéma, le fonctionnement de la PCR. A quoi sert cette technique de biologie moléculaire ?

□ Réponse à la question IIB1

Le principe de la PCR est bien connu des candidats. Attention cependant aux représentations parfois approximatives (orientations, températures, position des amorces, ...).



La PCR (Réaction de Polymérisation en Chaîne) sert à amplifier un fragment d'ADN d'intérêt à partir d'un large échantillon d'ADN (matrice d'ADN). Le fragment amplifié est déterminé par les amorces choisies.

II.B.2 – En quoi cette technique permet-elle d'identifier la ou les espèces d'un échantillon biologique ?

□ Réponse à la question IIB2

Seule la moitié des candidats ont compris le principe de la spécificité des amorces, point clé dans le principe de la PCR.

L'amplification n'aura lieu dans une PCR que si les amorces s'hybrident sur la matrice d'ADN utilisée. Ainsi, si les amorces choisies sont spécifiques de la séquence d'ADN d'une espèce, l'amplification n'aura lieu que si la matrice utilisée dans la PCR contient l'ADN de la bonne espèce. Dans le cas contraire, aucun ADN ne sera amplifié.

Pour réaliser votre PCR, vous devez choisir des amorces permettant d'identifier spécifiquement chacune des espèces évoquées dans l'introduction. Pour cela vous disposez du logiciel d'alignement de séquence *Genieen2* ainsi que de séquences d'ADN indiquées dans le tableau ci-dessous :

		RENINE		INTERLEUKIN-2	
		Gène complet	ADNc	Gène complet	ADNc
Homme	<i>Homo sapiens</i>	X	X	X	X
Porc	<i>Sus scrofa</i>		X	X	X
Bœuf	<i>Bos taurus</i>		X	X	X
Mouton	<i>Ovis aries</i>		X	X	X

Ces séquences sont disponibles au format FASTA sur vos postes de travail dans le dossier « Séquences » sur le bureau. Pour utiliser le logiciel *Genieen2* et procéder à des alignements de séquence, veuillez-vous référer au guide d'utilisation fourni en ANNEXE.

II.B.3 – Rappelez à quoi correspond un ADN complémentaire (ADNc). Comment est-il obtenu ?

▫ Réponse à la question IIB3

La vaste majorité des candidats connaît le principe des ADNc

Un ADN complémentaire (ADNc) correspond à l'ADN obtenu par rétrotranscription d'un ARNm ; c'est la séquence complémentaire d'un ARNm.

Pour obtenir des ADNc, on réalise une purification d'ARN à partir d'un échantillon. Ces ARN sont ensuite rétrotranscrits grâce à une reverse transcriptase (ou transcriptase inverse) en utilisant des amorces oligo-dT. Ces amorces étant spécifiques des queues polyA des ARNm, seuls ceux-ci seront rétrotranscrits.

A partir des séquences proposées et du logiciel de comparaison de séquence *Genieen2*, vous devez proposer des amorces permettant d'identifier spécifiquement chacune des 4 espèces animales du tableau.

II.B.4 – On vous propose ici deux gènes au choix pour travailler. Lequel de ces deux gènes souhaitez-vous utiliser ? *Justifiez*

▫ Réponse à la question IIB4

Si la majorité des candidats ont choisi d'utiliser le gène de l'IL-2, peu ont correctement justifié ce choix. Le terme d'ADN génomique n'apparaît que trop rarement dans les copies.

On réalise ici une PCR sur une purification d'ADN génomique. Cet ADN contient donc les introns des gènes. Il est donc plus intéressant d'utiliser le gène de l'Interleukine-2 (IL2) pour lequel on dispose des séquences génétiques complètes. De plus, les introns étant les parties les plus variables, il y a plus de chance d'identifier des amorces spécifiques à chaque espèce dans ces régions. Il est donc fortement conseillé d'utiliser IL2.

On travaille sur de l'ADN génomique, il n'y a aucun intérêt particulier à choisir un gène exprimé dans le rein ici.

Attention au choix des amorces sur des séquences d'ADNc : s'il y a un intron entre les amorces, la taille du fragment augmente et il n'est pas possible de la prévoir.

II.B.5 – On rappelle que les amorces d'ADN sont des séquences de 18 à 20 nucléotides. Comment allez-vous choisir vos amorces pour pouvoir identifier spécifiquement les espèces considérées ?

▫ Réponse à la question IIB5

Il n'était pas attendu ici de connaissances précises sur les séquences des amorces (taux de GC , ...). Le principe du choix d'amorces spécifique aux espèces a été globalement bien compris. En revanche, très peu de copies mentionnent le besoin de déterminer 2 amorces et encore moins le fait que l'une d'elle doit être en reverse-complémentaire.

Il faut choisir 2 amorces par espèce. Ces amorces doivent être bien orientées : l'une en 5'-3' et l'autre en reverse complémentaire.

Les séquences des amorces choisies doivent être spécifiques de l'espèce : c'est-à-dire que ces deux séquences doivent se trouver dans le gène de l'espèce choisie mais pas dans les autres.

Complément : Les amorces doivent également avoir des températures d'hybridation similaires donc des tailles et %GC similaire. On choisit généralement des amplicons de taille faible (<1000pb). Il n'était pas attendu que les candidats connaissent cette information.

II.B.6 – A partir de vos analyses de séquence, dessinez la structure du gène qui vous intéresse (en annotant votre schéma le plus possible).

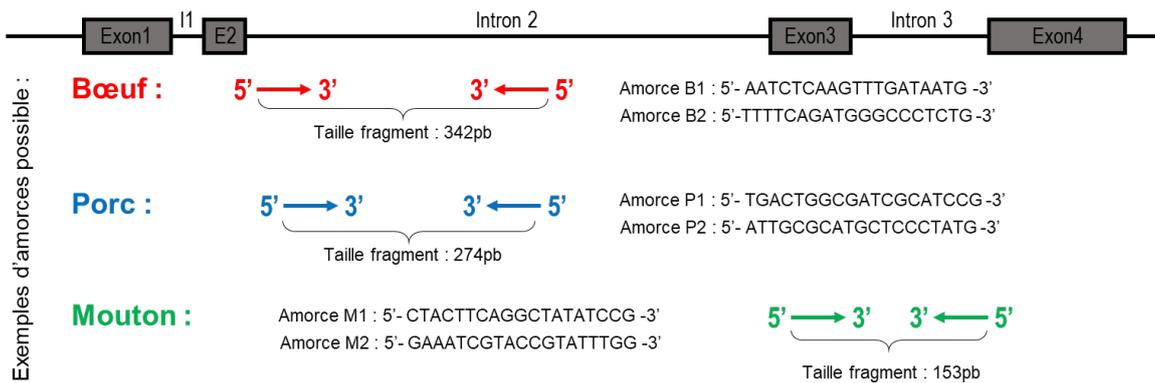
Indiquez sur ce schéma la position des amorces (Bœuf, Mouton et Porc) que vous souhaitez utiliser. Pour chaque espèce, vous préciserez les séquences de vos amorces et la taille attendue lors de l'amplification PCR.

□ Réponse à la question IIB6

L'utilisation du logiciel Genigen2 a posé des problèmes à un grand nombre de candidats, alors que c'est un logiciel couramment utilisé dans l'enseignement secondaire.

Seuls quelques candidats ont compris qu'aligner la séquence génétique avec les ADNc permettait de positionner les exons. Ainsi, la structure du gène n'était quasiment jamais présentée. Peu de candidats ont proposé des amorces pour les trois espèces potentielles étudiées. Lors de la vérification des amorces par le jury, très peu de candidats ont présenté deux amorces complémentaires correctement orientées. Ainsi il y a malheureusement un grand écart entre la théorie (question IIB1 très bien réussie) et la pratique.

Structure du gène IL2



Remarques : La position des amorces sur le gène n'a pas d'importance. Il faut que les séquences choisies ne soient PAS conservées dans les différentes espèces. Les amorces doivent être par paire et d'orientation opposées. La taille du fragment amplifié doit prendre en compte les introns

Appelez le jury pour lui présenter votre choix d'amorces sur une espèce. Justifiez votre choix à partir de l'alignement obtenu sur Geniegen2.

II.B.7 – Quelle vérification supplémentaire pourriez-vous faire pour vérifier la validité des amorces choisies si vous aviez accès à internet ?

□ Réponse à la question IIB7

Peu de candidats ont pensé à comparer leurs amorces avec le reste du génome. De nombreuses copies mentionnent des « banques d'amorces », ce qui n'est pas pertinent pour cette étude.

Possibilité de faire un BLAST sur les génomes complets pour savoir si les séquences choisies se retrouvent ailleurs dans le génome. Ceci permet de vérifier les amplifications indésirables possibles (off-targets).

Partie C : Réalisation d'une PCR et révélation sur gel d'agarose.

Pour cette partie, le jury vous propose des amorces de PCR déjà préparées dans des tubes sur votre paillasse. Vous pouvez donc procéder directement à la PCR à partir de votre extraction d'ADN de la partie II.A. La préparation des échantillons de PCR doit être faite sur la glace.

Vous disposez pour cette PCR des réactifs suivants :

	Concentration dans la solution stock	Concentration finale dans le tube de PCR
Tampon de réaction 5X	5X	1X
Mélange de dNTP	2 mM	0,1 mM
MgCl ₂	25 mM	2,5 mM
Mélange d'amorces	10 µM	1 µM
Taq Polymérase (sur demande)	5 U/µL	1,25 U
H ₂ O		Compléter pour 25µL

Mélanges d'amorces (tubes B, M et P) à 10µM disponible : Bœuf – Mouton – Porc

Préparation d'ADN disponible (tubes ADN M et P) : Mouton - Porc

II.C.1 – Vous disposez d'un maximum de 8 tubes pour votre PCR. De combien de tubes aurez-vous besoin dans cette expérience ? Justifiez l'intérêt de chacun de ces tubes.

□ Réponse à la question IIC1

De nombreuses combinaisons étaient possibles ici pour tester le fonctionnement des amorces et leur spécificité. L'idéal était d'utiliser 8 tubes avec des tubes test, des témoins positifs et des témoins négatifs.

Les 3 tubes test : Amorces B + matrice ADN ; Amorces M + matrice ADN extrait ; Amorces P + matrice ADN extrait

Les 2 tubes témoins positifs : Amorces M + ADN M ; Amorces P + ADN P

Trois tubes de témoins négatifs au choix : Amorces B + H₂O ; Amorces M + H₂O ; Amorces P + H₂O ou Amorce B + ADN P ; Amorce P + ADN B ; Amorce M + ADN P, ...

II.C.2 – Pour chaque réaction de PCR, vous utiliserez 1µL de votre purification d'ADN de la partie II.A. Complétez le tableau ci-dessous avec les volumes que vous allez préparer pour vos réactions de PCR. Justifiez les calculs sur un exemple dans le cadre.

Réponse à la question IIC3	Volumes pour 1 tube	Volume pour 8 tubes
ADN extrait du rein de mammifère	1µL	---
Tampon de réaction 5X	5µL	40µL
Mélange de dNTP	1,25µL	10µL
MgCl ₂	2,5µL	20µL

Mélange d'amorces	2,5µL	-----
Taq Polymérase (sur demande)	0,25µL	2µL
H ₂ O	12,5µL	100µL

▫ Réponse à la question IIC2

Exemple sur mélange d'amorce :

$C_{\text{initiale}} = 10\mu\text{M}$; $C_{\text{finale}} = 1\mu\text{M}$; $V_{\text{finale}} = 25\mu\text{L}$

$C_i \times V_i = C_f \times V_f$ donc $V_i = (C_f \times V_f) / C_i = (1 \times 25) / 10 = 2,5\mu\text{L}$

Dans l'ensemble, les calculs sont justes et bien justifiés.

Réalisez vos mélanges réactionnels (Taq Polymérase sur demande au jury) et conservez-les jusqu'à ce que vous puissiez utiliser le thermocycleur.

II.C.3 – Pourquoi doit-on travailler dans la glace ici ?

▫ Réponse à la question IIC3

Bien que la majorité des candidats réponde correctement à cette question, nombreux sont ceux qui n'ont pas manipulé sur la glace lors de cette étape.

La PCR utilise une enzyme (Taq), la préparation a donc lieu dans la glace pour éviter une dégradation de l'enzyme et son activation trop précoce.

II.C.4 – Le choix des amorces permet de calculer la T_m (température d'hybridation) selon la formule : $T_m = 64,9 + 41 \times (n_G + n_C - 16,4) / (n_A + n_T + n_G + n_C)$ où n_A, n_T, n_C et n_G sont les nombres de A, T, G et C dans la séquence.

Calculez le T_m de l'amorce suivante : 5'- GATCGGTGCTAAGTTCTGGGA – 3'

Pourquoi est-il important de connaître cette température ? Qu'est-ce que cela va changer dans la PCR ?

▫ Réponse à la question IIC4

Dans l'ensemble, cette question a été bien traitée par les candidats.

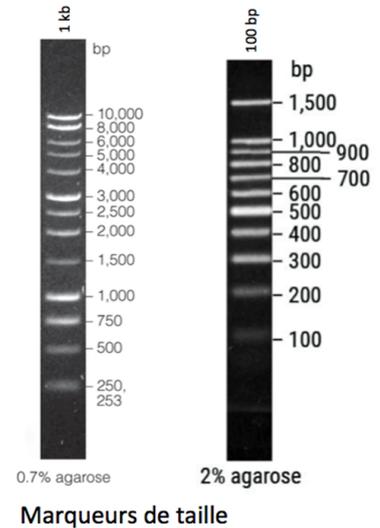
Sur la séquence proposée on compte : n_A=4 ; n_T=6 ; n_C=3 et n_G=8. Donc $T_m = 64,9 + 41 \times (8 + 3 - 16,4) / (4 + 6 + 8 + 3) = 54,36^\circ\text{C}$

Le calcul de la température d'hybridation des amorces est nécessaire pour savoir à quelle température doit être réalisée la 2nd phase du cycle de PCR (phase d'hybridation). Si la température du cycle PCR est trop élevée par rapport au T_m, les amorces ne s'hybrident pas avec l'ADN et il n'y a pas d'amplification. Si la température est trop basse, les amorces peuvent se fixer de façon aspécifique (avec quelques mésappariement) et l'amplification est aspécifique.

Une fois vos réactions de PCR terminées, mettez vos échantillons à migrer dans un gel d'agarose imprégné de SYBR Safe. Vous déposerez 12µL de PCR par puit.

Vous déposerez en parallèle de vos échantillons 10µL d'un marqueur de taille de votre choix (1kb ou 100bp, présentés ci-contre). Les tailles des fragments amplifiés avec les amorces sont indiquées ci-dessous :

Amorces	Bœuf	Mouton	Porc
Fragment	296pb	225pb	212pb



II.C.5 – Justifiez le choix de votre marqueur de taille.

□

Réponse à la question IIC5

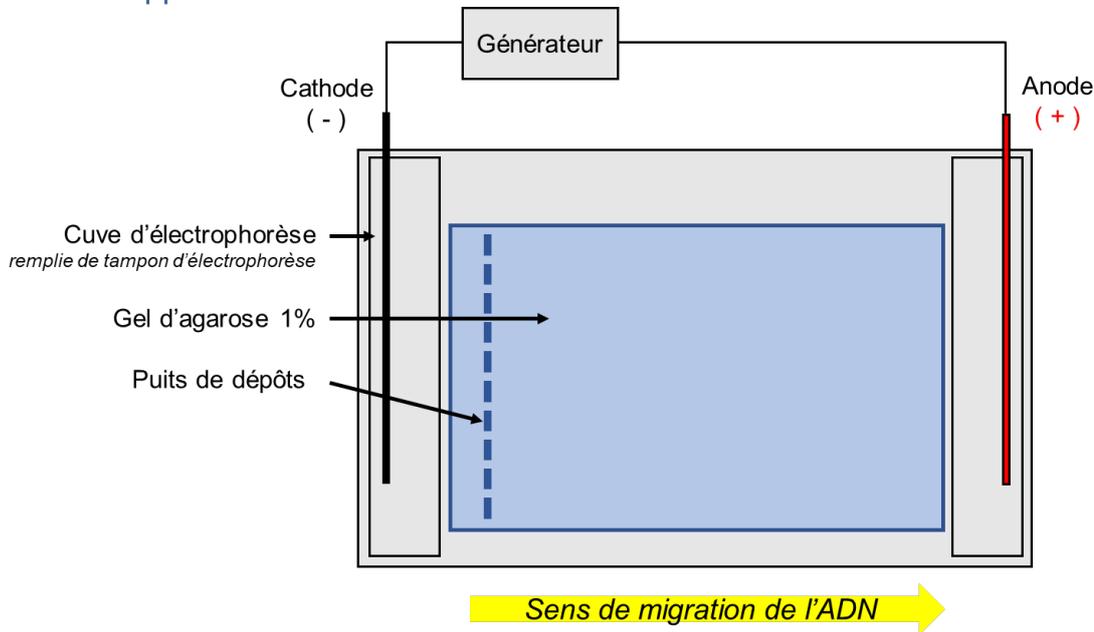
L'essentiel des candidats a bien répondu à cette question.

Les produits de PCR attendus sont compris entre 200 et 300pb. Il faut donc un marqueur ayant une bonne résolution dans cette gamme, donc le marqueur 100bp.

II.C.6 – A l'aide d'un schéma, expliquez le principe de l'électrophorèse d'ADN. En fonction de quel(s) paramètre(s) migre l'ADN ?

▫ Réponse à la question IIC6

Le principe de l'électrophorèse semble bien compris par une majorité des candidats. Cependant, la représentation schématique simplifiée du dispositif est trop souvent brouillon/approximative.



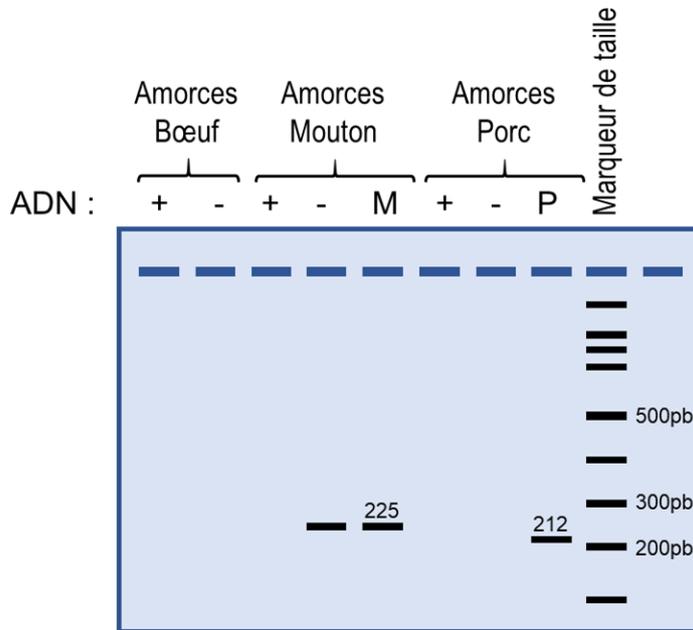
L'ADN est déposé dans les puits du gel d'agarose. Le courant électrique permet de faire migrer les molécules d'ADN (chargées négativement) vers l'anode. Le gel d'agarose est un maillage de polymère qui s'oppose à cette migration. Plus les molécules sont grandes, plus elles sont ralenties par le maillage du gel d'agarose. On opère ainsi un tri de molécules d'ADN selon leur taille

Les molécules d'ADN migrent selon leur taille (les plus petites migrent le plus loin).

II.C.7 – Sur la base des amorces que vous avez choisies dans la partie II.B, dessinez le résultat que vous obtiendriez s'il s'agissait d'un rein de mouton.

□ Réponse à la question IIC7

De façon surprenante, peu de copies ont présenté un dessin théorique de leurs résultats en accord avec les choix d’amorces fait précédemment (IIB6 et IIC1). De plus l’annotation du gel théorique est souvent énigmatique. Il est important pour les candidats d’expliciter leurs notations / de rendre accessible leurs résultats expérimentaux.



Gel d'électrophorèse théorique pour un échantillon d'ADN génomique de Mouton

II.C.8 – Analysez et interprétez le résultat de votre PCR.

□ Réponse à la question IIC8

La majorité des candidats a pu faire migrer sa PCR et obtenu une image de son gel dans les temps du TP. Cependant, peu de candidats ont réellement pris le temps d’annoter leur gel pour le rendre compréhensible (orientation, nom des pistes, tailles, ...).

De plus, l’analyse des résultats est souvent très sommaire. Rares sont ceux qui commencent par l’analyse des contrôles (positifs et négatifs). L’analyse se contente souvent de : « il y a une bande », sans mentionner sa taille, comparer aux autres pistes ... Enfin, peu de candidats font l’effort de discuter leur résultat. L’absence de bande est souvent associée à « une erreur de manipulation » sans aller plus loin dans les détails et sans questionner les contrôles. Plus de rigueur d’analyse était attendue.

Partie III : Etude du fonctionnement rénal en situation normale et pathologique

Partie A : Analyse des flux transmembranaires du glucose par les cellules du tubule contourné proximal

Parmi les nombreux solutés transportés par les cellules du tubule contourné proximal, on compte le glucose. Afin d'analyser les flux transmembranaires des sucres, on utilise une lignée de cellules de tubule contourné proximal (LLC-PK1) dans laquelle, grâce à un système de perfusion intracellulaire, on peut contrôler la concentration intracellulaire de glucose aussi bien que sa concentration extracellulaire. Au cours de trois expériences (*expériences A, B et C*), on mesure les flux entrants d'un sucre, le 3-O-méthyl-glucose (3-OMG), rendu radioactif. Pour chaque condition (*expériences A, B et C*), l'expérience est répétée 3 fois. Les données obtenues sont présentées dans un fichier tableur "*données flux membranaire.exl*" sur le bureau du poste de travail.

III.A.1 - Quel est l'intérêt de réaliser chaque expérience trois fois ?

▫ Réponse à la question IIIA1

La majorité des candidats indiquent que les répliques techniques permettent de faire des statistiques. Cependant, il est trop peu question de variabilité biologique, à l'origine de la nécessité de faire des analyses statistiques.

Evaluer la variabilité biologique. Avoir des résultats plus robustes/statistique.

Ouvrez le tableur de données dans le logiciel LibreOffice. Vous devez, à l'aide du logiciel, présenter les résultats obtenus pour ces trois expériences sous la forme d'un graphique. Le graphique obtenu doit être facile à lire et interpréter. A vous de choisir la forme que vous jugez la plus adaptée pour cette représentation.

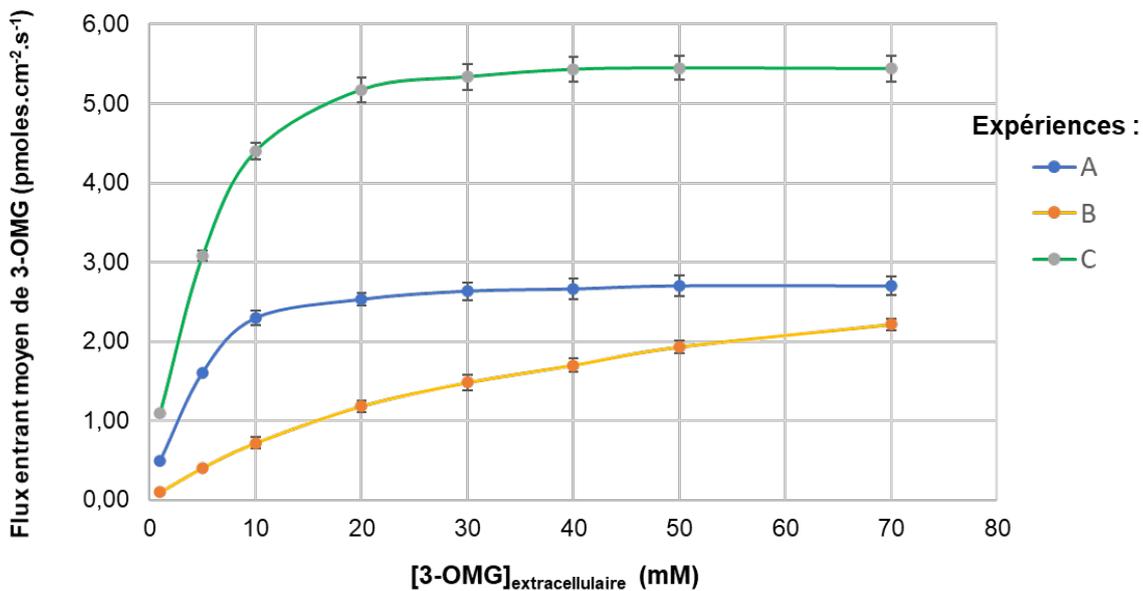
Appelez un membre du jury pour lancer l'impression du document quand vous avez terminé.

III.A.2 – Collez et annotez le graphique dans la case prévue à cet effet ci-dessous.

□ Réponse à la question IIIA2

Les tableurs sont des outils de travail classique des enseignants, mais leur utilisation est contrastée entre les candidats. La majorité des candidats a pensé à faire les moyennes des répliques, cependant rare sont ceux qui ont également présenté les écarts-types associés. De plus, trop de candidats n'ont pas fait attention à l'axe des abscisses et présentent des graduations fausses. Globalement, les graphiques ont été bien légendés et annotés. Les titres choisis étaient rarement scientifiquement complets/pertinents.

Certains candidats ont fait le choix d'une représentation en double inverse, ce qui est également pertinent sur cette expérience.



Mesure du flux entrant moyen de 3-OMG dans des cellules LLC-PK1 dans les trois conditions expérimentales A, B et C.

Les capacités de synthèse et de communication graphique étaient évaluées ici.

III.A.3 – Dans une première série d'expériences (*expérience A*), on a mesuré le flux entrant de 3-OMG en fonction de la concentration extracellulaire de glucose. Écrivez l'équation qui vous paraît pouvoir caractériser cette courbe permettant ainsi de déterminer le flux maximal entrant et la constante de Michaelis. Déterminez graphiquement ces deux paramètres.

□ Réponse à la question IIIA3

De nombreux candidats ont transposé directement leurs connaissances de cinétique enzymatique pour répondre à cette question, sans s'adapter au sujet. Ainsi, une copie sur deux parle de V_i , V_{max} au lieu de parler de flux. Plusieurs parlent même d'enzyme au lieu de canaux ou transporteurs.

Formule :

$$\text{flux entrant} = \frac{\text{flux entrant maximal} \times [\text{glucose}]}{K_m + [\text{glucose}]}$$

Détermination graphique :

$$J_{max} = 2,7 \text{ pmoles.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

$$K_m \sim 4 \text{ mM}$$

III.A.4 – On reprend l'expérience décrite précédemment mais en ajoutant au 3-OMG extracellulaire (radioactif) du glucose (10 mM) non marqué. Analysez et interprétez les données obtenues pour cette expérience B, en sachant que le flux entrant maximal n'est pas modifié par rapport à l'expérience A.

▫ Réponse à la question IIIA4

Les candidats ayant traité cette partie ont globalement compris le principe de l'inhibition compétitive. Là encore, il faut bien parler de flux et non de vitesse enzymatique.

D'après les données expérimentales, le flux entrant J_{max} n'est pas modifié, mais le K_m est augmenté.

Il y a donc une inhibition compétitive.

III.A.5 – On reprend ensuite les mesures, mais après avoir ajouté dans le milieu une hormone. Analysez et interprétez les données obtenues pour cette expérience C en déterminant notamment graphiquement la valeur du flux entrant maximal, et en sachant que la constante de Michaelis n'est pas modifiée par rapport à l'expérience A.

▫ Réponse à la question IIIA5

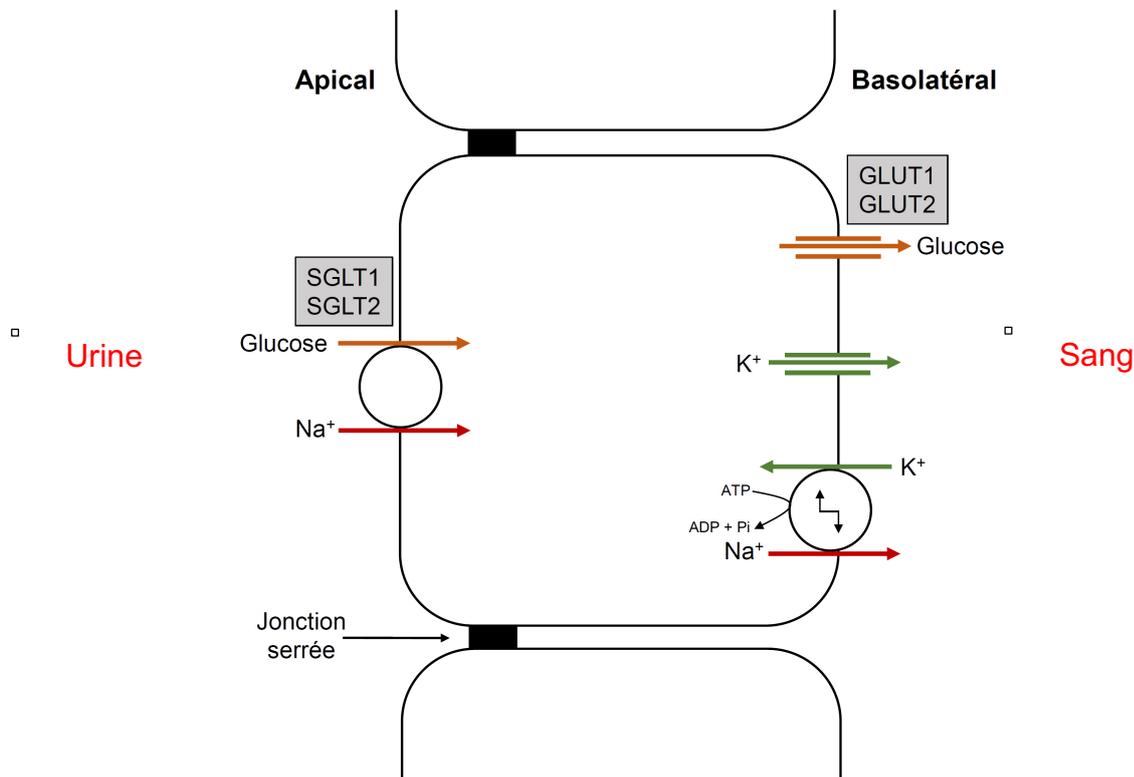
Le fait que l'hormone augmente le flux sans changer l'affinité du transporteur est assez bien compris par les candidats ayant traité cette question. En revanche, rares sont ceux qui proposent une explication biologique à cette augmentation. Ceci est sans doute dû au fait que trop de candidats sont restés bloqués sur une analogie enzymatique, sans réellement prendre en compte les notions de flux.

D'après les données obtenues, l'hormone augmente le flux entrant J_{max} sans modifier le K_m . L'hormone ne modifie donc pas l'affinité du glucose pour son transporteur.

De ce fait, l'hormone pourrait donc augmenter le nombre de transporteurs à la membrane (par augmentation de son expression) ou bien augmenter leur activité de transport.

Partie B : analyse des mécanismes impliqués dans les flux transmembranaires du glucose

Les flux transmembranaires de glucose dans les cellules du tubule contourné proximal impliquent plusieurs systèmes de transport qui permettent la réabsorption du glucose par ces cellules du néphron. Le schéma ci-dessous représente les mécanismes impliqués dans la réabsorption du glucose par les cellules du tubule contourné proximal.



III.B.1 – Précisez de quel côté se trouve l'urine et le sang (pôle apical ou pôle basolatéral) sur le schéma de la cellule ci-dessus. Quel est le type de transport assuré par la Na⁺/K⁺-ATPase, SGLT1, SGLT2, GLUT1 et GLUT2 ? Justifiez le rôle de la Na⁺/K⁺-ATPase dans la réabsorption du glucose assurée au niveau des cellules du tubule contourné proximal par les transporteurs SGLT1, SGLT2, GLUT1 et GLUT2.

Dans les cellules du tubule contourné proximal, les canaux potassiques basolatéraux jouent un rôle indirect dans la réabsorption des solutés. En effet, ils permettent notamment que l'activité de la Na⁺/K⁺-ATPase soit continue en recyclant vers l'interstitium le K⁺ qu'elle fait rentrer dans la cellule.

▫ Réponse à la question IIIB1

La plupart des candidats ont déterminé l'emplacement de l'urine et du sang sur le schéma, ainsi que le type de transport assuré par les différents systèmes de transport. En revanche, peu d'entre eux ont explicité de façon argumentée le rôle de la Na^+/K^+ -ATPase dans la réabsorption du glucose par les cellules du tubule contourné proximal.

L'urine se trouve du côté apical ; le sang se trouve du côté basolatéral

Types de transport :

Na^+/K^+ -ATPase : transport actif primaire

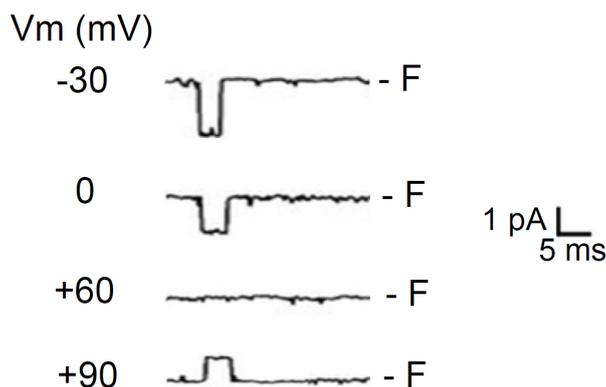
SGLT1 et SGLT2 : transport actif secondaire

GLUT1 et GLUT2 : diffusion facilitée (ou transport passif)

Rôle de la Na^+/K^+ -ATPase :

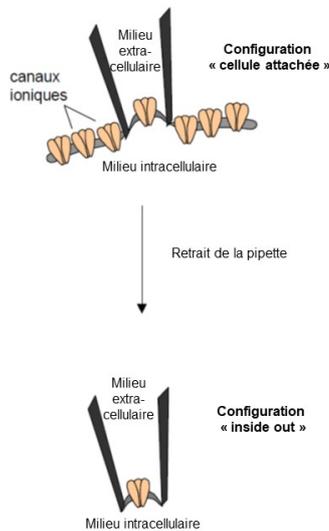
En faisant sortir le Na^+ de la cellule, elle diminue la concentration intracellulaire de Na^+ , et donc génère un gradient électrochimique entrant favorable à l'entrée apicale de Na^+ dans la cellule à l'aide de SGLT1 et SGLT2. Le flux entrant de Na^+ entraîne une entrée de glucose contre son gradient de concentration. Le glucose s'accumule alors dans la cellule, ce qui assure sa sortie basolatérale selon son gradient de concentration à l'aide de GLUT1 et GLUT2.

III.B.2 – On cherche à caractériser les canaux K^+ de la membrane basolatérale des cellules de tubule contourné proximal à l'aide de la technique de patch-clamp en configuration « *inside-out* » (ou « détachée face interne vers le dehors »). Pour cela, on a rempli la pipette de patch-clamp avec une solution dont la concentration en K^+ est de 140 mM. La concentration de K^+ sur la face cytosolique de la membrane est de 14 mM. On a obtenu les enregistrements suivants en faisant varier le potentiel transmembranaire (V_m) de -30 mV à 90 mV. Les courants obtenus aux différents V_m sont les suivants : -1,8 pA à -30 mV, -1,2 pA à 0 mV, 0 pA à 60 mV et 0,6 pA à 90 mV. Le niveau « F » correspond aux périodes où le canal est fermé. Le potentiel du milieu extérieur est pris comme référence.



III.B.2.1 – Décrivez à l'aide d'un schéma la méthode d'obtention de la configuration « *inside-out* ».

Sur le schéma de la configuration « inside-out », peu de candidats ont précisé l'emplacement des milieux extra- et intra-cellulaires. Par ailleurs, très peu d'entre eux ont résolu complètement la question, car il était également attendu de préciser sur le schéma que cette configuration est obtenue à partir de la configuration « cellule attachée ».



III.B.2.2 – Ecrivez l'équation permettant de calculer le potentiel d'équilibre du potassium, et calculez ce potentiel d'équilibre. On utilisera pour le calcul $2,3 \frac{RT}{F} = 60 \text{ mV}$.

Très peu de candidats ont apporté une réponse correcte à cette question. En effet, il était précisé dans l'énoncé d'utiliser pour le calcul du potentiel d'équilibre $2,3 \frac{RT}{F} = 60 \text{ mV}$. On attendait donc ici des candidats qu'ils posent l'équation de Nernst avec un logarithme décimal, et non avec logarithme népérien. Une partie des points a néanmoins été attribuée aux candidats qui avaient déterminé correctement la valeur du potentiel d'équilibre à partir de l'équation de Nernst formulée avec un logarithme népérien.

On sait que $\text{Ln}(x) = \text{Log}(x) \times \text{Ln}(10) = \text{Log}(x) \times 2,3$

L'équation de Nernst permettant de calculer le potentiel d'équilibre du potassium s'établit alors de la manière suivante :

$$E_{K^+} = 2,3 \frac{RT}{zF} \text{Log} \left(\frac{[K^+]_{ext}}{[K^+]_{int}} \right) \text{ V}$$

Il est mentionné dans l'énoncé qu'on utilisera pour le calcul $2,3 \frac{RT}{F} = 60 \text{ mV}$.

De ce fait, on peut écrire :

$$E_{K^+} = \frac{60}{z} \text{Log} \left(\frac{[K^+]_{ext}}{[K^+]_{int}} \right) \text{ mV}$$

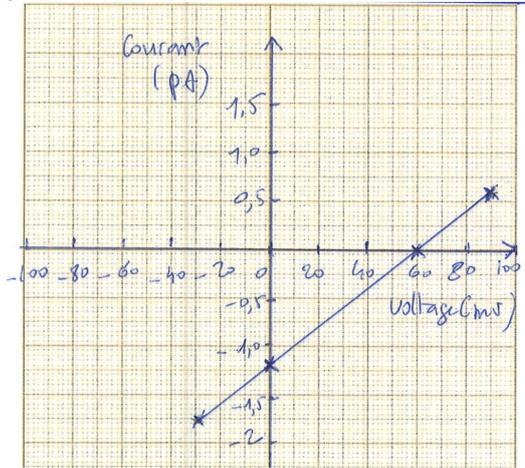
Ainsi, $E_{K^+} = 60 \text{ mV}$

III.B.2.3 – Tracez la courbe courant/Vm correspondante

▫ Réponse à la question IIIB23

La majorité des candidats a répondu à cette question.

Titre : Courbe I/V du canal K⁺ de la membrane basolatérale des cellules de tubule contourné proximal



III.B.2.4 – Ecrivez l'équation reliant le courant à la conductance et au gradient électrochimique, et calculez la conductance du canal.

▫ Réponse à la question IIIB24

Très peu de candidats ont été en mesure d'écrire l'équation reliant le courant à la conductance et au gradient électrochimique. Il en est de même pour la détermination de la conductance du canal.

courant = conductance x gradient électrochimique

conductance = $-1,2 \times 10^{-12} / ((0 - 60) \times 10^{-3}) = 20 \times 10^{-12} \text{ S} = 20 \text{ pS}$

III.B.2.5 – Quel est le sens (sortant ou entrant) du courant et du flux des ions K⁺ à +90 mV ? Justifiez votre réponse.

▫ Réponse à la question IIIB25

Beaucoup de candidats n'ont pas été en mesure de déterminer le sens du courant. Pour ceux l'ayant déterminé, très peu d'entre eux ont déterminé le sens du flux des ions K⁺.

A +90 mV, le courant est positif donc sortant. Le flux des ions K⁺ est donc sortant.

III.B.2.6 – Calculez la probabilité d'ouverture du canal à +90 mV.

▫ Réponse à la question IIIB26

Beaucoup de candidats n'ont pas été capables de répondre à cette question, qui faisait pourtant appel à un calcul simple.

Probabilité d'ouverture = (durée d'ouverture du canal) / (durée d'enregistrement)

La probabilité d'ouverture est donc de ~0,1.

Partie C : dosage du glucose dans des urines de patients diabétiques

Le diabète est une maladie chronique dont le taux de prévalence ne cesse d'augmenter ces dernières années. Parmi les nombreuses complications observées chez les patients atteints par le diabète, on compte l'insuffisance rénale.

III.C.1 – Définissez les critères de diagnostic du diabète, et décrivez brièvement les différents types de diabète qu'il est possible de distinguer.

□ Réponse à la question IIIC1

Cette question a été traitée de manière très parcellaire par beaucoup de candidats. En effet, la plupart d'entre eux ont cité les diabètes de type 1 et de type 2, sans toutefois décrire leurs caractéristiques. Néanmoins, la valeur de la glycémie normale à jeun ainsi que celles caractérisant les diabètes de types 1 et 2, si elles ont été précisées par les candidats, étaient souvent dans des gammes de valeurs correctes. Il est à noter que le diabète gestationnel a été abordé par très peu de candidats.

La glycémie normale à jeun est comprise entre 0,70 (3,8 mM) et 1,10 g/L (6 mM), et <1,4 g/L (ou 7,8 mM) 2 heures après un repas. Les diabètes de type 1 et de type 2 se caractérisent par une glycémie $\geq 1,26$ g/L (7 mM) après un jeûne de 8 h et vérifiée à deux reprises, ou par une glycémie ≥ 2 g/L (11,1 mM) 2 h après une charge orale de glucose de 75 g. Le diabète gestationnel se caractérise par une glycémie à jeun au premier trimestre de grossesse $\geq 0,92$ g/L (5,06 mM), ou par une glycémie entre la 24^{ème} et la 28^{ème} semaine d'aménorrhée $\geq 1,8$ g/L (9,9 mM) 1 h après une charge orale de glucose de 75 g, ou par une glycémie $\geq 1,53$ g/L (8,4 mM) 2 h après une charge orale de glucose de 75 g.

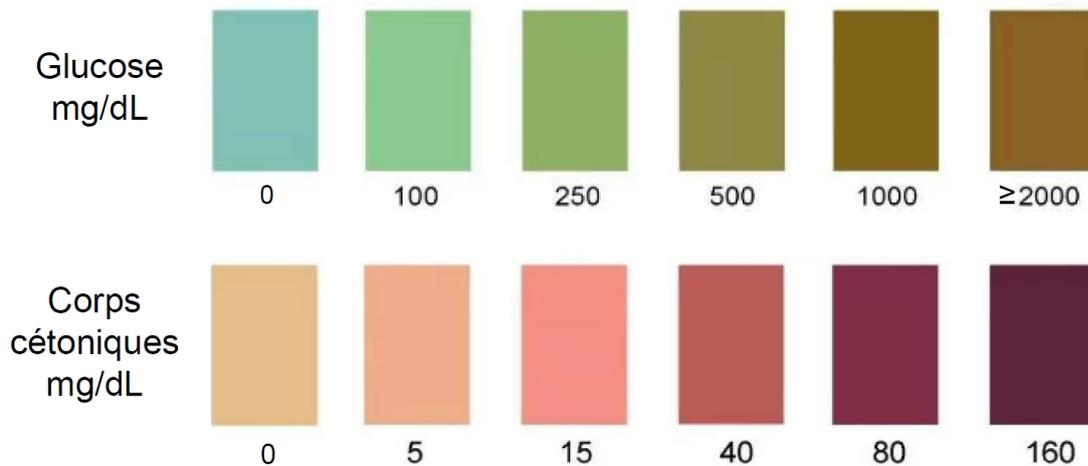
On distingue trois grands types de diabètes :

- Diabète de type 1 : dû à la destruction progressive des cellules bêta des îlots de Langerhans du pancréas par un mécanisme auto-immun. Il concerne 5 à 10 % des patients diabétiques.
- Diabète de type 2 : représente 90 % des cas de diabètes. Il résulte de défauts de la sécrétion d'insuline, d'une insulino-résistance, ou de leur association. Il est favorisé par des facteurs environnementaux et génétiques.
- Diabète gestationnel : on observe la survenue, au cours de la grossesse, d'une hyperglycémie au-dessus des valeurs normales de grossesse. Il existe une augmentation de la résistance à l'insuline au cours de la grossesse. Cela conduit à une augmentation de la sécrétion de cette molécule afin de maintenir le taux de glucose sanguin dans les limites de la normale. Chez certaines femmes, si la production d'insuline ne peut croître de façon désirée, un diabète se produit.

Pour évaluer l'insuffisance rénale de patients diabétiques, des échantillons d'urine ont été collectés chez deux patients. On cherche dans la suite de cette partie à évaluer le taux de sucre dans ces urines par deux techniques distinctes : le dosage par bandelettes urinaires et un dosage par la méthode de Trinder.

Les bandelettes urinaires permettent une analyse rapide et peu chère de différents paramètres urinaires tels que l'excrétion de glucose (ou glycosurie), les corps cétoniques, les nitrites, etc... Les bandelettes urinaires qui vous sont fournies sont constituées par un support en plastique sur lequel sont fixées des zones réactives distinctes sensibles à la concentration de glucose et aux corps cétoniques (voir figure ci-après). Les zones réactives sont stables et prêtes à

l'emploi. La zone réactive sensible à la concentration de glucose est située à l'extrémité des bandelettes urinaires. Les bandelettes sont à usage unique.



III.C.2 – D'après vous, quel est le mécanisme le plus probable permettant d'expliquer l'observation d'une glycosurie chez les patients diabétiques ?

▫ Réponse à la question IIIC2

Très peu de candidats ont répondu correctement à cette question.

Le glucose apparaît dans l'urine lorsque le transport rénal de glucose assuré par SGLT1/2 et GLUT1/2 est saturé.

III.C.3 – A l'aide de bandelettes urinaires, déterminez la concentration de glucose dans les échantillons de 15 mL d'urines qui vous sont fournis, et qui proviennent des 2 patients (tubes étiquetés "Patient 1" et "Patient 2").

Le dosage du glucose s'effectue de la manière suivante :

- Immerger la bandelette urinaire pendant une seconde dans le tube de 15 mL contenant l'urine du patient 1 ou 2 de manière à ce que toutes les plages réactives soient en contact avec l'échantillon.
- Egoutter la bandelette en passant sa tranche contre le rebord du tube contenant l'urine.
- 30 secondes après l'imprégnation de la bandelette, comparer la plage réactive à l'échelle des couleurs du glucose présentée précédemment afin de déterminer la concentration de glucose.

Appelez un membre du jury pour qu'il vérifie la couleur de vos bandelettes.

Le second dosage proposé est un dosage du glucose par la méthode de Trinder. Dans ce dosage, le glucose en solution est oxydé en présence d'O₂ par la glucose-oxydase (GOD) en acide gluconique et

H_2O_2 . L' H_2O_2 formé réagit en présence de peroxydase (POD) avec le chloro-4-phénol et l'aminopyrine (PAP) pour former une quinoémine rouge. L'absorbance du complexe coloré est proportionnelle à la concentration en glucose dans l'échantillon. Afin de déterminer la concentration en glucose dans les urines des patients 1 et 2, vous construirez l'expérience suivante dans des cuvettes de spectrophotométrie. Vous utiliserez une solution de glucose étalon (TGlucose) à 2g/L pour la gamme étalon. Les dilutions au 1/20ème sont à réaliser dans des tubes de 2 mL. Les absorbances sont à mesurer après incubation 10 minutes à 37°C.

▫ Réponse à la question IIIC3

De nombreux candidats ont bien réalisé cette manipulation relativement simple, et ont donc par conséquent été en mesure de déterminer la concentration de glucose dans les deux échantillons d'urine proposés.

Patient 1 :

La plage réactive sensible à la concentration de glucose ne change pas de couleur. La concentration de glucose est donc de 0 g/L.

Patient 2 :

La plage réactive sensible à la concentration de glucose change de couleur. Celle-ci correspond à une concentration de glucose de 5 g/L.

		Gamme étalon			Solutions à doser	
	Blanc	1	2	3	Patient 1	Patient 2
Solutions à doser diluées au 1/20 ^{ème} (µL)	0	60	120	180	60	60
Eau (µL)	200	140	80	20	140	140
Réactif (µL)	800	800	800	800	800	800

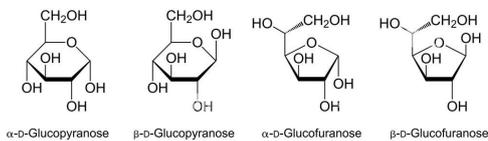
III.C.4 - Rappelez la formule chimique du glucose et écrivez la première réaction chimique du dosage, catalysée par la GOD. Le glucose et l'acide gluconique sont à dessiner en représentation de Hawerth.

□ Réponse à la question III C4

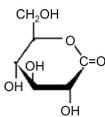
Peu de candidats ont été en mesure d'écrire la première réaction chimique du dosage. La plupart du temps, la formule de l'acide gluconique était erronée. Pour la réponse à cette question, il était également attendu que les candidats représentent le glucose et l'acide gluconique en représentation de Hawerth. Si certains candidats ont été mesurés de représenter le glucose en représentation de Hawerth, il faut noter qu'un nombre très faible de candidats a été en mesure de représenter l'acide gluconique sous cette forme.



Il est possible de dessiner le glucose sous plusieurs formes en représentation de Hawerth :



Dessin de l'acide gluconique en représentation de Hawerth :



On doit à présent évaluer la concentration de quinoémine formée dans chacun des tubes. La quinoémine est un composé coloré rouge, on peut donc évaluer sa concentration en mesurant son absorbance.

III.C.5 - Quelle loi permet de relier l'absorbance d'une espèce chimique en solution à sa concentration. Ecrivez cette loi en précisant les différents facteurs et leurs unités.

□ Réponse à la question III C5

La majorité des candidats a écrit la loi de Beer-Lambert, et a précisé les unités.

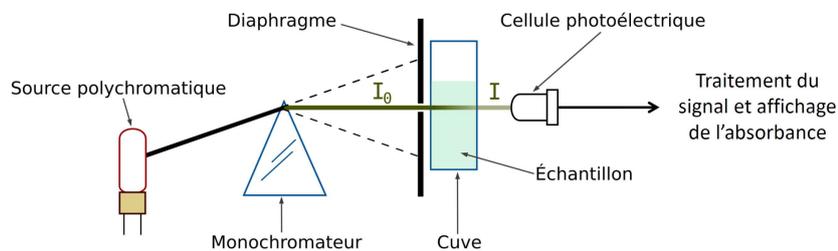
La loi de Beer-Lambert traduit que l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration : $A = \epsilon \times l \times C$. A est l'absorbance (sans unité), ϵ le coefficient d'extinction molaire (en $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$) et l le trajet optique (en cm).

III.C.6 - Présentez sous forme d'un schéma le principe d'un spectrophotomètre. Que mesure-t-on avec cet appareil ?

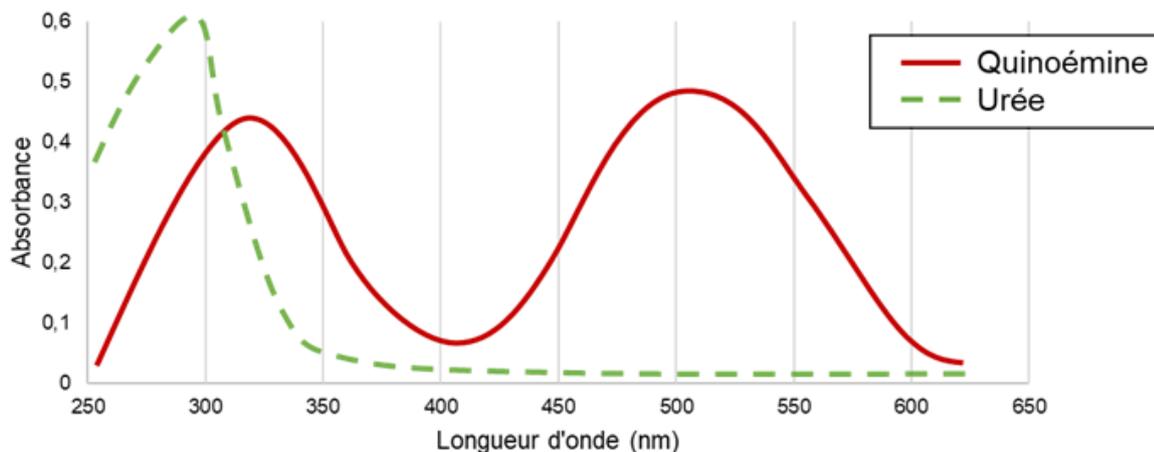
Réponse à la question IIIC6

Le principe d'un spectrophotomètre est souvent connu, mais une grande partie des candidats s'est contentée de ne faire figurer sur leur schéma qu'une cuve de spectrométrie avec mention de la lumière émise (I_0) et de la lumière transmise (I).

Un spectrophotomètre permet de mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance en solution à une longueur d'onde donnée. Pour ce faire, un dispositif monochromateur permet de générer, à partir d'une source de lumière polychromatique, une lumière monochromatique dont la longueur d'onde est choisie par l'utilisateur. L'appareil mesure alors l'intensité de la lumière qu'il reçoit après que celle-ci soit passée à travers une cuvette transparente contenant la substance étudiée en solution. L'intensité de la lumière monochromatique émise (I_0) est connue. A partir de la mesure de l'intensité de la lumière transmise (I), l'appareil détermine alors l'absorbance.



III.C.7 - A l'aide des courbes d'absorbance présentées ci-dessous, choisissez la longueur d'onde que vous souhaitez utiliser pour votre mesure. Justifiez



▫ Réponse à la question IIIC7

La plupart des candidats a su justifier correctement la longueur d'onde à utiliser pour effectuer les mesures.

Les appareils mis à la disposition des candidats permettent de mesurer l'absorbance à plusieurs longueurs d'onde. Compte-tenu des courbes d'absorbance présentées ci-dessus, il paraissait judicieux de choisir une longueur d'onde pour laquelle seul un pic d'absorbance pour la quinoémine est observé. De ce fait, les longueurs d'onde appropriées étaient donc 490 nm ou 520 nm.

III.C.8 - Effectuez les mesures d'absorbance à la longueur d'onde de votre choix et présentez les résultats sous forme d'un tableau simple.

▫ Réponse à la question IIIC8

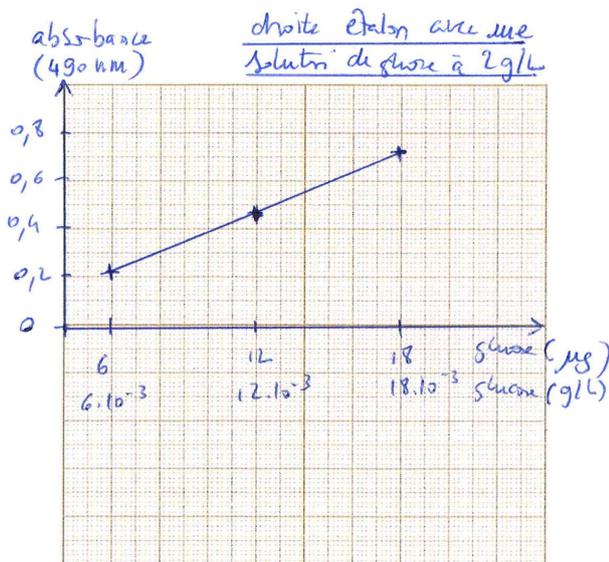
Le dosage du glucose par la méthode de Trinder, qui ne présentait pourtant pas de difficultés, a été réussi par très peu de candidats.

	Gamme étalon			Solutions à doser		
	Blanc	1	2	3	Patient 1	Patient 2
Absorbance à 490 nm	0	0,24	0,47	0,73	0	0,37

III.C.9 - A partir de ces mesures, tracez la droite étalon de l'absorbance mesurée en fonction de la concentration initiale en glucose à l'aide du papier millimétré fourni. Déterminez la concentration en glucose des deux échantillons d'urine.

▫ Réponse à la question III C9

Une bonne réponse à cette question dépendait de la réussite du dosage du glucose par la méthode de Trinder. De ce fait, seulement quelques candidats ont été en mesure de déterminer la concentration en glucose dans les deux échantillons d'urine.



Compte-tenu de la concentration de glucose dans la solution étalon (2 g/L) et des volumes prélevés de cette solution préalablement diluée au 1/20^{ème}, il est possible de déterminer la concentration de glucose dans chaque cuvette de spectrophotométrie.

Ainsi, les quantités ou concentrations de glucose dans les cuvettes 1, 2 et 3 sont donc respectivement de 6 µg (ou $6 \cdot 10^{-3}$ g/L), 12 µg (ou $12 \cdot 10^{-3}$ g/L) et 18 µg (ou $18 \cdot 10^{-3}$ g/L). Dans cette expérience, l'absorbance est proportionnelle à la concentration de glucose. Il convenait ensuite de tracer la droite étalon passant le proche possible de tous les points par régression linéaire.

Patient 1 : d'après les données expérimentales, l'absorbance mesurée à 490 nm à partir d'un échantillon d'urines provenant de ce patient est égale à 0. La concentration de glucose dans cet échantillon est donc de 0 g/L.

Patient 2 : d'après les données expérimentales, l'absorbance mesurée à 490 nm à partir d'un échantillon d'urines provenant de ce patient est égale à 0,37, ce qui correspond à une quantité de glucose de ~9 µg ou une concentration de glucose de $\sim 9 \cdot 10^{-3}$ g/L sur la droite étalon. Compte-tenu de la dilution et du volume prélevé de cet échantillon, la concentration initiale de glucose dans cet échantillon est donc de ~3 g/L.

III.C.10. Comparez les résultats obtenus pour les urines des patients 1 et 2 avec les deux méthodes de dosage. Quelle méthode vous semble la plus pertinente pour effectuer un tel dosage de glucose dans les urines ? Justifiez votre réponse.

▫ Réponse à la question IIIC10

Peu de candidats ont répondu de manière argumentée à cette question. Un grand nombre de candidats n'ont pas réussi à effectuer le dosage du glucose par la méthode de Trinder. Cependant, il était possible de justifier la pertinence de cette méthode de dosage en mentionnant l'intérêt de tracer une droite étalon qui permet de déterminer avec une plus grande précision la quantité de glucose dans un échantillon par rapport au dosage effectué avec des bandelettes urinaires.

Patient 1 : D'après les résultats obtenus avec les bandelettes urinaires, il n'y a pas de glucose dans l'échantillon d'urines provenant de ce patient. Ce résultat est confirmé avec le dosage du glucose par la méthode de Trinder.

Patient 2 : D'après les résultats obtenus avec les bandelettes urinaires, la concentration de glucose dans l'échantillon d'urines provenant de ce patient est de 5 g/L. D'après les résultats obtenus avec le dosage du glucose par la méthode de Trinder, la concentration de glucose dans cet échantillon est de ~3 g/L. Les bandelettes urinaires fournies sont munies de 6 zones réactives sensibles à concentration de glucose déterminée. On note un écart de concentration de glucose d'un facteur 2 ou 2,5 entre les zones réactives. De ce fait, cela conduit inévitablement à des déterminations erronées de concentrations de glucose si une concentration donnée à déterminer se situe entre deux zones réactives. Cette méthode de dosage est donc peu précise. En revanche, la méthode de Trinder est la méthode de dosage de la concentration de glucose la plus pertinente. En effet, les résultats obtenus avec la solution étalon de glucose montrent que l'absorbance est proportionnelle à la concentration de glucose, ce qui permet donc de tracer avec précision une droite étalon. Ainsi, il est donc possible de déterminer la concentration de glucose dans un échantillon de manière beaucoup plus fiable qu'avec les bandelettes urinaires.

ANNEXE Utilisation de Geniegen2 – traitement de séquences

Charger les séquences

- Cliquer sur "charger des séquences" sur le panneau d'accueil, ou dans le menu fichier – charger des séquences. Les séquences sont disponibles au format FASTA dans le fichier "Sequences" sur le bureau.

Pour supprimer des séquences, sélectionnez uniquement les séquences à supprimer, puis Edition – Supprimer les séquences sélectionnées (Suppr). Il est également possible de supprimer une séquence unique par un clic droit sur celle-ci, puis supprimer.

Traiter des séquences

- Sélectionner les séquences à traiter en cochant la case située à gauche de leur nom.
- Choisir le traitement à effectuer dans le menu "Action". Il est possible de **transcrire** une séquence d'ADN, **traduire** une séquence d'ADN ou d'ARN, ou d'**obtenir la séquence complémentaire**

Aligner des séquences

Pour obtenir un alignement de qualité, sélectionnez le mode d'alignement dans le menu "Options - Algorithme d'alignement - Needleman (classique)".

- Sélectionner les séquences à aligner en cochant la case située à gauche de leur nom. *Remarque : on ne peut aligner que des séquences de même nature (ADN, ARN ou Protéine).*
- Dans le menu "Actions", cliquez sur "**Aligner les séquences sélectionnées (CtlA)**". Les séquences alignées sont ensuite affichées dans la moitié inférieure de l'écran. Les nucléotides ou acides aminés manquants sont représentés par des tirets.

Comparer des séquences

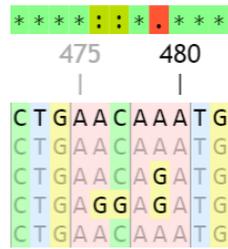
Une ligne de comparaison colorée met en évidence les positions où les nucléotides (ou acides aminés) sont identiques (étoile sur fond vert) ou différents (points sur fond orange ou rouge selon le degré de différence).



Ces couleurs se retrouvent également au niveau du curseur mobile, que vous pouvez déplacer à l'aide de la souris pour faire défiler les séquences sur toute leur étendue.



Dans l'alignement, les nucléotides (ou acides aminés) identiques à la séquence de référence (1^{ère} séquence de l'alignement) sont indiqués en gris, ceux différents sont indiqués en noir.



Remarque : un mode adapté au **daltoniens** est disponible dans "Options - Coloration des nucléotides - version pour daltoniens. Il est également possible de grossir ou rétrécir la police d'affichage des séquences (Alt + et Alt -) ou par les icônes **Å Å** en haut à droite de l'écran.

ANNEXE Tableau de données flux membranaires glucose.

[3-OMG] _{extracellulaire} (mM)		1	5	10	20	30	40	50	70
<i>Expérience A :</i>	Réplicat #1	0,51	1,6	2,33	2,58	2,71	2,83	2,88	2,85
Flux entrant de 3-OMG (pmoles.cm ⁻² .s ⁻¹)	Réplicat #2	0,45	1,58	2,28	2,43	2,51	2,5	2,56	2,55
	Réplicat #3	0,52	1,64	2,19	2,53	2,61	2,65	2,66	2,7
<i>Expérience B :</i>	Réplicat #1	0,09	0,38	0,64	1,09	1,4	1,69	1,9	2,25
Flux entrant de 3-OMG (pmoles.cm ⁻² .s ⁻¹)	Réplicat #2	0,09	0,39	0,7	1,19	1,51	1,73	1,95	2,15
	Réplicat #3	0,11	0,44	0,81	1,27	1,58	1,71	1,9	2,19
<i>Expérience C :</i>	Réplicat #1	1,13	3,15	4,54	5,38	5,55	5,64	5,63	5,63
Flux entrant de 3-OMG (pmoles.cm ⁻² .s ⁻¹)	Réplicat #2	1,09	2,99	4,34	5,15	5,31	5,4	5,45	5,45
	Réplicat #3	1,07	3,09	4,31	4,99	5,15	5,25	5,26	5,24

5.2 Épreuve de travaux pratiques de spécialité du secteur B : Sujet et commentaires

Commentaires généraux : Le sujet de cette année était tourné sur la physiologie et les grandes fonctions biologiques, abordés dans les parties 4 et 5 du programme de l'agrégation externe SV-STU. Ces thématiques sont indiquées depuis plusieurs années dans les rapports du jury des épreuves orales comme source de difficultés pour les candidats alors qu'ils sont abordés à plusieurs reprises dans les programmes de l'enseignement secondaire et dans le premier cycle de l'enseignement supérieur, par exemple en classes préparatoires.

Les objectifs de cette épreuve de travaux pratiques ont été de **privilégier des travaux classiques** qui sont réalisés en lycée ou explicitement indiqués dans le programme du concours tout en **évaluant les fondements biologiques des phénomènes étudiés**, avec un **travail de présentation des résultats** et une **quantification de ces derniers**. Chaque candidat était amené à prendre des **initiatives**, comme il pourra être amené à le faire lors de la conception des séances pratiques au cours de ses enseignements, avec plusieurs possibilités toutes valables dès lors qu'elles étaient menées de manières rigoureuses et exploitables, que ce soit :

- dans la présentation des résultats, dès lors que le jury pouvait vérifier l'adéquation entre les résultats obtenus et la présentation fournie (annotation d'échantillons, dessin d'observation, tableau de résultat, schéma d'interprétation) ;
- dans la conception d'un protocole expérimental, avec plusieurs colorants possibles, plusieurs témoins réalisables, des tests à réaliser sur des coupes ou sur des fragments d'échantillon ;
- dans l'ordre des exercices à étudier, les parties étant indépendantes afin de donner la possibilité à chaque candidat de valoriser ses compétences dans un domaine du secteur B sans crainte de se retrouver bloqué sur l'ensemble du sujet à cause d'une partie moins maîtrisée.

Cette épreuve a été l'occasion de tester chez les candidats leurs capacités à :

- analyser des échantillons macroscopiques végétaux et animaux ;
- argumenter la reconnaissance d'échantillons macroscopiques et microscopiques ;
- concevoir et mettre en œuvre des stratégies expérimentales afin de répondre à une question scientifique donnée ;
- suivre des protocoles fournis en exploitant des documents et fiches techniques ;
- manipuler des modèles numériques ;
- présenter des résultats expérimentaux et des observations ;
- interpréter des résultats à l'aide de leur connaissances ;
- faire preuve d'esprit critique sur des résultats obtenus ou sur une démarche suivie.

Les manipulations, observations et interprétations des résultats obtenus au cours de la séance ont volontairement fait l'objet de l'essentiel des éléments du barème par rapport aux documents complémentaires, avec plus de **2/3 des points consacrés à ces parties pratiques et à l'interprétation des données obtenues pendant la séance**.

Ce sujet contenait des manipulations avec des temps d'attente, ce qui impliquait de bien s'organiser. De nombreuses parties n'ont pas du tout été traitées par plusieurs candidats, notamment les travaux d'électrophysiologie sur le nerf de crabe, alors que les temps de passage étaient imposés et que le protocole était fourni, ou encore la dissection de l'escargot, dont le plan d'organisation est explicitement au programme, ainsi que les comptages des phénotypes des drosophiles, qui ne pose aucune difficulté technique.

Les questions ont permis de valoriser les candidats qui connaissent les fondements biologiques associés aux phénomènes étudiés : la notion de potentiel hydrique, de potentiel de nerf, les brassages génétiques et qui ont pu les appliquer aux observations et résultats obtenus.

Des éléments de corrections non exhaustifs (en rouge) ainsi que des remarques sur les productions des candidats (en bleu) sont donnés dans le sujet ci-dessous.

Durée totale : 6 heures

« Les grandes fonctions biologiques »

Les fonctions biologiques qui caractérisent le vivant peuvent être classées dans trois grands groupes : la fonction de nutrition au sens large, la fonction de relation et la fonction de reproduction. Ce sujet propose de considérer successivement ces fonctions à travers quelques exemples.

Ce dossier comporte 63 pages : les parties sont indépendantes.

Plusieurs questions des parties I à III nécessitent des manipulations et doivent, pour certaines, **être évaluées par un examinateur pendant l'épreuve** : prévoyez donc votre organisation en conséquence. **Dans le cadre de ces évaluations en cours d'épreuve, il ne vous sera pas possible de communiquer oralement avec l'examineur.**

Vous pouvez utiliser des feuilles de brouillon pour présenter ou compléter une présentation qui est évaluée pendant l'épreuve (dessin d'observation, tableau de légende de dissection...)

Partie I - La fonction de nutrition et les organes de réserves.	2
I.A - La localisation et la caractérisation de réserves dans 2 organes végétaux	2
I.B - Étude d'organes de réserve	4
I.C - Étude des apports à un organe locomoteur : exemple du Criquet	8
Partie II - La perception du milieu, l'intégration du signal et la réponse.	10
II.A - Étude de quelques aspects de la biologie du Crabe vert	10
II.B - L'activité cardiaque chez l'Homme	43
Partie III - Étude de la croissance chez les Angiospermes	49
Partie IV - La fonction de reproduction	57
IV.A - La reproduction de l'Escargot	57
IV.B - Transmission de caractères chez un organisme diploïde	58
Partie V : Reconnaissance argumentée	62

Les réponses aux questions figureront dans les cadres réservés à cet effet

N'oubliez pas d'appeler les correcteurs lorsque cela est demandé

AVANT DE REMETTRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DE TOUS LES DOCUMENTS

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier

La partie III contient deux protocoles longs qui sont à mener en parallèle, pensez à vous organiser en conséquence.

Partie I - La fonction de nutrition et les organes de réserves.

I.A - La localisation et la caractérisation de réserves dans 2 organes végétaux

Vous avez à disposition **deux échantillons notés A et B** contenant des réserves.

Question I.A.1 - Présenter, selon la méthode de votre choix, les échantillons A et B afin d'identifier l'organe contenant les réserves. Préciser le ou les arguments permettant d'identifier la partie de la plante devenue organe de réserve.

Pour l'échantillon A (carotte) :

Organe tubérisé situé sous le point d'insertion des feuilles, présence de racines secondaires.

-Tubercule racinaire

Pour l'échantillon B (rhubarbe) :

Organe tubérisé à symétrie bilatérale portant une feuille

- Pétiole

Les échantillons ont rarement été coupés ou présentés avec les productions des candidats. La symétrie bilatérale du pétiole de rhubarbe n'est pas repérée, l'échantillon a été très souvent confondu avec une tige. Les échantillons ont rarement été coupés ou présentés avec les productions des candidats. La symétrie bilatérale du pétiole de rhubarbe est très souvent confondue avec une tige. Un croquis seul ne peut remplacer la présentation.

Différents colorants et solutions sont mis à votre disposition : eau iodée, liqueur de Fehling, rouge Soudan III, réactif du biuret et alcool à 70 %.

Question I.A.2 - Réaliser les coupes et/ou les colorations nécessaires pour mettre en évidence la nature biochimique des réserves stockées dans ces organes ainsi que les tissus qui les contiennent. Résumer vos observations et vos conclusions sous la forme de votre choix dans le cadre prévu à cet effet.

Appelez le jury pour vérifier l'adéquation entre vos productions et les préparations et/ou colorations réalisées.

Présentation possible sous la forme d'un tableau ou de schémas avec figurés conventionnels.

Réserves sous la forme de sucres réducteurs et/ou d'amidon dans le liber (phloème II) et parfois dans le bois (xylème II) du tubercule racinaire. A mettre en évidence par test à la liqueur de Fehling en prenant soin de séparer le bois du liber avant le test.

Tests négatifs quel que soit le colorant avec le pétiole de rhubarbe, principalement des ions et de l'eau dans le parenchyme à l'origine de cristaux d'oxalate de calcium, visibles en coupe après traitement à l'alcool à 70 %. D'autres formes de réserve sont possibles, mais elles ne sont pas identifiables avec les colorations possibles ici.

Exemple de coupe transversale de carotte colorée à l'eau iodée montrée :



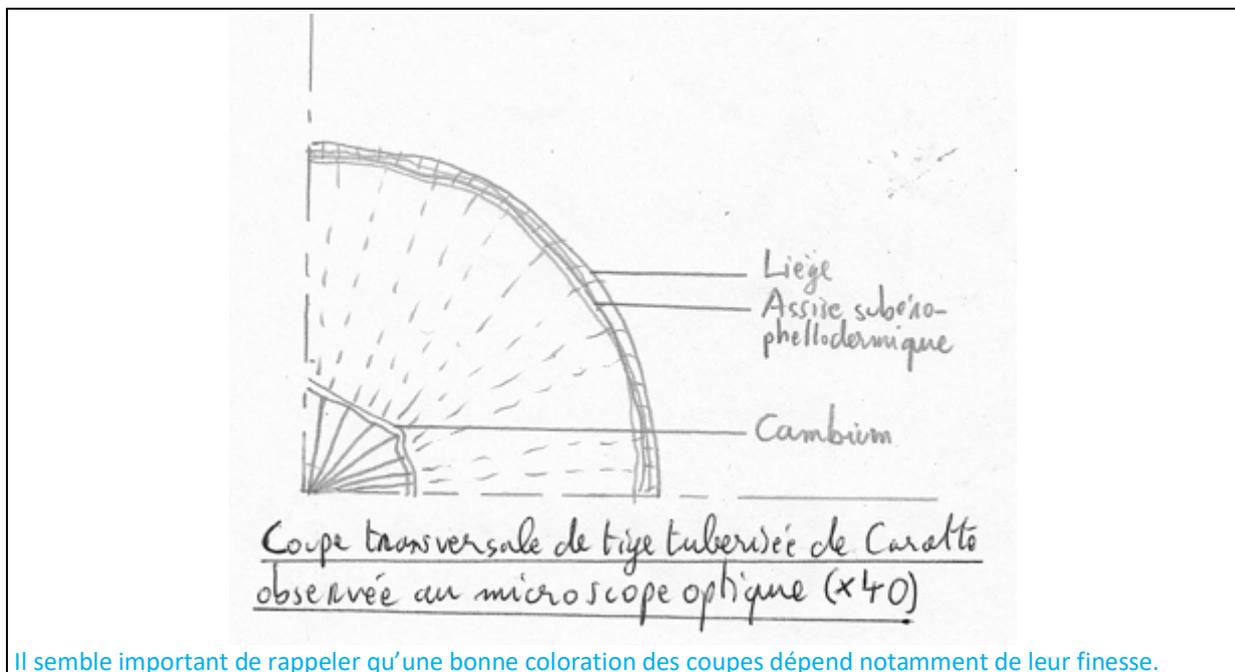
Tissu testé	Eau iodée	Liqueur de Fehling	Rouge Soudan III	Réactif du biuret	Alcool à 70 %
Liber de tubercule racinaire	Positif parfois dans le liber	Positif, donc présence de sucres réducteurs (glucose ?)	Négatif	Négatif	Pas de cristaux visibles
Parenchyme de pétiole de rhubarbe	Négatif	Négatif à faiblement positif présence de sucres réducteurs	Négatif	Négatif	Cristaux d'oxalate de calcium

Question I.A.3 - Réaliser une coupe transversale de l'organe de réserve de l'échantillon A avec une coloration au carmino-vert d'iode (voir protocole ci-après). Réaliser un schéma d'interprétation de cette coupe transversale avec les figurés conventionnels.

Appelez le jury pour vérifier l'adéquation entre votre schéma et la préparation microscopique réalisée.

Protocole de coloration d'une coupe fine au carmino-vert d'iode

- Placer les coupes pendant 20 minutes dans l'hypochlorite de sodium (eau de Javel).
- Réaliser 2 bains dans de l'eau pendant 2 à 3 minutes.
- Placer les coupes 2 minutes dans l'acide acétique dilué.
- Colorer les coupes pendant 5 minutes dans le carmino-vert d'iode.
- Monter la coloration dans de l'eau entre lame et lamelle.



Il semble important de rappeler qu'une bonne coloration des coupes dépend notamment de leur finesse.

Question I.A.4 - Indiquer les particularités histologiques des tissus observés dans l'échantillon A par rapport à ce qui est observé sur une coupe d'un même organe dépourvue d'une fonction de mise en réserve.

Le liber contient habituellement des tissus conducteurs avec des parois secondaires cellulosiques épaisses, or ici il s'agit d'un tissu parenchymateux avec des cellules possédant des parois fines. Le bois contient très peu de tissus lignifiés avec des vaisseaux conducteurs peu différenciés, mais contient lui aussi principalement du tissu parenchymateux. Ces observations sont cohérentes avec le rôle de stockage de cet organe de réserve.

La classification APG IV (2016) propose des liens de parenté entre les Angiospermes :

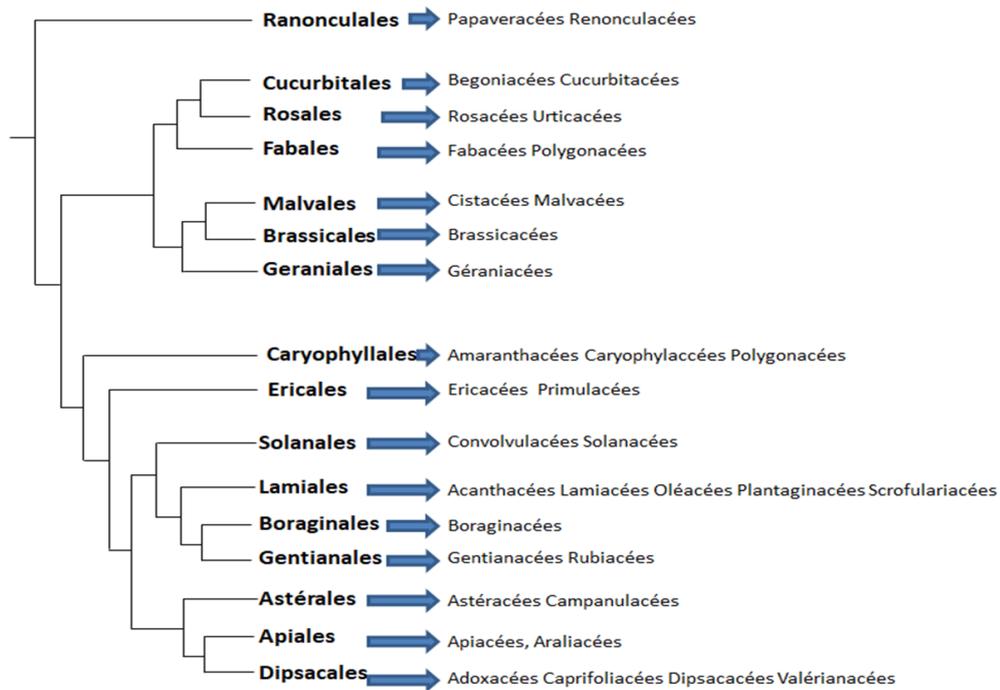


Figure I.1 : Arbre phylogénétique simplifié de quelques Angiospermes

Question I.A.5 - Placer sur la figure I.1 le taxon correspondant à l'échantillon A ainsi que d'autres taxons de votre choix montrant que ce type d'organe de réserve ne constitue pas une synapomorphie. Justifier vos choix.

La Carotte appartient à la famille des Apiacées.

Exemple d'Angiospermes à tubercules : dahlia, topinambour, salsifi (Astéracée), radis (Brassicacée), pomme de terre (Solanacée), betterave (Amaranthacée)...

Il faut également placer au sein de l'arbre au moins un taxon sans tubercules pour montrer que ce caractère n'est pas une synapomorphie.

L'absence d'ancêtre commun exclusif à l'ensemble des plantes produisant des tubercules montre que ce trait de caractère est une convergence évolutive face à une même contrainte du milieu, le passage de la mauvaise saison. S'il y avait un ancêtre commun à placer avec les exemples de taxons cités, alors ce dernier serait à la base de l'arbre, suggérant que les tubercules sont très fréquents chez les Angiospermes, ce qui n'est pas le cas.

I.B - Étude d'organes de réserve

Claude BERNARD (1813-1878) est connu comme un fondateur de la physiologie et de la médecine expérimentale. Ses travaux les plus célèbres portent la néoglucogénèse chez les animaux.

Matériel à disposition : morceaux de foie de volaille frais, morceaux de muscles frais, bandelettes de glucose (à découper), verrerie, eau iodée, solution de glucose à $1g.l^{-1}$, solution de glycogène à $1g.l^{-1}$.

Question I.B.1 - Proposer un protocole expérimental permettant de mettre en évidence le rôle du foie dans le stockage et de libération du glucose.

Découper quelques fragments de foie frais, les tremper légèrement dans de l'eau distillée avec agitation.

Faire un test avec une bandelette glucose. Comparer avec une bandelette de glucose trempée dans la solution de glucose fournie. La solution de glycogène permet quant à elle un test à l'eau iodée de la présence de glycogène (brun acajou)

Rincer le foie sous le robinet pendant 5 min.

Replacer le foie dans un bécher d'eau distillée, agiter légèrement et faire un test avec une bandelette de glucose. Refaire le test 20 minutes plus tard.

Expérience témoin : réaliser le même protocole avec des morceaux de muscle pour montrer que la libération de glucose n'est possible que par le foie.

Les protocoles corrects sont souvent proposés, mais des manipulations témoins manquent parfois.

Question I.B.2 - Réaliser le protocole que vous avez proposé dans la réponse à la question précédente. Présenter les résultats sous la forme de votre choix. Expliquer les résultats obtenus.

Appelez le jury pour présenter les résultats des bandelettes glucose en indiquant sur feuille quelles ont été les conditions testées avec les bandelettes

Résultats observés :

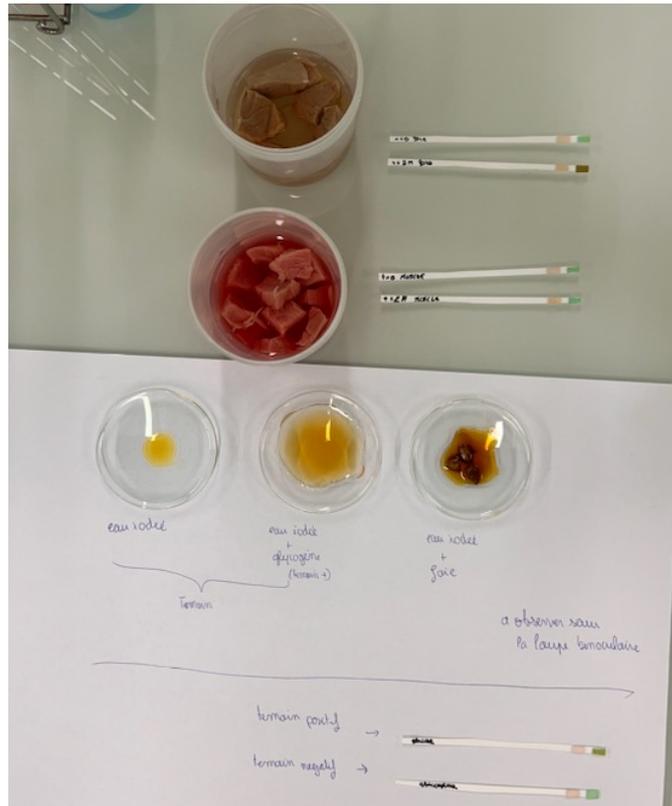
<i>Organe testé</i>	<i>Test glucose après prélèvement</i>	<i>Test glucose immédiatement après rinçage</i>	<i>Test glucose 20 minutes après rinçage</i>
<i>Muscle</i>	<i>Positif</i>	<i>Négatif</i>	<i>Négatif</i>
<i>Foie</i>	<i>Positif</i>	<i>Négatif</i>	<i>Positif</i>

La présence de glucose dans le milieu après prélèvement d'un fragment de foie ou de muscle montre que ces organes contiennent initialement du glucose qui diffuse ici dans l'eau.

Le rinçage permet d'éliminer le glucose présent dans les organes testés.

Le fait de retrouver du glucose dans l'eau après 20 minutes uniquement dans le cas du foie signifie que du glucose est stocké sous une autre forme dans le foie et qu'il peut être hydrolysé, ce qui permet sa libération dans le milieu, ce qui n'est pas le cas dans le muscle. Le stockage se fait sous la forme de glycogène.

Exemple de présentation obtenue :



Cette partie n'a pas posé de difficulté aux candidats. Attention cependant à la présence de mesure au début de l'expérience ou à la présentation de montages témoins qui font parfois défaut alors que c'est indispensable pour interpréter des résultats.

Simon NICOLAS et al. (2017) ont travaillé sur les effets du microbiote sur le fonctionnement hépatique. Des souris axéniques reçoivent un transfert de microbiote par inoculation d'un microbiote soit issu de souris obèses [OM(HFD pour « obese microbiota- with high fat diet »], soit issus de souris minces (LM pour « lean microbiota »), soit une simple inoculation de solution tampon PBS. Des tests d'intolérance au pyruvate sont réalisés après 3 semaines d'inoculation. Le pyruvate déclenche une réponse similaire à une hypoglycémie dans ce test. Les souris sont finalement sacrifiées et différentes mesures sont réalisées :

- l'activité de la phosphoénolpyruvatecarboxykinase (PEPCK, qui catalyse l'étape limitante de la néogluco-génèse) ;

- l'activité de la glucose-6-phosphatase (G6Pase, dernière étape avant la libération de glucose par le foie) ont été mesurées ;

- la teneur en glycogène dans le foie.

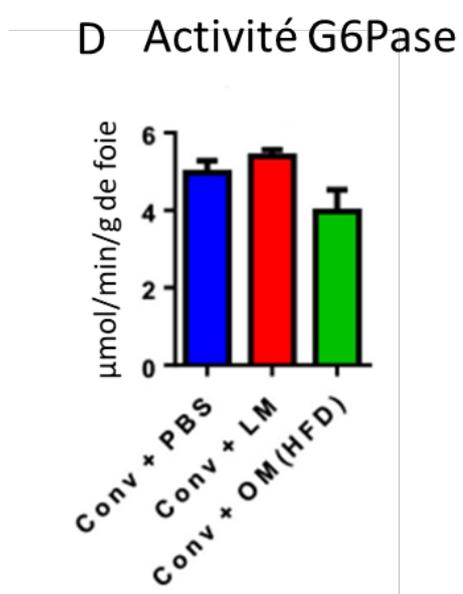
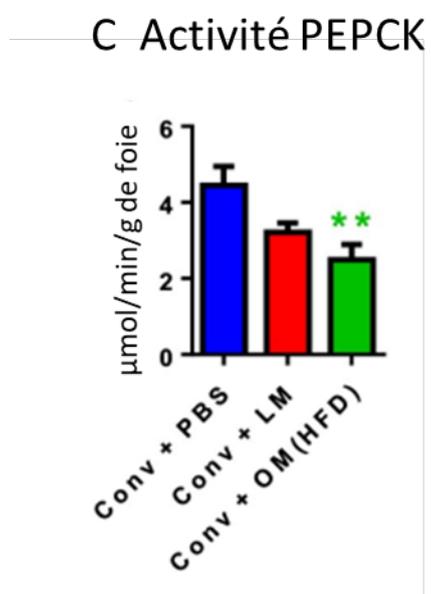
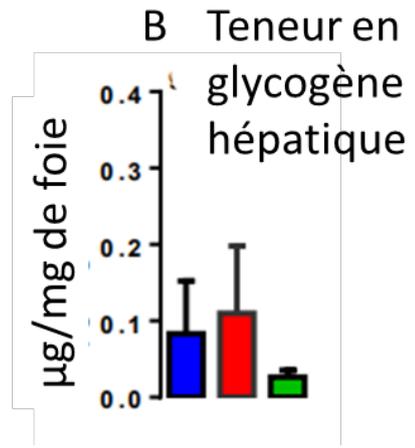
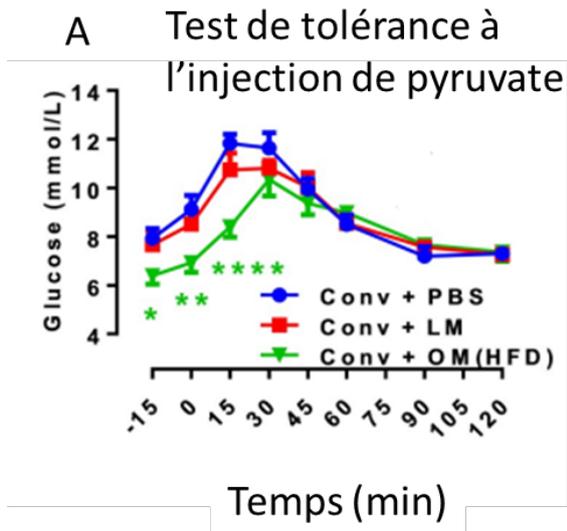


Figure 1.2 : Effet du transfert de microbiote sur l'activité hépatique.

Le métabolome des souris est également déterminé par dosage de la concentration plasmatique des métabolites dans le sérum (figure 1.3).

Question I.B.3 - Interpréter les résultats obtenus dans la figure I.2 et I.3 et proposer des hypothèses explicatives.

Par rapport aux souris contrôles, seul le transfert d'un microbiote de souris obèse ralentit l'apparition d'une hyperglycémie plasmatique. Ceci suggère une perturbation de l'homéostasie glycémique chez les souris ayant reçu un microbiote dysbiotique de souris obèse, peut-être par modification de la synthèse ou de la sécrétion du glucagon, à moins que le transfert de ce microbiote ait induit une forme d'insensibilité au glucagon.

La teneur en glycogène hépatique n'est cependant pas modifiée quel que soit le microbiote transplanté, ce qui montre que le microbiote n'agit pas directement sur la glycogénogenèse ou la glycogénolyse hépatique. La baisse de l'activité PEPCK uniquement à la suite du transfert de microbiote de souris obèse montre que ce microbiote inhibe partiellement la néoglucogenèse, ce qui peut expliquer l'absence de baisse du glycogène hépatique ainsi que le retard à la hausse de la glycémie.

L'activité G6Pase n'est pas modifiée quelles que soient les conditions, ce qui montre que le retard à la hausse de la glycémie dans le test d'intolérance au pyruvate ne résulte pas de la libération de glucose par le foie.

Ces données montrent que le microbiote de souris obèses peut modifier l'activité hépatique notamment en réduisant la néoglucogenèse et en retardant la réponse en cas d'hypoglycémie. Le mécanisme est inconnu à ce stade avec la figure I.2.

L'étude du métabolome hépatique révèle qu'une plus forte teneur en lactate à la suite du transfert de microbiote et une baisse de certains précurseurs du glucose dans le cas d'un transfert de microbiote de souris obèses.

Cette étude du métabolome confirme que la néoglucogenèse est partiellement inhibée par la présence d'un microbiote de souris obèse.

Ainsi, le microbiote peut modifier l'homéostasie glucidique notamment en inhibant la néoglucogenèse hépatique, ce qui retarde la réponse de l'organisme en cas d'hypoglycémie. Les mécanismes reliant le microbiote à l'activité hépatique restent inconnus à l'issue de ces documents.

Une analyse complète doit proposer des hypothèses explicatives mais éviter de se perdre en paraphrase écrite des données des courbes.

I.C - Étude des apports à un organe locomoteur : exemple du Criquet

Le Criquet migrateur se déplace en volant sur des distances qui peuvent varier du mètre à la centaine de kilomètre. Ce déplacement implique une activité musculaire intense et le puisement des ressources dans des réserves.

Question I.C.1 - Prélever un fragment de tissu adipeux dans la partie abdominale et réaliser une préparation microscopique à l'aide du colorant approprié pour mettre en évidence les réserves à l'échelle cellulaire. Les colorants disponibles sont les mêmes que ceux proposés dans la **partie I.A.**

Appeler le jury pour vérifier la qualité de votre préparation microscopique.

Présentation d'un montage propre avec adipocytes présents et coloration au rouge Soudan III des gouttelettes lipidiques.

Les quelques présentations faites ont souvent été de bonne qualité, le geste technique posant très peu de difficulté ici.

Question I.C.2 - Définir ce qu'est un appendice chez les Arthropodes et nommer les appendices locomoteurs du criquet.

Les appendices des arthropodes sont des formations articulées disposés par paire à chaque métamère. Pattes locomotrices P1, P2, et P3.

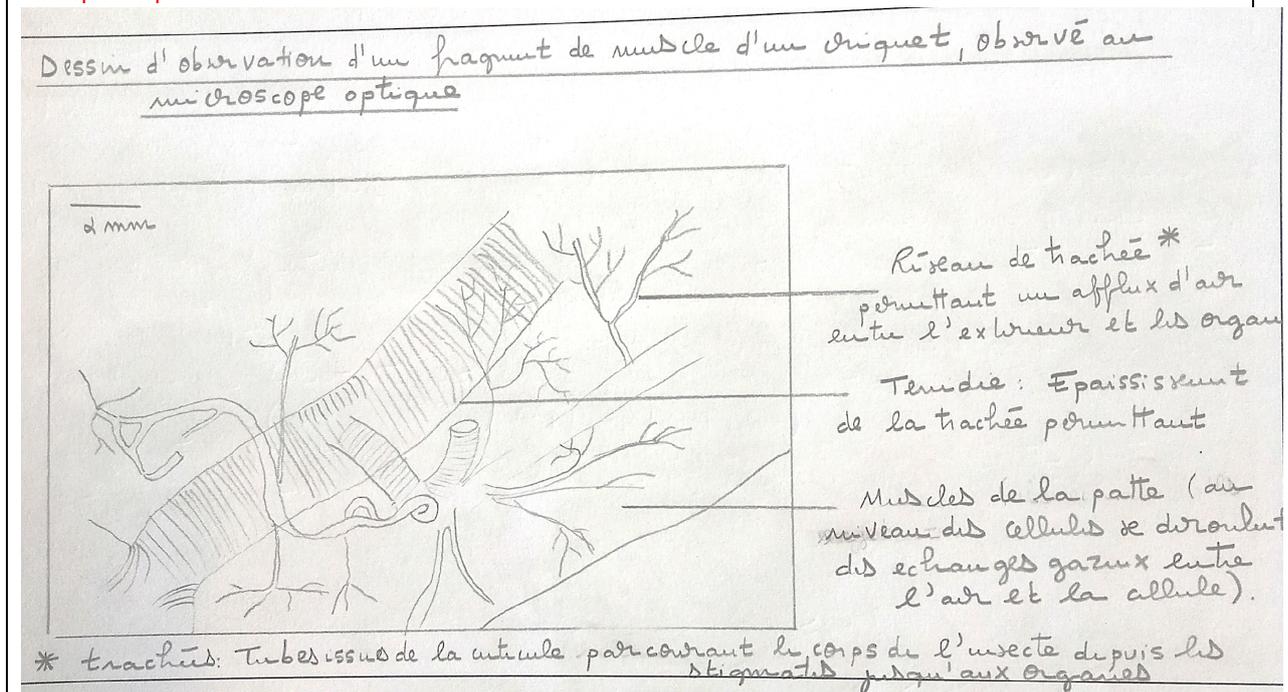
Il semble nécessaire de rappeler que les ailes ne sont pas des appendices métamérisés mais des expansions du tégument.

Question I.C.3 - Réaliser un montage de muscle prélevé dans la patte postérieure afin de mettre en évidence les structures permettant les apports aux muscles lors de leur activité. Si vous réalisez une ou plusieurs colorations, justifier vos choix dans le cadre réponse ci-après. Les colorants disponibles sont ceux de la question I.A.2.

Réaliser un dessin d'observation comportant des légendes fonctionnelles.

Appeler le jury pour vérifier l'adéquation entre votre dessin d'observation et le montage réalisé.

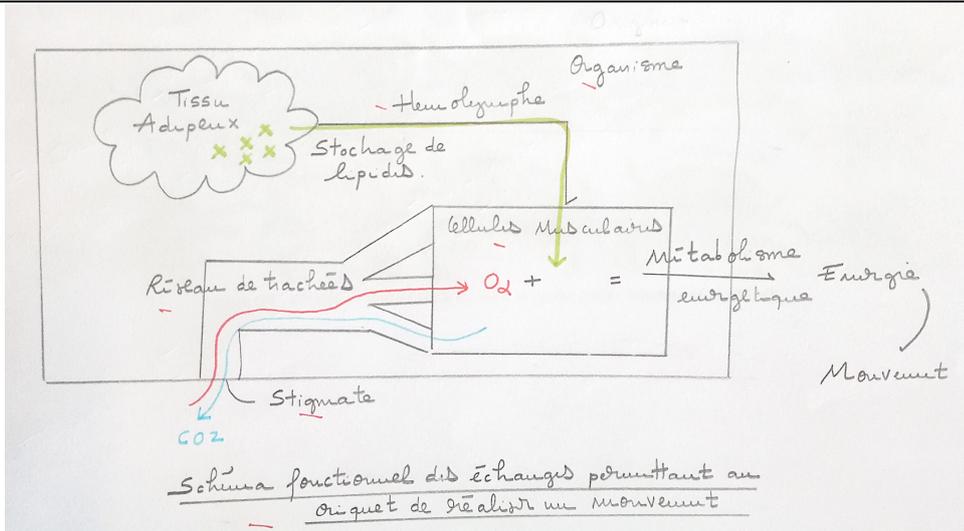
Objectif : mise en évidence de trachées et d'adipocytes au voisinage des fibres musculaires.
Coloration au rouge Soudan III pour mettre en évidence les adipocytes.
Coloration au bleu de méthylène pour renforcer les contrastes et mettre en évidence les fibres musculaires.
Légendes attendues : adipocytes, trachée, trachéole, fibre musculaire.
Exemple de production :



Question I.C.4 - Réaliser un schéma fonctionnel des échanges ainsi étudiés, à l'échelle de l'organisme.

Faire ressortir l'apport direct par les trachées, le passage des nutriments depuis les organes de réserves jusqu'aux muscles par l'hémolymphe, en insistant sur le caractère ouvert de l'appareil circulatoire.

Exemple de production :



Un seul croquis synthétique était attendu, mais appliqué à l'exemple du cricquet (IC). Il devait être à l'échelle de l'organisme et avec des légendes fonctionnelles.

Partie II - La perception du milieu, l'intégration du signal et la réponse.

II.A - Étude de quelques aspects de la biologie du Crabe vert

Vous disposez d'une patte de Crabe vert (*Carcinus maenas*) et de l'ensemble de photos suivantes.



Figure II.1 : Photos de crabes verts en vues dorsales (x0,5 ; Stevens et al., 2014).

II.A.1 - Biologie et physiologie du Crabe vert

Question II.A.1.a - Décrire les teintes de la carapace du Crabe vert et proposer une ou des hypothèses pouvant expliquer ses différentes couleurs.

Le Crabe vert *Carcinus maenas* a une carapace dont la couleur varie du vert à l'orange, beige et brunâtre, souvent parsemée de taches et peu uniforme. Sa couleur varie en fonction de son âge et de son habitat (camouflage, pression de sélection).

Vous disposez des cartes suivantes :

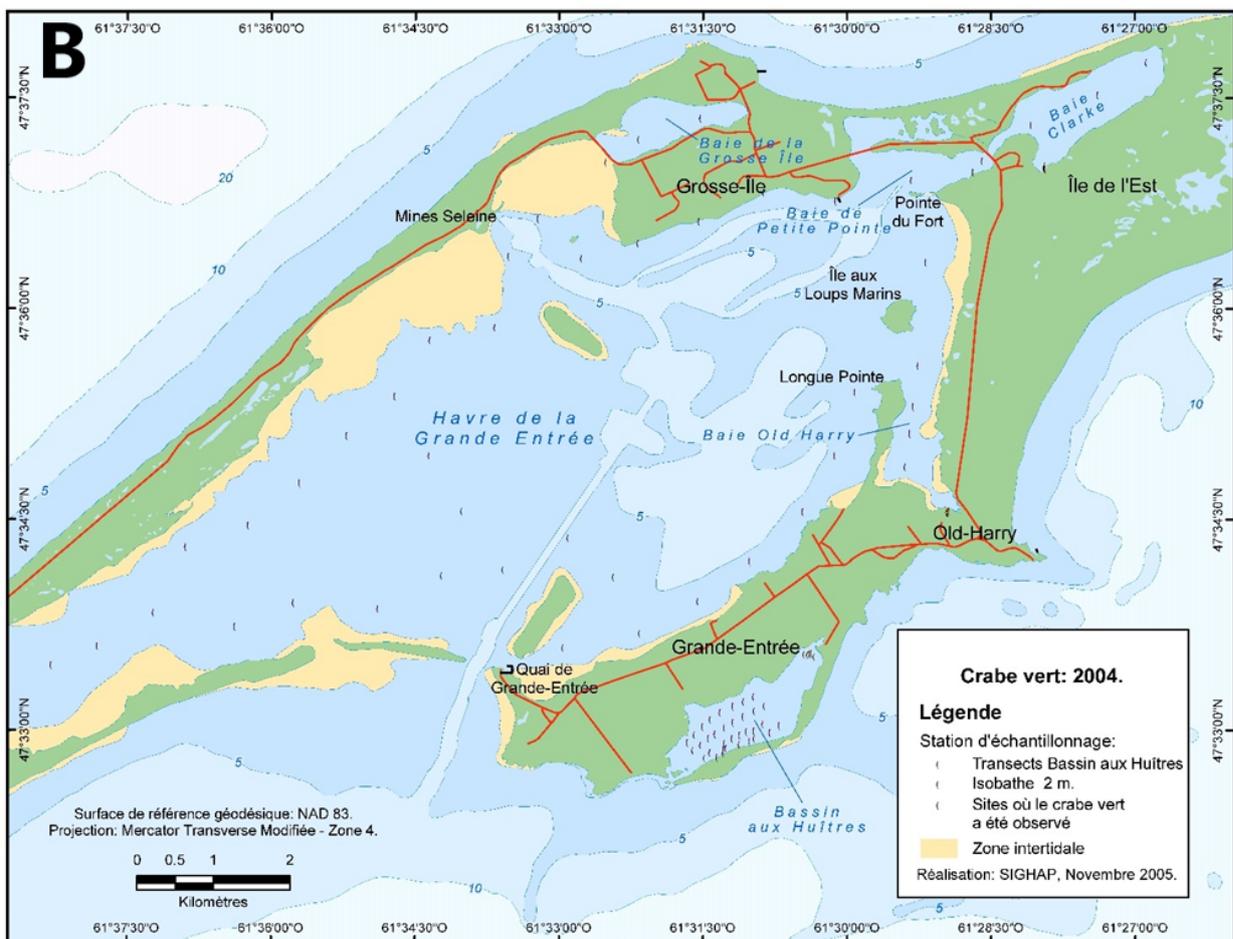
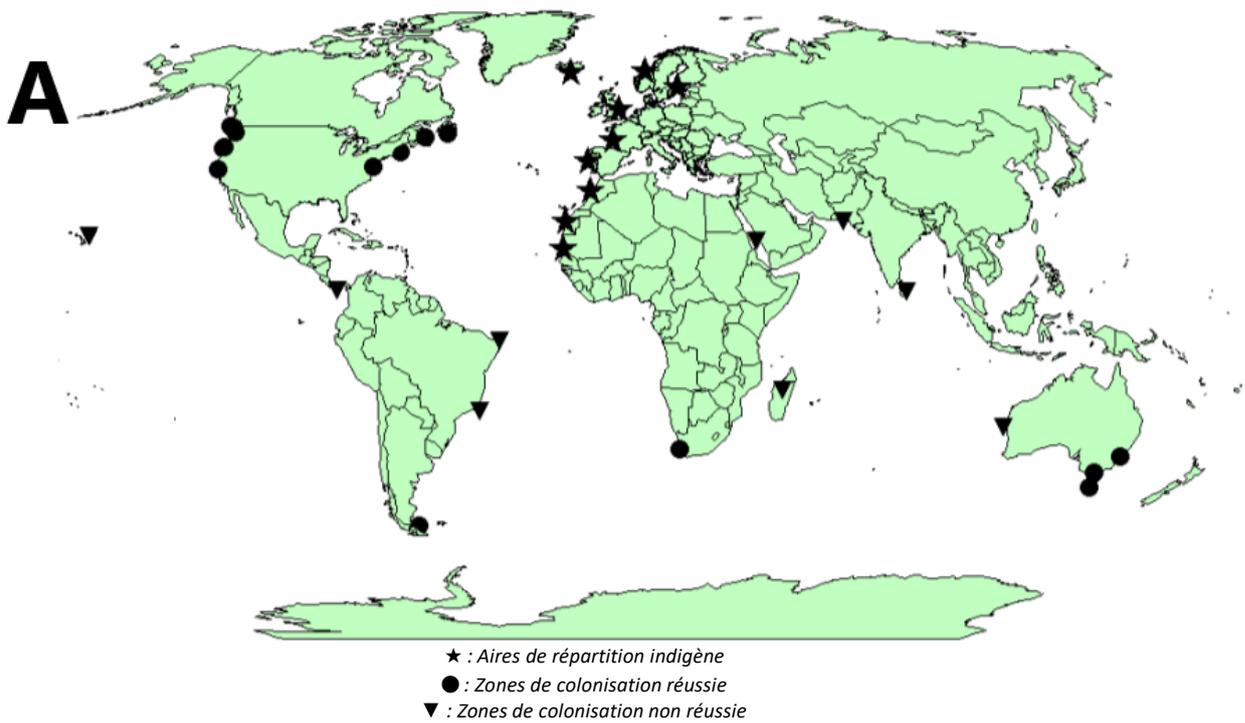


Figure II.2 : Cartes de répartition du crabe vert. A. Au niveau mondial. B. Au sein de la station d'échantillonnage des Îles-de-la-Madeleine en 2004. Paille et al., 2006

Question II.A.1.b - Expliquer les zones géographiques de répartition du Crabe vert.

Le Crabe vert est une espèce originaire des côtes européennes et nord africaines. Il est présent aussi loin qu'en mer Baltique à l'est, qu'en Islande et au centre de la Norvège à l'ouest et au nord de même qu'au Maroc et en Mauritanie au sud. Son expansion s'est faite par colonisation de nouveaux milieux, possiblement en conséquence des activités humaines.

Question II.A.1.c - Décrire l'habitat du Crabe vert.

Les Crabes verts se trouvent dans des zones peu profondes, généralement à moins de 6 m d'eau (occasionnellement à de plus grandes profondeurs allant de 20 à 100 m), notamment dans les estuaires, les vasières, les zones intertidale et subtidale, les schorres des marais maritimes, les côtes rocheuses, les herbiers à zostères et les plages. Paille et al. (2006) rapportent qu'il existe un partage des zones intertidale et subtidale puisque les crabes de taille modeste (<30 mm) coloniseraient principalement la zone intertidale alors que les individus de plus grande taille se trouveraient plus facilement en zone subtidale. Toutefois, il préfère les zones protégées avec un fond de sable, de vase ou de petits galets, avec présence de zostères. Il aime s'enfouir dans le sable, ce qui lui permet de se protéger du froid en hiver, et se cacher parmi les algues ou sous les rochers.

Le schéma suivant représente un réseau trophique simplifié impliquant le Crabe vert :

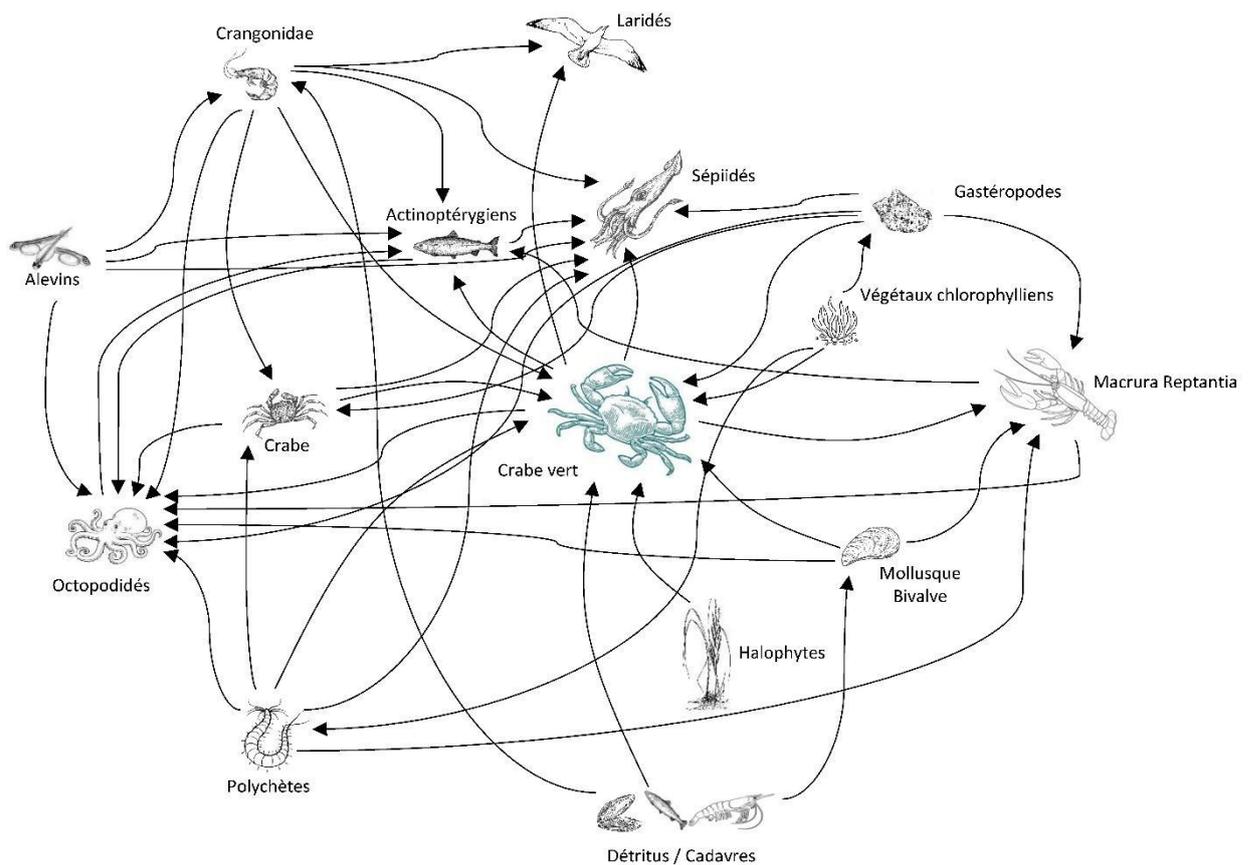


Figure II.3 : Réseau trophique impliquant le crabe vert.

Question II.A.1.d - Décrire le régime alimentaire du Crabe vert et construire à partir du réseau trophique de la figure II.3 une pyramide écologique. Citer des prédateurs de cette espèce.

Carcinus maenas est un prédateur omnivore s'alimentant de proies variées allant des polychètes et crustacés (y compris d'autres crabes verts) aux poissons Actinoptérygiens. Il peut consommer aussi des végétaux, notamment des halophytes

Il semble se nourrir préférentiellement de mollusques bivalves.

Le crabe vert a de nombreux prédateurs : poissons, autres crustacés, oiseaux de rivage comme les mouettes et les goélands, ou encore des Céphalopodes comme les seiches et pieuvres.

Question II.A.1.e - A partir de la morphologie de cette espèce et des photos des figures II.1 et II.4, proposer une ou des stratégies permettant au Crabe vert d'échapper à ses prédateurs.



Figure II.4 : Photos de crabes verts en vues dorsales et ventrales (x1).

Il est capable de se camoufler (d'où ses différentes teintes) et d'autotomie (mutilation réflexe d'une partie du corps) en cas de capture, sans que cela lui soit fatal, ce qui permet d'échapper à des prédateurs.

Question II.A.1.f - Certains pays considèrent le Crabe vert comme une espèce exotique envahissante. Décrire les conséquences possibles de l'introduction de cette espèce dans une région où elle était absente auparavant.

L'introduction du crabe vert dans certaines régions où il était absent a modifié les réseaux trophiques et a réduit de la biodiversité.

En effet, il peut détruire des habitats essentiels (en fouillant dans le sable à la recherche de proies, il peut couper des racines et ainsi détruire les herbiers de zostère) C'est un organisme vorace qui se nourrit à de nombreux niveaux trophiques différents (mollusques, crustacés et d'autres espèces marines indigènes, mais aussi de petits poissons ou de carcasses) ce qui déstabilise les réseaux trophiques.

Sa fertilité élevée (environ 185000 à 200000 œufs une ou deux fois par an), la présence du crabe vert en grand nombre peut contribuer à modifier rapidement la biodiversité de l'écosystème envahi, ce qui peut aussi avoir un impact sur les activités humaines comme la pêche ou l'aquaculture.

Question II.A.1.g - Expliquer à partir de quel moment une espèce est considérée comme invasive dans un lieu donné. Décrire les étapes nécessaires qui conduisent une espèce à devenir invasive.

Une espèce peut devenir envahissante à l'issue de 3 étapes :

- le transport et l'introduction d'individus, de larves ou autres formes de dissémination dans la nouvelle aire de répartition ;
- la naturalisation de l'espèce introduite lorsqu'elle parvient à se reproduire et à maintenir une population stable dans son nouvel écosystème.
- l'extension de son aire de répartition en étant plus compétitive que des espèces autochtones, pouvant entraîner des perturbations de l'écosystème.

Question II.A.1.h - Déterminer la taille invariable maximale du Crabe vert de la photo II.5.



Figure II.5 : Un crabe vert en vue dorsale

La taille est déterminée en mesurant la largeur de la carapace. La plupart des largeurs de carapace sont mesurées à partir de l'extérieur des pointes. Toutefois certains organismes américains et canadiens mesurent la largeur de la carapace à partir des encoches.

Sur la photo, la largeur de la carapace est entre 4,2 et 4,8 cm selon le protocole appliqué.

Toute largeur dont la mesure a été expliquée et dont la valeur est cohérente a été acceptée.

Question II.A.1.i - Le Crabe vert est une espèce eurytherme et euryhaline. En déduire certains paramètres de ses conditions de vie.

Le Crabe vert est une espèce eurytherme, capable de survivre à des températures allant de 0 à plus de 35°C. Il est également euryhalin, c'est-à-dire qu'il peut s'adapter à des taux de salinité variant de 4 à 52 ‰. Le Crabe vert tolère relativement bien les eaux à faible teneur en oxygène.

Question II.A.1.j - En comparant la photo II.6 de crabes de roche (*Cancer irroratus*) avec celles des Crabes verts précédentes, proposer des critères qui permettraient de construire une clé de détermination pour différencier ces deux espèces de crabes.



Figure II.6 : Photographies de spécimens de crabes de roche *Cancer irroratus* (crabe tourteau commun).

Les critères utilisables sont les suivants :

- la forme de la carapace (trapézoïdale chez *C. maenas*, plus ovale chez *C. irroratus*) ;
- le nombre de pics de chaque côté des yeux (5 de chaque côté chez *C. maenas*, 9 plus plats chez *C. irroratus*) ;
- la taille (5 cm chez *C. maenas* contre 10 à 15 pour *C. irroratus*) ;
- la couleur de la carapace (vert à orange chez le *C. maenas* et rouge/brun ou mauve pour *C. irroratus*).

Question II.A.1.k - Déterminer le sexe du Crabe vert de droite de la photo de la figure II.7A sachant que les gamètes présentés sur la photo de la figure II.7B ont été extraits du crabe de gauche et que le Crabe vert de la photo de la figure II.7C est une femelle portant ses œufs en position ventrale. Décrire, à l'aide de ces photos et de celles des figures précédentes, les caractères morphologiques qui permettent de distinguer les sexes des Crabes verts adultes.

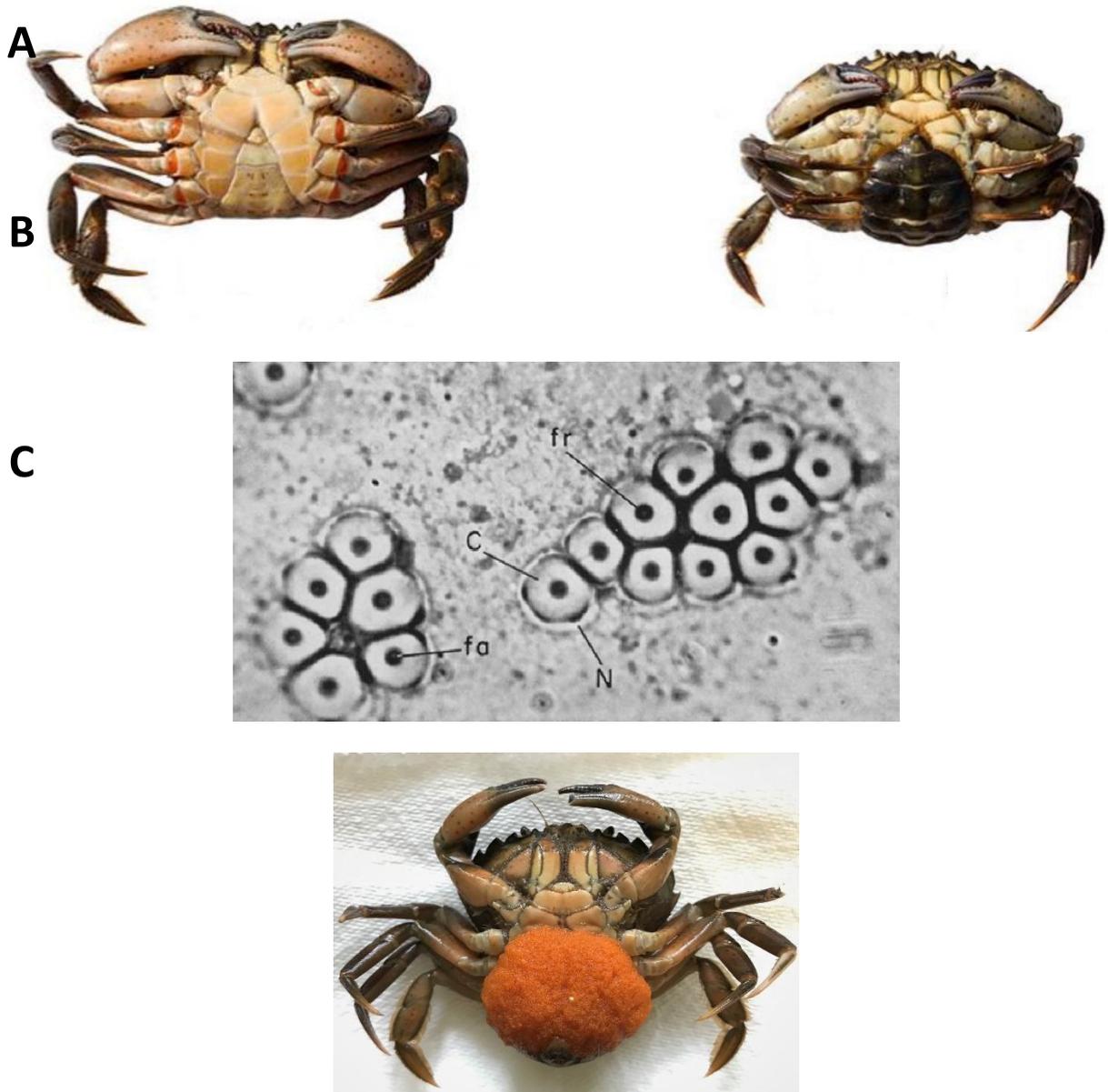


Figure II.7 : A. Photographies de deux spécimens de Crabes verts (x1). B. Gamètes (x1000 ; Chevallier, 1967) issus du Crabe vert adulte de gauche (II.7.A). C. Femelle *Carcinus maenas* portant ses œufs en position abdominale.
 Fa : formation axiale, C : capsule, N : Noyau, fr : formation réticulée

Chez les femelles, l'abdomen est large, arrondi. Chez les mâles, l'abdomen est étroit, de forme triangulaire et pointu. Les gamètes présentés sont des spermatozoïdes de Crabe vert observés au microscope. Il s'agit d'une photo d'une femelle à droite.

Question II.A.1.l - Expliquer comment s'effectue la reproduction du crabe.

Pendant la période de reproduction, le mâle capture la femelle avant qu'elle mue. La copulation n'est possible que lorsque la femelle a mué et avant que sa nouvelle carapace ne soit mise en place. La fécondation est interne. Le sperme est transféré par le mâle à l'aide de deux paires de pattes abdominales modifiées. Les œufs sont transportés jusqu'à éclosion fixés aux pattes abdominales. La femelle pond souvent plusieurs mois plus tard. Une fois les œufs éclos, les juvéniles subissent plusieurs métamorphoses (4 stades de larve zoé planctoniques et un stade de larve mégaloopa) avant de prendre leur apparence.

Question II.A.1.m - A partir de la photo de dissection de Crabe vert présentée dans la figure II.8, nommer et indiquer le numéro de(s) organe(s) impliqués dans la respiration. Expliquer la(les) modalité(s) de respiration du crabe.

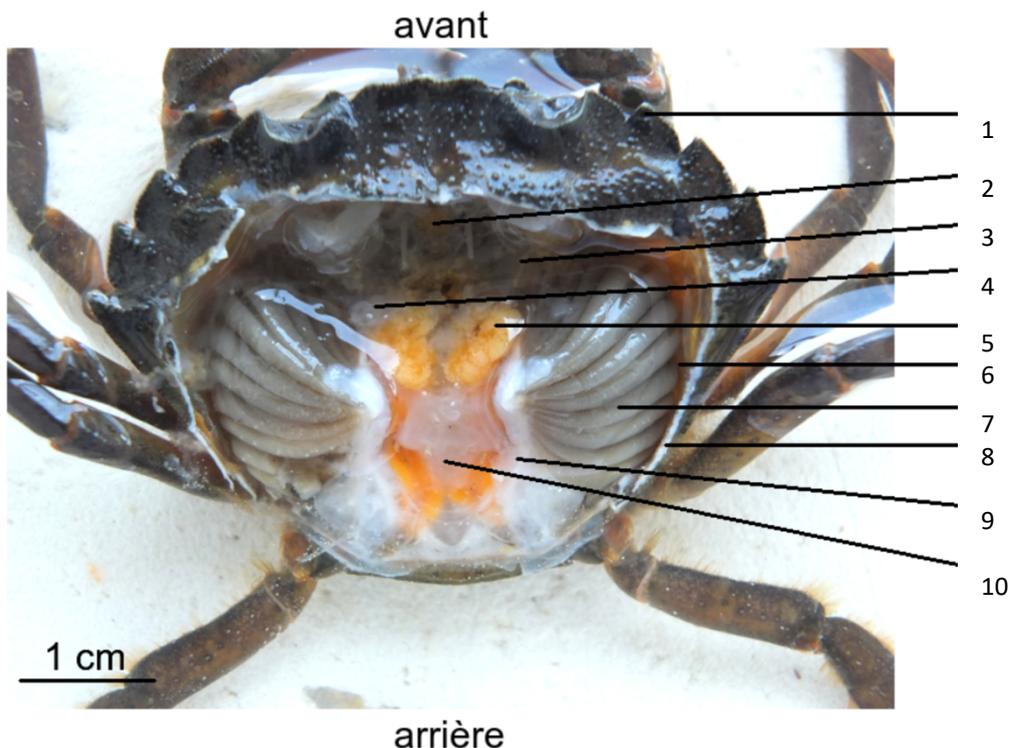
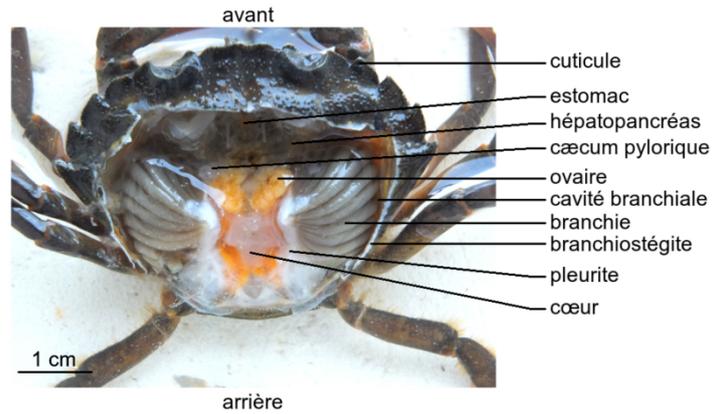


Figure II.8 : Dissection de la cavité générale de *Carcinus maenas*.

En milieu marin, le passage de l'eau (riche en oxygène) entre les filaments branchiaux permet la réalisation des échanges gazeux entre l'eau de mer et l'hémolymphe. Les crabes créent un courant d'eau dans les chambres branchiales limitées les branchiostégites grâce au mouvement des scaphognathites, expansions de la première paire de maxille qui entraînent l'eau vers les branchies. L'eau est constamment renouvelée entre les filaments branchiaux qui sont bien vascularisés. L'hémolymphe enrichie en dioxygène regagne le cœur par les vaisseaux efférents branchiaux et est ensuite distribuée aux organes grâce aux contractions cardiaques. De cette manière, le crabe effectue des échanges gazeux : il peut capter l'O₂ et se débarrasser du CO₂ que son métabolisme produit naturellement. Il assure ainsi sa respiration lorsqu'il est immergé.



Lorsqu'il sort de l'eau, le crabe conserve de l'eau dans les cavités branchiales. L'oxygène contenu dans cette eau passe dans l'hémolymphe, grâce au maintien d'un système respiratoire humide.

Question II.A.1.n - Situer l'animal dans la classification phylogénétique des Eumétazoaires en vous appuyant uniquement sur les caractères visibles des photos.

Bilatérien (*symétrie bilatérale*)

Ecdysozoaire (*le corps est recouvert d'une cuticule épaisse*)

Euarthropode (*le corps est segmenté (métamérisé) et les appendices sont articulés*)

Malacostracé (*tête et thorax sont fusionnés en un céphalothorax*)

Décapode (*cinq paires de pattes ambulatoires*)

Question II.A.1.o - A partir des connaissances acquises sur la Langoustine, sur le dessin ci-après, positionner les termes suivants : Antennule, Carpopodite, Céphalothorax, Chélipède, Œil, Périopode 4.

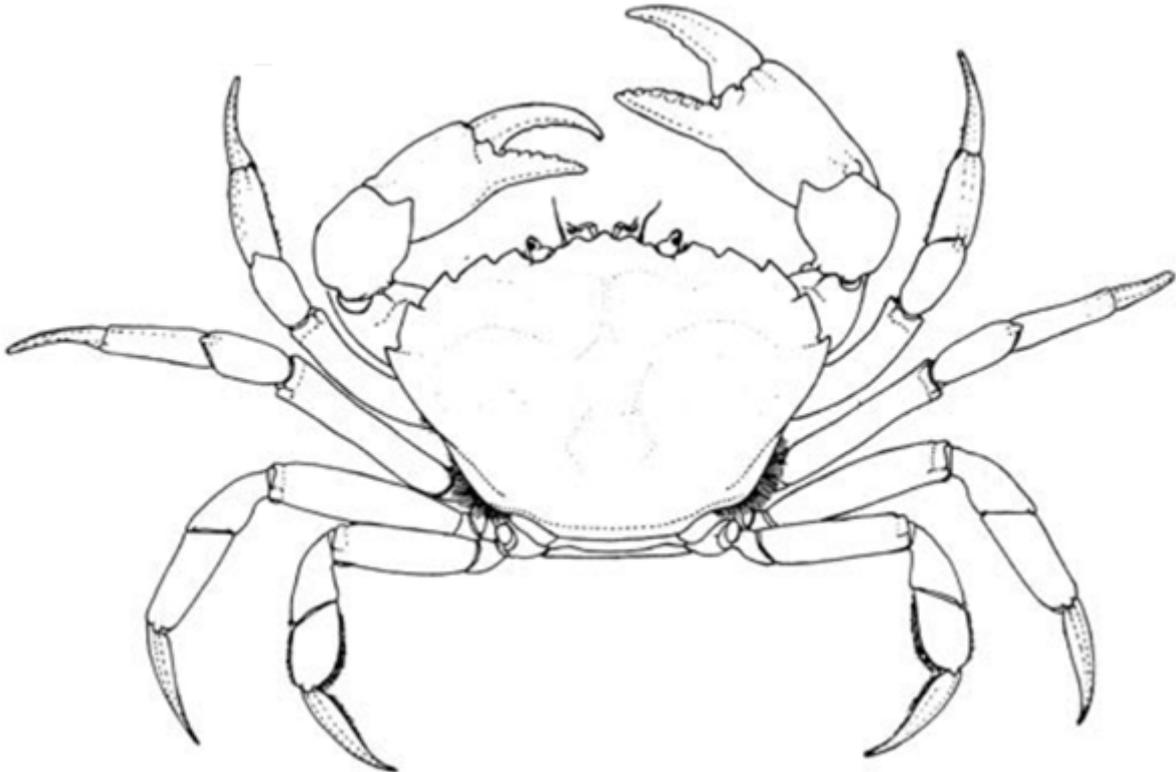
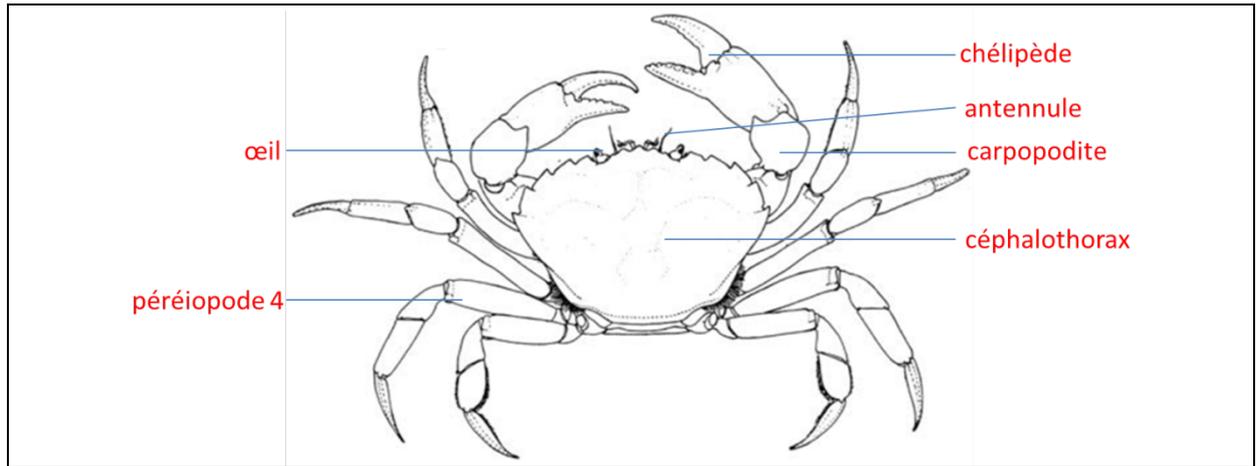


Figure II.9 : Dessin d'observation de la morphologie d'un crabe vert en vue dorsale.



II.A.2 - Etude de quelques polluants sur la physiologie des crabes verts

► Une expérience (Depledge, 1984 ; Bamber et Depledge, 1997) a consisté à prélever des crabes verts dans des zones sublittorales du rivage de l'île de Cumbrae (Ecosse) et à les placer dans le dispositif expérimental suivant afin de mesurer leur activité cardiaque et respiratoire en circuit ouvert (avec renouvellement de l'eau de mer) ou fermé (exposition temporaire au Cu^{2+} ou au Hg^{2+} sans renouvellement de l'eau de mer).

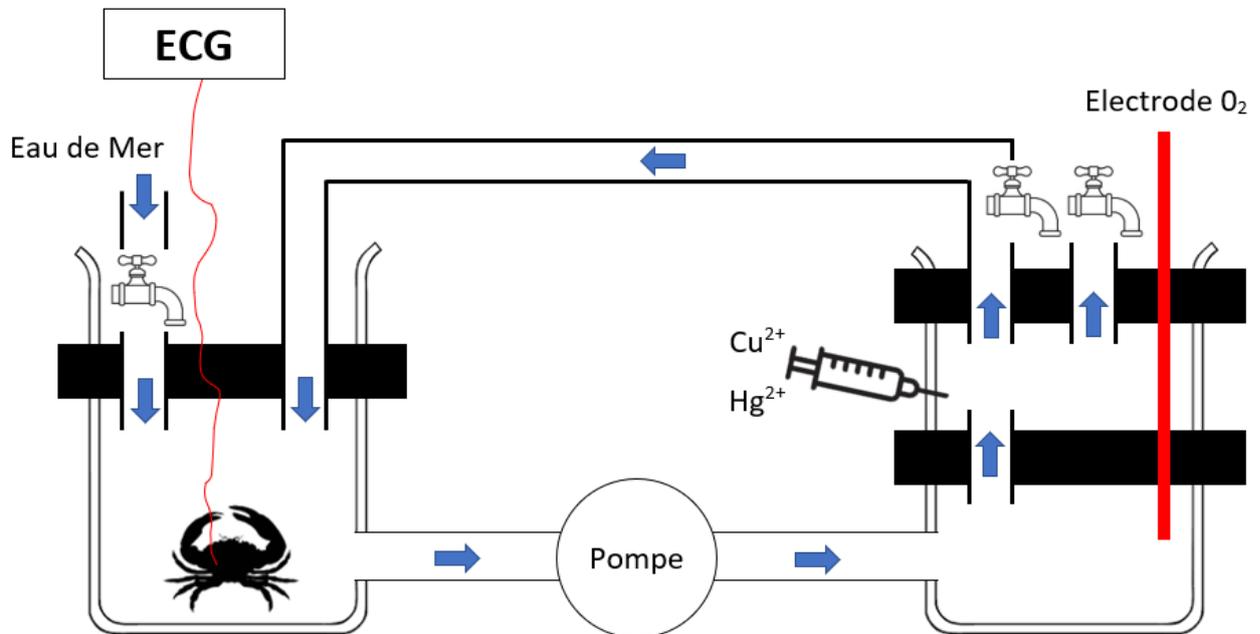


Figure II.10 : Schéma du protocole expérimental réalisé pour mesurer l'effet des ions Cu^{2+} et Hg^{2+} sur les paramètres cardiaques et respiratoires de Crabes verts.

La condition normoxique, avec une eau de salinité identique à celle du milieu de vie des crabes, à température de 15°C et sans perturbation, est considérée comme la condition standard.

Ce dispositif permet de mesurer l'indice de perfusion $\dot{Q}/\dot{V}\text{O}_2$ avec \dot{Q} ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$) = $N\dot{Q}$ (expérimental) / $N\dot{Q}$ (standard) x (coefficient poids-spécifique \dot{Q} de Taylor) où $N\dot{Q}$ est la valeur de débit cardiaque.

Les résultats sont les suivants :

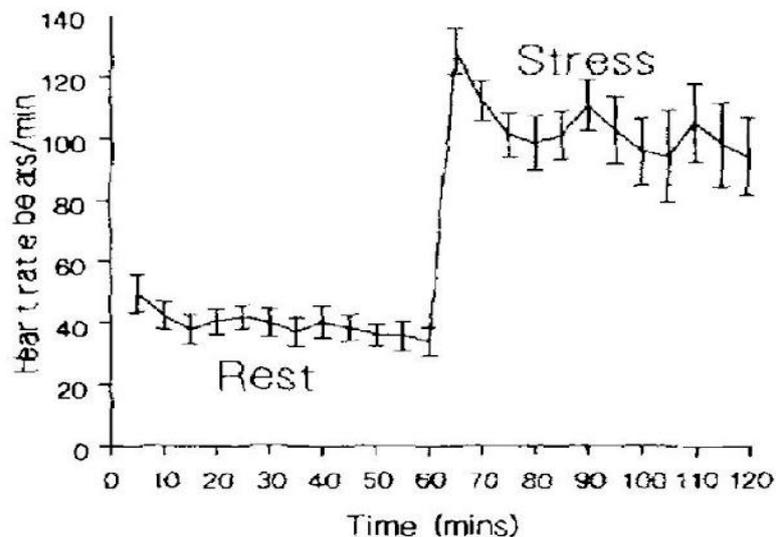
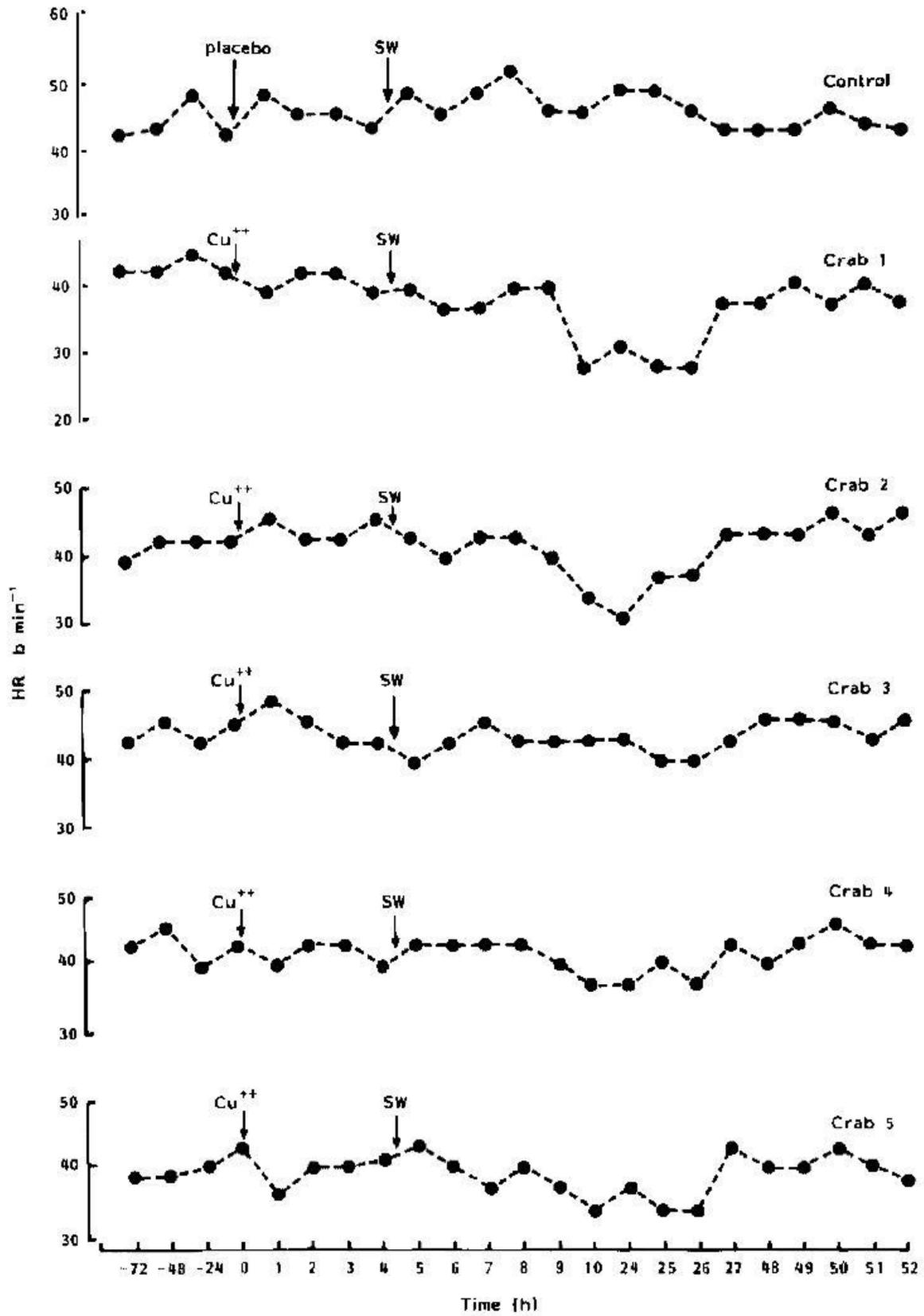


Figure II.11 : Fréquence cardiaque moyenne (\pm écart-type de la moyenne) au repos (rest) et après un stress physique (agitation de l'eau du réservoir)



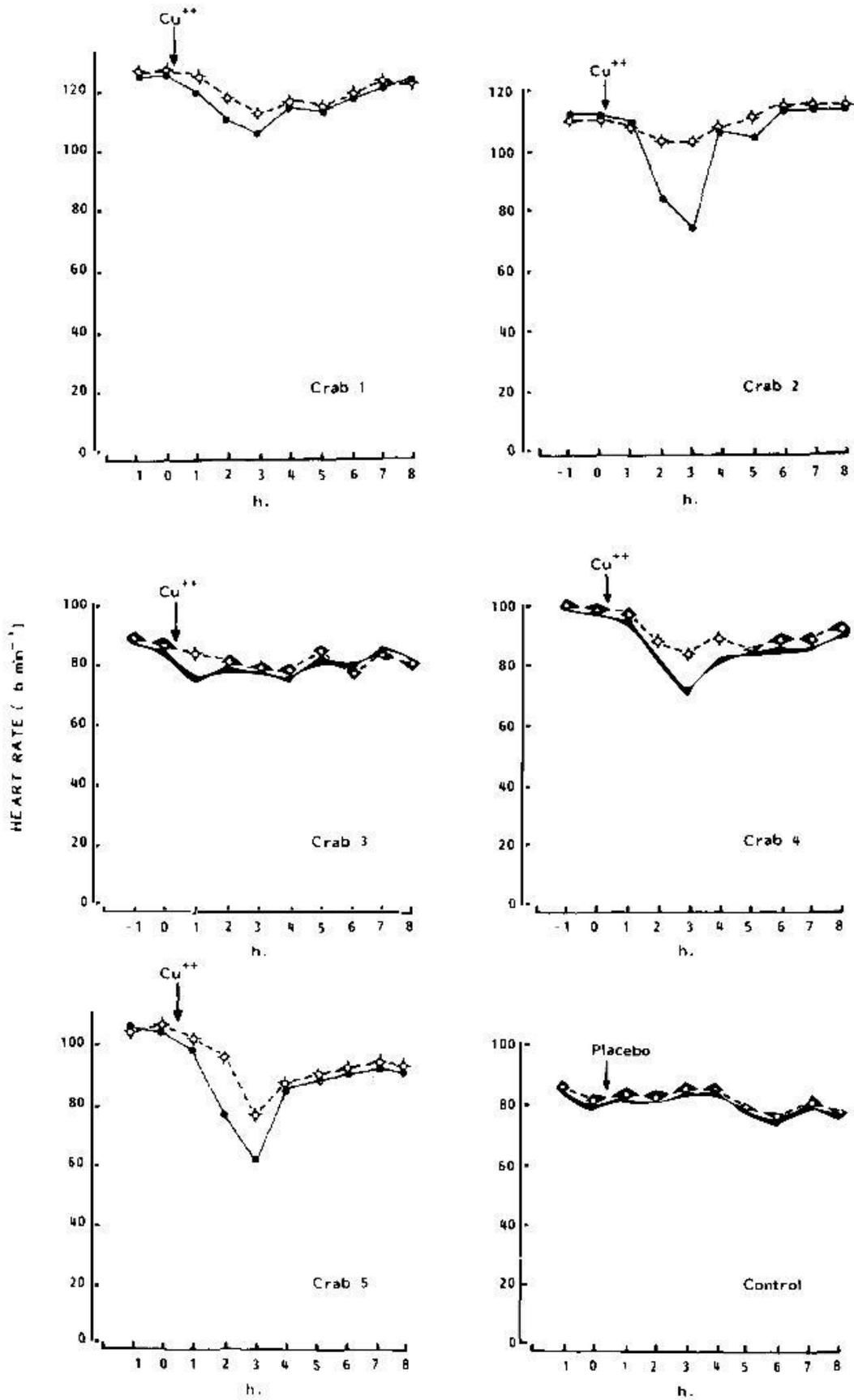


Figure II.12 : Variation de la fréquence cardiaque à la suite d'une exposition à 3 mg.l⁻¹ (gauche) et 10 mg.l⁻¹ (droite) au Cu²⁺.
 ● : moyenne, ◻ : médiane. SW (seawater) : eau de mer.

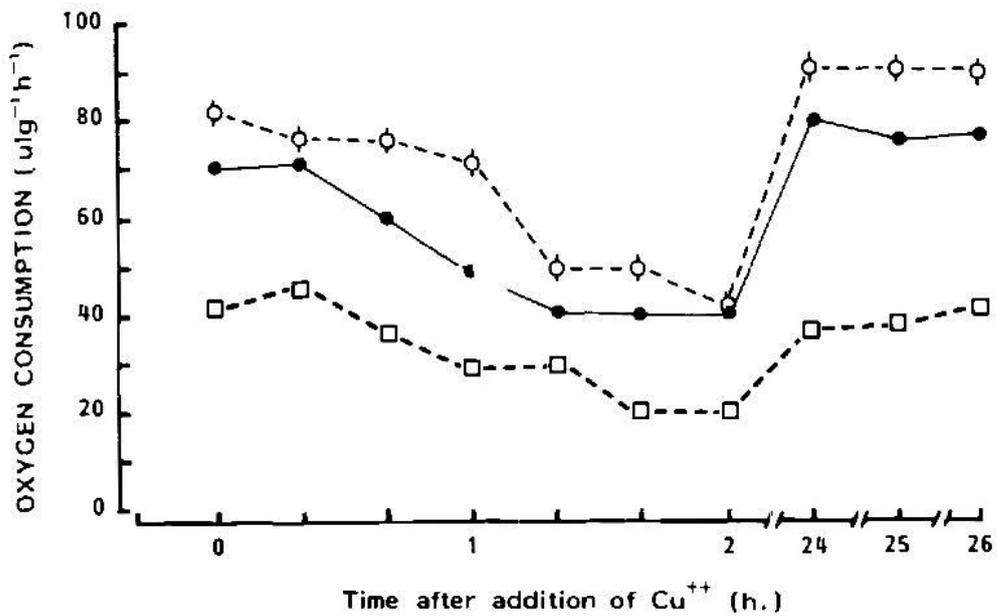
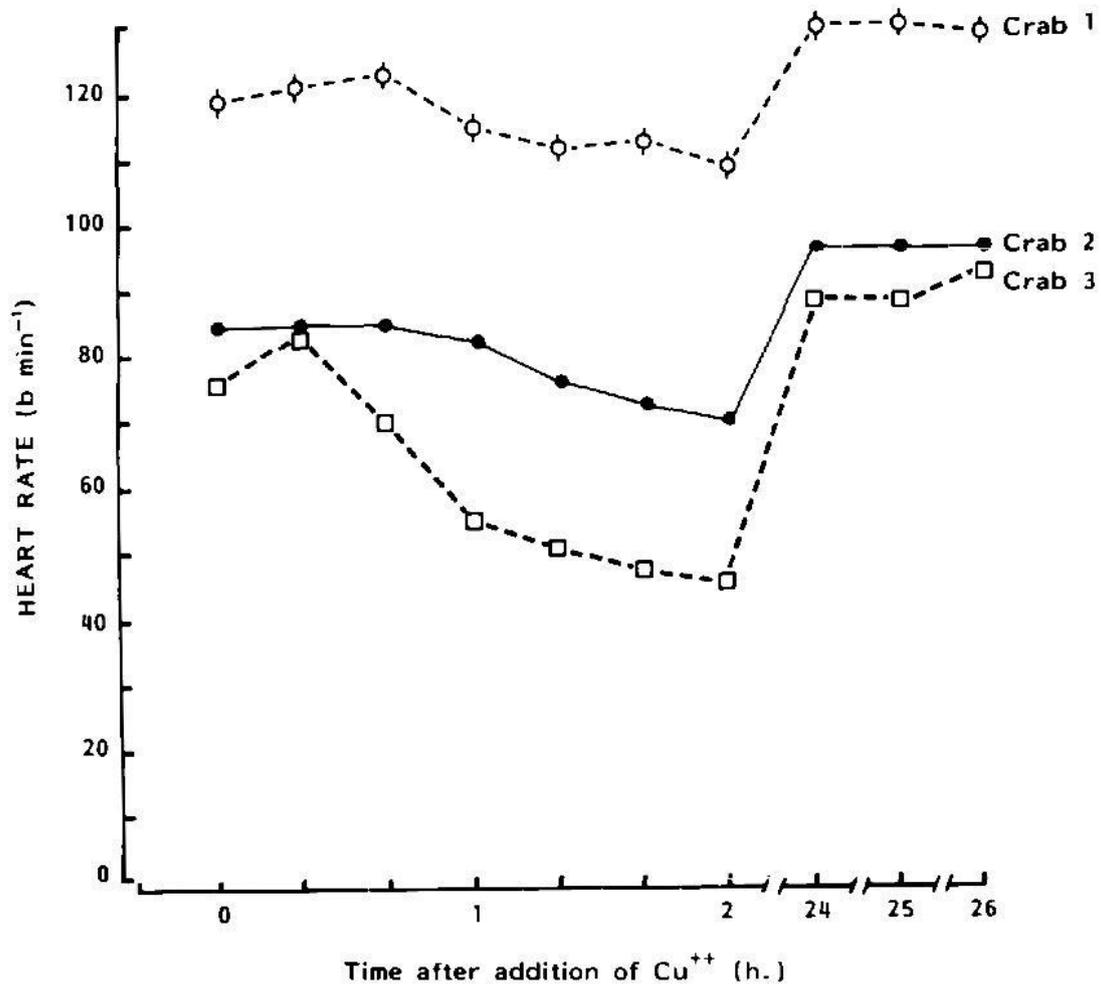


Figure II.13 : Variation de la fréquence cardiaque et de la consommation d'oxygène à la suite d'une exposition à 10 mg.l⁻¹ au Cu²⁺.

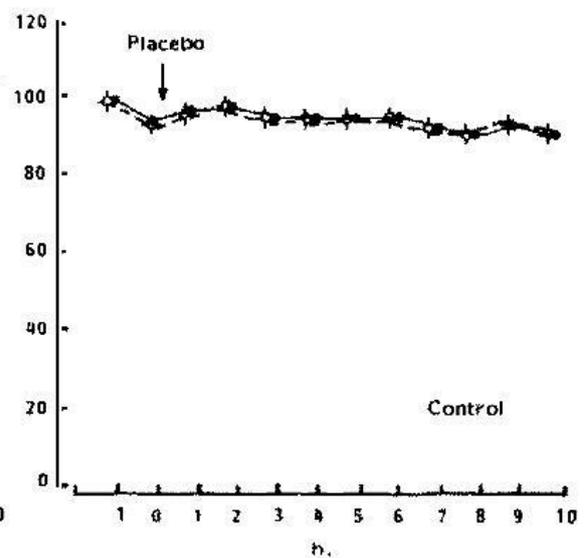
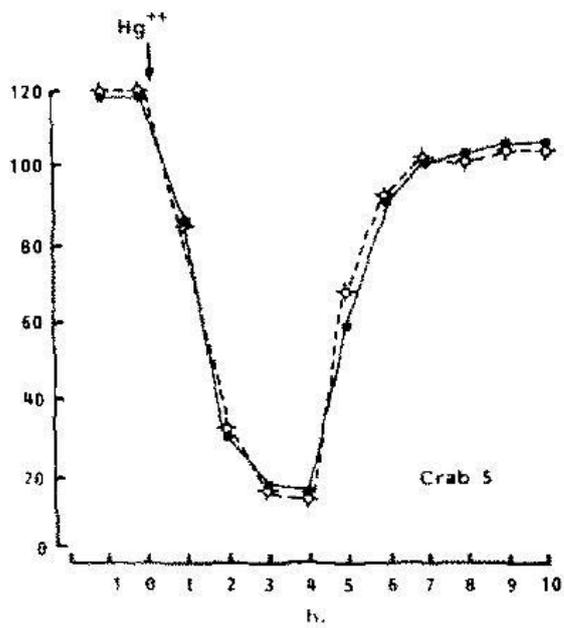
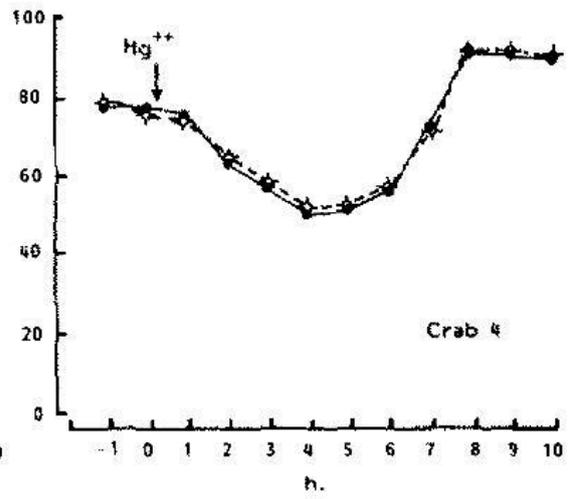
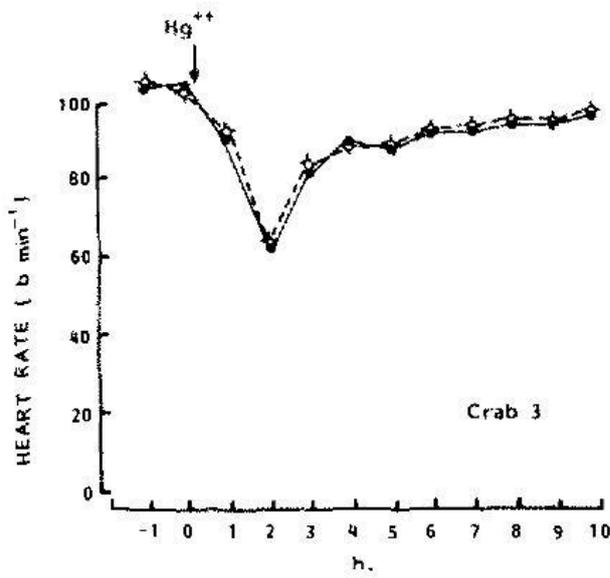
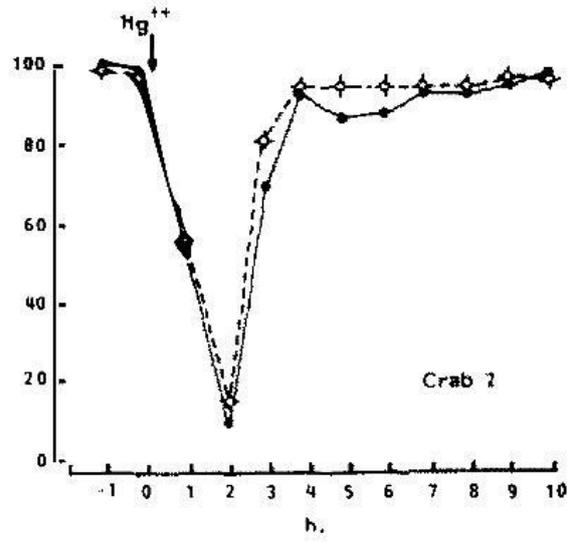
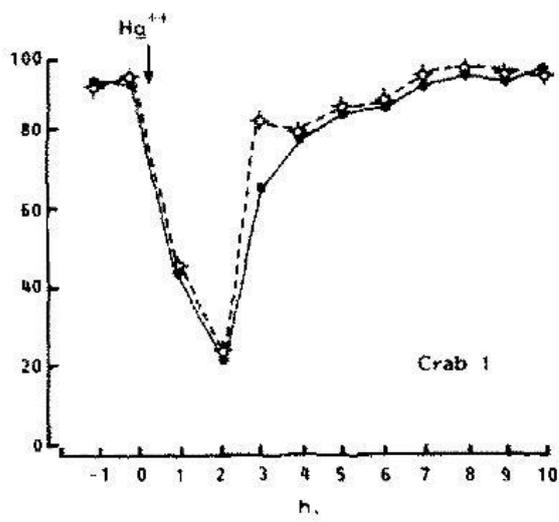


Figure II.14 : Variation de la fréquence cardiaque à la suite d'une exposition à 1 mg.l⁻¹ (gauche) au Hg²⁺.
A 10 mg.l⁻¹, tous les crabes sont morts.

● : moyenne, ◻ : médiane.

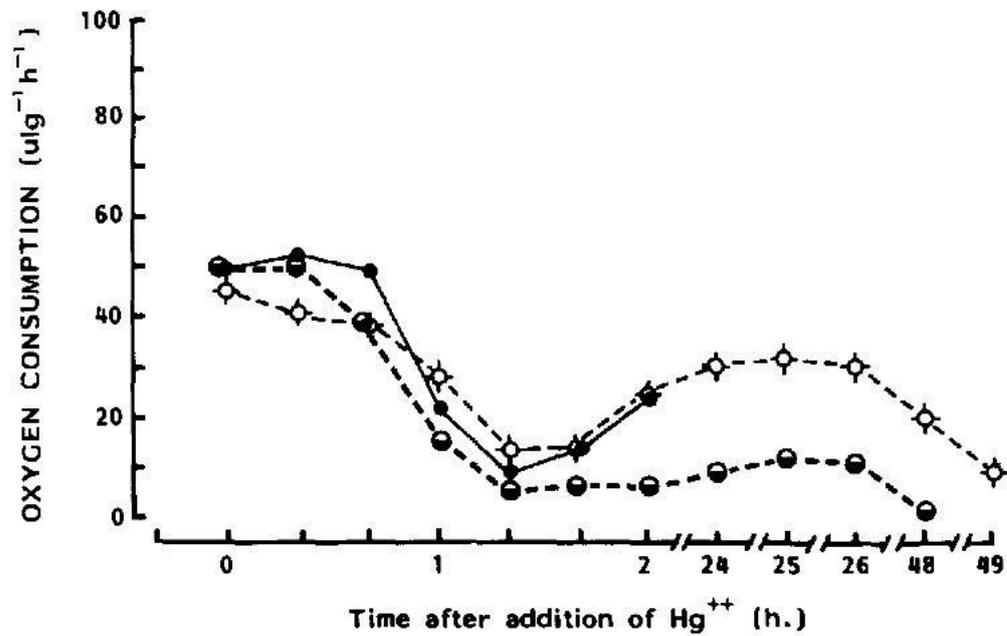
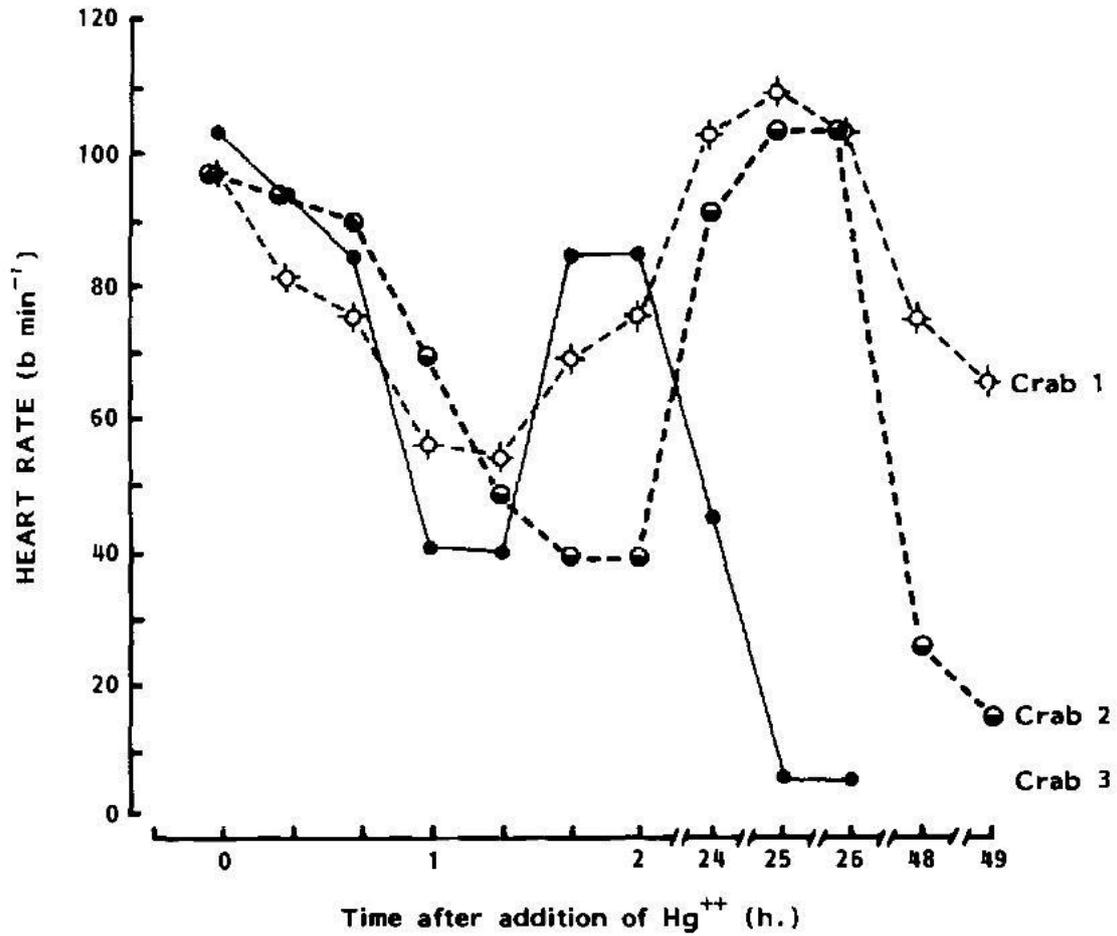


Figure II.15 : Variation de la fréquence cardiaque et de la consommation d'oxygène à la suite d'une exposition à 1 mg.l⁻¹ au Hg²⁺.

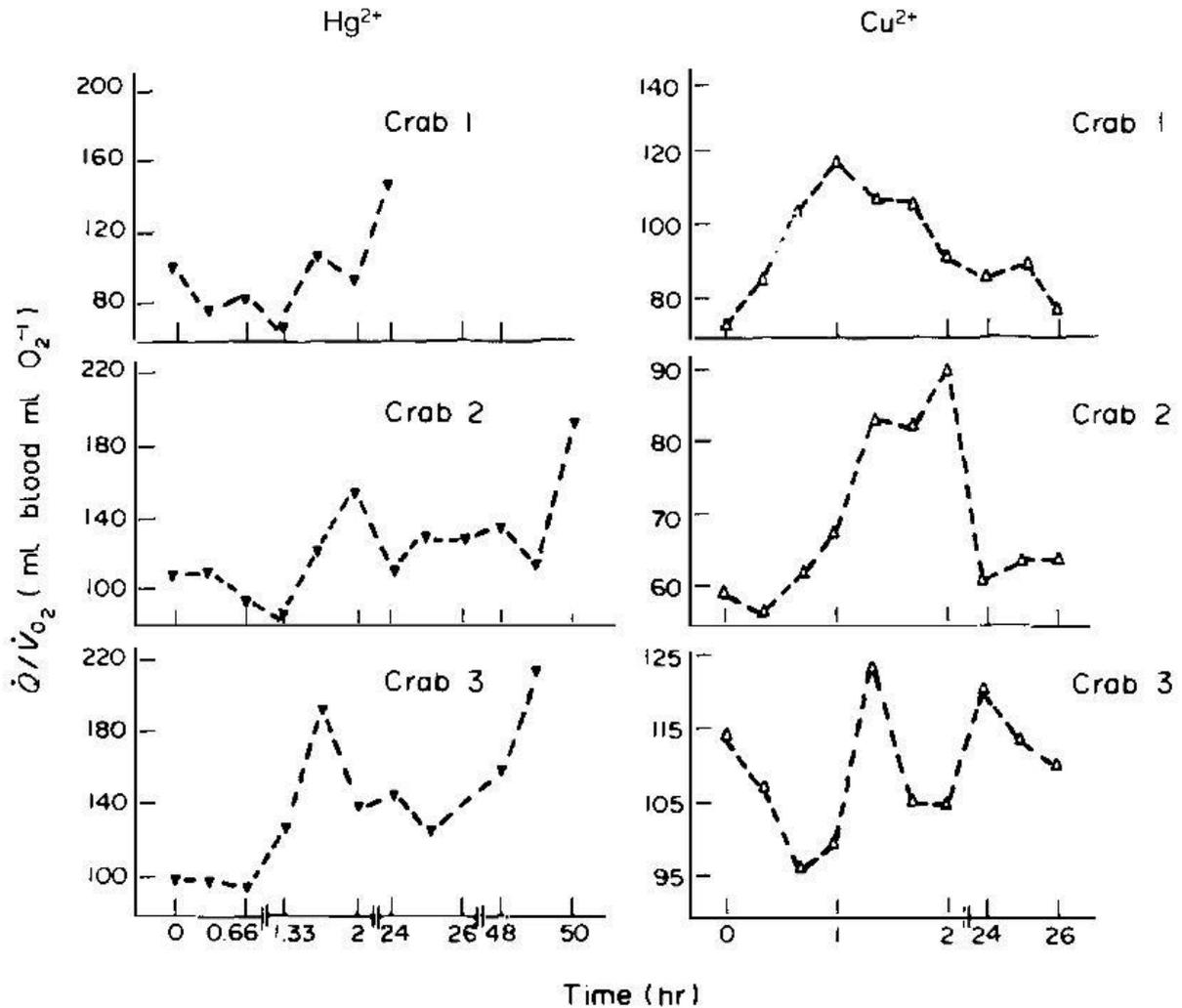


Figure II.14 : Variation de l'indice de perfusion ($\dot{Q}/\dot{V}O_2$).

Question II.A.2.a - Nommer les éléments chimiques testés au cours de cette expérience, analyser et interpréter les résultats de ces expériences. Proposer une conclusion.

Les éléments testés sont le Cu^{2+} (ion cuivre II) et le Hg^{2+} (ion mercure II).

Le crabe vert a souvent été considéré comme espèce indicatrice ou biomarqueur pour le suivi de la contamination par des métaux lourds ou des plastiques.

La pollution par des métaux lourds a été associée à l'insuffisance respiratoire et cardiaque. Les ions cuivre (Cu^{2+}) à la concentration de 3 mg.ml^{-1} ont peu d'effet sur l'activité cardiaque si ce n'est quelques alternances de bradycardie et de tachycardie. Toutefois, à une concentration de 10 mg.l^{-1} , ils affectent négativement son activité cardiaque et respiratoire, mais cet effet est transitoire et réversible. Des changements similaires ont été observés pour des concentrations de mercure (Hg) de l'ordre de 1 mg.l^{-1} . Par contre, l'exposition au mercure (Hg^{2+}) a entraîné rapidement 100 % de mortalité chez les crabes exposés à une concentration de 10 mg.l^{-1} et une mortalité après quelques heures pour ceux exposés à une concentration de 1 mg.l^{-1} .

► Puis, à l'aide d'une micropipette, approximativement $50 \mu\text{l}$ d'hémolymphe ont été prélevés avant et, à différents intervalles de temps, après exposition au Cu^{2+} au niveau d'une petite blessure faite dans la membrane arthrodaliennne à la base d'une patte locomotrice chez des crabes verts ayant été placés dans une eau de salinité égale à 5 g.kg^{-1} (5 ppt : *part per thousand*). La mesure de l'osmolalité à l'aide d'un osmomètre à pression de vapeur donne les résultats suivants :

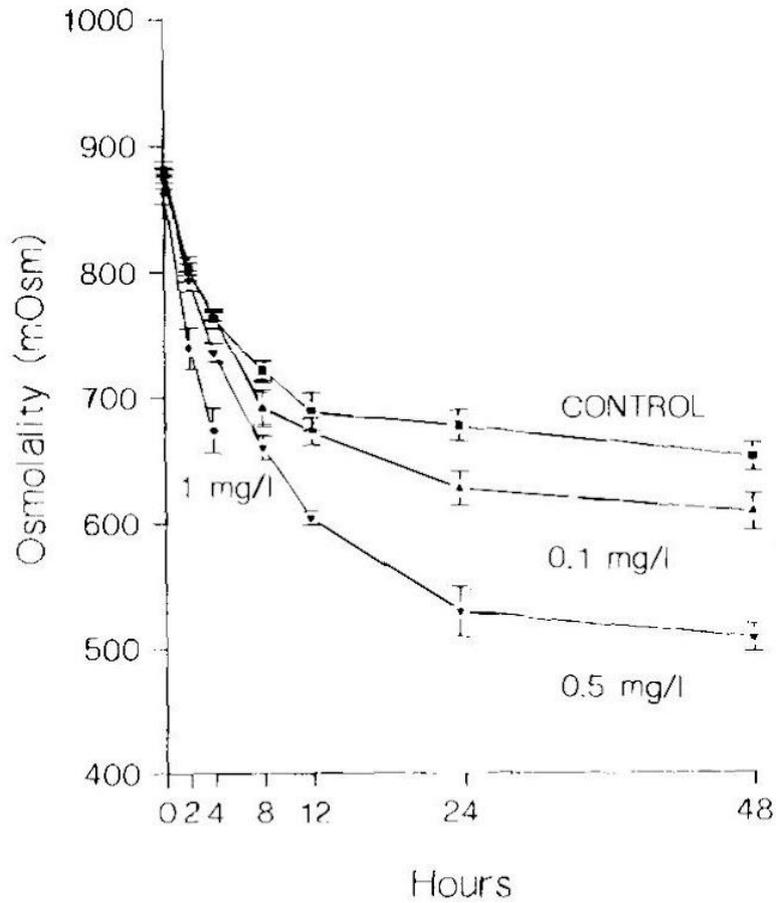


Figure II.15 : Variation de l'osmolalité de l'hémolymphe (\pm écart-type de la moyenne) en fonction du temps pour différentes concentration de Cu^{2+} .

Question II.A.2.b - Définir le terme « osmolalité ». Indiquer la différence avec l'osmolarité.

En biochimie, l'osmolalité est une mesure du nombre d'osmoles (unité de quantité de matière qui désigne une mole de particules effectivement en solution) de soluté par **kilogramme** de solvant. L'osmolalité est la mesure du nombre total de molécules dissoutes dans un liquide, quelle que soit leur nature.

L'osmolarité (concentration osmotique), est la mesure du nombre d'osmoles de soluté par **litre** de solution.

Question II.A.2.c - Analyser et interpréter les résultats de ces expériences. Proposer une conclusion.

Les crabes non exposés au Cu^{2+} présentent une chute rapide de leur osmolalité dans les premières heures puis un ralentissement de cette chute après 12h dans le milieu pauvre en sel. Le crabe vert est un osmorégulateur efficace.

Les adultes, euryhalins, peuvent tolérer des salinités variant de 4 à 52‰. Ils pourraient réduire leur perméabilité apparente à l'eau et ainsi faire face à des diminutions de salinité.

A la concentration de 0,1 mg.l^{-1} , l'exposition au Cu^{2+} entraîne de très légers troubles de l'osmorégulation. Ces troubles sont accentués pour une concentration de 0,5 mg.l^{-1} ou la chute de l'osmolalité est plus rapide. Pour 1 mg.l^{-1} , la chute est encore plus brutale. La mort des crabes est associée à la perte de la capacité d'osmorégulation dans une eau de salinité faible.

► Une autre expérience (Niyogi et al., 2016) a consisté à comparer l'effet d'une exposition pendant 96h à du zinc aqueux à la concentration de 3,6 mg.l^{-1} (50 μM) sur des crabes verts adultes (provenance : Barkley Sound, Colombie Britannique, Canada) placés dans des milieux de différentes salinité (20%=7 ppt, 60%=21 ppt et 100%=35 ppt). Les animaux du groupe témoin était placés dans des milieux ou la concentration de zinc aqueux résiduelle était de 0,02 mg.l^{-1} (0,3 μM).

Les résultats sont les suivants :

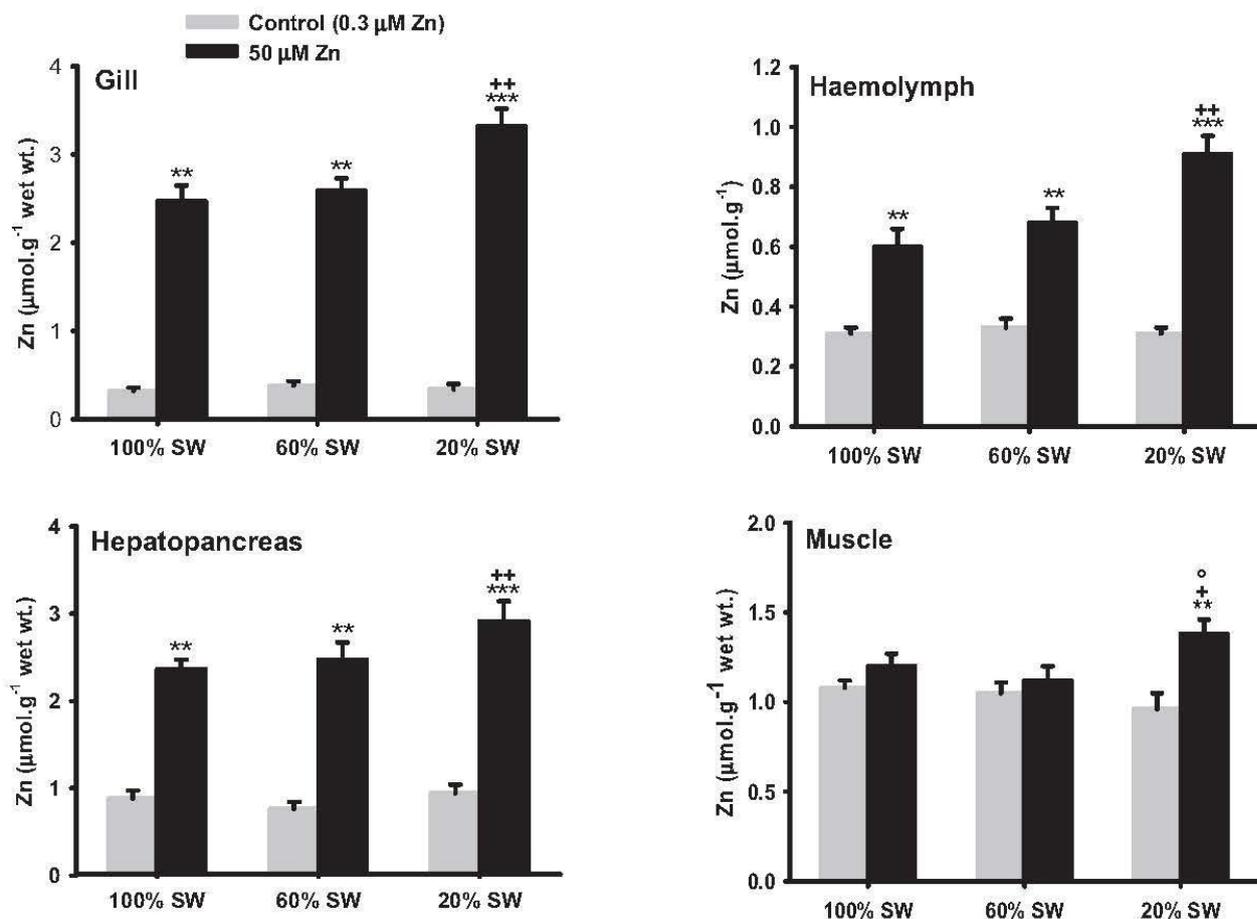


Figure II.16 : Quantité de zinc dans les branchies (gill), l'hémolymph (haemolymph), l'hépatopancreas et un muscle (écart-type de la moyenne). * : vs. Control (pour une salinité donnée) ; + : 20% SW vs. 100% SW (pour une salinité donnée) ; o : 20% SW vs. 60% SW (pour une salinité donnée) ; & : 60% SW vs. 100% SW (pour une salinité donnée). 1 symbole ; $p < 0,05$; 2 symboles : $p < 0,01$; 3 symboles : $p < 0,001$

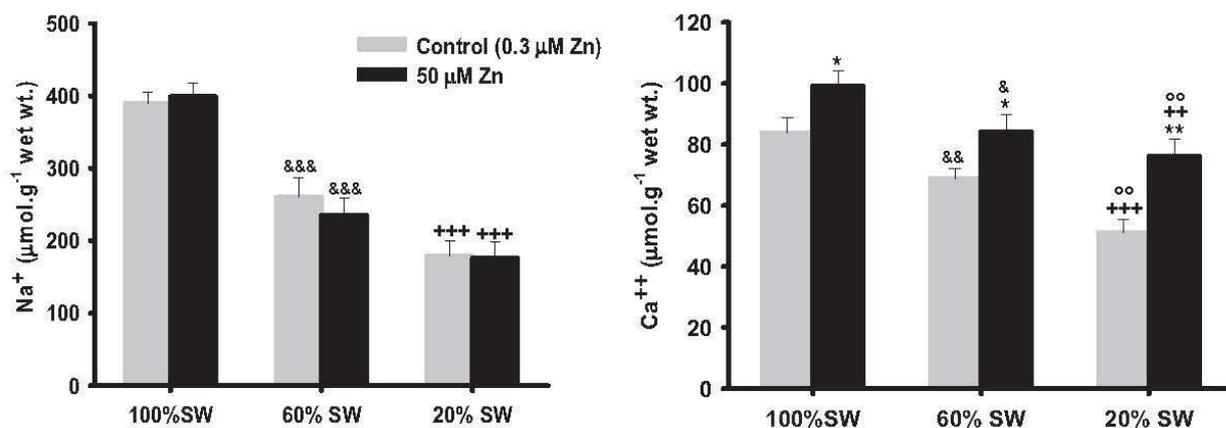


Figure II.17 : Concentration de Ca²⁺ et de Na⁺ dans les branchies (écart-type de la moyenne). * : vs. Control (pour une salinité donnée) ; + : 20% SW vs. 100% SW (pour une salinité donnée) ; o : 20% SW vs. 60% SW (pour une salinité donnée) ; & : 60% SW vs. 100% SW (pour une salinité donnée). 1 symbole ; $p < 0,05$; 2 symboles : $p < 0,01$; 3 symboles : $p < 0,001$

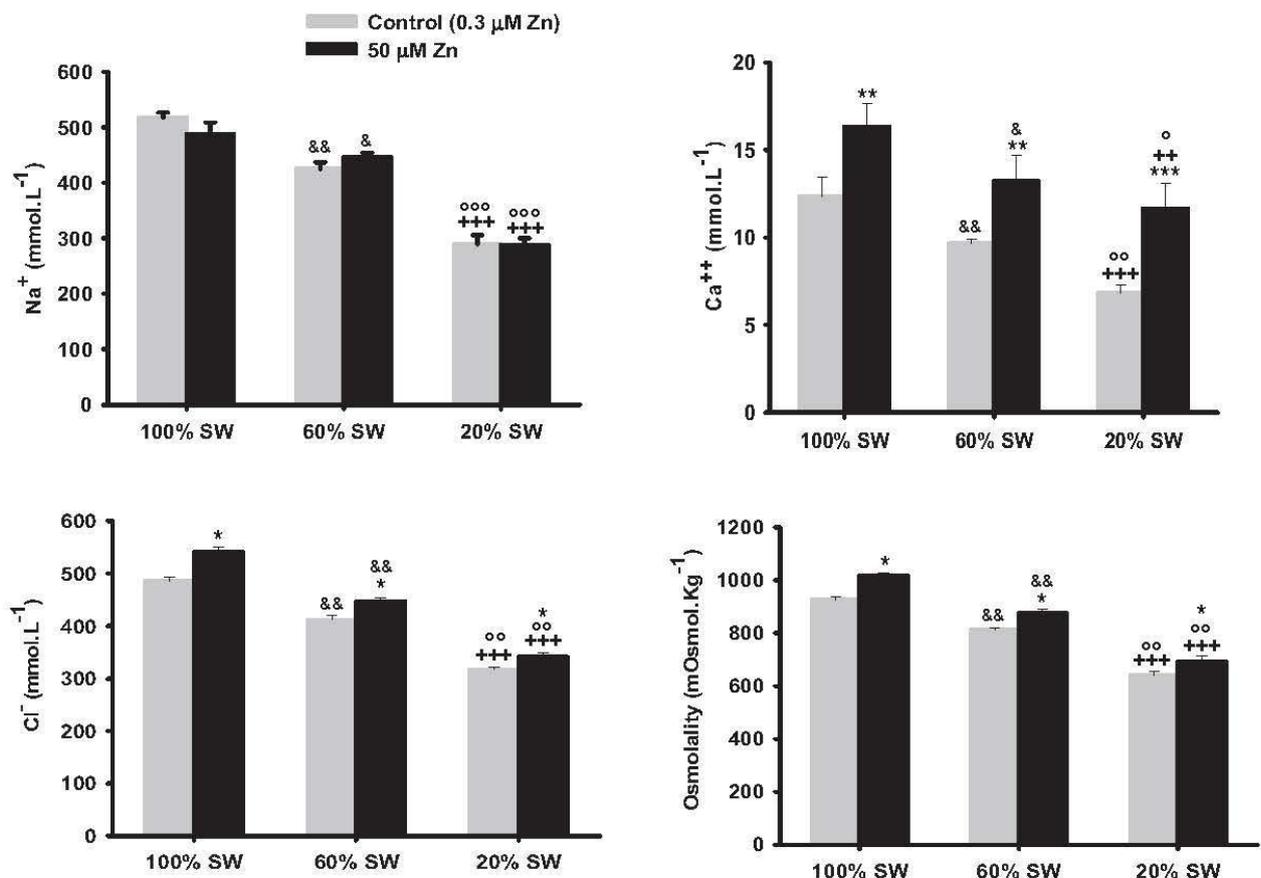


Figure II.18 : Concentration de Na⁺, Ca²⁺ et Cl⁻ et osmolalité de l'hémolymphe (±écart-type de la moyenne). * : vs. Control (pour une salinité donnée) ; + : 20% SW vs. 100% SW (pour une salinité donnée) ; o : 20% SW vs. 60% SW (pour une salinité donnée) ; & : 60% SW vs. 100% SW (pour une salinité donnée). 1 symbole ; p<0,05 ; 2 symboles : p<0,01 ; 3 symboles : p<0,001

Question II.A.2.d - Le crabe possède un appareil digestif dont l'organisation générale est similaire à celui du groupe des arthropodes. Identifier sur la figure II.8 le numéro de la légende qui correspond à l'hépatopancréas. Décrire l'organisation de l'appareil digestif du crabe et le rôle de l'hépatopancréas.

L'appareil digestif des arthropodes est généralement constitué de 3 parties :

- une région antérieure, avec la bouche, l'œsophage et l'estomac ;
- une région médiane avec le caecum digestif ou hépatopancréas.
- une région postérieure avec l'intestin tubulaire, le rectum et l'anus.

L'hépatopancréas sécrète des enzymes digestives et permet l'absorption d'une partie des produits de la digestion.

Les mandibules permettent une digestion mécanique, l'estomac et l'hépatopancréas permettent une digestion chimique.

L'hépatopancréas permet à la fois la synthèse et la sécrétion d'enzymes digestives et l'assimilation et le stockage de nutriments.

Question II.A.2.e - Analyser et interpréter les résultats de cette expérience dont les résultats sont présentés aux figures II.16, II.17, II.18. Proposer une conclusion.

La **figure II.16** montre l'accumulation de Zn dans les branchies, l'hémolymphe, l'hépatopancréas et musculaire de Crabes verts placés soit dans un milieu contenant 0,3 μM de zinc (condition contrôle), soit dans un milieu contenant 50 μM de zinc pour différentes salinités (100%, 60% et 20%). Les résultats indiquent que la diminution de la salinité n'influence pas la concentration/accumulation en Zn dans les différents tissus pour les populations de Crabes placées dans des milieux où la concentration de zinc aqueux résiduelle était de 0,02 mg.l^{-1} (0,3 μM). Toutefois, lorsque les crabes sont exposés pendant 96h à du zinc aqueux à la concentration de 3,6 mg.l^{-1} (50 μM), la concentration/accumulation en Zn dans les branchies, hémolymphe et hépatopancréas augmente significativement pour chacune des salinités par rapport à la situation contrôle et avec l'augmentation de la salinité (la concentration/accumulation maximale étant pour 20% SW). Pour le muscle, seule la condition 20% SW montre une concentration/accumulation en Zn significative supérieure à celle de la condition témoin. Par ailleurs, les résultats indiquent que les branchies accumulent plus de Zn ($\times 7-10$) que les autres tissus ($\times 2,5-4$).

La **figure II.17** indique la concentration de Na^+ et de Ca^{2+} dans les branchies de Crabes verts placés soit dans un milieu contenant 0,3 μM de zinc (condition contrôle), soit dans un milieu contenant 50 μM de zinc pour différentes salinités (100%, 60% et 20%). Les résultats indiquent que la diminution de la salinité entraîne une diminution de la concentration de ces ions aussi bien dans la condition contrôle que pour les crabes exposés à 50 μM de zinc pendant 96h. Pour le Na^+ , l'exposition au Zn n'affecte pas la concentration dans les branchies, ce qui n'est pas le cas pour le Ca^{2+} dont la concentration est plus importante dans les branchies des animaux exposés au Zn que ceux de la condition contrôle.

La **figure II.18** indique la concentration de Na^+ , Ca^{2+} et Cl^- de l'hémolymphe et son osmolalité de Crabes verts placés soit dans un milieu contenant 0,3 μM de zinc (condition contrôle), soit dans un milieu contenant 50 μM de zinc pour différentes salinités (100%, 60% et 20%). Les résultats indiquent une diminution des concentrations des 3 ions et de l'osmolalité avec l'augmentation de la salinité aussi bien dans la condition contrôle que pour les crabes exposés à 50 μM de zinc pendant 96h. L'exposition au Zn n'affecte pas la concentration de Na^+ dans l'hémolymphe, ce qui n'est pas le cas pour les concentrations de Ca^{2+} et de Cl^- , et de l'osmolalité qui sont plus importantes pour les animaux exposés au Zn par rapport à ceux de la condition contrôle. Toutefois, la concentration de Cl^- est moins élevée que la concentration de Ca^{2+} chez les animaux exposés au Zn.

Conclusion : Le Zinc (Zn) est un micronutriment essentiel pour les organismes vivants mais il est toxique à concentration élevée. Cette étude montre que l'exposition à du Zn aqueux pendant une brève période (96h) entraîne son accumulation dans les tissus du Crabe vert (espèce euryhaline) et ce, d'autant que la salinité diminue. L'étude montre que ce sont essentiellement les branchies qui accumulent du Zn. Par ailleurs, cette étude montre que l'exposition au Zn entraîne une légère augmentation de la concentration du Cl^- dans l'hémolymphe et les branchies, et de l'osmolalité de l'hémolymphe quel que soit le niveau de salinité. Pour ce qui concerne le Ca^{2+} , l'augmentation de la concentration dans l'hémolymphe et les branchies est plus prononcée lorsque la salinité diminue. Cette étude indique donc que l'exposition aiguë à du zinc aqueux entraîne une perturbation de l'homéostasie du zinc et du calcium chez le Crabe vert, et que cet effet est exacerbé à faible salinité.

► Enfin, une dernière expérience a consisté à étudier l'effet d'une substance active de produit phytosanitaire, la cyperméthrine, un pyréthroïde qui présente un effet insecticide et qui est utilisé pour traiter les saumons d'élevage contre les poux de mer (ex. : copépodes parasites). La cyperméthrine agit sur le système nerveux en prolongeant l'ouverture des canaux sodium. Au cours de cette expérience, le réservoir d'eau de mer contenant les crabes a été enrichie avec de la cyperméthrine à la concentration de 5 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (concentration utilisée pour tuer les copépodes parasites).

Les résultats sont les suivants :

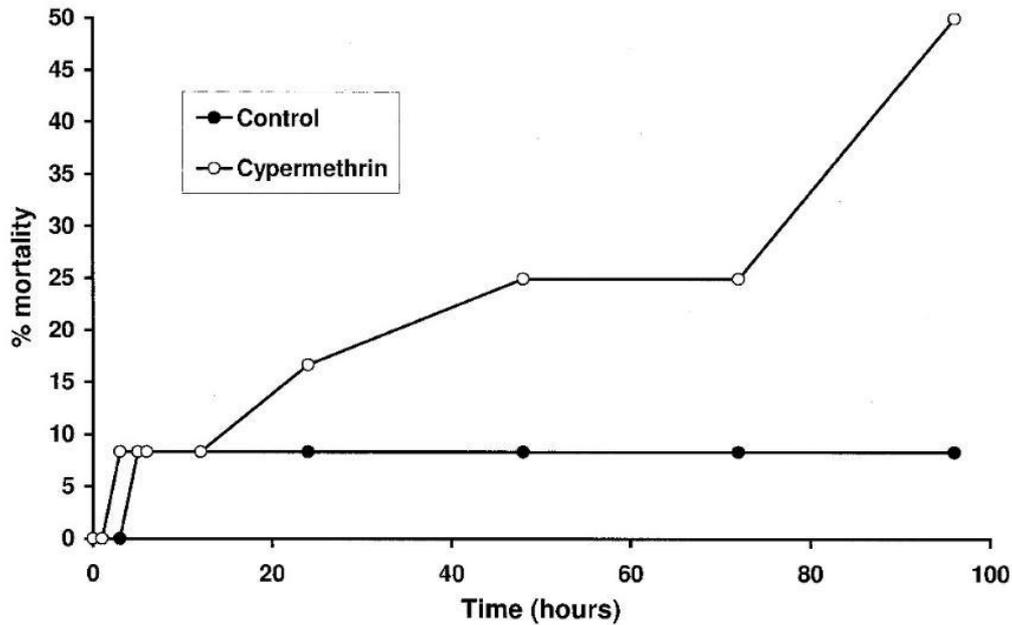


Figure II.19 : Mortalité (%) des crabes verts au cours du temps.

Question II.A.2.f - Décrire les conséquences de la prolongation de l'ouverture des canaux sodiques. Analyser et interpréter les résultats de cette expérience au regard de l'effet de la cyperméthrine sur le système nerveux. Proposer une conclusion.

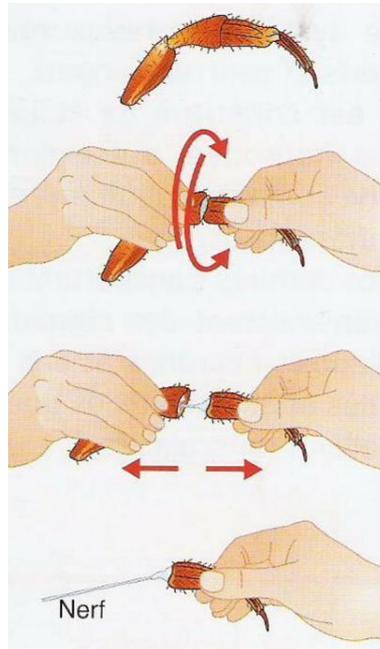
Les pyréthroïdes/pyréthrinoïdes (dérivés synthétiques des pyréthrines) ont pour cibles les canaux sodiques dépendants du voltage des cellules nerveuses. Ils se fixent sur les canaux et prolongent la durée d'ouverture de ces derniers lorsqu'ils sont activés. La conséquence est une dépolarisation prolongée des cellules nerveuses et in fine, une paralysie. Cette expérience montre que la cyperméthrine à la concentration de $5 \mu\text{g.l}^{-1}$ (concentration utilisée pour tuer les copépodes parasites) est toxique pour le crabe vert et confirme que le crabe vert est une espèce indicatrice ou biomarqueur pour le suivi de la contamination environnementale.

II.A.3 - Etude d'un élément excitable du crabe vert

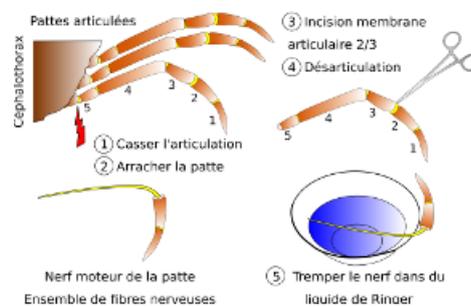
Question II.A.3.a - A partir de l'une des pattes ambulatoires qui vous a été données, extraire délicatement le nerf et le placer dans du liquide physiologique pendant au moins un quart d'heure afin que les fibres nerveuses se repolarisent (restauration de l'équilibre ionique perturbé par l'extraction). **Le protocole est fourni sur une fiche disposée à proximité du dispositif expérimental.**

Appelez l'examineur afin de faire valider votre dissection

- Sectionner une patte ambulatoire à la base des branchies ; attendre 5 minutes que la patte se relâche.
- Désarticuler entre le propodite et le carpopodite avec ou sans rotation (préférable). Il faut plier l'articulation dans chaque direction jusqu'à entendre un léger craquement puis tirer délicatement : le nerf apparaît.



ou



- *Durée de vie du nerf : 2 à 3 heures.*

Cette étape a été plutôt bien réussie par les candidats

Question II.A.3.b - Disposer le nerf avec ses deux premiers articles dans la cuve à nerf puis effectuer les branchements nécessaires afin de pouvoir le stimuler et enregistrer son potentiel global (PGN = Potentiel Global du Nerf). L'anode de la paire d'électrodes de stimulation doit être la plus distante des électrodes d'enregistrement (électrodes de stimulation en « cathode descendante »).

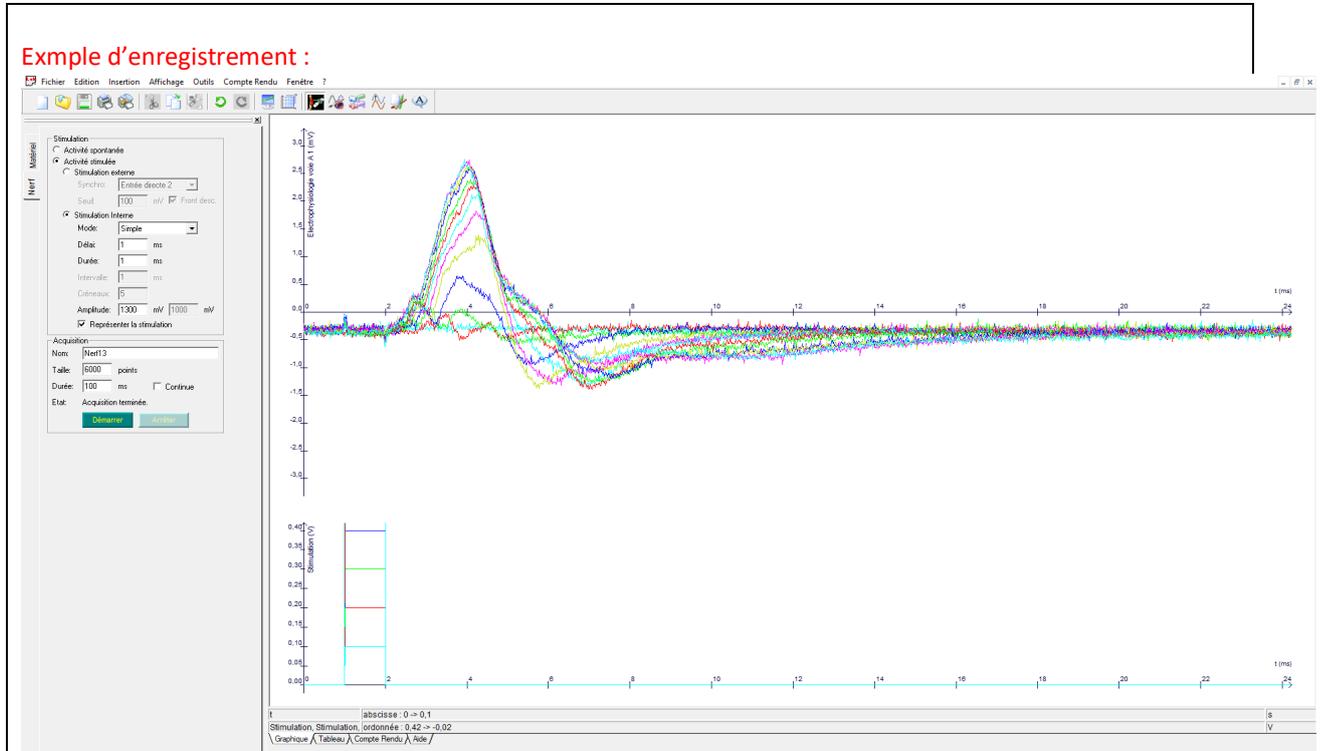
Appelez l'examineur afin de faire valider le montage

Le nerf doit être humidifié et de la solution physiologique pour crabe doit être placé au fond de la cuve. La déshydratation du nerf entraîne la mort progressive des fibres nerveuses et empêche les enregistrements. L'anode (borne + ou S) doit être bien positionnée.

Plusieurs candidats ont refusé de réaliser les enregistrements, ce qui a été particulièrement pénalisant. Pour rappel, ces manipulations sur les nerfs de crabe étaient assez répandues dans les lycées en lien avec les programmes portant sur le potentiel de nerf et la mesure d'une activité électrique.

Question II.A.3.c - Après s'être assuré que la dépolarisation est visualisée vers le haut de l'enregistrement, déterminer un voltage de stimulation supraliminaire (pour une durée de 0,5 ms) permettant d'obtenir un PGN.

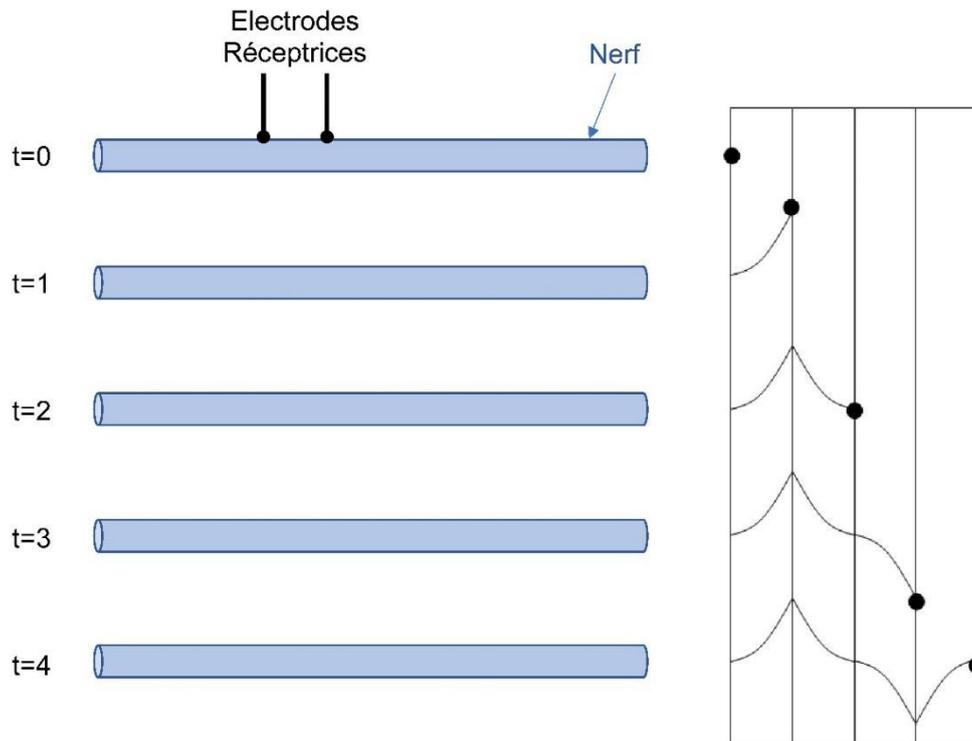
Appelez l'examineur afin de faire valider votre enregistrement



Question II.A.3.d - Définir le PGN. Indiquer sa caractéristique.

Lorsqu'un nerf est en activité, il est parcouru par des messages nerveux se traduisant par une activité électrique globale qu'il est possible d'enregistrer après l'avoir amplifiée. Il s'agit du PGN. Le PGN est dû à l'ensemble des potentiels d'actions qui circulent dans les fibres nerveuses composant le nerf. Il ne répond pas à la loi du « tout-ou-rien » comme pour le potentiel d'action nerveux (PA d'une fibre nerveuse).

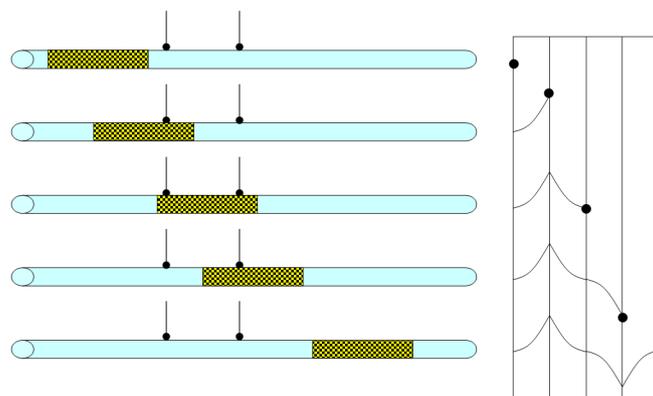
Question II.A.3.e - Compléter les schémas de gauche en indiquant par un rectangle la position du PGN à t=0 puis à t=1, t=2, t=3 et t=4 et des électrodes réceptrices à t=1, t=2, t=3 et t=4 sur le nerf expliquant les enregistrements électrophysiologiques schématisés à droite.



Il s'agit d'un PGN biphasique avec deux phases opposées par leur valeur. La dépolarisation atteint d'abord l'électrode réceptrice 1 qui devient donc électro négative par rapport à l'électrode 2. Puis, la dépolarisation gagne l'électrode 2 qui devient à son tour électro négative par rapport à l'électrode 1.

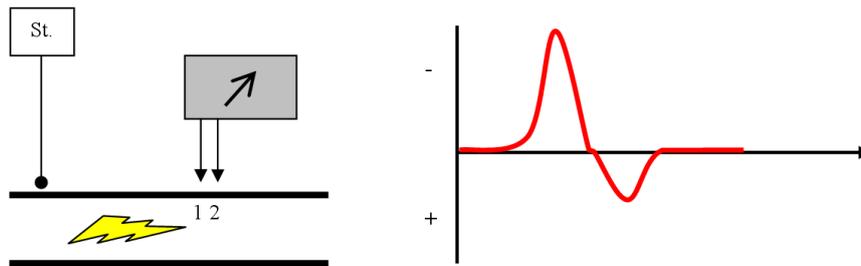
L'appareil de mesure enregistre par conséquent deux déviations de sens opposé. Toutefois, la deuxième phase n'est pas totalement identique en amplitude à la première car l'onde de dépolarisation recouvre encore la première électrode réceptrice lorsqu'elle atteint la deuxième (c'est ce qu'on appelle un shunt : interférence).

Un tracé biphasique signifie donc qu'une onde de dépolarisation monophasique se déplace et passe sous les deux électrodes réceptrices.

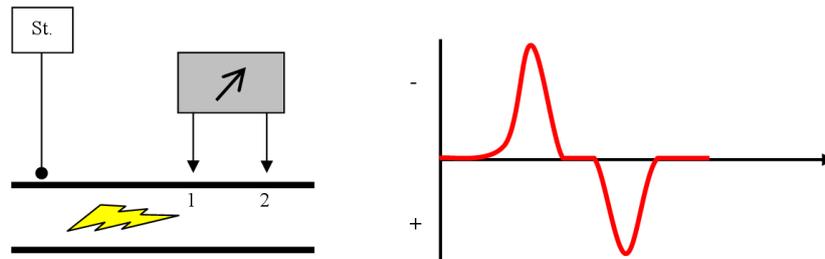


En faisant varier la distance entre les électrodes de réception, on peut obtenir deux ondes de valeur opposée mais de même amplitude.

Si la distance entre les deux électrodes de réception est trop petite, la deuxième déviation est « shuntée » (le signal est encore trop proche de la 1^{ère} électrode lorsqu'il arrive sous la 2^{ème} électrode). L'amplitude du signal pic-à-pic sera plus petite.



Au fur et à mesure qu'on éloigne les deux électrodes de réception, le phénomène de « shunt » disparaît.



Question II.A.3.f - Donner la définition du temps de latence.

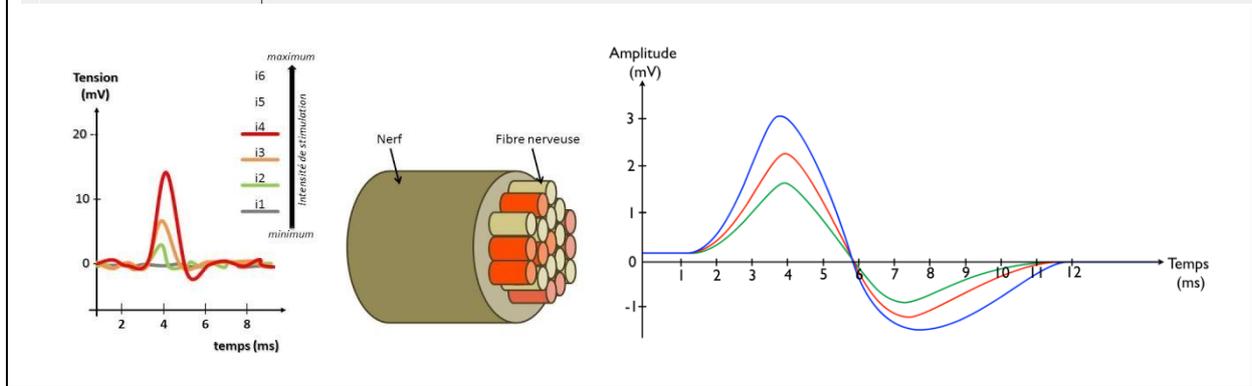
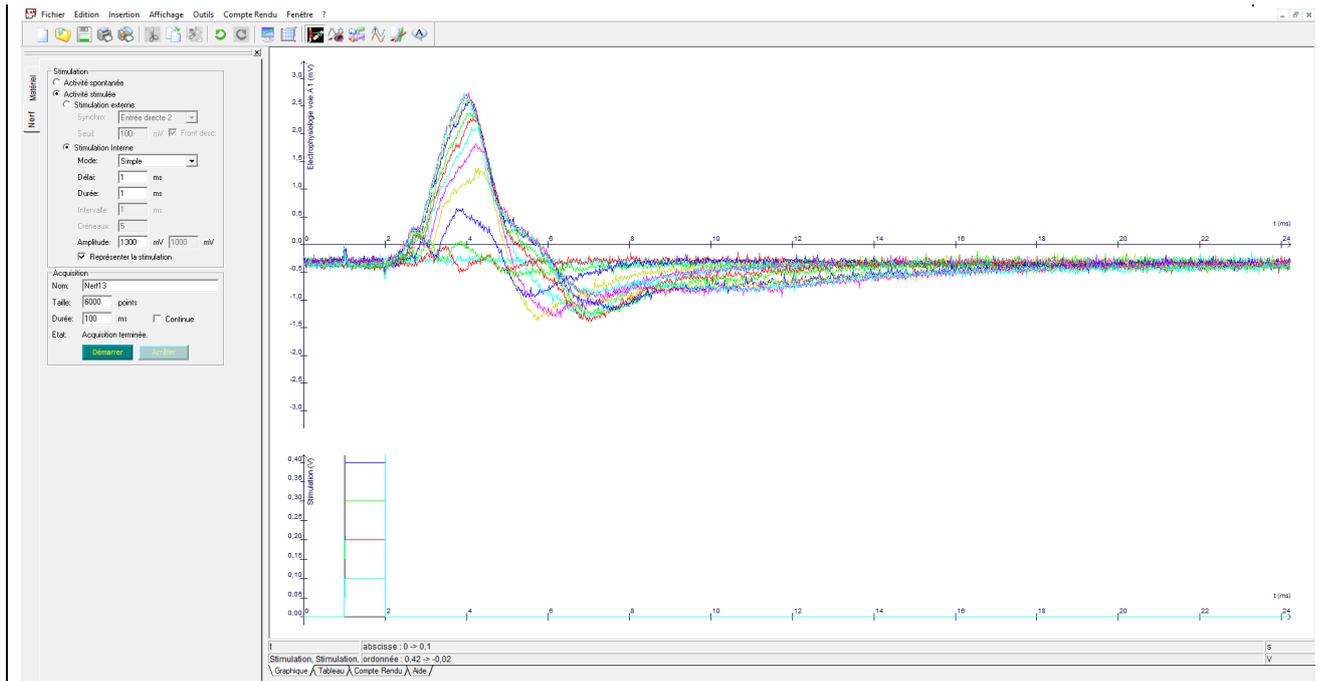
Le temps de latence est le temps entre le début de la stimulation et le début du potentiel global de nerf.

Question I.A.3.g - En superposant les graphiques, augmenter progressivement le voltage de la stimulation depuis un voltage infraliminaire vers un voltage supraliminaire maximal.

Appelez l'examineur afin de faire valider votre enregistrement

Question II.A.3.h - Décrire le comportement du PGN lors de l'augmentation du voltage de stimulation. Expliquer l'origine du phénomène observé.

Au fur et à mesure que le voltage de stimulation est augmenté, l'amplitude du potentiel global augmente jusqu'à atteindre une amplitude maximale. Lorsque le voltage de stimulation est infraliminaire, aucune réponse n'est observée. Pour une stimulation liminaire, on peut observer une réponse de faible amplitude. Pour une stimulation supraliminaire, on observe une augmentation de l'amplitude de la réponse. A stimulation supraliminaire maximale, l'amplitude de la réponse est maximale. Cette caractéristique est en mettre en relation avec la composition du nerf : un ensemble de fibres nerveuses ne répondant pas toutes en même temps. On a un codage en amplitude. Pour une faible stimulation, seules les fibres les plus excitables à conduction rapide répondent, les fibres à conduction lente ne sont recrutées que pour des stimulations plus fortes. Le PGN atteint son amplitude maximale lorsque toutes les fibres nerveuses sont recrutées. Il correspond en quelque sorte à la somme des potentiels d'action parcourant les fibres nerveuses qui composent le nerf.



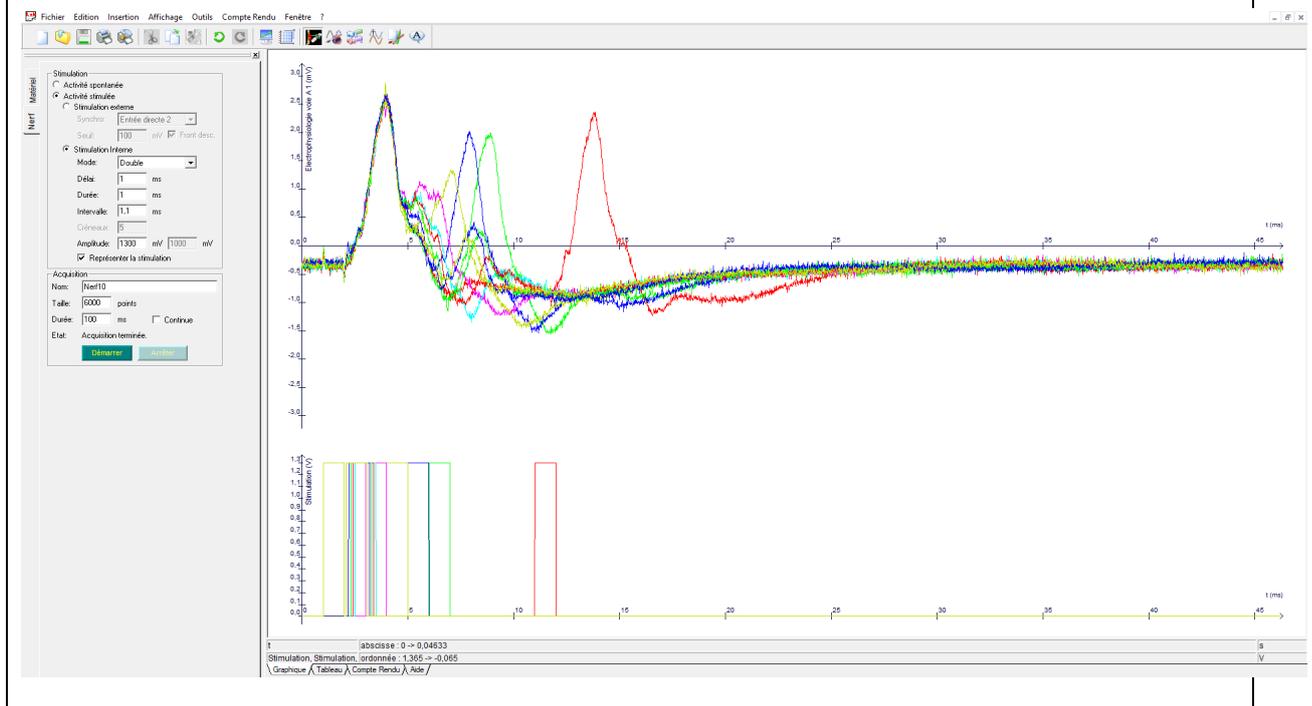
Question II.A.3.i - En superposant les graphiques, on ajoute ensuite une deuxième stimulation supraliminaire 4 ms après la première, puis on diminue progressivement la période entre les deux stimulations.

Appelez l'examineur afin de faire valider votre enregistrement

Question II.A.3.j - Décrire le comportement du PGN lors de la diminution progressive du temps entre les deux stimulations. Expliquer le phénomène observé.

Cette expérience permet de mettre en évidence la période réfractaire totale (PRT) qui est la durée qui succède immédiatement à l'activité d'un nerf et pendant laquelle le nerf est difficilement excitable. Cette PRT est constituée de deux phases. La première phase, pendant laquelle toute stimulation est inefficace, quelle que soit son voltage (ou intensité) en raison de l'inactivation des canaux (protéines membranaires) sodiques (Na^+) voltage-dépendants à l'origine d'une entrée massive de Na^+ dans les fibres nerveuses (dépolariation). C'est la période réfractaire absolue (PRA). La deuxième phase, pendant laquelle le nerf est hypoexcitable mais au cours de laquelle il est possible d'obtenir un PGN si la stimulation est supraliminaire. Au cours de cette période, il y a une sortie d'ion potassium (K^+) des fibres nerveuses entraînant une repolarisation (voir même une hyperpolarisation), mise en fonction des pompes Na^+/K^+ qui commencent à rétablir l'équilibre ionique de part et d'autre de la membrane et réactivation progressive des canaux Na^+ . Bien que tous les canaux Na^+ ne soient pas encore tous réactivés, un stimulus suffisamment fort peut entraîner la réouverture de ceux qui se sont réactivés, créant ainsi un second PGN dont l'amplitude sera plus faible que le premier (toutes les fibres nerveuses ne sont pas excitées). C'est la période réfractaire relative (PRR). Ainsi, la période réfractaire totale (PRT) est égale à $\text{PRA} + \text{PRR}$. Les périodes réfractaires sont liées aux variations de la perméabilité de la membrane des fibres

nerveuses aux ions Na^+ et K^+ . En effet, après un PA, il faut un certain temps pour que les transporteurs membranaires reviennent à l'état de repos (sensible à un stimulus liminaire ou supraliminaire) et puissent redonner naissance à un PA.



Question II.A.3.k - Calculer la vitesse de propagation ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) du PGN de crabe. Indiquer la méthode utilisée et donner la valeur de cette vitesse.

Connaissant la distance entre les électrodes de stimulation et les électrodes de réception, il est possible de calculer la vitesse de conduction du PGN le long du nerf.

Il existe plusieurs méthodes pour calculer la vitesse de conduction.

Méthode de Helmholtz. On stimule le nerf avec une stimulation supraliminaire et on recueille la réponse grâce aux électrodes réceptrices placées à une distance (d_1 , première électrode réceptrice) des électrodes excitatrices. On mesure le temps (TL_1) de latence (ou au pic). On éloigne ensuite les électrodes réceptrices à une distance (d_2) des électrodes de stimulation (dont la position n'a pas changé). On mesure le temps (TL_2) de latence (ou au pic). La vitesse est donnée par la formule suivante : $V = (\Delta d) / (\Delta t) = (d_2 - d_1) / (TL_2 - TL_1)$.

Conduction équivoque du PGN. On stimule simultanément le nerf avec une même stimulation supraliminaire à l'aide de deux paires d'électrodes placées à une distance connue (Δd) l'une de l'autre. Au niveau des électrodes réceptrices, on enregistrera deux PGN distant de quelques millisecondes (Δt). La vitesse est donnée par la formule suivante : $V = (\Delta d) / (\Delta t)$.

On peut aussi stimuler le nerf avec une stimulation supraliminaire délivrée par une paire d'électrodes et réceptionner la réponse à l'aide de deux paires d'électrodes réceptrices placées à une distance connue (Δd) l'une de l'autre. On enregistrera deux PGN distant de quelques millisecondes (Δt). La vitesse est donnée par la formule suivante : $V = (\Delta d) / (\Delta t)$.

Pour un PGN de crabe, la vitesse varie entre 2 à 5 m/s.

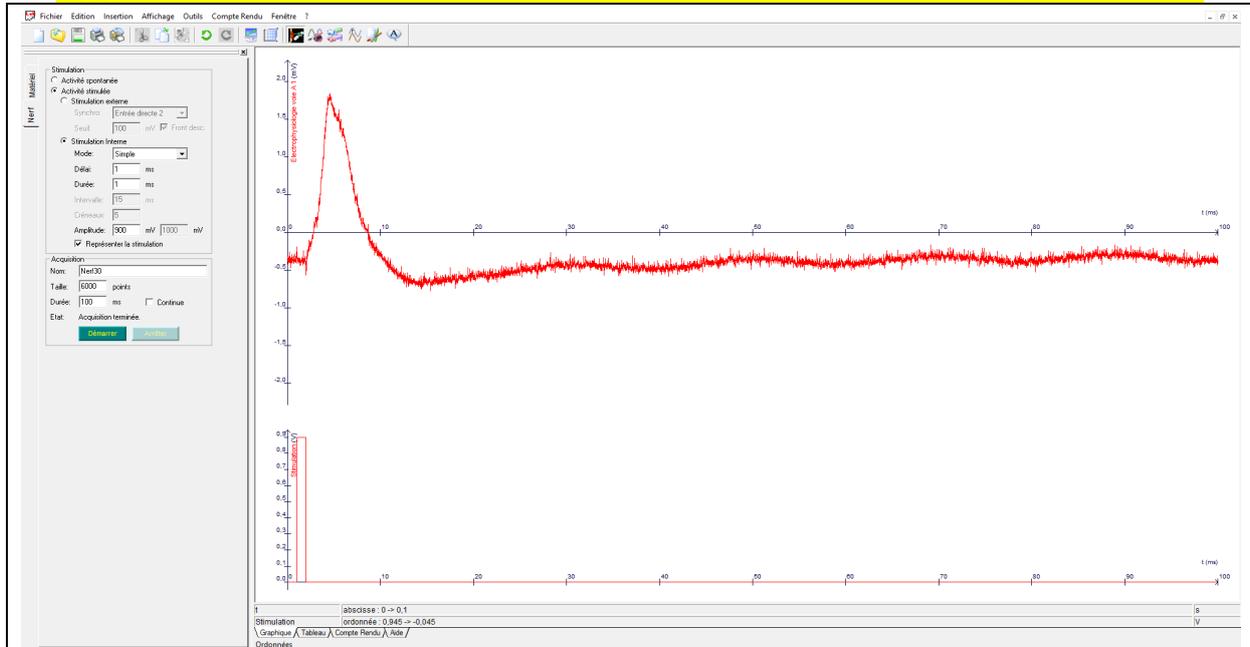
Question II.A.3.l - Indiquer un facteur intrinsèque et deux facteurs extrinsèques environnementaux faisant varier la vitesse de propagation du PGN chez les arthropodes.

Les facteurs faisant varier la vitesse de conduction du PGN sont la température et la composition du nerf en fibres nerveuses (diamètre des fibres). La diminution de la température entraîne une diminution de la propagation du PGN. Une proportion plus importante de fibres nerveuses de gros diamètre, myélinisées entraîne une augmentation de la vitesse de propagation.

L'oxygénation, le pH du milieu... sont des facteurs qui agissent sur la vitesse de propagation du PGN.

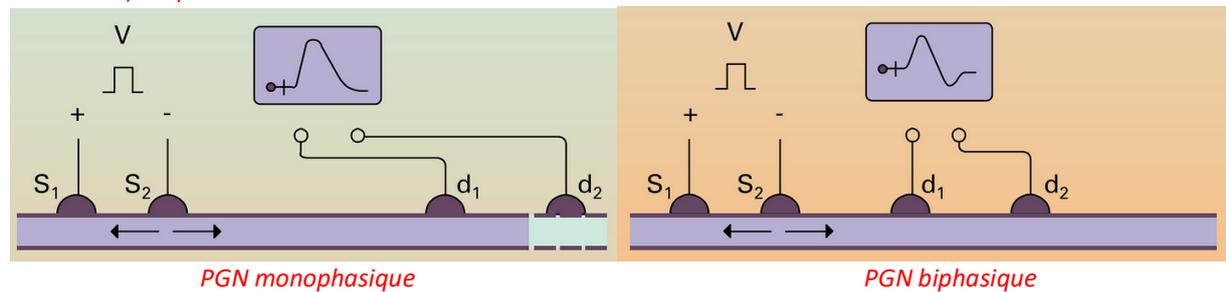
Question II.A.3.m - On écrase maintenant, à l'aide d'une pince, le nerf entre les deux électrodes de réception. Déterminer un voltage de stimulation supraliminaire (pour une durée de 1 ms) permettant d'obtenir un PGN.

Appelez l'examineur afin de faire valider votre enregistrement



Question II.A.3.n - Schématiser le PGN obtenu. Proposer un schéma similaire à la question II.A.3.e pour expliquer sa forme.

Le PGN est monophasique. Les variations de potentiel apparaissent selon un mode monophasique c'est-à-dire qu'on a qu'une seule phase de la réponse. L'influx nerveux qui se déplace le long du nerf atteint la première électrode réceptrice mais pas la deuxième qui a été rendu inactive (après écrasement du nerf entre les deux électrodes) et qui sert désormais de référence.

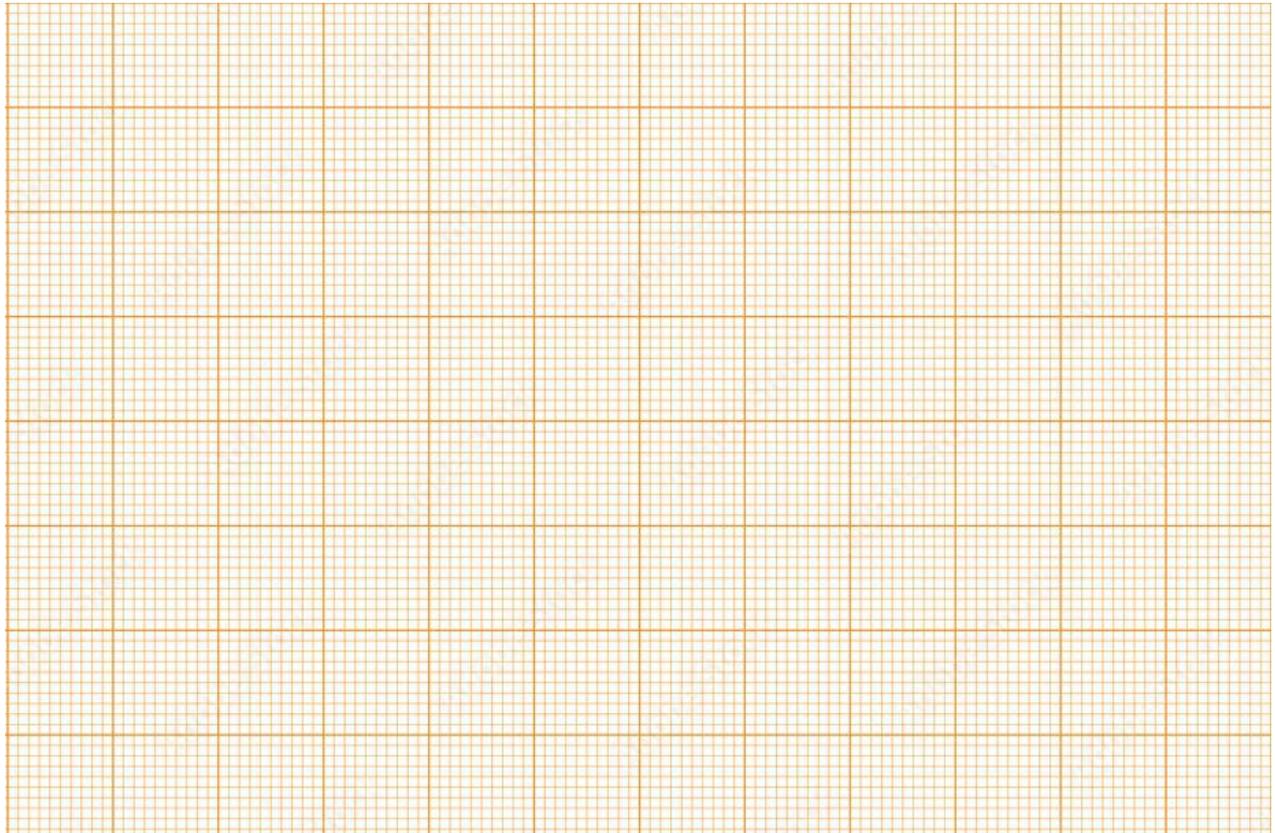


► On se propose maintenant d'étudier l'efficacité d'un stimulus en fonction de ses paramètres voltage et durée à l'aide du logiciel *SimNerf*. Le stimulus est constitué par un courant électrique de durée variable appliqué sur le nerf au moyen de deux électrodes de stimulation. On donne au courant stimulant des durées prédéterminées, et on cherche pour chacune d'elles le voltage minimal (liminaire ou seuil) qui donne une stimulation efficace.

Ces mesures permettent de tracer une courbe d'excitabilité (seuil d'excitation) exprimant la relation que doivent respecter l'intensité et la durée du stimulus pour que ce dernier soit suivi d'effet.

Question II.A.3.o - Compléter le tableau suivant, tracer la courbe intensité (ordonnées) - durée (abscisse) sur le papier millimétré ci-après.

Durée (ms)	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,8
Voltage (mV)															

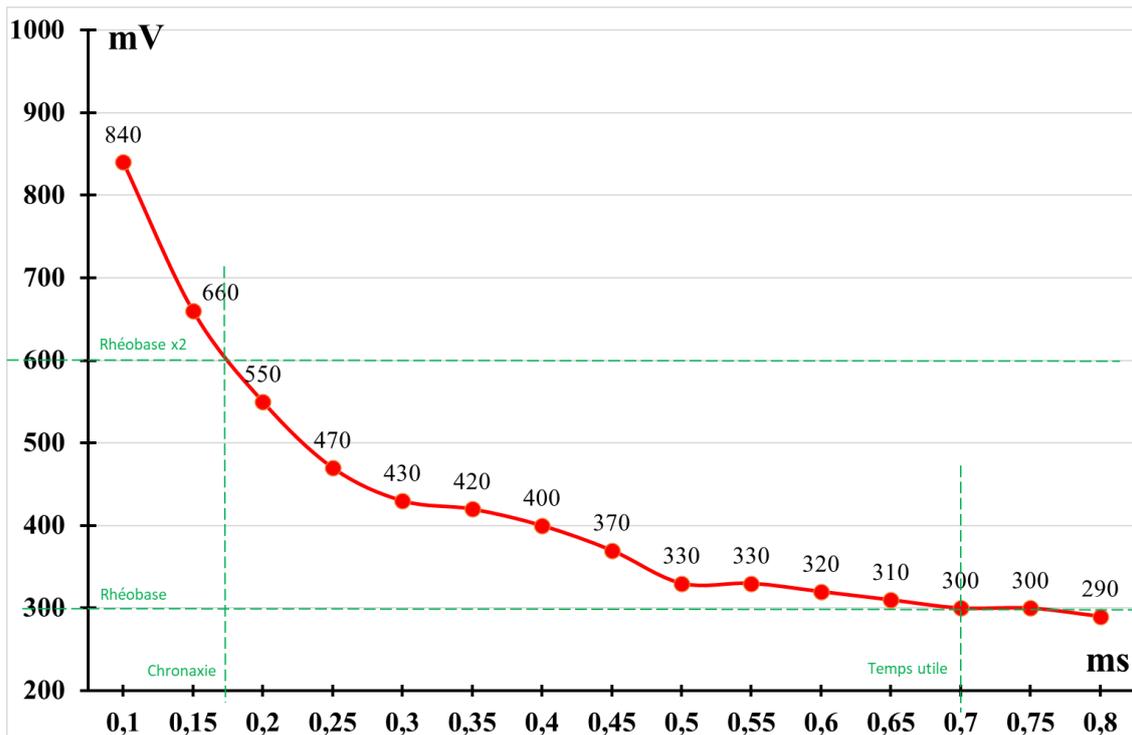


Question II.A.3.p - Décrire et interpréter la courbe obtenue.

On distingue deux parties sur la courbe :

- 1) Une partie « hyperbolique » dans laquelle le voltage (ou intensité : $U=RI$) liminaire décroît rapidement au fur et à mesure que la durée du stimulus augmente.
- 2) Une partie rectiligne dans laquelle le voltage (ou intensité) liminaire est indépendante de la durée du stimulus.

La courbe permet de délimiter deux zones, celle des excitations efficaces et celle des excitations inefficaces. L'excitation n'est efficace que dans des valeurs données de durée et de voltage (ou intensité).



Cette partie n'a quasiment jamais été traitée, alors qu'il faisait partie d'un temps imposé devant l'ordinateur. Il est important de rappeler aux candidats que la lecture globale du sujet est une étape importante qui permet de gérer son temps. Les rares personnes qui ont abordé cette partie l'ont plutôt bien réussi.

Question II.A.3.g - On obtient des courbes analogues avec une grande variété d'éléments excitables. Toutefois, elles diffèrent essentiellement par la valeur du **temps utile** (temps à partir duquel le voltage liminaire de stimulation ne varie plus).

Calculer et donner la valeur du temps utile.

La valeur du temps utile est d'environ 0,7 ms.

Question II.A.3.r - Bien que le temps utile permette d'exprimer la rapidité fonctionnelle d'un élément excitable, Louis LAPICQUE (1866-1952) a préconisé d'exprimer la rapidité fonctionnelle par un autre temps : la **chronaxie** (ou index d'excitabilité relative) définie comme le temps liminaire d'un stimulus double de la **rhéobase** (nom donné au voltage liminaire constant pour des stimulations de longue durée).

Déterminer et donner la valeur de la rhéobase et de la chronaxie.

La valeur de la rhéobase est d'environ 300 mV et celle de la chronaxie est de 0,175 ms.

II.B - L'activité cardiaque chez l'Homme

Lors de sa contraction, le cœur est le siège de variations de potentiels. L'électrocardiographie permet d'enregistrer ces variations : le tracé obtenu est un électrocardiogramme (ECG). On se propose d'étudier cet ECG.

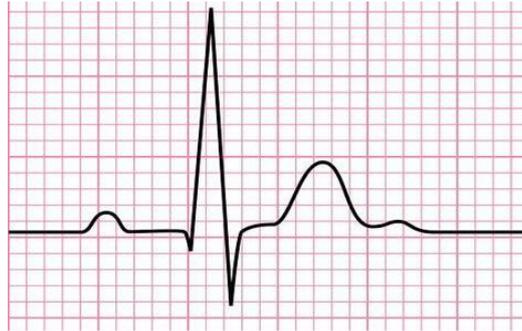


Figure II.20 : Tracé d'ECG.

Question II.B.1 - Sur le tracé ci-dessus, indiquer le nom des différentes ondes.

Espace PR: conduction auriculo-ventriculaire
 Complexe QRS: systole ventriculaire
 Onde P: Systole auriculaire
 Onde T : diastole ventriculaire

Cette question, et la suivante, ont été traitées par une minorité de candidats. Un électrocardiogramme est une donnée classique d'enregistrement d'une activité cardiaque et on peut s'attendre à ce qu'un candidat de secteur B ait les bases physiologiques pour décrire simplement un tracé d'ECG.

Question II.B.2 - Indiquer à quoi correspondent ces différentes ondes.

L'onde P correspond à la systole auriculaire.
 L'espace PR correspond à la propagation du signal auriculaire vers les ventricules.
 Le complexe QRS est l'activité électrique correspondant à la systole ventriculaire.
 L'onde T correspond à la repolarisation des ventricules et donc à la diastole ventriculaire.
 L'onde U est un signal électrique, généralement physiologique, de basse amplitude et de basse fréquence parfois observé sur un électrocardiogramme normal (ECG). Elle survient après l'onde T et peut ne pas être toujours observée en raison de sa petite taille. On pense que les ondes U représentent la repolarisation des fibres de Purkinje. Cependant, la cause exacte de l'onde U reste incertaine.

► Sur un cœur, mis à nu, les différences de potentiel (d.d.p) recueillies ont une valeur maximale lorsqu'une des électrodes est placée à la base de l'organe, tandis que l'autre se trouve à la pointe. La ligne base-pointe constitue l'axe électrique du cœur ; de façon très approximative, on peut assimiler le cœur en activité à un dipôle, c'est-à-dire que son champ électrique est comparable à celui que produirait un générateur électrique plongé dans un volume conducteur. Dans ce volume, la densité des lignes de champ électrique est maximale le long d'une droite reliant les deux pôles du générateur (ici, la base et la pointe du cœur). Bien entendu, il existe entre les deux pôles une infinité de lignes de champ électrique passant par des voies plus longues et donc plus résistantes d'un point de vue électrique, si bien que l'on peut recueillir à distance des d.d.p de plus faibles amplitudes liées au fonctionnement du générateur cardiaque.

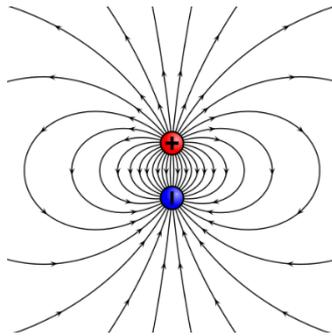


Figure II.21 : Lignes de champ électrique créées par un dipôle.

Parmi les techniques électrocardiographiques, les dérivations indirectes sont les plus courantes. Les d.d.p enregistrées sont fonction des points où l'on place les électrodes. L'allure des phénomènes enregistrés est différente selon la dérivation.

Parmi les différentes possibilités, on retrouve couramment le placement des électrodes de réception sur le thorax (dérivations V1 à V6, précordiales ou horizontales) ou à l'extrémité des membres (dérivations bipolaires), ces derniers jouant le rôle de conducteurs. Dans ce dernier cas, trois dérivations dites « standards » sont utilisées : **D1** : bras droit, bras gauche, **D2** : bras droit, jambe gauche, **D3** : bras gauche, jambe gauche.

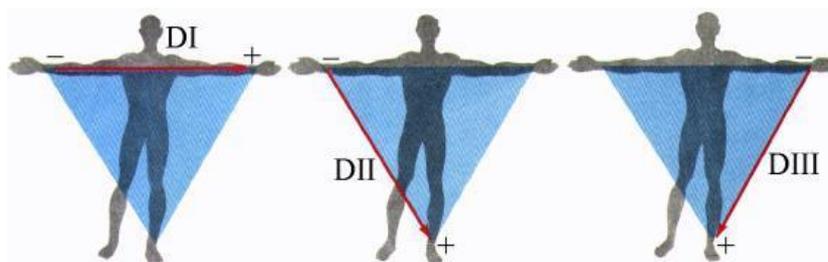


Figure II.22 : Dérivations bipolaires D1, D2 et D3 lorsque les électrodes de réception sont positionnées à l'extrémité des membres.

Il est ainsi possible, à partir des enregistrements obtenus à partir des dérivations D1, D2 et D3 de représenter le dipôle cardiaque, dans le plan frontal, par un vecteur ayant pour direction l'axe électrique du cœur, et pour grandeur l'intensité du courant circulant entre les deux pôles.

Les dérivations D1, D2 et D3 constituent le triangle d'EINTHOVEN : les points au niveau desquels on enregistre les d.d.p sont situés respectivement aux trois sommets d'un triangle rectangle dont l'hypoténuse est sensiblement parallèle à l'axe électrique du cœur. Pour faciliter la construction du vecteur représentant l'activité électrique du cœur, Willem EINTHOVEN (1860-1927) remplace le triangle rectangle par un triangle équilatéral : le centre du triangle (intersection des hauteurs) donne l'origine O du vecteur étudié.

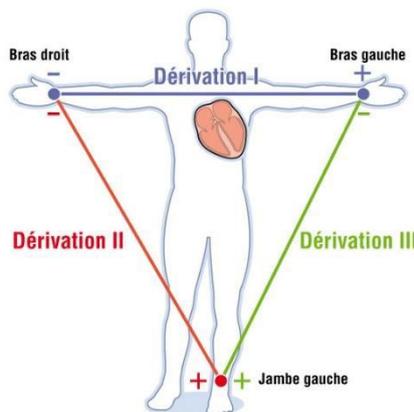
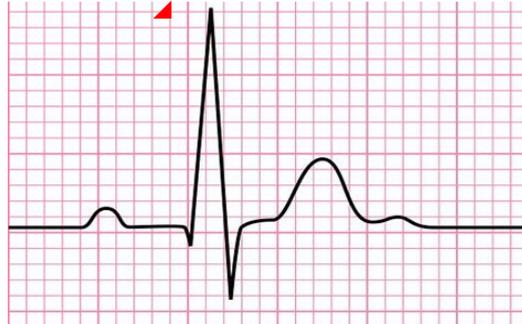


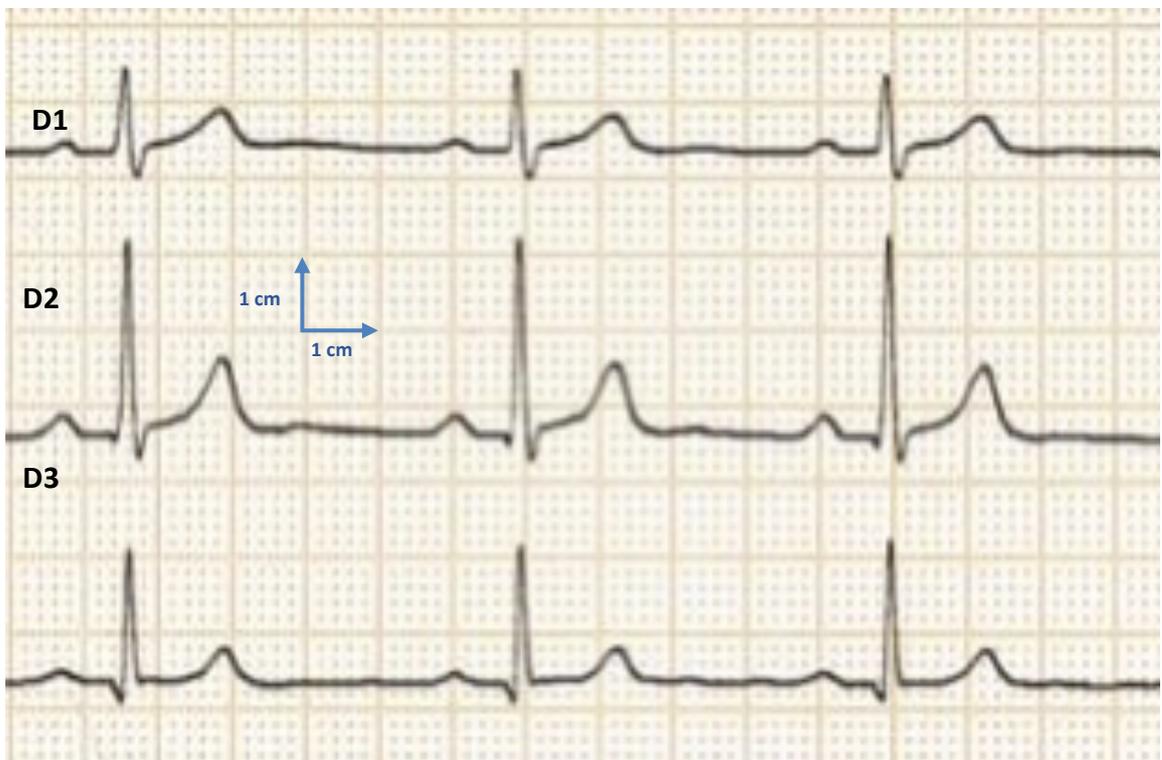
Figure II.23 : Triangle d'Einthoven (bras droit, bras gauche, jambe gauche).

Ce vecteur symbolise la force électromotrice correspondant à l'activité systolique qui résulte de la dépolarisation des ventricules. La direction de ce vecteur donne l'axe électrique du cœur ; elle fait avec l'horizontale un angle de 0° si l'axe est horizontal et un angle de 90° si l'axe est vertical et dirigé vers le bas.

L'amplitude des ondes du complexe central de l'ECG dans chaque dérivation (D1, D2 et D3) est égale à la projection du vecteur sur les 3 côtés du triangle. Par conséquent, la mesure de l'amplitude des ondes de ce complexe de chaque dérivation standard permet de déterminer le vecteur cardiaque.



A partir des enregistrements D1, D2, D3 suivants, on se propose de déterminer l'axe électrique du cœur. Pour cela, on détermine la polarité et l'amplitude de l'onde du complexe central de l'ECG pour chaque dérivation sachant que les déflexions situées au-dessus de la ligne de base (ou ligne isoélectrique) correspondent à des variations de potentiel positives, et celles situées au-dessous de cette même ligne correspondent au contraire à des variations de potentiel négatives.



Question II.B.3 - Calculer la polarité et l'amplitude moyenne de l'onde du complexe central de l'ECG. Indiquer ces valeurs (en unité arbitraire) :

Valeur D1 :

Valeur D2 :

Valeur D3 :

Valeur D1 : $\sim 7,3 \pm 0,6$

Valeur D2 : $\sim 21,8 \pm 0,3$

Valeur D3 : $\sim 15,5 \pm 0,5$

Cette question n'a quasiment jamais été traitée, les candidats étant peut-être déstabilisés par une approche qui n'est pas forcément usuelle. Néanmoins, toutes les informations étaient fournies et il suffisait d'appliquer les indications pour obtenir les valeurs. Il est important que les candidats restent mobilisés et prennent le temps d'extraire les informations utiles afin de répondre à une question, compétence qu'ils demanderont régulièrement à leurs élèves dans l'enseignement secondaire ou supérieur.

Question II.B.4 - Ces trois dérivations bipolaires forment ensemble le Triangle de Willem EINTHOVEN. Elles maintiennent une proportion mathématique qui se reflète dans la loi de Einthoven. Celle-ci nous dit : $D2 = D1 + D3$. Cette loi est d'une grande utilité lorsqu'on interprète un électrocardiogramme. Elle permet de déterminer si les électrodes des extrémités sont bien installées car si la position d'une électrode varie, cette loi ne sera pas vérifiée, nous permettant ainsi de savoir que l'ECG est mal réalisé.

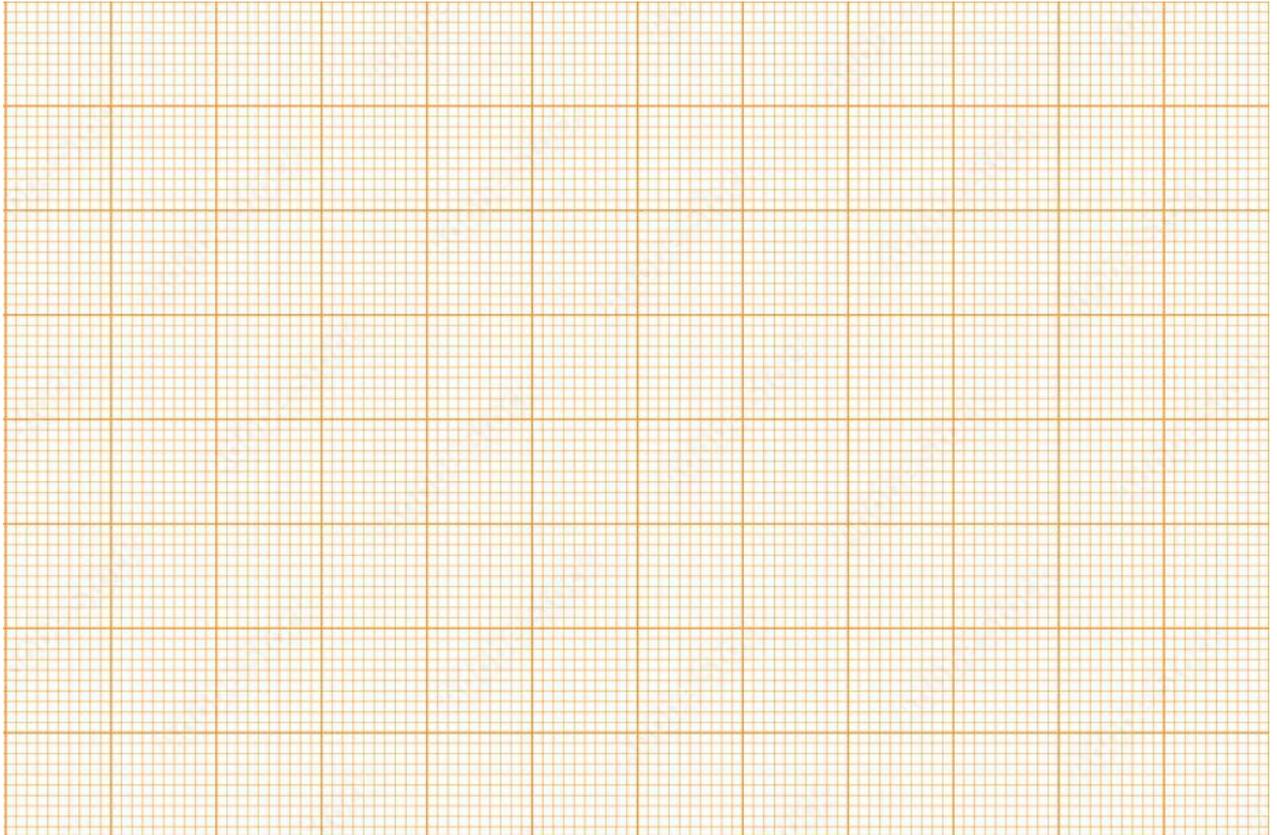
Indiquer, dans le cadre de l'enregistrement donné, si la loi est vérifiée.

D2 : $\sim 21,8 \pm 0,3$

D1+D3 : $\sim 22,8 \pm 0,3$

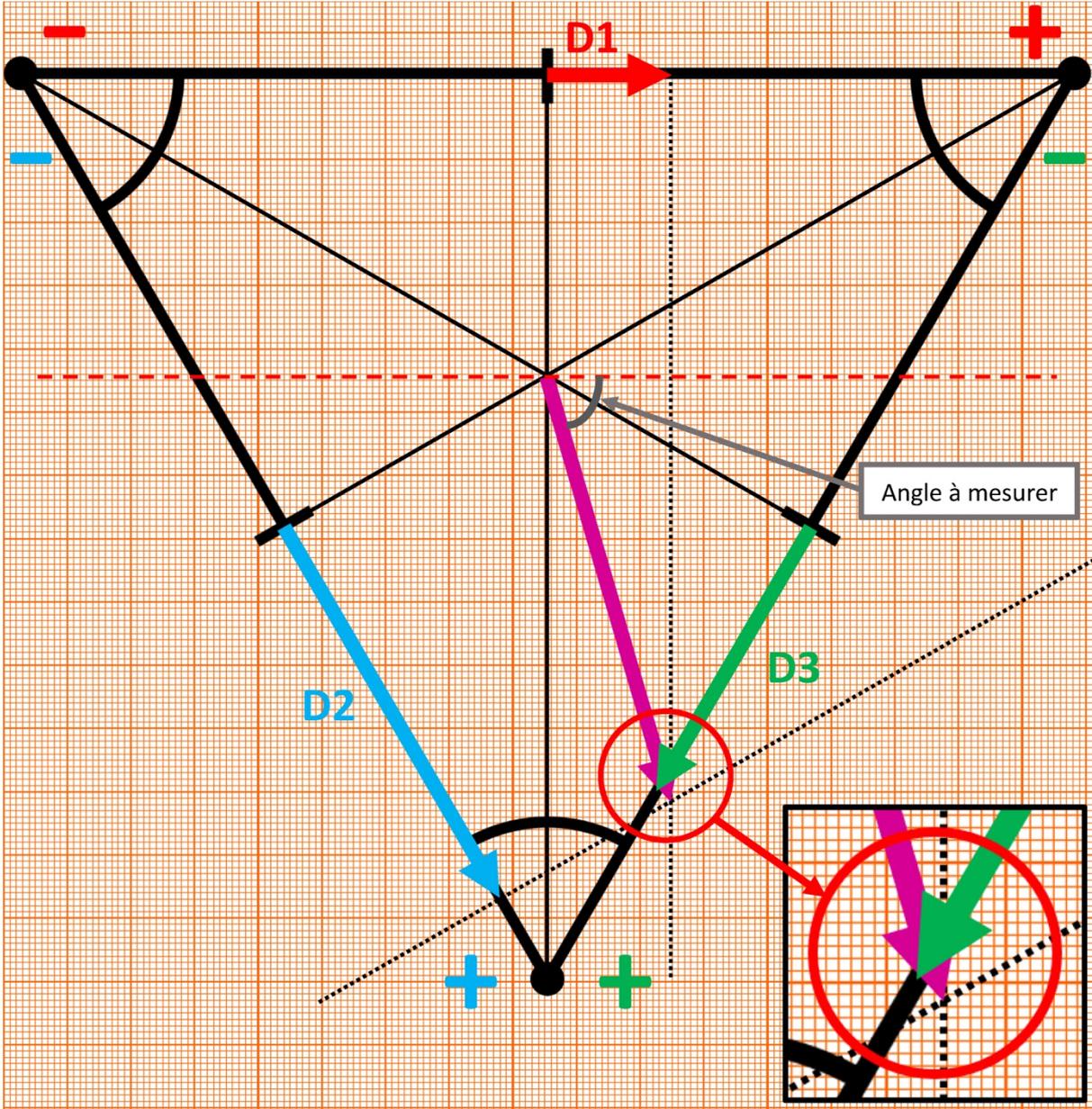
La loi n'est pas vérifiée.

Question II.B.5 - Tracer un triangle équilatéral sur le papier millimétré ci-dessous puis tracer sur le côté correspondant à D1 un vecteur dont l'origine est le milieu de ce côté et dont la longueur est égale à la somme algébrique du complexe central de l'ECG (en dérivation D1) et dont le sens correspond au signe de cette somme (positif vers la droite). Construire de la même façon sur l'axe D2 le vecteur correspondant au tracé obtenu en dérivation D2 (positif vers le bas). Tracer par l'extrémité des deux vecteurs ainsi construits une perpendiculaire à chacun des deux axes qui les portent. L'intersection de ces deux perpendiculaires donne l'extrémité du vecteur résultant : ce vecteur représente l'activité électrique cardiaque ; il est dirigé suivant l'axe électrique du cœur. Évaluer l'angle formé par l'axe du cœur et l'horizontale.



L'angle est d'environ 69°

Il est regrettable que les candidats n'abordent que très peu ces parties qui reposent sur de la lecture graphique et de l'application des consignes. Elles ne devraient pas poser de difficultés aux candidats puisque toutes les informations figurent dans le texte et que la méthode de construction est indiquée.



Partie III - Étude de la croissance chez les Angiospermes

Kaneyasu *et al.* (2006) ont étudié la réponse de racines à la gravité et à l'humidité. On réalise des cultures placées perpendiculairement au champ de pesanteur ou dans un gradient d'humidité (voir **figure III.1**) en présence ou en absence de différents inhibiteurs de l'auxine à des concentrations variant entre 10^{-6} et 10^{-5} M ($M = \text{mol.l}^{-1}$) :

L'acide 3-chloro-4-hydroxyphnylacétique (**CHPAA**) est un inhibiteur des influx d'auxine dans les cellules

L'acide 2,3,5-triidobenzoïque (**TIBA**) est un inhibiteur des efflux d'auxine des cellules.

L'acide p-chlorophénoxyisobutylacétique (**PCIB**) est un inhibiteur de la réponse des cellules à l'auxine.

Pour chaque plante, on étudie la courbure des racines (curvature) par rapport à l'horizontale - position initiale des racines dans le montage - et croissance des racines (*growth*). Les résultats sont indiqués sur la **figure III.2**.

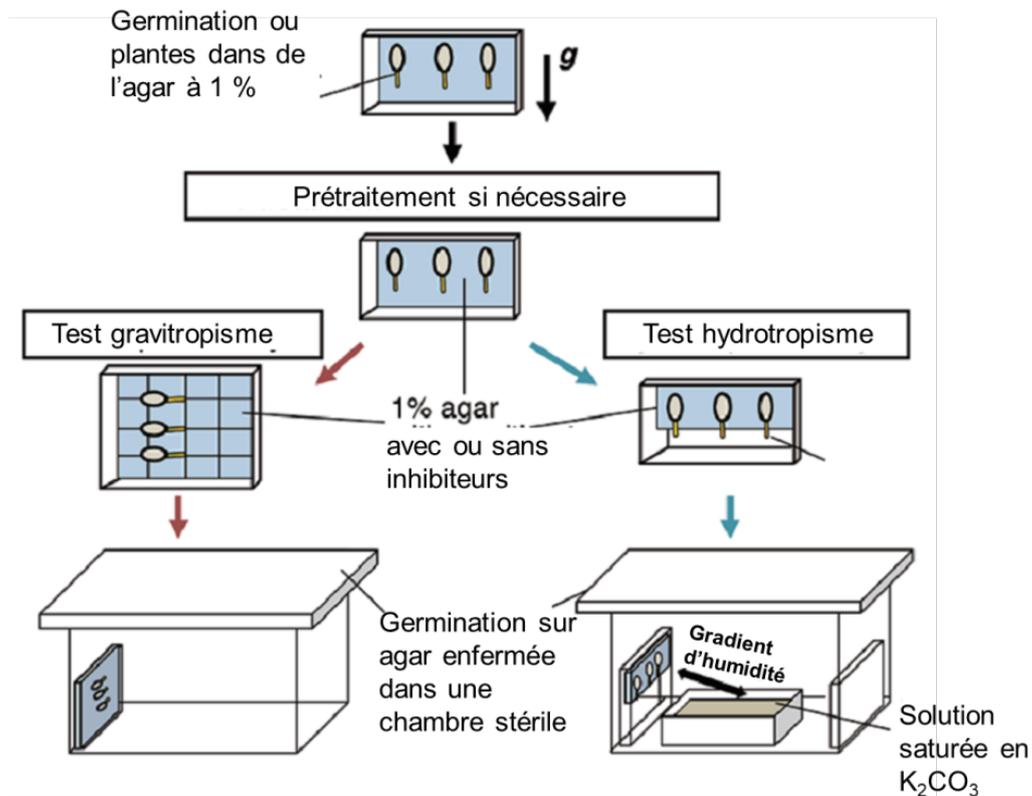


Figure III.1 : Les conditions de réalisation des tests gravitropiques et hydrotropiques

Figure III.2. Effet de différents inhibiteurs de l'auxine sur le gravitropisme et l'hydrotropisme racinaire.

A à D : Mesure de la courbure et de la croissance en présence de CHPAA, inhibiteur de l'influx d'auxine

A et C : Test hydrotropisme

B et D : Test gravitropisme

0 : Absence d'inhibiteur

E à H : Mesure de la courbure et de la croissance en présence de TIBA, inhibiteur de l'efflux d'auxine

E et G : Test hydrotropisme

F et H : Test gravitropisme

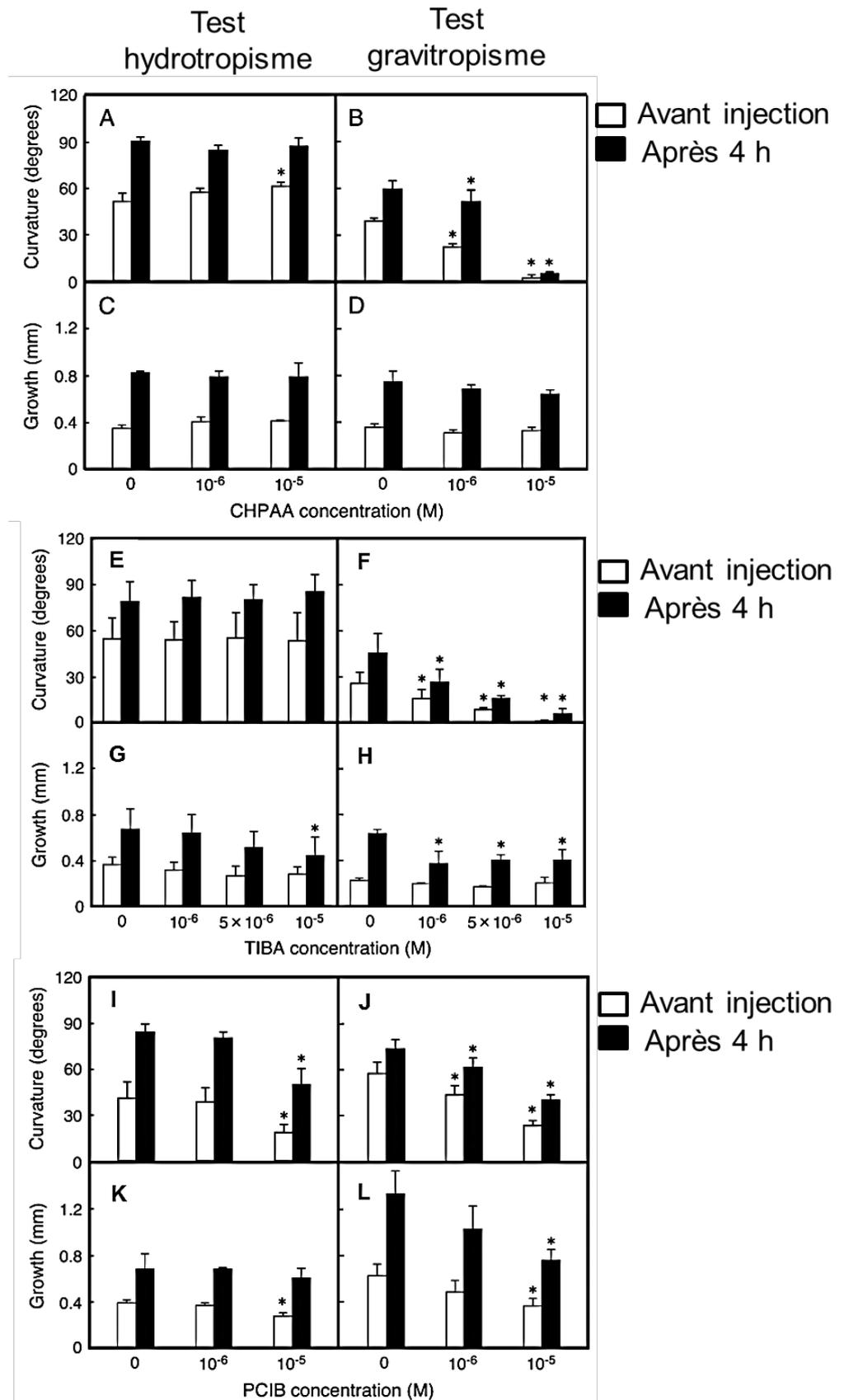
0 : Absence d'inhibiteur

I à L : Mesure de la courbure et de la croissance en présence de PCIB, inhibiteur de la réponse cellulaire à l'auxine

I et K : Test hydrotropisme

J et L : Test gravitropisme

0 : Absence d'inhibiteur



Question III.1 - Définir un tropisme et préciser la différence avec un tactisme et une nastie.

Un tropisme correspond à la croissance orientée d'un organe végétal selon un paramètre qui présente une anisotropie dans le milieu.

Un tactisme est un déplacement d'un organisme selon un paramètre qui présente une anisotropie dans le milieu.

Une nastie est un mouvement déclenché chez les végétaux par un stimulus extérieur, indépendamment de la direction du stimulus reçu.

Question III.2 - Analysez de manière concise les différents histogrammes de la figure III-2 et concluez sur le rôle de l'auxine dans les phénomènes étudiés.

L'inhibition de l'influx d'auxine par le CHPAA ne perturbe pas la croissance. Elle modifie à peine la courbure des racines aux plus fortes concentrations dans les tests d'hydrotropisme alors qu'elle inhibe cette courbure dans les tests de gravitropisme.

☒ **les influx d'auxine sont nécessaires dans la réponse à un champ de pesanteur** mais interviennent peu dans l'hydrotropisme.

L'inhibition de l'efflux d'auxine par TIBA ne perturbe qu'à peine la croissance aux plus fortes concentrations dans les tests d'hydrotropisme alors qu'elle réduit la courbure et la croissance des racines dans les tests de gravitropisme.

☒ **les efflux d'auxine sont nécessaires dans la réponse à un champ de pesanteur** mais n'interviennent pas (ou de manière très marginale) dans l'hydrotropisme.

L'inhibition de la réponse cellulaire à l'auxine par PCIB réduisent d'un tiers la croissance et la courbure des racines dans les tests de gravitropisme à la plus forte concentration testée et réduisent la courbure dans les tests d'hydrotropisme d'un tiers.

☒ **la courbure des racines dépend de réponse des cellules racinaires à l'auxine** dans le cas de l'**hydrotropisme et du gravitropisme** ainsi que dans la croissance racinaire en réponse au champ de pesanteur.

Dietrich *et al.* (2017) ont recherché les structures impliquées dans l'hydrotropisme et le gravitropisme. Pour cela ils ont réalisé une ablation au laser de la columelle chez *A. thaliana*. Les racines sont alors soumises aux tests gravitropiques et hydrotropiques de la **figure III.3**. Les résultats sont présentés **figure III.4** :

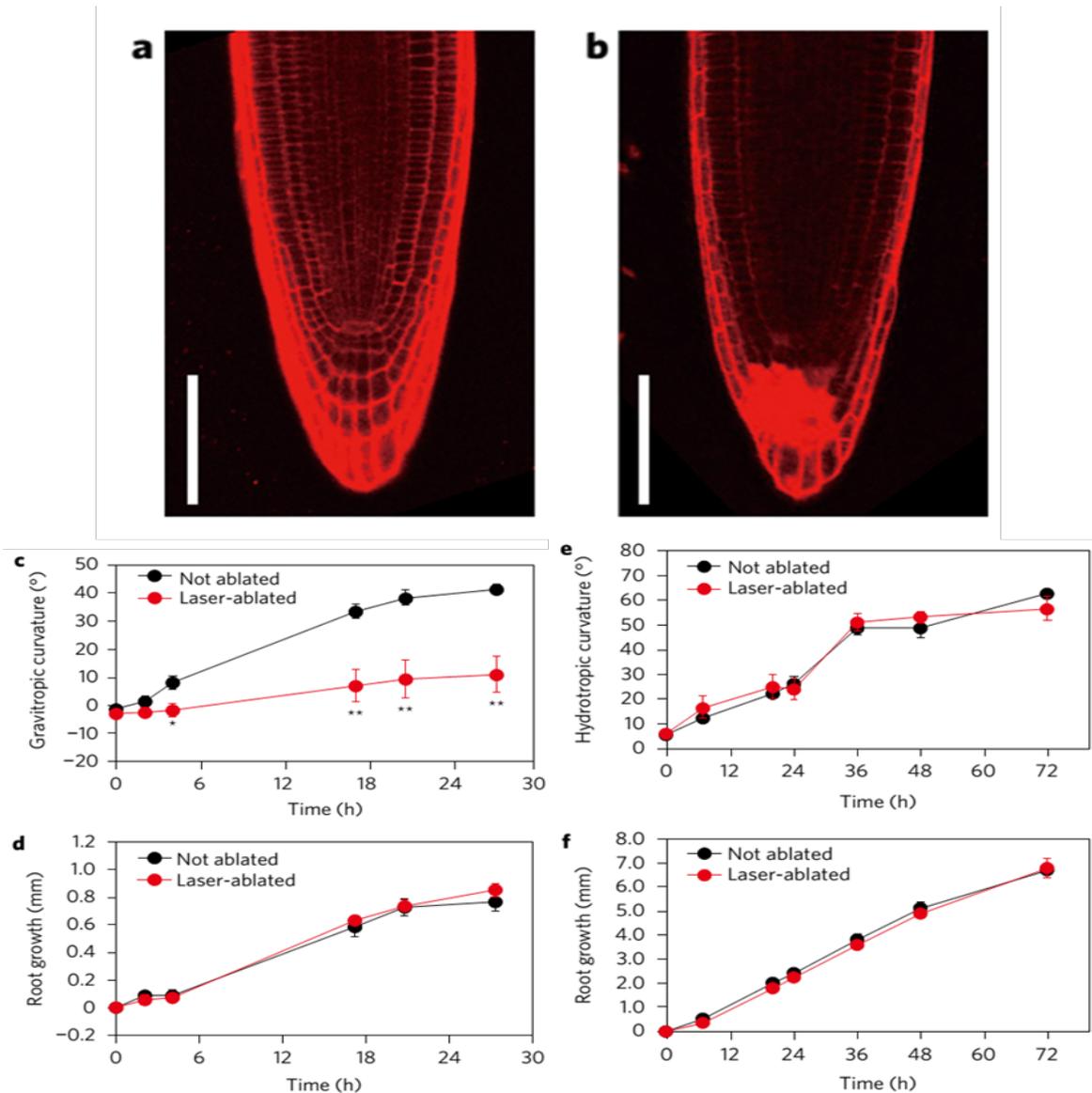


Figure III.3 : Effets de l'ablation de la columelle sur les réponses gravitropiques et hydrotropiques. **a et b :** micrographies en microscopie confocale à fluorescence. Les cellules sont marquées à l'iodure de propidium, un agent intercalant de l'ADN principalement. **c et d :** réponse des racines dans les tests gravitropiques. Les points noirs sont les racines non traitées, les points rouges correspondent aux racines de plants ayant subi une ablation de la columelle.

Question III.3 - A partir des données de la **figure III.3**, conclure sur les structures impliquées dans le gravitropisme et l'hydrotropisme.

L'ablation de la columelle ne perturbe pas la croissance racinaire dans les tests réalisés ni la courbure des racines dans les tests d'hydrotropisme. En revanche, la courbure est quasiment nulle après ablation dans les tests de gravitropisme.

Les cellules de la columelle sont donc nécessaires à la réponse à un champ de pesanteur, soit dans sa perception, soit dans l'induction de la réponse, soit dans les deux cas.

On ne sait pas si un groupe de cellule en particulier ou si l'ensemble des cellules racinaires participent à la perception et à la réponse dans le cas de l'hydrotropisme.

Question III.4 - Proposer un protocole expérimental qui permettrait d'identifier plus précisément les structures cellulaires impliquées dans l'hydrotropisme.

Tout protocole cohérent proposé avec la présence de manipulations témoins a été valorisé.

Ex : Ablation au laser de différentes zones de la racine. Autre approche possible, crible de mutants ne répondant pas à l'hydrotropisme et recherche de différences morpho-anatomiques par comparaison avec un plant sauvage,...

L'eau est un acteur de la croissance tissulaire. L'état de l'eau dans un système est caractérisé par son potentiel hydrique, et les flux d'eau dépendent des différences de potentiel hydrique.

Question III.5 - Définir le potentiel hydrique d'une cellule. Donner la formule permettant de calculer celui-ci en précisant l'unité et en définissant les grandeurs impliquées.

Le potentiel hydrique est le potentiel chimique de l'eau, il représente la quantité d'énergie qu'il faudrait apporter à une mole d'eau pour la faire de l'état dans laquelle elle se trouve à l'état libre de référence, c'est-à-dire sous sa forme libre à la pression atmosphérique à l'altitude zéro au cours d'une transformation réversible isotherme. Le potentiel hydrique est mesuré en MPa.

A l'échelle cellulaire, elle correspond à la différence entre le potentiel hydrostatique P (ou pression de turgescence) et la pression osmotique π (ou la somme du potentiel hydrostatique et du potentiel osmotique - π)
Si une formule est parfois donnée, trop rare sont les candidats formulant une définition du potentiel hydrique et précisant son unité. Les réponses sont ainsi souvent partielles

Question III.6 - Rappeler le lien entre la valeur de la différence de potentiel hydrique et l'existence d'un flux spontané entre un compartiment 1 et 2.

Le flux d'eau est spontané du compartiment 1 vers le compartiment 2 si la différence de potentiel hydrique $\Delta\psi_{1\rightarrow 2} = \psi_2 - \psi_1$ est négatif.

Les flux d'eau ont spontanément lieu selon les potentiels hydriques décroissants.

Si les candidats ont éprouvé des difficultés dans la formulation de ce qu'est un potentiel hydrique, son utilisation dans la prédiction du sens des flux est souvent connue. Il est bon de se rappeler que la maîtrise d'un concept ne passe pas que par le résultat que l'on peut tirer d'une grandeur, mais passe aussi par une bonne compréhension de ce que représente la grandeur utilisée et des paramètres pris en compte.

Afin d'étudier les modalités tissulaires de la croissance chez les Angiospermes, réaliser les protocoles suivants :

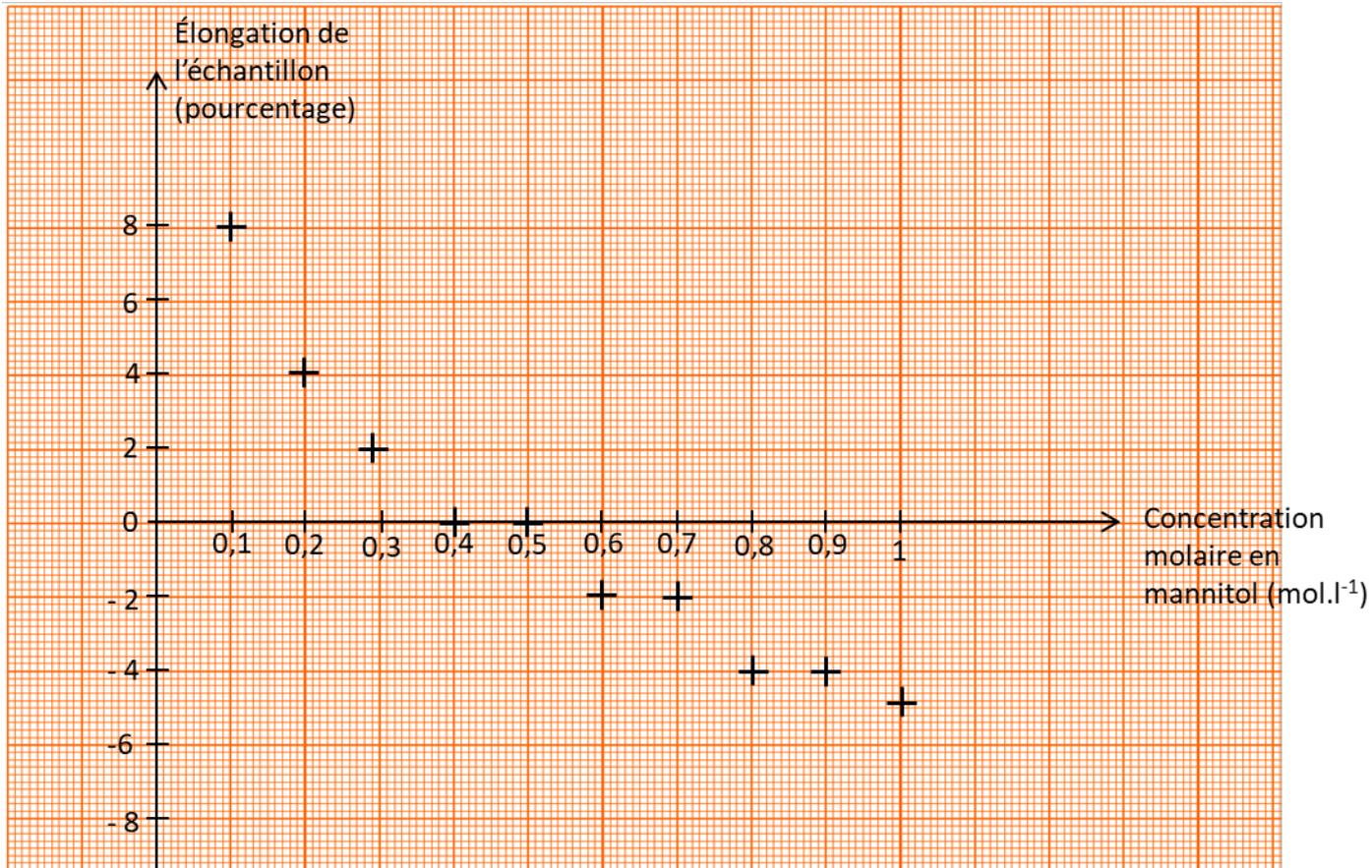
Matériel à disposition : tubercules de pomme de terre, solution mère de mannitol à 1 mol.l⁻¹, eau distillée, 11 verres de montre, papier millimétré, 11 tubes à hémolyse.

ATTENTION : Deux protocoles longs sont à mener en parallèle, pensez à vous organiser en conséquence.

Préparer des solutions avec des concentrations croissantes de mannitol, allant de 0,1 mol.l⁻¹ à 1 mol.l⁻¹, en augmentant à chaque fois la concentration de 0,1 mol.l⁻¹.

A l'échelle tissulaire	A l'échelle cellulaire
Réaliser une gamme de 10 tubes à hémolyse, chacun contenant 20 ml d'une solution de mannitol d'une concentration donnée.	Préparer 10 verres de montre contenant chacun 3 ml d'une solution de mannitol de concentration connue.
Dans les tubercules, découper des frites de dimension 50 mm x 5 mm x 5 mm.	Réaliser une coupe fine ayant une surface carrée de 5 mm x 5 mm.
Placer une frite dans chaque tube et laisser en solution pendant une heure en agitant régulièrement.	Placer une coupe dans chaque verre de montre et laisser en solution pendant au moins 90 minutes .

Variation de la longueur des échantillons de pomme de terre en fonction de la concentration de mannitol dans le milieu



Question III.9 - Proposer une hypothèse justifiant le choix du mannitol dans ce protocole à la place du saccharose classiquement utilisé.

Le saccharose peut pénétrer dans les cellules végétales, voire être métabolisé, ce qui peut perturber les résultats en modifiant les pressions osmotiques aussi bien dans les solutions qu'à l'intérieur des cellules. Le mannitol est considéré comme inerte donc pas ou peu impliqué dans le métabolisme des cellules végétales, ce qui réduit les biais.

Question III.10 - Analyser les variations obtenues en proposant une ou plusieurs hypothèses explicatives.

Pour des faibles concentrations en mannitol (entre 0 et 0,3 mol.l⁻¹), il y a un allongement de l'échantillon. Ceci s'explique parce que le potentiel hydrique de l'échantillon végétal est inférieur au potentiel hydrique de la solution de mannitol. Un flux d'eau entrant dans le tissu est à l'origine d'un gonflement de ce dernier.

Pour des concentrations en mannitol voisines de 0,4/0,5 mol.l⁻¹, les variations de longueur des échantillons végétaux ne sont pas significatives. Les différences de potentiel hydrique entre l'échantillon et la solution de mannitol entraînent un flux net pratiquement nul, d'où l'absence de variations de taille.

Pour des concentrations en mannitol supérieures à 0,6 mol.l⁻¹, les échantillons végétaux ont vu leur longueur diminuer. Leur potentiel hydrique est supérieur à celui de la solution de mannitol, il en résulte un flux d'eau sortant de l'échantillon végétal vers la solution de mannitol. La diminution de volume des cellules qui en résulte pourrait expliquer la diminution de la taille des échantillons.

De très rares candidats ont pu construire un graphique, rares donc sont les personnes ayant pu tenter des interprétations. Il est essentiel de rester combattif, même si les résultats sont partiels. Ainsi, des candidats n'ayant fait que quelques mesures et n'ayant tracé que 3 points ont pu initier parfois une interprétation pertinente et cohérente avec les données obtenues, ce qui a été valorisé.

Question III.11 - A partir de vos observations microscopiques, indiquer la/les concentrations pour laquelle/lesquelles les cellules sont en plasmolyse limite. Expliquer alors ce que permet de déterminer cette concentration en lien avec le potentiel hydrique ou ses composantes.

Cellules en plasmolyse limite entre 0,6 et 0,7 mol.l⁻¹.

Lors de la plasmolyse limite, la pression osmotique est la même entre la cellule et la solution

Cette question et les deux suivantes n'ont pas été traitées par la très grande majorité des candidats.

Question III.12 - Comparer la concentration pour un allongement nul de l'échantillon et la concentration en mannitol pour laquelle les cellules du tubercule de pomme de terre sont en plasmolyse limite. Expliquer ces résultats.

L'allongement de l'échantillon est nul pour une concentration en mannitol qui correspond au potentiel hydrique de l'échantillon de pomme de terre, qui prend en compte à la fois le potentiel hydrostatique de l'échantillon et son potentiel osmotique. La plasmolyse limite a lieu lorsqu'il y a égalité des pressions osmotiques et permet donc de calculer le potentiel hydrostatique des cellules parenchymateuses de tubercule de pomme de terre.

Question III.13 - Ce protocole est parfois utilisé pour travailler sur les mécanismes de l'auxèse. Discuter de sa pertinence au regard des résultats obtenus avec les deux protocoles. Vous pouvez également si besoin discuter de la pertinence du protocole et/ou de ses limites.

L'auxèse implique un assouplissement des parois par rupture des liaisons entre fibrilles de cellulose, une turgescence des cellules et des biosynthèses. Dans le temps imparti, seuls des flux d'eau se sont mis en place. L'allongement de l'échantillon ici peut ne pas résulter uniquement de la turgescence des cellules, mais aussi de l'eau qui s'est insérée entre les parois ou de l'extensibilité de la paroi à la suite de la turgescence des cellules parenchymateuses. Pour vérifier qu'il y a bien auxèse, il faudrait mesurer les cellules du parenchyme de pomme de terre dans les solutions hypotoniques afin de vérifier s'il y a eu effectivement allongement des cellules. Cette approche est d'autant plus délicate que les cellules végétales sont plutôt isodiamétriques ici, ce qui rend délicat l'observation d'un allongement dans une direction préférentielle alors que les cellules ne présentent pas d'orientation préférentielle ici.

Partie IV - La fonction de reproduction

Remarques générales sur cette partie :

Parmi ceux et celles qui ont répondu aux questions sur la partie drosophile (souvent partiellement), il convient de faire attention aux règles de convention d'écriture des génotypes et phénotype qui ne sont pas toujours acquises. Les conditions de l'équilibre de Hardy-Weinberg sont globalement connues mais les calculs semblent effrayer les candidats. Certains ne se sont pas servis de la plaque de drosophile pour les compter, c'est dommage.

IV.A - La reproduction de l'Escargot

Question IV.A.1 - A partir des caractères morpho-anatomiques observables, justifier la place phylogénétique de l'escargot. Partir du fait qu'il s'agit d'un Métazoaire.

Animal non segmenté à symétrie bilatérale altérée. ☑ Bilatérien
Présence d'un manteau et d'une radula ☑ Mollusque
Présence d'un pied et d'une coquille dorsale torsadée ☑ Gastéropode
Présence d'une respiration pulmonaire ☑ Pulmonata

Question IV.A.2 - Réaliser la dissection de l'appareil génital de l'escargot fournie. Légènder la présentation par la méthode de votre choix.

Exemple de dissection réalisée



Légendes attendues : Glande hermaphrodite, canal hermaphrodite, glande de l'albumine, spermiducte, oviducte (canal godronné), canal déférent, poche copulatrice, poche du dard, vagin, pénis, flagelle mâle, flagelle femelle, glande multifide.

Peu de candidats ont traité cette partie. Les quelques candidats qui ont tenté la dissection sont arrivés à des résultats assez satisfaisants.

IV.B - Transmission de caractères chez un organisme diploïde

On se propose d'étudier la transmission de deux caractères, l'un codant la forme des ailes (gène *vestigial*) et le second la couleur du corps (gène *black*).

Une lignée pure P1 aux ailes normales et au corps brun est croisée avec une lignée P2 aux ailes vestigiales et au corps noir. Les individus F1 issus de ce croisement ont tous des ailes normales et un corps brun.

Des individus de la lignée F1 sont alors croisés avec des individus de la lignée P2. Une partie des drosophiles de la lignée F2 résultant de ce croisement est fournie sous la forme d'une plaque de croisement.

On note vg^+ l'allèle codant des ailes normales et vg l'allèle codant des ailes vestigiales.

On note b^+ l'allèle codant un corps brun et b l'allèle codant un corps noir.

Question IV.B.1 - Écrire en respectant les conventions d'écriture et en les explicitant, les génotypes et phénotypes des lignées P1, P2 et F1 selon les deux hypothèses possibles pour l'agencement des gènes sur les chromosomes.

Pour rappel, les phénotypes s'écrivent entre crochets, les génotypes entre parenthèses. Les allèles sont séparés par des points virgules, avec un seul trait qui relie les différents allèles des différents gènes si les gènes sont liés. Selon les auteurs, un trait représente un chromosome, les deux allèles présents chez un individu s'écrivent donc sous la forme d'une fraction ou séparés par deux traits horizontaux.

Parmi ceux et celles qui ont répondu aux questions sur la partie drosophile (souvent partiellement), il convient de faire attention aux règles de convention d'écriture des génotypes et phénotype qui ne sont pas toujours acquises.

Question IV.B.2 - Déterminer les proportions de chaque phénotype en F2 sur la plaque de comptage fournie. Discuter de la pertinence de ce comptage pour déterminer si les gènes sont liés ou indépendants (trancher entre les deux hypothèses n'est pas attendu à ce stade).

Les plaques contenaient 40 drosophiles, le phénotype $[vg^+ ; b^+]$ représentant entre 13 et 17 individus selon les plaques, tout comme le phénotype parental $[vg ; b]$. Les phénotypes recombinés $[vg^+ ; b]$ et $[vg ; b^+]$ représentaient entre 3 et 6 individus selon les plaques.

Certain.e.s ne se sont pas servis de la plaque de drosophile pour les compter, ce qui est dommage puisque la question suivante a en revanche été traitée, mais de manière partielle puisqu'il manque une partie du jeu de données.

Les résultats du tableau suivant correspondent à d'autres comptages réalisés sur le même croisement.

Phénotype	Corps brun et ailes normales	Corps brun et ailes vestigiales	Corps noir et ailes normales	Corps noir et ailes vestigiales
Comptage 1	17	4	3	16
Comptage 2	15	5	1	19
Comptage 3	19	3	4	14
Comptage 4	15	2	7	16

Tableau IV.1 : Résultats de quelques comptages pour le croisement retour F1 x P1

Question IV.B.3 : A partir de ces données et en incluant vos comptages, déterminer la fréquence moyenne de chaque génotype ainsi qu'un intervalle de confiance de 95 % pour chaque valeur calculée :

On notera f_a la fréquence d'un phénotype a et n le nombre d'individus compté.

Rappel : formule de détermination d'un intervalle de confiance pour une fréquence f

$$\left[f - 1,96 \times \frac{\sqrt{f \times (1-f)}}{\sqrt{n}}; f + 1,96 \times \frac{\sqrt{f \times (1-f)}}{\sqrt{n}} \right]$$

Réponse IV.B.3 :

Il y a en tout 5 comptages soit 200 drosophiles. La fréquence moyenne ici est aux alentours de (prévoir une légère variation selon les comptages de la personne) : $[vg+b+] \approx 41,2 \%$; $[vg b] \approx 40,6 \%$; $[vg b+] \approx 9 \%$; $[vg+ b] \approx 9 \%$

Avec le calcul des intervalles de confiance à 95 %, cela donne les fréquences suivantes :

$f_{[vg+b+]} \approx 41,2 \pm 6,8 \%$; $f_{[vg b]} \approx 40,6 \pm 4,3 \%$; $f_{[vg b+]} \approx 9 \pm 1,2 \%$; $f_{[vg+ b]} \approx 9 \pm 1,2 \%$

Alors que la formule est donnée et qu'une calculatrice était fournie, cette question n'est que peu traitée. Encore une fois, la gestion du temps et la lecture globale du sujet permet de cibler les parties plus rapides à traiter ou exploitables durant les temps d'attente dans certains protocoles.

Question IV.B.4 - A partir des résultats obtenus, démontrer si les gènes *vestigial* et *black* sont liés ou indépendants. Votre démonstration s'appuiera sur des schémas de méiose avec les allèles et le nom des étapes clés pour votre raisonnement, ainsi que le ou les types de brassages présents, ainsi qu'un échiquier de croisement indiquant les génotypes et les phénotypes obtenus.

Schéma de méiose avec chiasma en prophase I, crossing-over en anaphase I, notion de brassage intrachromosomique.

Échiquier de croisement avec génotype des gamètes, génotypes et phénotypes parentaux et recombinés avec proportions. La présence minoritaire des phénotypes recombinés par rapport aux phénotypes parentaux à l'issue de ce croisement retour prouve que les gènes sont liés.

La question demandait une démonstration, il s'agit donc de montrer que les fréquences génotypiques attendues mettaient en évidence que les deux gènes étaient liés. Ceci implique donc d'illustrer un brassage intrachromosomique et d'indiquer que certaines combinaisons sont majoritaires en absence de crossing-over entre les deux locus étudiés, et que les génotypes recombinés dans les gamètes sont minoritaires.

Plusieurs candidats se sont arrêtés à cette étape alors qu'un échiquier de croisement est nécessaire à la démonstration afin d'arriver aux proportions théoriques des phénotypes parentaux majoritaires à l'issue du croisement étudié et des phénotypes recombinés minoritaires. Certains candidats vont jusqu'au bout du raisonnement en comparant les résultats théoriques aux résultats des comptages, mais ce n'est pas toujours le cas.

Peter BURI (1956) a étudié la transmission de la couleur des yeux chez les drosophiles. La couleur des yeux est déterminée notamment par le gène *brown*. Les drosophiles homozygotes (*bw//bw*) ont les yeux blancs, les drosophiles homozygotes (*bw75//bw75*) ont les yeux bruns et les drosophiles hétérozygotes (*bw75//bw*) ont les yeux orange. Dans ses expériences, il démarre avec 107 populations de 16 drosophiles aux yeux orange.

Question IV.B.5 - Calculer la fréquence p_{bw} de l'allèle *bw* et la fréquence q_{bw75} de l'allèle *bw75* en considérant la somme des 107 populations.

Les individus aux yeux orange sont tous hétérozygotes, chaque individu possède donc un allèle *bw* et un allèle *bw75* donc $p_{bw}=q_{bw75}=0,5$.

Question IV.B.6 - Rappeler les hypothèses du modèle de Hardy-Weinberg.

Le modèle de Hardy-Weinberg suppose qu'aucune force évolutive ne s'exerce sur la population étudiée pour le trait de caractère étudié :

- La population est fermée (pas de migration).
- Il n'y a pas de mutation dans le gène étudié.
- Il n'y a pas de pression de sélection sur les traits de caractères associés au gène étudié.
- La population est de taille infinie (pas de dérive génétique).
- Il y a panmixie (n'importe quel individu peut se reproduire avec n'importe quel individu).

Cette question a été globalement bien traitée.

Question IV.B.7 - Calculer les proportions attendues d'individus aux yeux blancs, oranges et bruns dans une population à l'équilibre de Hardy-Weinberg compte tenu de la fréquence de l'allèle bw dans la population initiale.

Comme $p_{bw}=0,5$, les fréquences attendues sont :

$$F(bw//bw) = (p_{bw})^2 = 0,25$$

$$F(bw75//bw75) = (q_{bw75})^2 = 0,25$$

$$F(bw//bw75) = 2 * p_{bw} * q_{bw75} = 0,5$$

Les conditions de l'équilibre de Hardy-Weinberg sont globalement connues mais les calculs semblent effrayer les candidats.

Le tableau suivant donne les résultats des croisements des drosophiles dans les travaux de BURI au bout de 19 générations de croisements.

Generation	Total fixed bw	Number of bw ⁷⁵ genes																																Total fixed bw ⁷⁵	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		32
0		107																																	
19	30	3	2	0	3	1	2	0	5	2	3	1	1	1	5	2	0	0	2	0	2	2	3	2	1	2	2	1	0	0	0	0	4	0	28

Tableau V.2 : Nombre de copies de l'allèle bw75 au bout de 19 générations de croisements de 16 drosophiles dans 107 populations différentes.

Question IV.B.8 - Calculer la fréquence p_{bw} en prenant en compte l'ensemble des populations au bout des 19 générations.

$$q_{bw75} = 1615 / (107 * 32) \approx 0,47 \text{ soit } 47 \%$$

$$p_{bw} = 1 - q_{bw75} \approx 53 \%$$

Question IV.B.9 : Comparer les résultats obtenus aux résultats attendus dans le cas de l'équilibre d'Hardy-Weinberg et interpréter les résultats des travaux de BURI.

Si les populations étaient à l'équilibre d'Hardy-Weinberg, il devrait y avoir 16 copies de l'allèle bw et d'autant de l'allèle bw75) dans chaque population puisque la moitié des individus seraient hétérozygotes et qu'il y aurait autant d'individus aux yeux blancs qu'aux yeux bruns. Or aucune population a l'issue des 19 générations ne possède 16 copies de l'allèle bw. La très forte dispersion des résultats avec des populations ayant perdu l'allèle bw et d'autres l'ayant fixé montre qu'il y a une **dérive génétique due à la très petite taille des populations** (16 individus). **Dès le départ, la population n'est pas à l'équilibre d'Hardy-Weinberg** puisqu'il n'y a dans les populations de départ que des individus hétérozygotes.

Partie V : Reconnaissance argumentée

Compléter le tableau fourni en identifiant les 10 structures ou organismes présentés et en les reliant à leur fonction biologique.

Echantillon	Structure/organisme reconnu et taxon d'origine	Critère de reconnaissance	Rôle(s) biologique(s)
1	Foie de Mammifère	Organe avec lobules hexagonaux entourés de cloisons conjonctives	Fonction de nutrition
2	Pancréas de Mammifère	Organe avec îlots de Langerhans et canaux exocrines	Fonction de nutrition
3	Intestin grêle de Mammifère	Présence de valvules conniventes, de villosités, de cellules avec une bordure en brosse et de cellules caliciformes	Fonction de nutrition
4	Conceptacle mâle de Fucus (Phéophyte)	Aspect sphérique caractéristiques avec paraphyses et gamétocystes mâles (spermatocystes) ou femelles (oogones)	Fonction de reproduction
5	Prothalle de Fougère	Aspect cordiforme Présence au centre d'archéogones et d'antheridies Oosphère et anthérozoïdes Présence de rhizoïdes	Fonction de reproduction
6	Corbeille à antheridie de Bryophyte	Présence de feuilles, entourant des paraphyses stériles et des renflements (gamétanges) contenant de nombreux anthérozoïdes	Fonction de reproduction
7	Carpelle d'Angiosperme (Liliacée)	Organe à trois loges contenant des ovules anatropes	Fonction de reproduction
8	Rhizome d'Angiosperme	Organe à symétrie radiale Cylindre central contenant des faisceaux cribro-vasculaire	Fonction de nutrition
9	Nerf	Cellule à aspect fibrillaire Présence d'une gaine de myéline	Fonction de relation
10	Encéphale de Rat	Aspect général montrant le cervelet avec nombreuses circonvolutions, une substance blanche et une substance grise riches en corps cellulaires	Fonction de relation

La reconnaissance est un exercice très inégalement réussi par les candidats. Pour rappel, le secteur B implique la physiologie des organismes et donc l'identification des organes et ne se limite pas au fonctionnement des écosystèmes.

5.3 Épreuve de travaux pratiques de spécialité du secteur C : Sujet et commentaires

AGRÉGATION DE SCIENCES DE LA VIE - SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2023

TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITE DU SECTEUR C

Durée totale : 6 heures

Les grandes crises et leurs origines

Les différentes parties sont indépendantes. Certaines questions nécessitent des observations sur des postes de travail (lame mince et échantillons macroscopiques). Un ordre de passage affiché au tableau, vous permettra d'accéder aux deux postes de travail. Organisez-vous en conséquence.

Partie I. Les grandes crises du Phanérozoïque	p.2
Durée conseillée : 1h30 ATELIER 1 (20 minutes) Paléontologie (loupe binoculaire)	
Partie II. Deux hypothèses à l'origine des grandes crises	p.11
Durée conseillée : 0h45	
Partie III. Les caractéristiques géologiques de la limite K-Pg : l'impact de Chicxulub	p.13
Durée conseillée : 1h10 ATELIER 2 (30 minutes) Modélisation analogique d'impacts	
Partie IV. Les caractéristiques géologiques de la limite K-Pg : les trapps du Deccan	p.18
Durée conseillée : 1h15 ATELIER 3 (20 minutes) Pétrologie	
Partie V. Modéliser l'impact des grandes provinces magmatiques et celui d'un impact de météorite sur le pH de l'océan	p.33
Durée conseillée : 0h50 ATELIER 4 (40 minutes) Modélisation numérique de l'évolution du pH de l'océan	

Les réponses aux questions figureront dans les cadres réservés à cet effet. Vous pouvez disposer d'une calculatrice non programmable.

AVANT DE REMETTRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DE TOUS LES DOCUMENTS.

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier

Commentaire général: le thème du TP, portant sur les grandes crises et leurs origines, est relativement bien connu par les candidat.e.s. Cette année l'accent a été mis sur les aspects quantitatifs, en se focalisant sur les processus. Les compétences pratiques attendues pour des candidats optants C ont été testées à la fois avec des ateliers de pétrologie, une utilisation à plusieurs reprises d'une carte géologique « classique » (carte géologique du monde au 1/35000000) ainsi que par la réalisation de modélisations expérimentale et numérique.

Une première partie portait sur l'enregistrement stratigraphique des crises de la biosphère, à la fois sur des aspects paléontologiques et en utilisant la magnétostatigraphie et la cyclostratigraphie pour affiner les contraintes temporelles sur le déroulement des crises.

La seconde partie pointait vers deux processus possibles à l'origine des crises (magmatisme et impact de météorite) et invitait à tester la coïncidence temporelle entre ces événements majeurs et d'éventuelles crises de la biosphère associées. L'aspect global des crises était testé via un exercice de reconstitution paléogéographique.

La troisième partie portait sur l'impact de Chicxulub. Des hypothèses sur sa géométrie étaient faites grâce à l'enregistrement gravimétrique. Un lien théorique entre taille du cratère, vitesse et masse du projectile (météorite) était retrouvé à partir d'une modélisation expérimentale. Ce lien permettait de faire une hypothèse sur la taille de la météorite associée au cratère de Chicxulub. De façon totalement indépendante, un bilan de masse assez simple de l'iridium contenu de la couche « riche en iridium » temporellement associée à cet impact permettait de proposer une seconde estimation de la taille de cette météorite (du même ordre de grandeur que la première).

La quatrième partie s'intéressait sur les processus magmatiques et périmagmatiques en lien avec les crises. Cette partie comprenait de la géochronologie absolue, de la pétrologie (macroscopique et microscopique) ainsi qu'un certain nombre de quantifications simples visant à identifier les principaux volumes et flux d'éléments volatiles toxiques associés à la mise en place des grandes provinces magmatiques.

La cinquième et dernière partie visait à décrire les effets sur l'océan (et notamment l'acidification) de ces deux types d'événements (impact de météorite et mise en place d'une grande province magmatique) à travers une modélisation numérique. Les compétences en chimie des solutions nécessaires à la conception ab initio d'une telle modélisation auraient été un obstacle pour certains candidats et le sujet apportait clé en main un classeur excel annoté dans lesquels les candidats devaient tester des scénarios éruptifs et lire les effets sur la chimie des océans. Les équations utilisées pour cette partie sont données – à titre informatif – à la fin du sujet.

Le jury est conscient de la longueur de ce sujet, et la réussite de cette épreuve nécessitait efficacité et bonne gestion du temps. Les parties comportant des ateliers ont été globalement mieux traitées que celle n'en comportant pas. Vraisemblablement, le fait qu'un créneau (heure de passage) soit imposé pour chaque atelier a obligé les candidats à traiter les questions avant et après celles des ateliers. A l'inverse la partie sans atelier (partie 2) n'ayant pas de créneau imposé a été globalement délaissée. Nous rappelons aux candidats que dans ce sujet, une « durée conseillée » est proposée pour chaque partie et les candidats qui ont su bien gérer leur temps ont globalement mieux réussi cette épreuve. Nous rappelons également aux candidat.e.s que l'une des finalités de l'épreuve de TP est d'obtenir des résultats et les utiliser. A plusieurs reprises les candidat.e.s ont répondu aux questions à partir de leurs connaissances sans utiliser/interpréter les données à leur disposition. Ainsi, dans la partie 1, de nombreux candidat.e.s ont proposé des scénarios complets liés au volcanisme et/ou à la météorite sans qu'aucun élément ne soit à leur disposition dans les documents fournis. De manière générale, dans les parties 4 et 5 (thèmes les moins bien connus par les candidat.e.s) les concepteurs ont observé des difficultés lorsqu'il s'agissait d'émettre des hypothèses sur la base d'observations ou d'expériences. Une part significative des candidat.e.s n'aborde pas les questions lorsqu'elles contiennent des calculs. Il est indispensable de maîtriser les opérations élémentaires et d'avoir des notions de chimie et physique (niveau baccalauréat) afin d'aborder les épreuves de TP avec confiance.

Partie I. Les grandes crises du Phanérozoïque

La diversité du Vivant reconstruite via l'enregistrement fossilifère montre des caractéristiques singulières. Historiquement la sévérité des extinctions de masse fut d'abord quantifiée par la richesse taxonomique, puis plus récemment par la richesse « écologique ». Cette partie s'intéressera à dégager les principales caractéristiques de la biosphère passée.

La figure 1, propose une évolution de la diversité du Vivant basée sur l'analyse des fossiles d'invertébrés marins (Alroy, 2008).

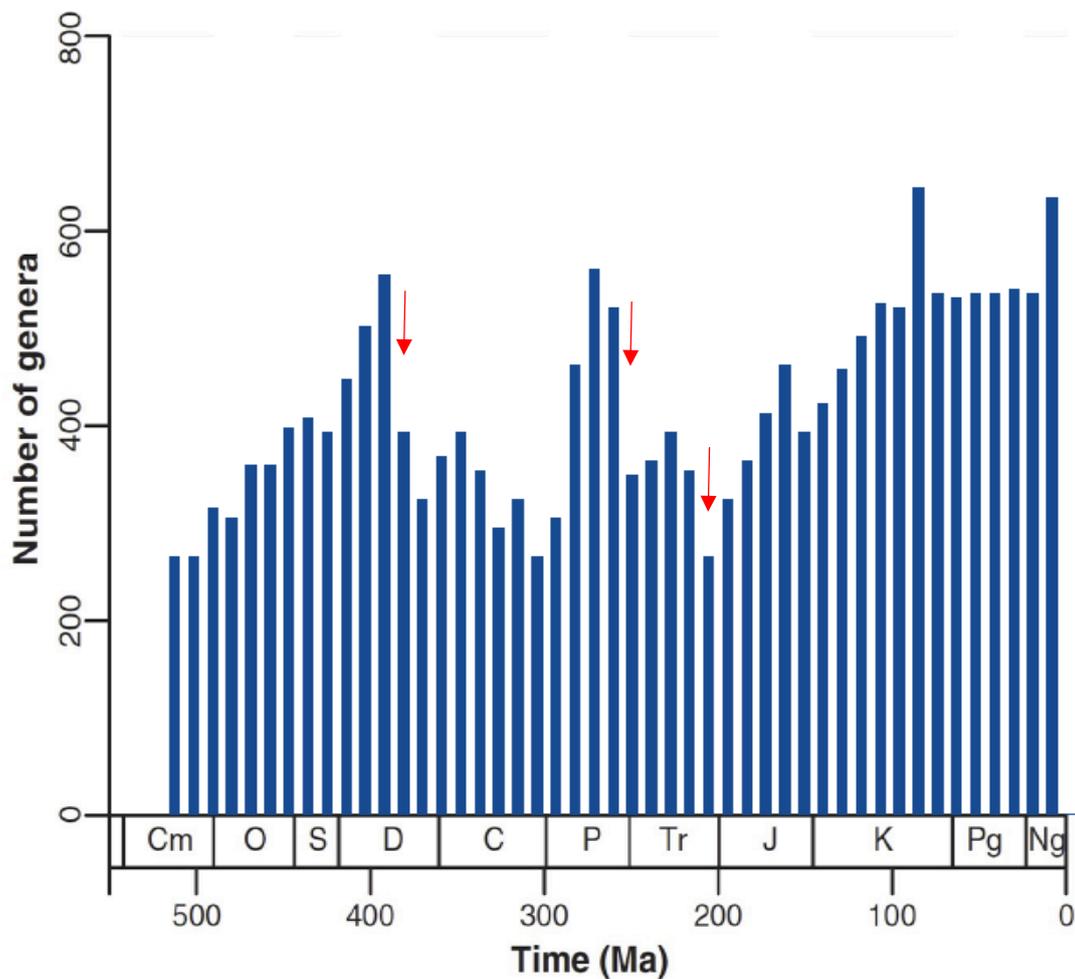


Figure 1 : Nombre de genres d'invertébrés marins depuis le Cambrien par troncçon de 10 millions d'années (modifiée d'après Alroy, 2008).

Question I.1. Indiquer sur la figure 1 les colonnes de cet histogramme montrant les baisses de diversité chez les invertébrés marins.

Réponse à la question I.1. **les flèches rouges montrent les 3 plus grandes baisses de diversité en pourcentage (les autres baisses ne sont pas indiquées pour une raison de lisibilité)**

Question I.2. Calculer les taux d'extinction des 3 plus grandes extinctions visibles sur la figure 1. A partir de ce calcul, proposer une définition de la notion d'extinction de masse.

On rappelle que le taux d'extinction est défini comme le nombre de taxons disparus divisé par le nombre initial de taxons et par l'intervalle de temps, multiplié par 100 pour l'exprimer en pourcentage. Le taux d'extinction moyen atteint 0.036 %/Ma (il s'agit de la moyenne des taux d'extinction de la figure 1 intégrée sur une durée de 542Ma).

Réponse à la question I.2.

Taux d'extinction P-Tr (240-250Ma) = 3 % / Ma
 Taux d'extinction Dev (390-380Ma) = 2.6 % / Ma
 Taux d'extinction Tr-J (190-180Ma) = 2 % / Ma

Comparé au taux d'extinction moyen, une extinction de masse peut être définie au premier ordre comme une baisse exceptionnelle du nombre de taxons sur 10Ma (durée de chaque tronçon). Quantitativement cette baisse est de deux ordres de grandeur par rapport au taux d'extinction moyen.

Certains candidats ont indiqué que le phénomène était brutal/court. Si dans l'absolu cette remarque se justifie, il était impossible d'avancer cette caractéristique à partir de la figure 1, l'échelle de temps n'ayant pas la résolution temporelle suffisante. Cette remarque ne rapportait donc pas de point.

La figure 1 n'indique pas l'extinction de la limite K-Pg (Crétacé-Paléogène) ce qui peut paraître étrange. Pour en comprendre les raisons, nous nous intéressons à l'enregistrement à la limite Crétacé-Paléogène dans la série sédimentaire de Zumaia (Pays basque espagnol). Les paléontologues ont étudié spécifiquement l'enregistrement fossilifère sur cette série sédimentaire offrant un taux de sédimentation élevé pour déterminer précisément la temporalité des événements ayant eu lieu lors d'une extinction de masse. La figure 2 montre des séries de flysch de Zumaia verticalisées lors de la déformation Pyrénéenne (Eocène) (une version agrandie (format A3) de la figure 2a vous est fournie à part). Ces séries montrent une rythmicité de motifs sédimentaires (notés E16 à E41). La figure 2 documente la position des inversions magnétiques sur l'affleurement ainsi que la position d'une couche riche en iridium est annotée [Ir] sur la fig.2b. Une échelle des inversions magnétique est également fournie ci-dessous.

Échelle des inversions magnétiques (extrait)

limite	c30n/c29r	c29r/c29n	c29n/c28r	c28r/c28n	c28n/c27r	c27r/c27n	c27n/c26r	c26r/c26n	c26n/c25r	c25r/c25n	c25n/c24r
âge (Ma)	66.380	65.118	64.432	64.128	63.537	62.530	62.278	59.237	58.959	57.656	57.101

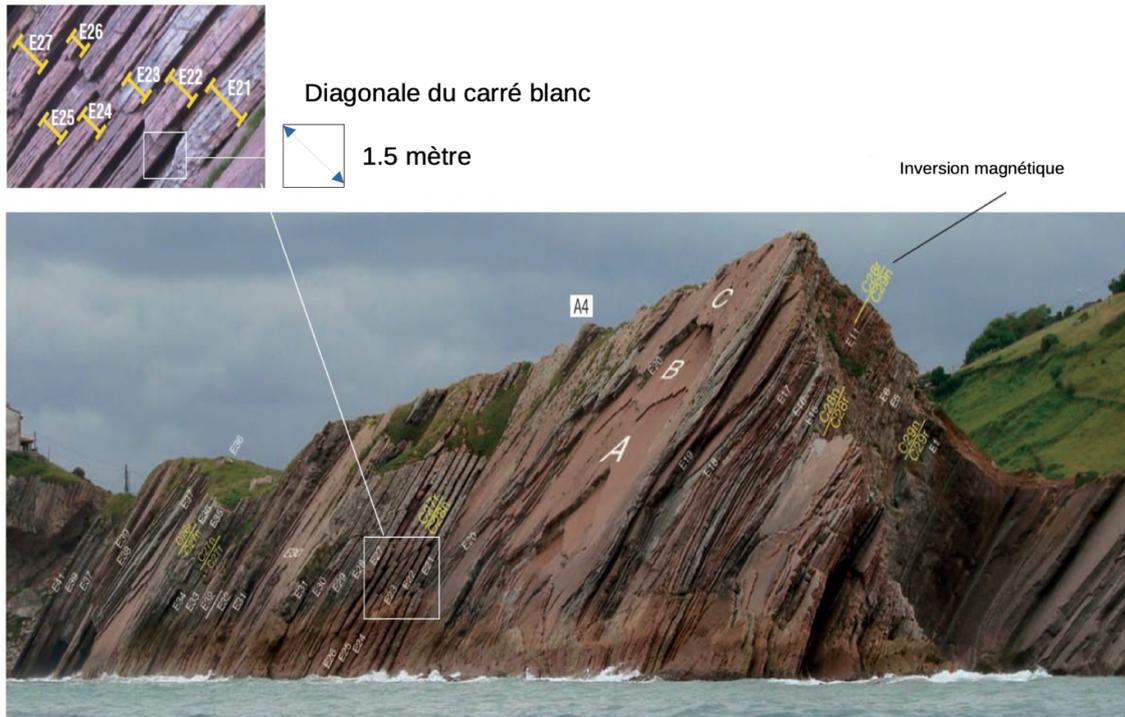


Figure 2a : photographie d’affleurement de la série de flysch de Zumaia (Pays basque espagnol) (source : <https://geoparkea.eus/fr/>). Une version agrandie de cette figure est fournie (à part).

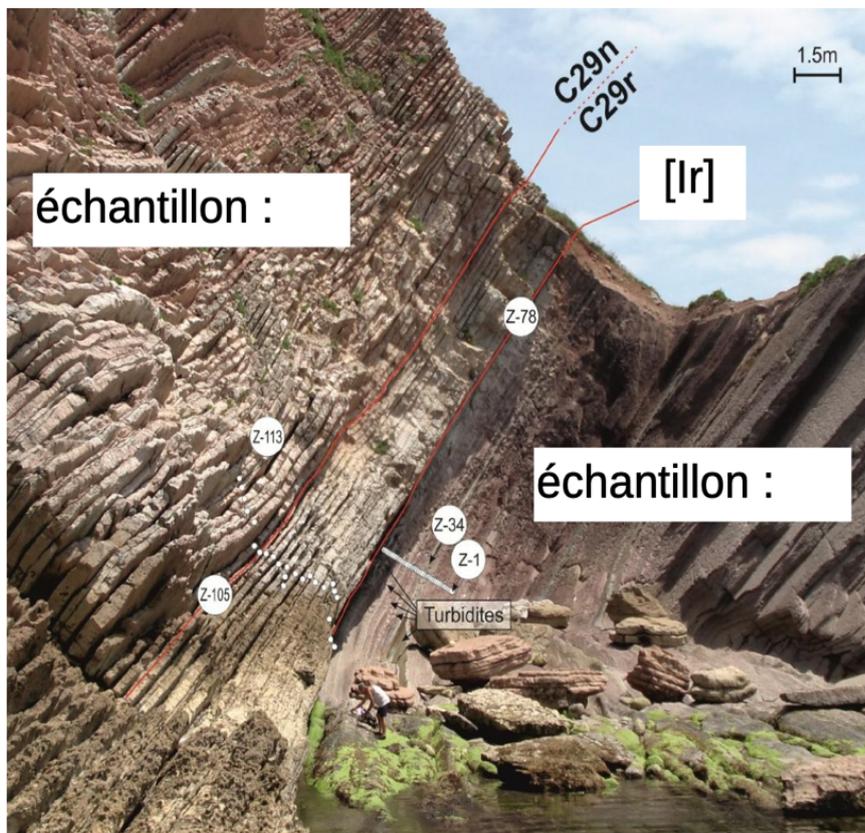


Figure 2b : détail de l’affleurement au niveau de l’inversion magnétique C29n/C29r montrant le niveau à iridium [Ir]. (remarque : les indices Z-113, ...Z-1 indiquent les échantillons prélevés, ils n’ont pas d’intérêt ici) (Source : Font et al., 2018)

Question I.3. A partir des données disponibles sur la figure 2a, déterminer la périodicité des dépôts sédimentaires notés (E16 à E41), puis calculer le taux de sédimentation moyen. Proposer un facteur de contrôle de la périodicité.

Réponse à la question I.3.

Cette question fût relativement bien traitée. Plusieurs options étaient offertes pour calculer la durée (exemple, 10 répétition du motif sédimentaire entre l'isochrone C27r/C28n (63,537Ma) et l'isochrone C27r/C27n (62,537Ma), ou 3 cycles (un peu moins dans le détail) entre les isochrones C27r/C27n (62,537Ma) et C28r/C27n (62,278Ma). Chaque motif sédimentaire avait donc une durée de 100 000 ans.

Une incertitude est apparue pour le calcul du taux de sédimentation. Si on considère que chaque motif possède une épaisseur d'1 m (d'après échelle) alors on obtenait un taux moyen de 1cm pour 1000 ans. Plusieurs candidats ont considéré une épaisseur variant de 1.5 à 2m. Ces calculs ont été considérés comme justes car compatibles avec la précision offerte par la figure.

Question I.4. La limite K-Pg a comme avantage de présenter un niveau riche en iridium qui sert d'isochrone (figure 2b). Sur la base du taux de sédimentation moyen déterminé précédemment, proposer un âge pour la limite K-Pg. Quelles sont les sources d'incertitudes concernant l'estimation de l'âge de la limite K-Pg?

Réponse à la question I.4.

L'épaisseur entre l'isochrone (inversion magnétique à 65.118) et la couche d'Ir était proche des 3m, soit 300 000ans. Sur la base de ce taux de sédimentation, l'âge de la limite K-Pg est de 65.5Ma aux incertitudes près.

Ces incertitudes sont nombreuses. La première repose que la datation absolue de l'isochrone magnétique, la seconde sur le calage chronostratigraphique. D'ailleurs une ré-évaluation récente par la cyclo-stratigraphie fixe la limite K-Pg à 66Ma. La dernière incertitude majeure étant la lecture graphique sur la base des photos disponibles.

D'autres réponses ont été proposées et acceptées tant qu'elles restaient cohérentes.

Remarque : 50% se sont trompés en calculant l'âge de la limite K-Pg car ils ont soustrait (au lieu d'ajouter) la durée entre la couche d'Ir de l'âge de l'isochrone magnétique, ce qui conduit à obtenir une couche d'Ir plus jeune que l'isochrone magnétique. Ce résultat incohérent n'a pas alerté les candidat.e.s.

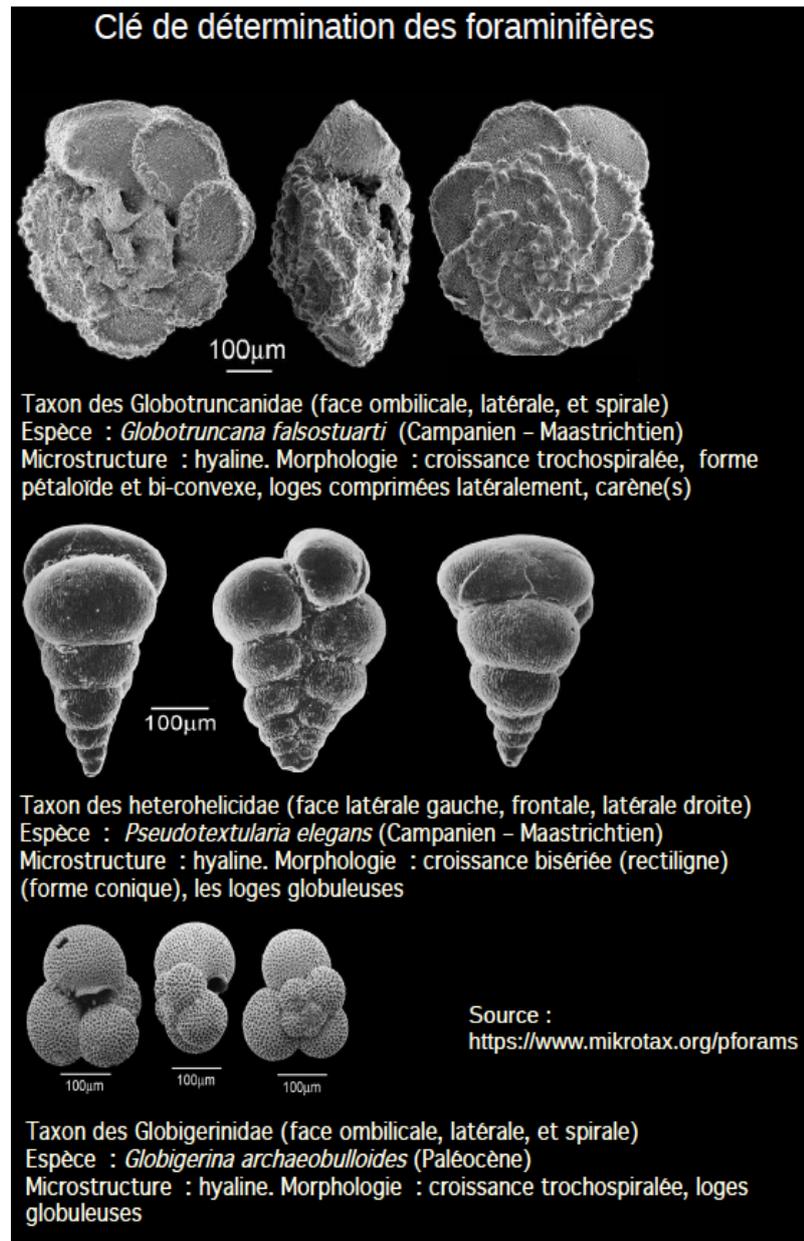
Question I.5. Les échantillons A et B (ATELIER 1) sont des foraminifères planctoniques récoltés sur la section de Zumaia. Réaliser un dessin d'observation de chacun des échantillons. Sur ces dessins indiquer les critères qui vous ont permis leur détermination (une clé de détermination est disponible à l'atelier). Placer ensuite ces échantillons sur la figure 2b.

Réponse à la question I.5. ATELIER PALEONTOLOGIE

Echantillon B : Paléogène (base du Cénozoïque)

Echantillon A : fini-Crétacé

la qualité des dessins est variable d'un candidat à l'autre. La reconnaissance a été relativement bien menée. Ci-dessous la clé de détermination mise à disposition des candidat.e.s.



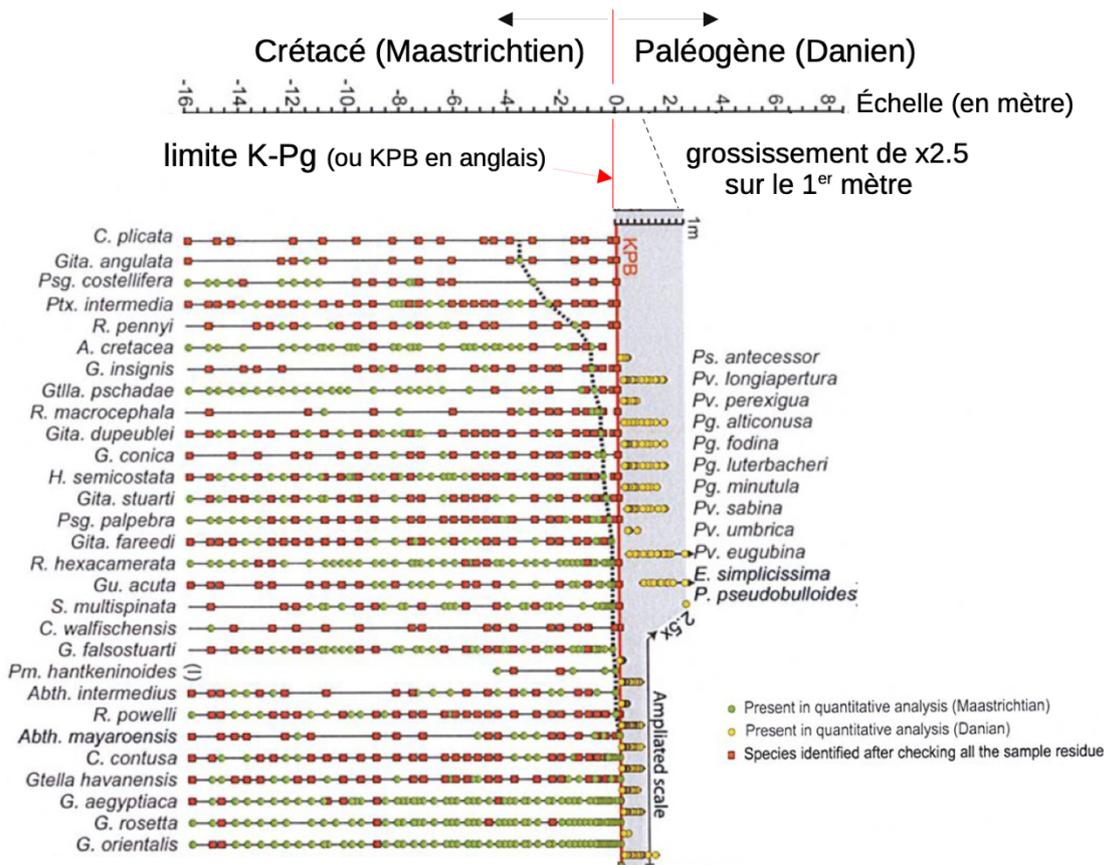


Tableau 1: Enregistrement fossilifère des foraminifères planctoniques sur la section de Zumaia au voisinage de la couche riche en iridium.

Question I.6. Sur la base du taux de sédimentation et de l'enregistrement fossilifère qui vous est fourni (tableau 1), proposer une estimation de la durée à l'extinction K-Pg. Expliquer pourquoi cette extinction n'est-elle pas visible sur la figure 1.

Réponse à la question I.6.

Le tableau 1 suggère que la durée du hiatus dans l'enregistrement fossilifère est extrêmement bref (de l'ordre de la dizaine de milliers d'années), soit une durée très inférieure à l'intégration temporelle fixée pour calculer la richesse taxonomique dans la figure 1 (10Ma).

Le tableau 1 suggère l'existence d'une phase de diversification post-crise qui consiste en l'apparition de nouveaux taxons dans le registre sédimentaire. Cette observation signifie que l'évolution de la richesse taxonomique représentée sur la figure 1 intègre en réalité deux processus opposés, le processus d'extinction de taxons sensu stricto et celui de génération de nouveaux taxons.

L'hypothèse la plus simple pour expliquer « l'absence » d'extinction de la limite K-Pg dans la figure 1 est de considérer que la phase de diversification post-crise des taxons d'invertébrés marins a été suffisamment rapide pour le nombre de taxons reste proche du nombre observé dans le tronçon précédent (80-70Ma). Une autre manière de formuler l'hypothèse (parfois rencontrée dans les copies) est d'indiquer que la variation de la diversité des taxons n'est pas indiquée dans la figure 1.

Question I.7. Que représente les baisses de diversité enregistrées dans la figure 1 ?

Réponse à la question I.7.

Les baisses de diversité illustrées par la figure 1 sont des périodes de temps longues (10Ma) où le processus d'extinction > processus de génération de nouveaux taxons.

L'hypothèse la plus simple est de considérer que les phénomènes à l'origine de ces baisses de diversité ont des effets durables sur l'environnement (sans qu'on puisse en donner la ou les raisons à ce stade ; les questions suivantes avec la comparaison des crises K-Pg et P-T pourront permettre d'esquisser quelques hypothèses).

Toute explication cohérente était acceptée. Par exemple, certaines copies ont mentionné des facteurs non biologiques comme l'influence de la paléogéographie qui aurait amplifié et allongé les effets.

En 2013, McGhee et collaborateurs ont défini les extinctions de masse en se basant sur la dégradation des écosystèmes passés (modifications des communautés fossiles au sein d'un écosystème jusqu'à la disparition d'un ou de plusieurs écosystèmes). Selon cette approche les extinctions les plus importantes sont, dans l'ordre, l'extinction à la limite Permo-Trias (P-Tr) puis celle à la limite Crétacé-Paléogène (K-Pg). Vous allez dans la suite de cette partie, comparer ces deux extinctions.

Question I.8. L'extinction de la limite K-Pg montre un très fort taux d'extinction chez les foraminifères pélagiques à test calcaire, taux encore plus élevé chez les fossiles de nannoplanctons calcaire où, sur les 131 espèces présentes à la fin du Maastrichtien (fin du Crétacé), seules 12 ont passé la limite K-Pg. Étrangement les organismes pélagiques non calcifiants montrent des taux d'extinction significativement plus bas (~50% pour les diatomées à tests siliceux). Ce résultat suggère une importante acidification des eaux océaniques.

Expliquer, sous forme d'un schéma, comment l'acidification des océans peut conduire à la dissolution des carbonates océaniques à la limite K-Pg ?

Pour rappel, la variation en pH (notée dpH) peut être approximée par la relation suivante où $d[\text{HCO}_3^-]$ et $d[\text{CO}_3^{2-}]$ représentent la variation en $[\text{HCO}_3^-]$ et $[\text{CO}_3^{2-}]$, $[\text{HCO}_3^-]$ et $[\text{CO}_3^{2-}]$ sont les concentrations de ces deux ions dans l'océan.

$$dpH = -d[\text{HCO}_3^-]/[\text{HCO}_3^-] + d[\text{CO}_3^{2-}]/[\text{CO}_3^{2-}]$$

Actuellement le pH de l'océan est de 8.2, ce qui signifie que dans l'océan l'espèce chimique dominante est le HCO_3^- (90%) (le pourcentage du CO_3^{2-} est de 10%).

Réponse à la question I.8.

La formation des carbonates (et leur stabilité) dépend des concentrations en $[\text{CO}_3^{2-}]$ et $[\text{Ca}^{2+}]$. On considère que les carbonates sont principalement formés de CaCO_3 . La cause de l'acidification n'est pas indiquée dans cette question, mais la formule donnée indique que toute baisse du pH induit une baisse de $[\text{CO}_3^{2-}]$ et une augmentation de $[\text{HCO}_3^-]$ (on note ici que l'augmentation de $[\text{HCO}_3^-]$ est implicitement due à la dissolution du CO_2 à l'origine de l'acidification).

Ainsi, une acidification conduit au cours du temps à la baisse de $[\text{CO}_3^{2-}]$ dans l'océan. Pour les carbonates cela se traduit par la réduction de la précipitation des carbonates (simple effet

de la baisse de $[\text{CO}_3^{2-}]$). Si la baisse de $[\text{CO}_3^{2-}]$ se poursuit alors les carbonates marins deviennent instables, la dissolution débute.

Remarque. L'aspect quantitatif n'était pas demandé ici, il sera l'objet de la partie 5. Cette question avait pour objectif de vérifier que les candidat.e.s maîtrisaient la logique de l'équilibre des carbonates à travers les équations. Plusieurs copies montrent encore que l'acidification augmente la concentration en $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ puis en $[\text{HCO}_3^-]$ et enfin en $[\text{CO}_3^{2-}]$. Ce raisonnement montre que le facteur pH n'est pas intégré.

Question I.9. A la limite Permo-Trias, la sélectivité de l'extinction se manifeste un peu différemment de la celle observée à la limite K-Pg. Les invertébrés marins avec un squelette carbonaté massif (si on le rapporte à leur poids, comme les coraux et les brachiopodes) disparaissent en masse (85%). Paradoxalement, cette réduction de taxons tombe à 50% chez les invertébrés possédant un squelette calcaire plus réduit en proportion de leur poids (mollusques, arthropodes). Ces observations ont poussé Knoll et collaborateurs (2007) à proposer la combinaison de deux facteurs, une acidification des eaux associée à une très faible teneur de dioxygène dans les eaux de surface. Expliquer comment les océans peuvent à la fois s'acidifier et s'appauvrir en oxygène?

Réponse à la question I.9.

Pour expliquer ce lien, il est intéressant de partir d'un constat simple. Paradoxalement, l'océan moderne est un réservoir très pauvre en O_2 alors que l'atmosphère est très riche en ce gaz. Cette simple observation montre la faible solubilité de l' O_2 dans l'eau, solubilité qui diminue si la température de l'eau augmente.

Il existe donc un facteur commun reliant l'acidification et l'appauvrissement en O_2 dans l'océan, il s'agit de l'augmentation du CO_2 , gaz à effet de serre mais aussi composé qui contrôle le pH des océans.

Une fois ce lien établi, plusieurs hypothèses (non exclusives) peuvent être proposées pour expliquer les conclusions de Knoll et al (2007) (toute réponse cohérente était acceptée).

- 1) les émissions de CO_2 étaient plus intenses et plus longues lors de la crise P-Tr (partie 4).
- 2) le Permien terminal était une période plus chaude que le Crétacé terminal pour des raisons géologiques (paléogéographie, intensité de volcanisme de base (hors volcanisme de traps, ...))
- 3) l'acidification est contrôlée par d'autres composés que le carbone (soufre, ...) émis soit lors du volcanisme et/ou de l'impact météoritique.

Remarque : il n'y a pas, pour le moment, de réponse définitive à cette question.

Question I.10. Sur la base des questions I.1 à I. 9, comparer les extinctions K-Pg et P-Tr.

Réponse à la question I.10.

- 1) A partir de la figure 1, on peut supposer que la crise de la limite P-Tr est liée à une perturbation aux effets durables car la phase de diversification post-crise est moins intense que la pour la crise K-Pg. Une période du Permien terminal plus chaude que celle du Crétacé terminal peut être proposée.
- 2) La sévérité P-Tr plus importante car la dégradation des écosystèmes semble plus importante (McGhee et al 2013), possiblement en lie avec l'acidification couplée à l'anoxie des eaux.
- 3) le niveau d' $[\text{Ir}]$ représente un événement bref d'après les enregistrements de Zumaia. On peut donc supposer que les facteurs à l'origine de la crise K-Pg sont brefs eux aussi

Partie II. Deux hypothèses à l'origine des grandes crises

La datation de la limite K-Pg a montré sa coïncidence temporelle avec deux événements géologiques exceptionnels, l'impact d'une météorite (impact de Chicxulub, Péninsule du Yucatan, Mexique) et la mise en place des trapps du Deccan (essentiellement état du Maharashtra, Inde).

Question II.1. À partir de la carte géologique du monde reconstruire, sur du papier calque, la position paléogéographique, à la limite K-Pg, du Pays Basque Espagnol (Zumaia - voir partie 1 Q.5 à Q.8) par rapport la Péninsule du Yucatan (Mexique) et du Nord de l'Inde (position des trapps du Deccan). Indiquer les distances (arrondies à la centaine de kilomètres). Pour simplifier cette estimation, utiliser l'échelle de la carte du monde sans intégrer le calcul sur une sphère.

Réponse à la question II.1. sur papier calque

Aujourd'hui la distance entre la ville de Zumaia et la Péninsule du Yucatan (Mexique) est de plus de 8300 km (et de 7100 km avec le Nord de l'Inde).

Il était attendue une reconstruction de la position relative entre la Péninsule Iberique et le Mexique il y a 65Ma (largeur de l'océan Atlantique central) et entre Zumaia et le Nord de l'Inde (on considère le point chaud de la Réunion fixe). Sur la base de ces reconstructions, nous acceptons toutes distances cohérentes (entre 7500 et 8000 km pour la distance Mexique / Zumaia et entre 9000km pour la distance Nord de l'Inde/Zumaia)

Question II.2. Expliquer l'intérêt de connaître la distance entre ces trois sites.

Réponse à la question II.2.

Connaître la distance entre la région :

- où se déroule l'événement géologique à l'origine de la perturbation
- où est enregistrée cette perturbation

permet de déterminer si la perturbation est planétaire ou locale (artéfact lié à la proximité de Zumaia avec la zone où le volcanisme se met en place et/ou avec la zone de l'impact de la météorite (dans l'idéal il faudrait comparer plusieurs enregistrements issus de différentes régions et voir si des variations existent).

Question II.3. La coïncidence temporelle entre l'impact de Chicxulub, les trapps de Deccan et l'extinction de masse de la limite K-Pg a conduit les géologues à rechercher des coïncidences temporelles à l'ensemble du Phanérozoïque. Retrouver sur la carte géologique du monde les âges de mise en place des principales Grandes provinces magmatiques (trapps et plateaux basaltiques océaniques) et à l'aide de la table 3, tracer un diagramme représentant l'âge des grandes provinces magmatiques en fonction de l'âge de la limite stratigraphique la plus proche. Sur le même diagramme, tracer dans une couleur différente les âges des principaux impacts de météorites indiqués dans la table 3 en fonction des âges des principales limites stratigraphiques. Du papier millimétré vous est fourni.

Taux d'extinction mesuré à partir de variation du nombre de taxons (Sepkoski, 1996)		Rang d'impact écologique estimé à partir de la perturbation des écosystèmes (McGhee et al., 2013)	
Limite P-Tr (252Ma)	58%	Limite P-Tr (252Ma)	1
Fin Ordovicien (443Ma)	49%	Limite K-Pg (66Ma)	2
Capitanien (259Ma)	47%	Limite Tr-J (201Ma)	3
Limite Tr-J (201Ma)	40%	Frasnien-Faménien (374Ma)	4
Limite K-Pg (66Ma)	39%	Capitanien (259Ma)	5

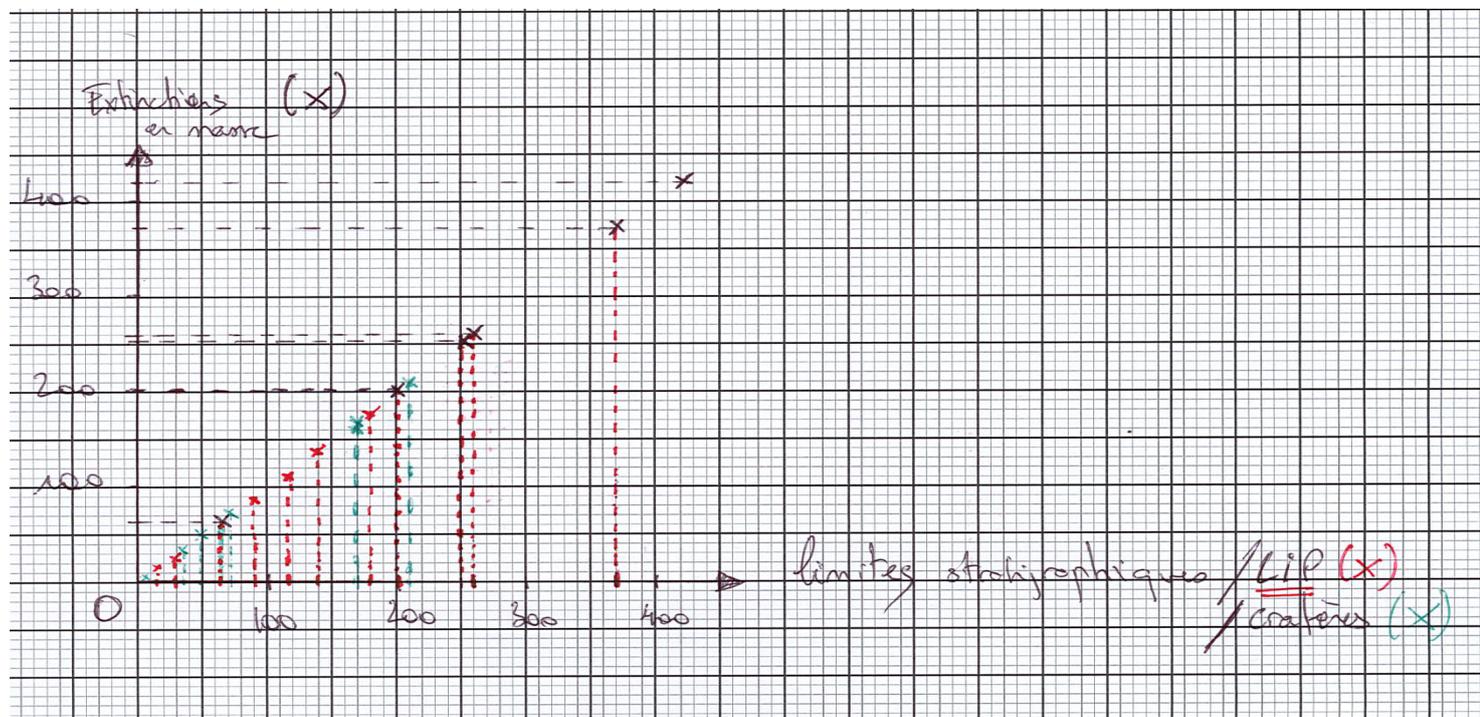


Table 2 : « Intensité » des principales extinctions de masse selon Sepkoski (1996) et McGhee (2013).

Table 3 : Âges des principales limites stratigraphiques et des principaux cratères de météorites (synthèse d'après Kelley, 2007)

Réponse à la question II.3. sur papier millimétré

Crater name	Age (Ma)	Diameter (km)		
Zhamanshin	0.9 ± 0.1	14		
Bosumptwi	1.1 ± 0.0	10		
Kara-Kul	2.5 ± 2.5	52		
El'gygytyn	3.5 ± 0.5	18		
Bigach	5.0 ± 3.0	8		
Chesapeake Bay	35.5 ± 0.3	90		
Popigai	35.7 ± 0.2	100		
Mistastin	36 ± 4	28		
Wanapetei	37.2 ± 1.2	8		
Ragozinka	46 ± 3	9		
Gusev	49.0 ± 0.2	3		
Kamensk	49.0 ± 0.2	25		
Montagnais	50.5 ± 0.8	45		
Chicxulub	65.6 ± 0.05	170		
Boltysh	65.2 ± 0.6	25		
Ust-Kara, Kara	70.3 ± 2.2	25, 65		
Lappajarvi	73.3 ± 5.3	23		
Manson	73.8 ± 0.3	35		
Mjolnir	142.0 ± 2.6	40		
Gosses Bluff	142.5 ± 0.8	22		
Morokweng	145.0 ± 0.8	70		
Manicougan	214 ± 1	100		
Rochechouart	214 ± 8	23		
St. Martin				

Stratigraphic boundary age (Ma)	Age of stratigraphic boundary (Ma)
End Frasnian	374 ± 2.6
End Guadalupian	260.4 ± 0.7
End Permian	251 ± 0.4
End Triassic	199.6 ± 0.6
End Pliensbachian	183 ± 1.5
End Valanginian	136.4 ± 2
End Early Aptian	117 ± 2.5
End Early Aptian	117 ± 2.5
End Cenomanian	93.5 ± 0.8
End Cenomanian	93.5 ± 0.8
End Cenomanian	93.5 ± 0.8
End Cretaceous	65.5 ± 0.3
End Early Palaeocene	55.8 ± 0.2
End Palaeocene	55.8 ± 0.2
Oi2 event	30 ± 2.5
End Early Miocene	15.97 ± 0.1

Question II.4 Commenter les corrélations obtenues

Réponse à la question II.4.

La corrélation temporelle donne une concordance très faible entre les extinctions de masse et les impacts météoritiques recensés (la seule exception est l'impact de Chicxulub). La corrélation est meilleure pour les Large Igneous Provinces (LIP). On constate que 5 des 6 grandes extinctions sont associées temporellement à un LIP. Toutefois cette corrélation est modérée car plus de 50 % des LIP recensés ne sont pas associés à une extinction importante. On constate également que l'extinction de la limite K-Pg (66Ma) n'est pas la plus importante alors qu'elle associe deux perturbations majeures (impact et volcanisme).

Il est probable qu'il existe un lien entre les LIP et les extinctions importantes mais ce n'est pas un élément suffisant. Il existe probablement un ou des facteurs supplémentaires (voir partie 4 pour un exemple).

Question II.5. Sur la base de ces corrélations, discuter les facteurs physiques et/ou chimiques pouvant expliquer l'intensité des phénomènes d'extinction

Réponse à la question II.5.

Toute réponse logique était acceptée. Ci-dessous sont proposées quelques possibilités

1) physique

→ l'intensité de l'extinction = f(durée). La durée d'un LIP >>> durée météorite, les effets sont possiblement plus durables (voir partie 5 qui explore cet aspect)

2) modification de la chimie atmosphérique et océanique

→ la chimie des gaz émis par le volcanisme VS les gaz émis lors de la vaporisation de la zone d'impact (et de l'impacteur)

Partie III. Les caractéristiques géologiques de la limite Crétacé-Paléogène (K-Pg) : l'impact de Chixculub

Comme documenté dans la Partie I, la limite K-Pg coïncide avec une couche anormalement riche en iridium. Depuis la découverte du cratère de Chixculub dans la Péninsule du Yucatan dans les années 1980, le niveau riche en iridium est attribué à une source météoritique. La teneur en iridium dans ce niveau atteint 55 ppb (ng/kg). En 1981, soit une année après la découverte de cette anomalie en iridium, les prospections géophysiques réalisées par une société pétrolière révèlent la présence d'un important cratère (figure 3), désormais nommé cratère de Chixculub situé dans la péninsule du Yucatan (Mexique).

Question III.1. La figure 3 présente les anomalies de Bouguer. On considère qu'une anomalie de Bouguer nulle correspond à la situation standard soit une croûte continentale de 30 km d'épaisseur (masse volumique = 2700 kg/m^3) surmontée de 2 km de sédiments (masse volumique = 2200 kg/m^3). Calculer le poids d'une colonne de roche de 1m^2 de surface. Pour rappel, l'anomalie de Bouguer est la différence entre le champ de pesanteur mesuré et le champ de pesanteur théorique corrigée de l'effet de l'altitude et de l'effet de plateau. Elle est exprimée en mGal. Le détail du calcul de l'anomalie de Bouguer n'est pas demandé.

Réponse à la question III.1.

Cette question a été généralement bien réussie :

$$\text{Masse colonne (kg)} = 1\text{m}^2 \cdot (\text{Hsedim} \cdot \rho_{\text{sedim}} + \text{Hcc} \cdot \rho_{\text{cc}}) \\ 30000 \cdot 2700 + 2000 \cdot 2200 = 8.54\text{e}7 \text{ kg}$$

Question III.2. Une anomalie de 16 mGal correspond à une anomalie de masse de 1.1 % si la topographie (bathymétrie) est très faible (et donc peut être négligée). Calculer les épaisseurs des sédiments correspondant à des anomalies de +16 mGal et -16 mGal en considérant que la variation de masse est uniquement liée à la colonne de sédiments. On considère que la colonne de roche a une surface de 1m^2 et que les sédiments ne se compactent pas avec la profondeur (leur masse volumique reste 2200 kg/m^3).

Cette question visait à apporter une échelle verticale pour la réalisation d'un profil (question suivante). L'utilisation de données gravimétriques dans un cadre différent de celui

généralement vu par les candidat.e.s (surface de compensation, équilibre, etc) a posé des problèmes à certains.

On en déduit la relation suivante

Si x = épaisseur de sédiments on a

Si $AB = + 16\text{mGal}$

$x \cdot 2200 + (32000 - x) \cdot 2700 = \text{masse colonne (question III.1)} \cdot 1,011$

$x = 121\text{m}$

Si $AB = -16\text{mGal}$

$x \cdot 2200 + (32000 - x) \cdot 2700 = \text{masse colonne (question III.1)} \cdot 0,989$

$x = 3879\text{m}$

Question III.3. En utilisant la carte des anomalies de Bouguer (figure 3), tracer le profil topographique du cratère d'impact rempli de sédiments selon un transect Est-ouest en passant par le centre du cratère.

On devait calculer l'échelle horizontale : si on ne savait pas que $1^\circ \sim 111\text{km}$ on pouvait le recalculer en utilisant le rayon de la Terre qu'on estime connu. Puis utiliser les valeurs obtenues à la question 2 pour transformer l'échelle gravimétrique en échelle d'épaisseur de sédiment. De nombreux candidat.e.s ont directement indiqué que $1^\circ \sim 111\text{km}$. Le jury ne s'attendait pas à la connaissance de cette valeur mais a évidemment attribué tous les points à cette question lorsqu'elle était amenée plutôt que retrouvée à partir du rayon de la Terre.

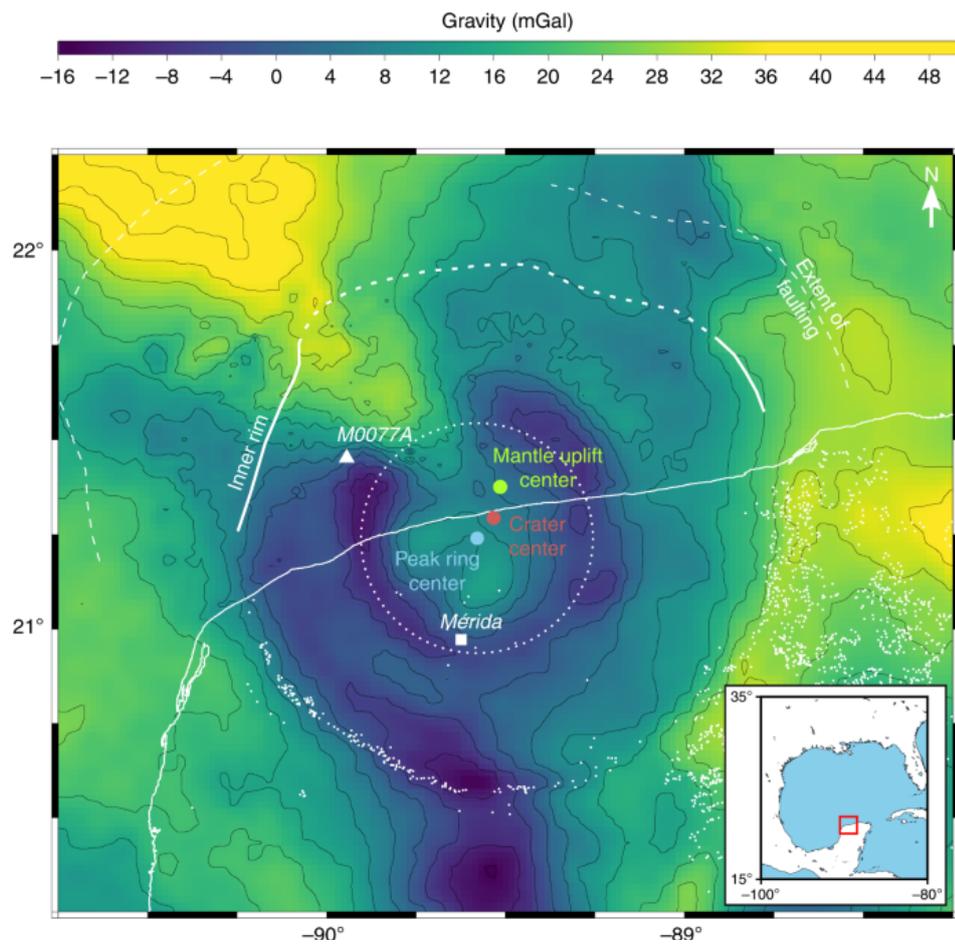
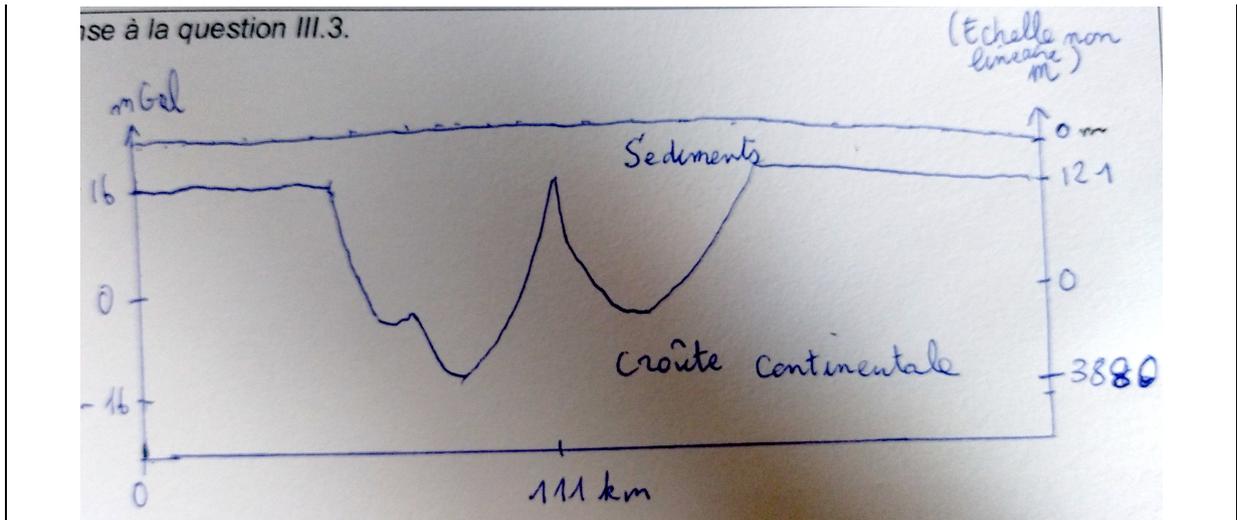


Figure 3 : Carte d'anomalie de Bouguer au nord de la péninsule du Yucatan (Mexique) (Collins et al., 2020). Pour rappel, l'anomalie de Bouguer est la différence entre le champ de pesanteur mesuré et le champ de pesanteur théorique corrigée de l'effet de l'altitude et de l'effet de plateau. Elle est exprimée en mGal. Le détail du calcul de l'anomalie de Bouguer n'est pas demandé.

Connaissant le diamètre du cratère, nous proposons d'estimer les caractéristiques physiques du corps à l'origine de l'impact. Pour cela, à l'aide d'une modélisation analogique nous allons déterminer le lien entre les caractéristiques morphologiques des cratères (ici limitées aux diamètres) et les caractéristiques physiques des impacteurs. ATELIER 2 (30minutes)

Des billes de différentes tailles (mais de densité identique) sont à disposition pour réaliser des impacts par chute libre sur milieu granulaire meuble (ici une couche de 5 cm de farine non tassée). Pour réaliser des impacts à différentes vitesses, les billes peuvent être lâchées de différentes hauteurs. De façon théorique le lien entre hauteur de chute et vitesse est de la forme : $v = \sqrt{2 \times g \times h}$

Question III.4. Décrire le lien entre la hauteur de chute et la vitesse d'impact, du point de vue du transfert d'énergie.

Réponse à la question III.4

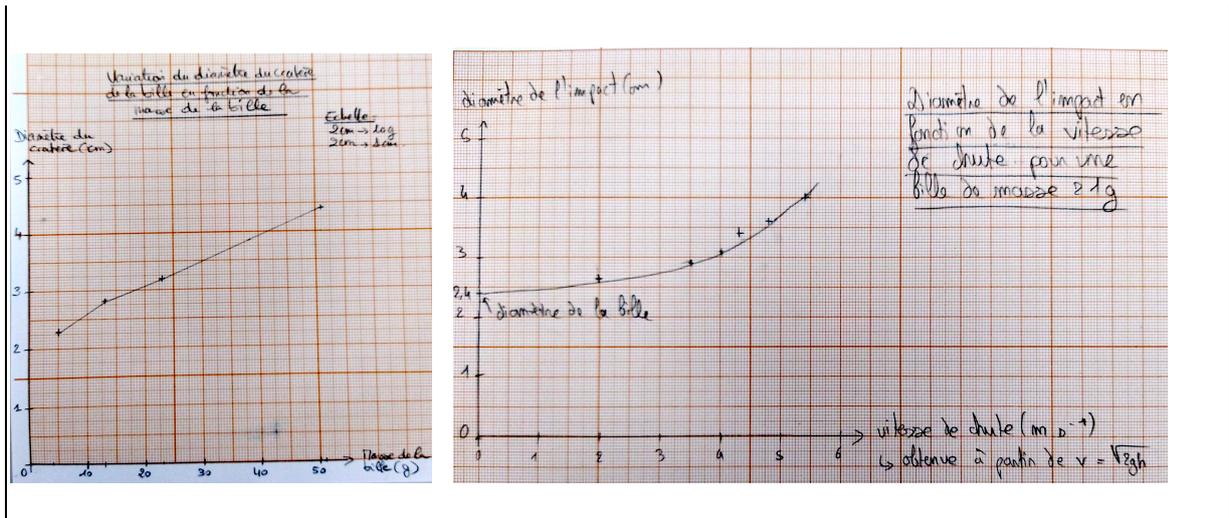
Il s'agissait ici d'une question élémentaire de transfert d'énergie :

Lors d'une chute libre l'énergie potentielle de pesanteur est transférée en énergie cinétique

Question III.5. Un pied à coulisse permet de mesurer le diamètre des cratères. Les masses des billes sont données. Tracer deux courbes : l'une montrant le diamètre du cratère en fonction de la masse (choisir plusieurs billes) pour une vitesse d'impact fixe (choisir une hauteur de chute) ; l'autre montrera le diamètre du cratère en fonction de la vitesse (choisir plusieurs hauteurs de chute) pour une taille de bille fixe. 30 minutes sont à disposition pour réaliser ces expériences. Du papier millimétré est à votre disposition pour tracer ces courbes.

Réponse à la question III.5 (sur papier millimétré)

Le jury testait par cette question les compétences expérimentales. Le protocole devait être imaginé par le/la candidat.e bien que le matériel imposé rendait ce protocole implicite. Tous les candidats n'ont pas cherché à « écarter » les données (vers des hauteurs de chute très petites ou très grandes). L'utilisation d'un pied à coulisse n'est pas maîtrisée par la majorité des candidats. Dans l'ensemble, cette manipulation a malgré tout été bien réussie.



Question III.6. A partir de l'allure des courbes obtenues, proposer une relation entre le diamètre du cratère, la vitesse d'impact et la masse de la bille.

Réponse à la question III.6

L'allure des courbes permettait de proposer qu'au premier ordre, le diamètre du cratère est une fonction linéaire de la masse et dépend du carré de la vitesse. Il est donc proportionnel à l'énergie cinétique.

Diamètre = constante * énergie cinétique = $K * \frac{1}{2} * m * v^2$

Question III.7. Préciser les approximations du modèle qui exigent des précautions pour extrapoler les résultats de ces expériences au cas réel de l'impact associé au cratère de Chixculub ?

Réponse à la question III.7

Cette question assez ouverte laissait place à une diversité de réponse valables. Les candidat.e.s ont su en tirer parti.

Rhéologie des matériaux (farine = matériau granulaire peu cohésif très différent d'une roche) ; échelle de vitesse et de masse très différentes.

Question III.8. Pour les impacts de météorite, on estime que les vitesses d'impact sont toujours du même ordre de grandeur (12-40 km/s) et ainsi on peut relier directement la taille d'un cratère à la masse de la météorite. Si on considère que la densité est fixe et que la météorite est de forme sphérique, on peut approximer un lien entre le diamètre d'un cratère (D) et le diamètre de la météorite (d) : $\log D(\text{km}) = 1,026 + 1,16 \log d(\text{km})$ (Hughes, 2003). En utilisant cette relation, à partir du diamètre du cratère de Chixculub déterminé précédemment (Question III.3), estimer le diamètre de la météorite à l'origine de ce cratère.

Réponse à la question III.8

Cette question a été en général bien traitée. Il y a eu parfois des confusions entre ln et log.

$$\log(d) = \log(D) - 1.026 / 1.16$$

Selon réponse à question II.3.

Si D = 150 km ; d = 9,8 km

Si D = 100 km ; d = 6,9 km

Question III.9. Un bilan de masse de la couche riche en iridium permet de façon indépendante de contraindre la taille de la météorite. Cette approche fut la première adoptée avant la découverte du cratère d'impact. Si on considère que cet iridium est issu d'une météorite, dont la teneur en Ir avoisine les 470 ppb (ng/kg), estimer le diamètre de la météorite ayant impacté la Terre. Par souci de simplicité on considère que cette couche forme un niveau de 1 cm d'épaisseur sur toute la surface de la Terre et a une teneur homogène de 55 ppb (ng/kg). La teneur en Ir des roches terrestres est négligeable car 1000 fois plus petite que celle mesurée dans ce niveau. On rappelle que la masse volumique moyenne d'une roche terrestre en surface est de 2700 kg/m³ et de 3500 kg/m³ pour la météorite

Réponse à la question III.9

Cette question a effrayé un certain nombre de candidat.e.s qui ont choisi de ne pas la traiter.

Volume de la couche d'iridium = $4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \text{épaisseur}$

Masse d'iridium **dans la couche** = $55/1000000000 \cdot 2700 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 6380000^2 \cdot 0.01 = 7.59 \text{e}8 \text{ kg}$

La masse d'iridium dans la météorite doit être égale à la masse d'iridium dans la couche,

Masse iridium **dans la météorite** = $470/1000000000 \cdot 3500 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$

→ $R = (\text{Masse Iridium dans la couche} / 470 \cdot 1000000000 / 3500 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi)^{1/3} = 4794 \text{ m}$

Diamètre = 9590 m

**Partie IV. Les caractéristiques géologiques de la limite Crétacé-Paléogène (K-Pg) :
Les trapps du Deccan**

Quasi-simultanément à la crise Crétacé-Paléogène, une grande province magmatique se met en place. Les trapps du Deccan qui affleurent en Inde sont des systèmes volcaniques exceptionnels par le volume de lave émis. L'objectif de cette partie sera de préciser la relation entre la mise en place des trapps et la crise Crétacé-Paléogène.

Récemment, Shoene et al. (2019) ont daté par méthode U/Pb les premières et dernières coulées des trapps du Deccan afin de contraindre la durée de l'éruption. Shoene et al. (2019) ont échantillonné 23 niveaux volcano-clastiques intercalés dans les coulées basaltiques des trapps du Deccan contenant au moins 5 zircons datables. Dans cet exercice nous nous limiterons à 2 zircons, l'un intercalé dans les coulées les plus anciennes et l'autre dans les coulées les plus récentes. On considère que les zircons sont co-géniques de la formation des trapps.

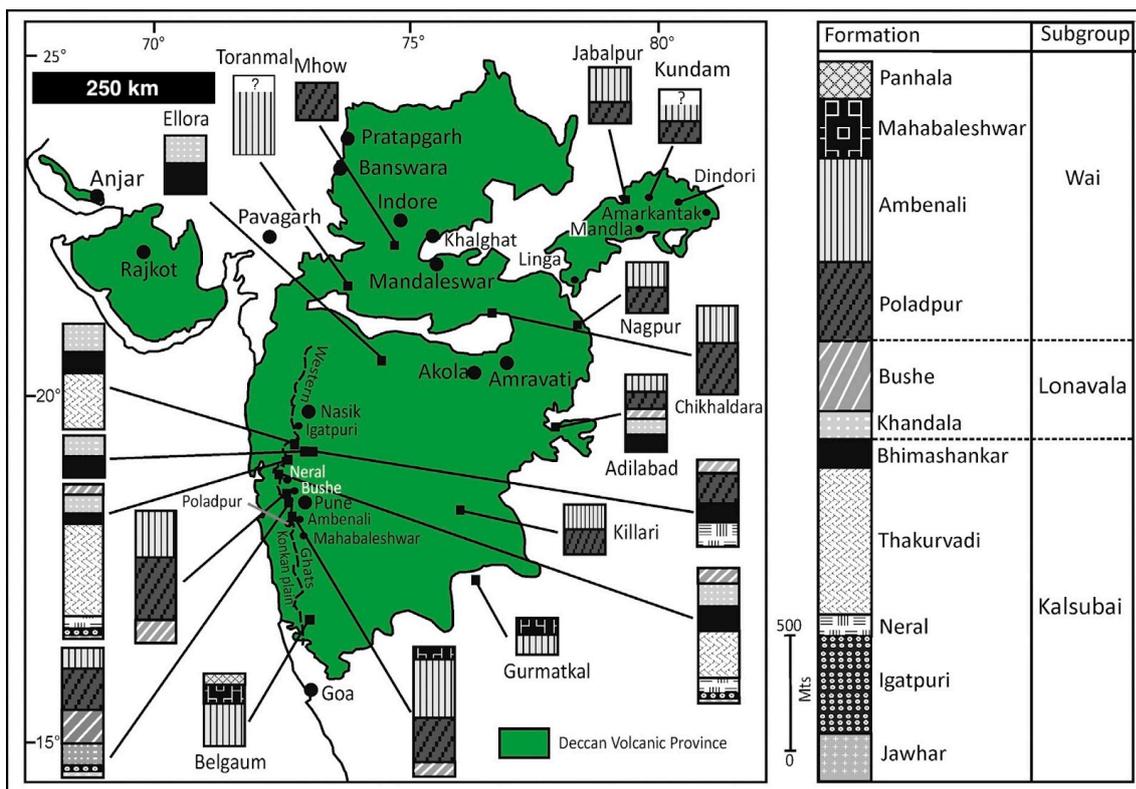


Figure 4 : Carte des trapps du Deccan (Inde) représentés en vert. Les colonnes stratigraphiques représentent les diverses lithologies (« formations ») des coulées. NR : l'échelle verticale fournie correspond aux épaisseurs des colonnes tandis que la barre d'échelle en haut à gauche du document correspond à la carte. (modifiée d'après Verma et Khosla, 2019).

Question IV.1. Expliquer l'intérêt des zircons pour les datations U-Pb ?

Réponse à la question IV.1.

Il s'agissait là d'une question « de cours » qui nécessitait des connaissances théoriques sur la méthode. Cette question et celle qui suit n'ont pas posé de problème particulier aux candidat.e.s.

Les zircons ont un fort coefficient de partage pour l'U et un très faible pour le Pb. Lorsqu'ils se forment ils incorporent de l'uranium mais pas de plomb. On considère que tout le plomb qu'ils contiennent provient de la désintégration radioactive de l'uranium en plomb. Le rapport U/Pb permet directement d'obtenir un âge.

Question IV.2. Donner la condition pour laquelle, avec la méthode Concordia les âges des systèmes isotopiques ^{238}U - ^{206}Pb et ^{235}U - ^{207}Pb soient identiques ?

Réponse à la question IV.2.

Il ne doit pas y avoir eu de ré-ouverture du système (c'est à dire pas de métamorphisme).

Les rapports mesurés par Shoene et al. (2019) sont les suivants :

	Coulée inférieure	Coulée supérieure
$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	0.0103514	0.0102279
$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	0.06768	0.06685

Question IV.3. Calculer les âges correspondants aux rapports U/Pb ci-dessus.

On rappelle que les équations correspondant à la production de Pb radiogénique sont de la forme :

$$^{206}\text{Pb} = ^{238}\text{U} \times (\exp(\lambda_{238} \times t) - 1)$$

$$^{207}\text{Pb} = ^{235}\text{U} \times (\exp(\lambda_{235} \times t) - 1)$$

avec $\lambda_{238} = 1.55125 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ ($\tau_{1/2} = 4.468 \text{ Gyr}$) et $\lambda_{235} = 9.8485 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ ($\tau_{1/2} = 703.8 \text{ Myr}$)

Réponse à la question IV.3.

$\ln(R + 1) / \lambda = \text{temps (années)}$ où R rapport Pb/U

	Coulée inférieure	Coulée supérieure
âge $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	66.386 ma	65.598 ma
âge $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	66.495 ma	65.706 ma
âge moyen	$(66.386+66.495)/2 = 66.441 \text{ ma}$	$(65.598+65.706)/2 = 65.652 \text{ ma}$

Question IV.4. En déduire une durée approximative pour l'éruption des trapps du Deccan.

Réponse à la question IV.4.

$$66.441 - 65.652 = 788 \text{ ka}$$

Les questions de radiochronologie n'ont pas posé de problème particulier aux candidat.e.s et ont été globalement réussies.

Question IV.5. A partir de la figure 4 (modifié d'après Verma et Khosla, 2019), donner un ordre de grandeur du volume actuel de basaltes des trapps du Deccan (en km^3).

Les colonnes stratigraphiques représentent les diverses lithologies (« formations ») des coulées. Vous pourrez utiliser l'échelle verticale fournies pour estimer l'épaisseur moyenne des trapps. Sur la carte, la province volcanique du Deccan est représentée en couleur (en vert). La barre d'échelle en haut à gauche du document pour être utilisée pour obtenir une approximation de la superficie des trapps.

Réponse à la question IV.5.

Cette question invitait les candidats à quantifier. Il n'était pas question ici d'obtenir des surfaces et épaisseurs précises avec le temps alloué à une telle question et avec l'absence d'outil d'analyse de surface adapté, mais simplement d'obtenir un ordre de grandeur comme le précisait la question. De ce fait une grande gamme de valeur (de $0.5 \times 10^6 \text{ km}^3$ à $3 \times 10^6 \text{ km}^3$) a été acceptée.

Épaisseur moyenne 400 m

Surface = $4 \cdot \pi \cdot R^2$ où $R \sim 600 \text{ km}$

Volume = épaisseur * $4 \cdot \pi \cdot R^2$

AN : $0.4 \cdot 4 \cdot 3.14 \cdot 36 \cdot 10^4 = 1.8 \cdot 10^6 \text{ km}^3$

Question IV.6. Avant érosion, on estime que le volume total de magma émis par cette éruption volcanique était au minimum de 2 millions de km^3 (Courtilot et Renne, 2003). En reprenant cette valeur ainsi que les deux dates calculées précédemment (Question IV.3), estimer le flux moyen de lave émis localement lors de la mise en place de cette grande province magmatique (en km^3/an). A titre de comparaison, le volume global des émissions de lave actuel au niveau des dorsales est de l'ordre 3 à 4 km^3/an .

Réponse à la question IV.6.

Cette question apportait une estimation calculée de façon plus élaborée, permettant aux candidat.e.s n'ayant pas répondu à la question IV.5. de ne pas être pénalisés à la IV.6.

$$2 \times 10^6 / 788 \times 10^3 = 2.53 \text{ km}^3/\text{an}$$

Question IV.7. En étudiant la composition des inclusions fluides (Self et al. 2006), un équivalent de 0.5 wt% (pourcentage poids) de CO_2 pourrait avoir été dégazé. En supposant que la densité du basalte est identique à celle du magma et vaut 2.9, estimer la masse totale de CO_2 émise (en kg).

Réponse à la question IV.7.

Masse magma émis = $2 \times 10^6 \cdot 1 \times 10^9 \cdot 2900$

Masse CO_2 = masse magma * 0.5 / 100

AN : $2.9 \times 10^{16} \text{ kg CO}_2$

Question IV.8. Estimer le flux moyen de CO_2 (en kg/an) en considérant le flux moyen calculé précédemment.

Réponse à la question IV.8.

$$=2.9e16 \text{ kg}/788000 \text{ ans} = 3.69e10 \text{ kg/an}$$

Le contexte de mise en place des grandes provinces magmatiques joue un rôle sur le bilan des éléments volatils émis et par conséquent sur leur impact sur l'environnement. Le sujet propose de donner des exemples de processus périmagmatiques et de caractériser leur importance. Dans un premier temps, observons une base de coulée. Les échantillons fournis dans l'atelier 4 ont été échantillonnés dans une région volcanique. Leurs localisations sur l'affleurement sont indiquées sur la photographie ci-dessous.



Figure 6 : Photographie d'un affleurement dans une région volcanique (échelle : environ 10 mètres entre les échantillons 1 et 4).

Question IV.9. Réaliser une étude des quatre échantillons fournis. Proposer une possible composition minéralogique, et discuter les processus de formation de ces roches.

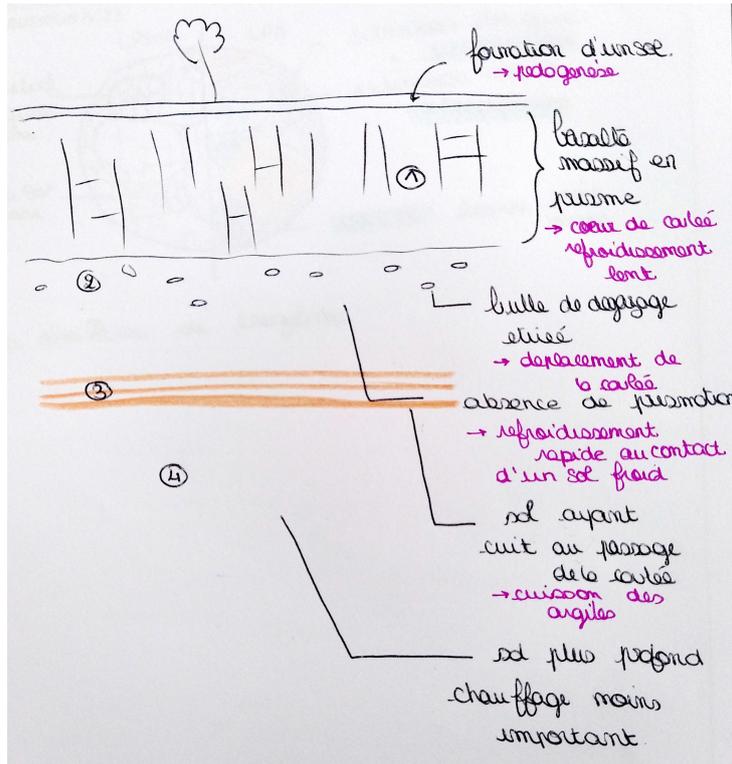
Réponse à la question IV.9.

L'analyse des roches n'a pas posé de problème particulier. La roche 1 était un basalte tout à fait « classique », sombre avec sa texture microlithique, ne présentant pas de phénocristaux visibles à l'œil nu ni à la loupe. La photographie associée montrait une certaine prismation qui aidait au diagnostic. La roche 2 était également un basalte mais la couleur plus brunâtre témoignait d'une certaine altération, et surtout ce second basalte comportait un certain nombre de vacuoles correspondant à d'anciennes bulles. Certaines de ces bulles présentaient une géométrie très aplatie, témoignant d'un mouvement. Cette seconde roche présentait la partie inférieure de la coulée de basalte modifiée par des fluides provenant de l'encaissant immédiatement au contact. La roche 3 était une roche peu friable présentant une couleur rouge. Il s'agissait du substratum rubéfié témoignant du métamorphisme de contact en dessous de la coulée. Le protolithe était difficilement identifiable en l'absence de l'échantillon 4, qui montrait une roche sédimentaire friable, très argileuse, que l'on pouvait rapprocher d'un paléosol ou d'une roche détritique argileuse (les deux réponses ont été acceptées).

L'objectif de ces échantillons était de pointer vers des processus (modification de la coulée au contact de l'encaissant/ modification de l'encaissant au contact de la coulée). La question suivante questionnait les candidats sur ces processus.

Question IV.10. Réaliser un schéma bilan des processus illustrés par la photographie de l'affleurement.

Réponse à la question IV.10.

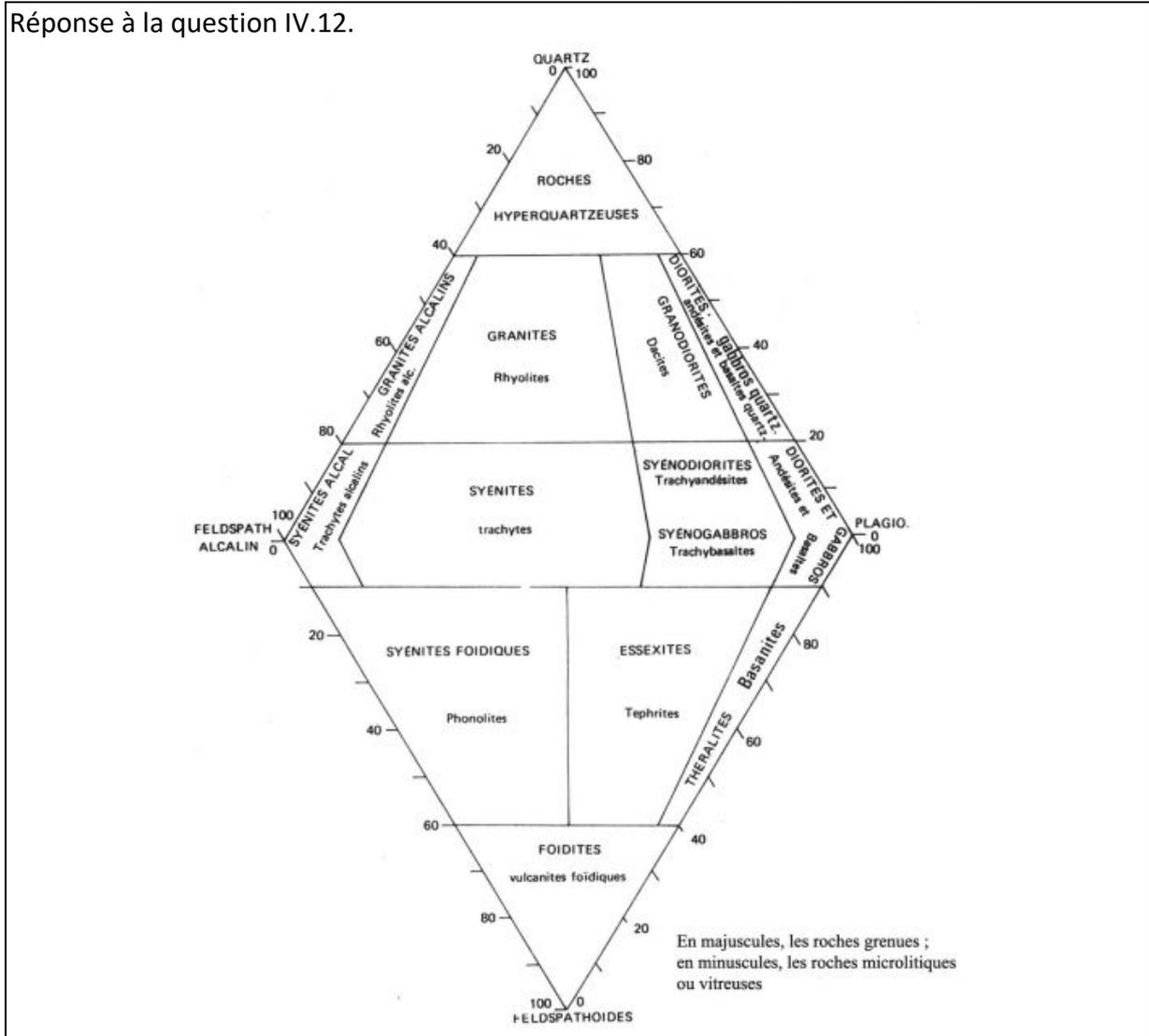


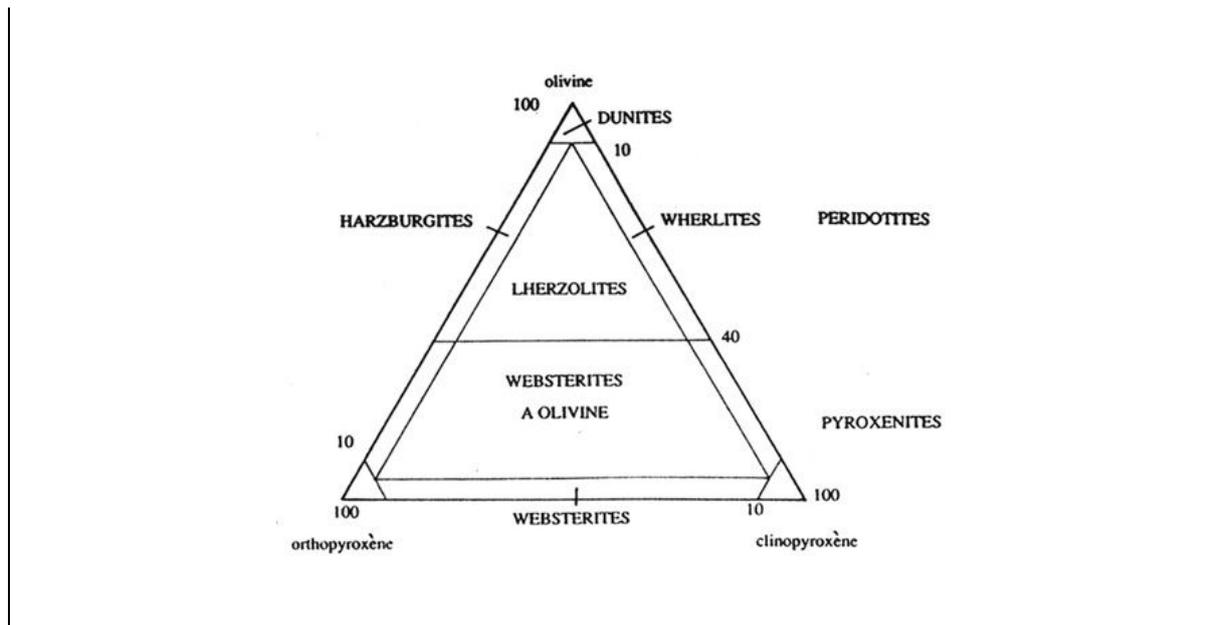
Question IV.11. Des enclaves ont été échantillonnées dans une roche volcanique de la région. Une lame mince est fournie (ATELIER 3). Synthétiser vos observations microscopiques sous la forme d'un schéma d'observation.

Réponse à la question IV.11.

Cette question visait à tester les compétences en pétrologie microscopique. La lame présentait une lherzolite. Le jury a vu un nombre très insuffisant de schéma d'observation de lame mince de qualité et invite les futur.e.s candidat.e.s à travailler ces compétences.

Question IV.12. Donner un nom à cette roche en utilisant le diagramme approprié.





Lors de la mise en place des trapps, en plus des flux magmatiques d'éléments volatiles, il existe un flux d'éléments volatiles (H_2O , CO_2 , SO_2 , CH_4 , halogènes) lié au métamorphisme de contact (haute température) de l'encaissant. Celui-ci est dépendant de la nature de l'encaissant (protolithe plus ou moins apte à émettre des éléments volatiles lorsque la température augmente), mais également des processus d'injection magmatique (profondeur, température, durée du flux de magma qui conditionne l'épaisseur de l'aurole de métamorphisme). Dans le cas des trapps du Deccan les dégazages métamorphiques associés ont vraisemblablement eu peu d'impact sur l'environnement, car les roches de l'encaissant étaient principalement des granites, gneiss et roches détritiques. Dans d'autres contextes certaines grandes provinces magmatiques ont été mises en place dans des bassins riches en carbonates (par exemple les trapps d'Emeishan, en Chine, coïncidents avec la crise fin-Guadalupienne (258 Ma)) ou en évaporites et charbons (trapps de Sibérie, en Russie, coïncidents avec la crise Permo-triasique (-251 Ma)). Dans ces cas, les gaz émis ont pu contribuer sensiblement à l'impact global de la mise en place des trapps sur l'environnement. Nous proposons de faire un bilan géochimique autour d'un conduit magmatique des trapps d'Emeishan.

Les trapps d'Emeishan se sont mis en place dans un bassin sédimentaire majoritairement composé de calcaire dolomitique (par exemple, lame mince EM36 dans la figure ci-dessous). A proximité des conduits magmatiques, par métamorphisme de contact puis hydratation, ces calcaires dolomitiques sont devenus des marbres en brucite (par exemple, lame mince EM65 dans la figure ci-dessous).

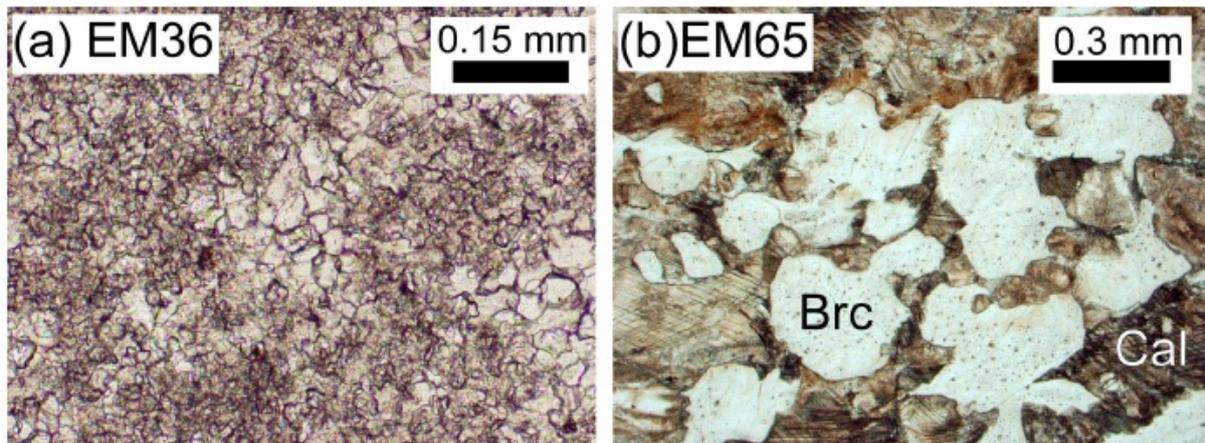
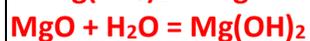


Figure 7 : Lame mince d'un calcaire dolomitique (à gauche) et d'un marbre à brucite (à droite).

Question IV.13. Écrire les réactions chimiques en jeu. On rappelle : dolomite = $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$; périclase = MgO ; calcite = CaCO_3 ; brucite = $\text{Mg}(\text{OH})_2$

Réponse à la question IV.13.

Les questions IV.13 à IV.18 ont été généralement bien traitées (aux éventuelles erreurs de calculs) ou pas abordées du tout. Il semblerait qu'une proportion significative des candidat.e.s soit impressionnée par la perspective de questions calculatoires. Ces calculs « simples » permettaient cependant de faire progresser notre compréhension de l'impact de la mise en place des grandes provinces magmatiques.



Question IV.14. Dans le cadre de ce métamorphisme thermique, déterminer le pourcentage massique de CO_2 émis par le calcaire dolomitique transformé en marbre à brucite ?

On donne les masses molaires suivantes : $M_{\text{Ca}} = 40 \text{ g/mol}$; $M_{\text{Mg}} = 24,3 \text{ g/mol}$; $M_{\text{O}} = 16 \text{ g/mol}$; $M_{\text{C}} = 12 \text{ g/mol}$; $M_{\text{H}} = 1 \text{ g/mol}$

Réponse à la question IV.14.

$$M_{\text{CO}_2} / M_{\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2} = (12 + 2 \cdot 16) / (40 + 24 + 2 \cdot 12 + 6 \cdot 16) = 44 / 184,3 = 0,239 = 23,9 \text{ wt\%}$$

Les données de terrain (Ganino et Arndt, 2019) montrent que ces réactions liées au métamorphisme thermique sont présentes 300m au-dessus et en dessous d'un conduit magmatique horizontal (sill) de 2 kilomètres d'épaisseur associé au système de plomberie magmatique des trapps d'Emeishan (voir figure 8).

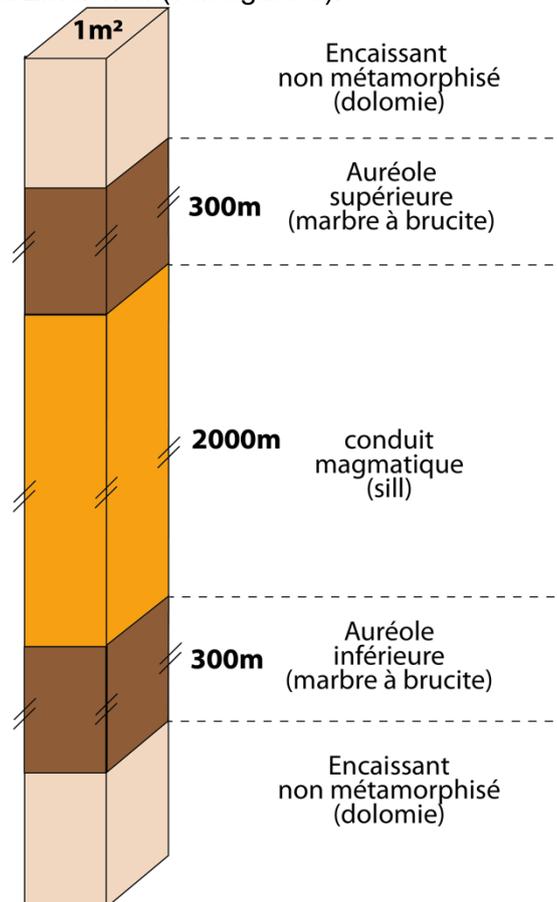


Figure 8 : Colonne unitaire (1m²) de roche au-dessus et en dessous d'un conduit magmatique horizontal (sill), tel qu'observé dans la province d'Emeishan (Chine). L'échelle verticale n'est pas respectée.

Question IV.15. Calculer la masse (en kg) de CO₂ métamorphique émise par les zones métamorphisées au-dessus et en dessous d'un tel conduit pour une surface unitaire (1m²). Cette masse sera notée « CO₂ métamorphique ». On considérera une densité des calcaires dolomitiques de 2,7 et on utilisera le pourcentage massique de CO₂ émis par le calcaire dolomitique calculé précédemment (V.6).

Réponse à la question IV.15.

$$\text{CO}_2 \text{ métamorphique} = 23.9\% * (300+300)*1 \text{ m}^3 * 2700 \text{ kg/m}^3 = 387180 \text{ kg} = 3.871\text{e}5 \text{ kg}$$

Question IV.16.

En considérant qu'un magma basique à un potentiel d'émission de CO₂ de 0,5 % massique (wt%) déterminer (toujours pour une même surface unitaire de 1m²) la masse de magma (de densité 2.9) dans un tel conduit de 2000 m d'épaisseur et déduire la masse de CO₂ d'origine magmatique (notée « CO₂ magmatique_conduit ») pouvant être émise.

Réponse à la question IV.16.

Masse magma = $2000 * 1 * 2900 = 5\ 800\ 000\ \text{kg} = 5.8\ \text{E}6\ \text{kg}$ de magma
CO₂ magmatique_conduit = $0.5/100 * 2000 * 1 * 2900 = 29000 = 2.9\text{e}4\ \text{kg}$ de CO₂

Question IV.17. Donner le rapport (CO₂ métamorphique/CO₂ magmatique_conduit) entre le CO₂ émis par le métamorphisme de contact autour du conduit et celui émis par le magma dans le conduit lui-même.

Réponse à la question IV.17.

CO₂ métamorphique/CO₂ magmatique_conduit = $3.871\text{e}5 / 2.9\text{e}4 = 13.4$

Question IV.18. Le résultat précédent montre l'importance des processus métamorphiques périmagmatiques dans le bilan des éléments volatils émis à l'échelle d'un conduit. La question reste ouverte si ces processus restent prépondérants lorsque l'on se place à l'échelle globale d'une grande province magmatique. Pour la grande province d'Emeishan, on considère qu'un million de km³ de magma a été émis en surface (formant les trapps) et que le métamorphisme de contact est négligeable pour ces magmas qui refroidissent rapidement. Le système de plomberie magmatique comprend l'équivalent de 500 000 km³ de conduits magmatiques. En faisant l'hypothèse que les conduits de cette grande province magmatique sont intégralement dans un bassin sédimentaire dolomitique et que le rapport CO₂ métamorphique/CO₂ magmatique_conduit calculé précédemment (question IV.17) s'applique pour l'intégralité du volume des conduits, calculer en kg (i) le volume de CO₂ émis par les basaltes en surface (Comme pour la question IV.17, on considèrera que le magma a une densité de 2,9 et a pu libérer l'équivalent de 0,5 wt% de CO₂); (ii) le volume de CO₂ émis par le magma dans les conduits (mêmes hypothèses); (iii) le volume de CO₂ émis par le métamorphisme de contact autour des conduits (utilisez la réponse à la question IV.17) ; (iv) le rapport entre le CO₂ métamorphique calculé à l'échelle de la grande province magmatique (votre réponse iii) et le CO₂ magmatique (en ajoutant celui en surface (i) et celui dans les conduits (ii) à l'échelle d'une telle province magmatique).

Réponse à la question IV.18.

(i) CO₂_basalte_en_surface =
 $1\text{e}6 * 1\text{e}9 * 2900 * 0.5 / 100 = 1.45\ \text{e}16\ \text{kg}$

(ii) CO₂_magma_dans_conduits =
 $0.5\text{e}6 * 1\text{e}9 * 2900 * 0.5 / 100 = 7.25\ \text{e}15\ \text{kg}$

$$(iii) \quad \text{CO}_2_{\text{métamorphisme}} = 13.4 * \text{CO}_2_{\text{magma_dans_conduits}} = 9.71 \text{ e}16 \text{ kg}$$

$$(iv) \quad \text{CO}_2_{\text{métamorphisme}}/\text{CO}_2_{\text{magmatique}} = 9.71 \text{ e}16 / (1.45 \text{ e}16 + 7.25 \text{ e}15) = 4.47$$

Partie V. Modéliser l'impact des grandes provinces magmatiques et celui d'un impact de météorite sur le pH de l'océan

L'enregistrement fossile suggère une disparition brutale et importante des organismes avec des organismes à coquille carbonaté à limite K-Pg (cf partie I). Cette observation a conduit les chercheurs à supposer qu'une forte acidification des eaux océaniques était nécessaire.

Le but de cette partie est de savoir si la mise en place des trapps du Deccan est elle capable d'expliquer cette disparition brutale et importante des organismes avec des organismes à coquille carbonaté. Pour cela vous allez modéliser la variation de pH de l'océan et la stabilité des carbonates marins en réponse à la mise en place des trapps du Deccan.

Les perturbations de la chimie de l'océan liée à la météorite sont données à titre d'information (cases C14 à C16). Les cases C14 et C15 vous donne la variation de pH induit par l'impact météoritique et la case C16 indique que la précipitation des carbonates a du s'arrêter et que les carbonates marins déjà présents ont du se dissoudre. (On rappelle que les carbonates sont stables si $\omega > 1$ et deviennent instables si $\omega < 1$). Ces informations vous indiquent que la météorite peut expliquer la disparition brutale et importante des organismes avec des organismes à coquille carbonaté à limite K-Pg

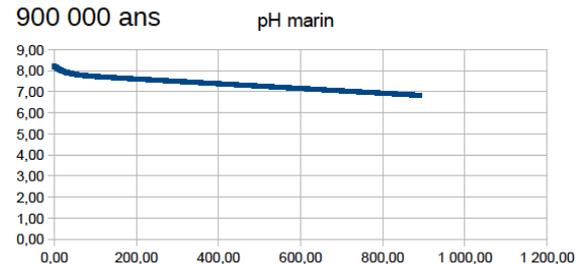
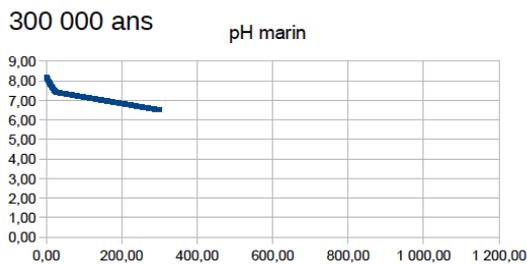
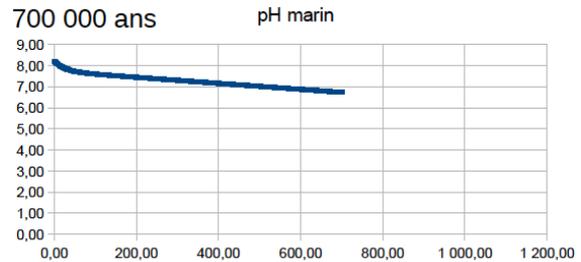
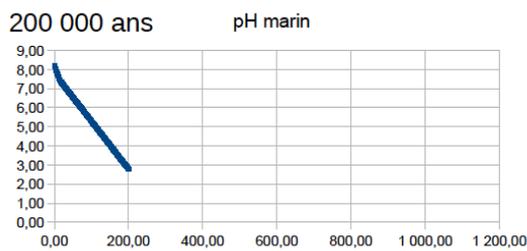
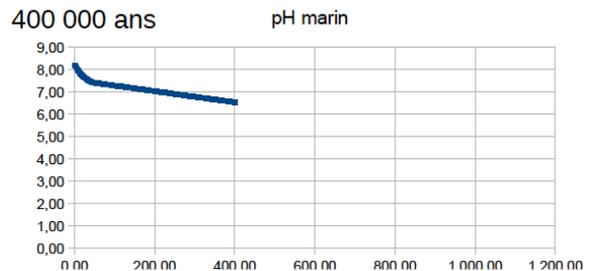
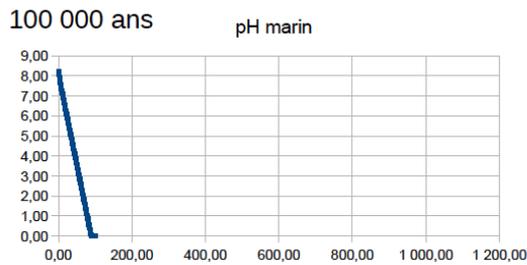
L'ensemble des équations permettant de calculer l'évolution de la chimie de l'océan sont contenues dans un tableur (un fichier calc sous libre office). Il n'est donc pas demandé de retrouver ces équations, mais d'utiliser ce tableur pour tester différentes hypothèses. Cette partie s'effectuera en salle informatique (ATELIER 5).

Dans la salle informatique, vous aurez besoin d'une règle et d'un crayon de papier pour tracer les graphiques.

Question V.1. Dans cette première série d'expériences vous allez explorer l'effet de la durée de mise en place des trapps du Deccan (case C44). Tracer les évolutions du pH marin en fonction des durées possibles pour la mise en place des Trapps du Deccan. Pour cela, utiliser le tableur et modifier la durée indiquée dans la case C44 (les valeurs possibles sont données dans la case D44). Important, la case C42 et la case C46 doivent toutes les deux indiquer la valeur 1.

Attention : la colonne B vous indique le pourcentage de la perturbation effectuée. Si la colonne B arrive à 100, la mise en place des trapps est terminée. Les résultats numériques au-delà de 100% n'ont donc pas de sens géologique, ces cases sont indiquées par « na ».

Réponse à la question V.1.



Question V.2. Expliquer l'évolution des tendances du pH marin en fonction du temps de mise en place des trapps du Deccan.

Réponse à la question V.2.

Pour les expériences courtes (< 200 kans) le pH baisse brutalement car la $[\text{HCO}_3^-]$ augmente rapidement du fait de l'injection massive de CO_2 (on considère ici que tout le CO_2 se dissout dans l'océan)

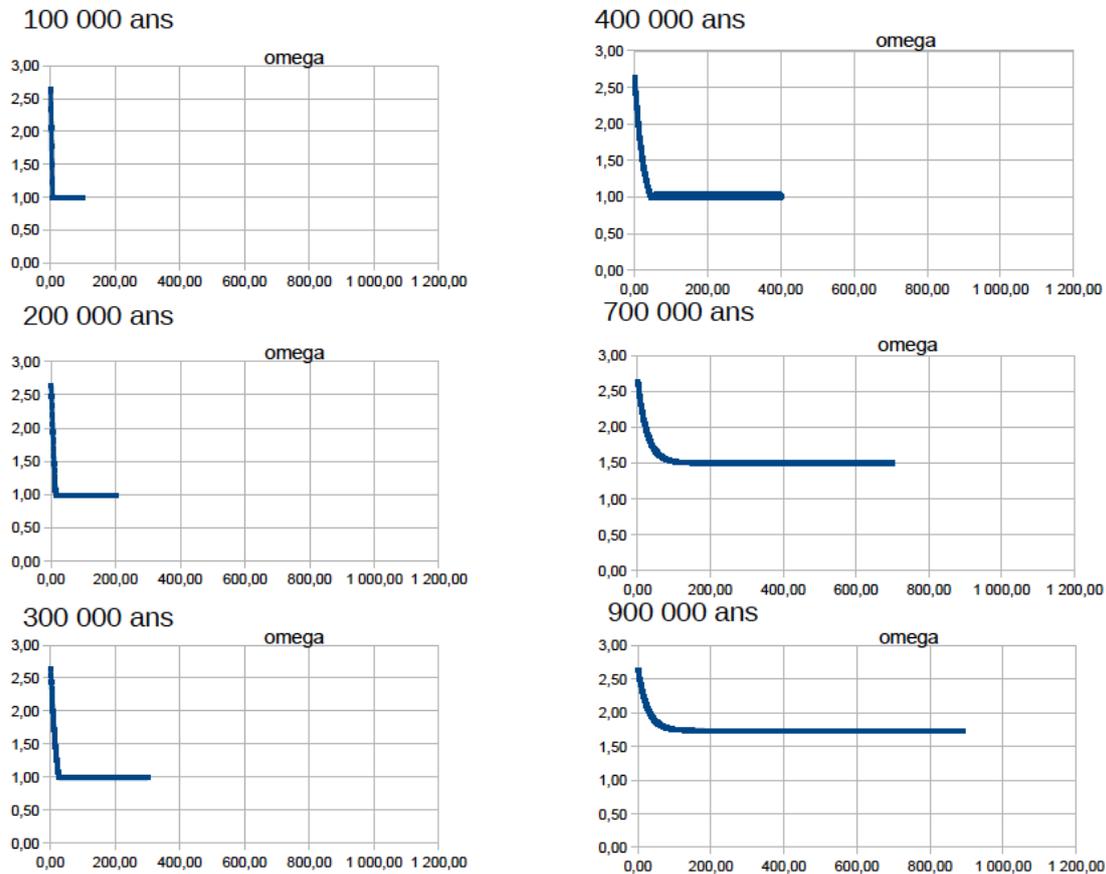
Pour les expériences longues (> 500 kans) le pH baisse lentement car la $[\text{HCO}_3^-]$ augmente plus lentement. En plus de cet effet, l'altération amène de l'alcalinité à l'océan (Alk) ce qui ralentie la baisse de $[\text{CO}_3^{2-}]$. Cet effet n'est pas perceptible pour les simulations courtes car le flux d'Alk est trop faible comparée au temps d'injection du CO_2 .

Entre les deux, la baisse de pH est modérée (intermédiaire des deux précédents). En plus deux effets mentionnés ci-dessus (simulations longues), un troisième effet intervient. La baisse de $[\text{CO}_3^{2-}]$ décélère car la quantité de carbonates qui précipite diminue à mesure qu' ω baisse (cet effet existe dans les deux autres cas, mais est quantitativement moins important)

Remarque : cette partie a été très mal traitée par les candidat.e.s. L'objectif de cet exercice était de réfléchir à partir de notions fournies et du tableur libreoffice)

Question V.3. Tracer les évolutions de omega en fonction des durées possibles pour la mise en place des Trapps du Deccan. Vous utiliserez les mêmes durées que celles testées dans la question V.1. Important, la case C42 et la case C46 doivent toutes les deux indiquer la valeur 1.

Réponse à la question V.3.



Question V.4. Expliquer les évolutions de omega en fonction du temps de mise en place des trapps du Deccan.

Rappel, dans cette série de simulations la quantité de carbonates qui précipite dépend du pH marin (la case C46 indique 1), elle diminue à mesure que le pH baisse. Si omega (colonne K) passe sous la valeur de 1, la précipitation des carbonates s'arrête (et la dissolution commence), le tableur indique alors la valeur de 0,99 en colonne K et la valeur de 0 pour la colonne L.

Réponse à la question V.4.

La concentration en $[Ca^{2+}]$ étant considérée stable (fixée ici), seule la baisse de $[CO_3^{2-}]$ peut affecter omega. Pour expliquer la tendance de omega il faut donc se concentrer sur $[CO_3^{2-}]$. Les mêmes mécanismes que pour le pH peuvent être évoqués (le pH est dépendant de $[CO_3^{2-}]$ et de $[HCO_3^-]$). Toutefois, on observe qu'omega a une valeur minimum de 0.99. Cette valeur minimum est la conséquence de la dissolution des carbonates qui débute si omega < 1, dissolution qui relâche du $[CO_3^{2-}]$.

Cette dissolution n'intervient que si l'injection est suffisamment rapide (< 500 ans). Au dessus de cette durée l'altération amène de l'Alk de manière suffisante dans un contexte où la consommation de l'Alk par la précipitation des carbonates est faible (car directement dépendante de omega).

Question V.5.

Proposer une durée maximale de mise en place des trapps compatible avec une disparition importante et brutale des coquilles carbonatées dans l'enregistrement fossilifère.

Réponse à la question V.5.

D'après ce modèle simple, $\omega < 1$ au moins une fois si l'injection est < 500 kans. Pour que l'effet soit suffisant (en durée), il est plus logique de proposer une durée d'injection de 400 kans au maximum, valeur qui permet à $\omega < 1$ (dissolution) 40 % du temps.

Question V.6.

Dans cette seconde série d'expériences, la précipitation des carbonates ne sera plus dépendante du pH (vous devez passer la case C46 à 0). On considère alors que la quantité de carbonates qui précipitent reste constante et fixée à la valeur actuelle quelque soit le pH de l'océan.

Proposer une durée maximale de mise en place des trapps compatible avec une disparition importante et brutale des coquilles carbonatées dans l'enregistrement fossilifère. Pourquoi votre résultat est-il différent de celui proposé dans la question V.5 ?

Réponse à la question V.6.

Il n'y a plus de durée maximale car même avec une injection sur 1000 kans, $\omega < 1$ rapidement (< 100 kans). Cet effet est dû à la consommation d'Alk ($[\text{CO}_3^{2-}]$) par la précipitation des carbonates.

Cette série d'expériences permet de montrer que l'absence de fossiles carbonatés peut résulter de deux processus : 1) la dissolution (mais il faut une injection rapide) et /ou 2) d'un environnement marin peu propice à la précipitation des carbonates (ω tend vers 1).

Pour information : Ci-dessous se trouve le détail des équations contenues dans le tableur.

Dans cet exercice nous supposons que le pH des océans est uniquement contrôlé par les teneurs en carbone du système Océan-Atmosphère. En effet l'atmosphère est le plus grand réservoir capable d'échanger du carbone avec l'océan à des échelles de temps assez rapides (flux océan-atmosphère de l'ordre de 100 GtC/an). La concentration en CO_2 de la surface océanique s'équilibre rapidement avec celle de l'atmosphère.

Le carbone inorganique dissout existe sous 3 formes dans l'océan : $[\text{CO}_2\text{d}]$ (=dissout), $[\text{HCO}_3^-]$, $[\text{CO}_3^{2-}]$. La somme de ces trois formes est appelé le carbone total dissout (en anglais DIC : Dissolved Inorganic Carbon):

$$\text{DIC} = [\text{CO}_2\text{d}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]. \text{ Equation (1)}$$

L'électroneutralité de l'océan nécessite une égalité entre les charges des différents ions dissouts. L'ensemble des charges négatives portées par les différentes espèces chimiques dissoutes contrôle l'alcalinité (Alk). Si on la réduit aux formes du carbone on obtient :

$$\text{Alk} = 2 [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]. \text{ Equation (2)}$$

Actuellement le pH de l'océan est de 8.2, ce qui signifie que dans l'océan l'espèce chimique dominante (90%) est le HCO_3^- . Cela signifie que les proportions entre les différentes espèces du carbone sont contrôlées par des dissociations qui sont dépendantes du pH.

On notera les constantes d'équilibres chimiques suivantes :

$K_0 = [\text{CO}_2\text{d}]/p\text{CO}_2$	Dissolution du gaz CO_2 (avec $p\text{CO}_2 =$ pression partielle atmosphérique en CO_2).
$K_1 = [\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]/[\text{CO}_2\text{d}]$	Première dissociation
$K_2 = [\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]/[\text{HCO}_3^-]$	Deuxième dissociation
$K_s = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]$	Solubilité du carbonate de calcium CaCO_3

Dans les conditions standards de l'océan (c'est à dire aujourd'hui), On néglige le CO_2d qui représente moins de 1% du carbone total dissout. Ce qui permet d'écrire :

$$\begin{aligned} [\text{CO}_3^{2-}] &= \text{Alk} - \text{DIC} \\ [\text{HCO}_3^-] &= 2\text{DIC} - \text{Alk} \end{aligned}$$

La conversion des teneurs en GtC (Gigatonne de carbone) se font en supposant le volume de l'océan égal à $1.332 \cdot 10^{21}$ litres et en considérant qu'une mole de carbone (C) pèse 12 g.

La variation en pH (notée dpH) peut être approximée par la relation suivante :

$$\text{dpH} = -d[\text{HCO}_3^-]/[\text{HCO}_3^-] + d[\text{CO}_3^{2-}]/[\text{CO}_3^{2-}]$$

On defini la saturation des eaux océaniques vis à vis des carbonates (aragonite) de la manière suivante :

$$\text{omega} = [\text{CO}_3^{2-}] * [\text{Ca}^{2+}] / K_s$$

Où $K_s = 6.65 \cdot 10^{-7} \text{ mol}^2/\text{l}^2$ et $[\text{Ca}^{2+}] = 0.0103 \text{ mol/l}$

5.4 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur A : Sujet et commentaires

L'épreuve de contre-option de travaux pratiques vise à évaluer des compétences manipulatoires simples, telles qu'accessibles avec le matériel disponible dans le secondaire mais aussi à évaluer la compréhension de techniques plus complexes dont les données sont très souvent proposées aux élèves. Il s'agit aussi de tester des compétences organisationnelles pour réussir à couvrir l'ensemble

des questions posées, ce qui a été atteint par les meilleures copies. Enfin, il s'agit de vérifier que les candidats savent manipuler dans les règles d'hygiène et de sécurité qu'ils auront à inculquer à leurs futurs élèves.

Le sujet proposé cette année portait sur une thématique très large en lien avec la vie « quotidienne » pour laquelle le professeur de SVT peut être amené à se voir poser des questions par ses élèves : le suivi de la grossesse. Cela permettait par ailleurs de balayer plusieurs disciplines du programme. Quatre parties indépendantes étaient proposées, qui commençaient toujours par des questions de connaissances assez basiques pour remettre le candidat dans le contexte. Sur la page de garde, l'attention était attirée sur l'importance des points accordés aux parties 3 et 4 comprenant des manipulations par le candidat alors que les parties 1 et 2 proposaient de la mise en forme et de l'analyse de données. Ainsi, les parties 3 et 4 ont été traitées le plus souvent, et la partie 2 a été la plus négligée. Les candidats qui n'ont pas voulu jouer le jeu des travaux pratiques et qui n'ont pas réalisé les expériences ou tracé les courbes se sont retrouvés dans les moins bonnes copies. Nous rappelons qu'il s'agit bien ici d'une épreuve de travaux pratiques...

Ce sujet proposait à plusieurs reprises de tracer des courbes standard de dosage, avec un choix de différents types de papier quadrillé. Pour la question I-6, seule l'échelle log/log permettait d'obtenir une courbe suffisamment linéaire sur plusieurs ordres de grandeur pour être exploitée. Cela semble avoir posé des difficultés aux candidats qui ont très peu tracé cette courbe. Il est pourtant important pour un enseignant de sciences de maîtriser ces différents types de représentation des données expérimentales.

La deuxième partie proposait en particulier de reconnaître et détecter des pathogènes. Il semblerait que de nombreux candidats n'ont pas su faire la différence entre des images de microscopie électronique et des colorations observées à la loupe. Malgré la présence d'échelles sur certaines images, ils n'ont pas toujours su faire la différence entre des microorganismes cellulaires et des virus. De plus, il s'avère que le principe du TROD est globalement méconnu.

Pour la partie 4, la lecture des données était à faire avec un colorimètre de fonctionnement très simple. Nous avons déploré que certains candidats ne comprennent pas la différence entre absorbance (Abs) et transmittance (%T), ou bien fassent des mesures dans des cuvettes dans n'importe quelle orientation, voire directement dans les microtubes, sans compter les tubes jetés sans portoir dans le bain-marie.

Concernant les résultats obtenus pour ce dosage, la précision et le respect du protocole avec ses paramètres de température et temps d'incubation étaient les clés de la réussite. Certains candidats ont obtenu des résultats expérimentaux qu'ils ont jugés questionnables. Ils ont eu raison lorsqu'ils ont mis en avant leurs doutes en expliquant leur raisonnement. La science demande de l'humilité et de l'honnêteté face aux résultats. Ceux au contraire qui ont « arrangé » leurs résultats, première étape dans la fraude scientifique, n'en n'ont pas tiré avantage.

Le sujet commenté se trouve sur les pages suivantes : en rouge, des remarques sur la prestation des candidats avec le % de répondants à la question (R) et le % moyen de points obtenus par les répondants (P) ; et en bleu des éléments de correction.

NOM :
N°

Prénom :

Salle

□

AGRÉGATION DE SCIENCES DE LA VIE - SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE OPTION DU SECTEUR A CANDIDATS

DES SECTEURS B ET C

Durée totale : 2 heures

Le suivi de la grossesse

Plusieurs aspects seront abordés dans 4 parties indépendantes.

Les parties 3 et 4 prévoient des manipulations qui seront particulièrement valorisées, prévoyez donc votre organisation en conséquence.

Partie I : Le contrôle de la gestation	page 1
<i>Durée conseillée : 0h25 – barème : 20 / 120</i>	
Partie II : Les dépistages au cours de la grossesse	page 5
<i>Durée conseillée : 0h25 – barème : 20 / 120</i>	
Partie III : Les échanges foeto-maternels	page 12
<i>Durée conseillée : 0h25 – barème : 30 / 120</i>	
Partie IV : Le diabète au cours de la grossesse	page 17
<i>Durée conseillée : 0h45 – barème : 50 / 120</i>	

Les réponses aux questions figureront uniquement dans les cadres réservés à cet effet. Vous pouvez disposer d'une calculatrice non programmable.

N'oubliez pas d'appeler les correcteurs lorsque cela est demandé.

AVANT DE REMETTRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DE TOUS LES DOCUMENTS.

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier

Partie I : le contrôle de la gestation

Mmes X et Y consultent un gynécologue pour des questions en relation avec la grossesse : Mme X ne souhaite pas avoir de grossesse, elle veut choisir une méthode pour elle-même.

Q I-1 : Quelle est la différence entre contraception et contragestion ? Donnez pour chacune des deux catégories un exemple d'une méthode que Mme X puisse appliquer, avec le nom du processus empêché.

□ Réponse à Q I-1 :

Contraception : ensemble des méthodes de contrôle des naissances agissant pour empêcher la conception, c'est-à-dire la fécondation d'un ovule par un spermatozoïde (infécondité temporaire chez la femme ou chez l'homme). Exemples applicables à **la femme** : pilule oestroprogestative (empêche l'ovulation), diaphragme ou préservatif féminin (**la précision était attendue**) (empêche la rencontre des gamètes).

Contragestion : ensemble des méthodes de contrôle des naissances agissant après la fécondation pour empêcher la gestation. Exemples : stérilet (empêche la nidation), pilule abortive RU486 (antagoniste mixte de la progestérone, décollement de l'embryon).

Quelques candidats ont indiqué « avortement » sans autres détails : il s'agit d'une interruption de la grossesse et non d'un empêchement de cette grossesse.

R 99%, P 83%

Mme Y souhaite porter un enfant, mais n'y parvient pas. Le médecin diagnostique la nécessité d'une procréation médicalement assistée, et propose la réalisation d'une fécondation *in vitro*. Le protocole implique une première phase de traitement par un agoniste du GnRH, une 2e phase de traitement par la FSH et, lorsque certaines conditions sont réunies dont une concentration d'œstradiol plasmatique de l'ordre de 200 pg/mL, une injection unique de 5000 UI (unité internationale) de gonadotrophine chorionique humaine (hCG).

Q I-2 : En vous appuyant sur vos connaissances du cycle reproducteur féminin, explicitez les effets des différentes phases du traitement

□ Réponse à Q I-2 :

Un médicament analogue à la GnRH bloque le cycle naturel de la patiente et permet de contrôler l'ovulation et de la déclencher au meilleur moment.

Une hormone folliculo-stimulante (FSH) à prendre sous forme d'injections quotidiennes aide à la production et à la croissance de follicules ovariens (qui contiennent des ovocytes) et favorise la fécondation.

Suite réponse à Q I-2

Lorsque les follicules sont prêts (ont la taille adéquate) démontré par la capacité à produire E2 en

R 88%, P 28%

Q I-3 : Quelles sont selon vous les trois principales étapes qui devraient suivre la partie médicamenteuse de la procédure ?

□ Réponse à Q I-3 :

- Prélèvement des ovocytes par ponction
- Fécondation *in vitro* par les spermatozoïdes et culture *in vitro* jusqu'au stade 4 ou 8 cellules
- Transfert d'embryon(s) par dépôt dans la cavité utérine après 3 à 6 jours

R 78%, P 57%

16 jours après la dernière injection, la mesure du taux plasmatique d'hCG est réalisée par dosage ELISA « sandwich ».

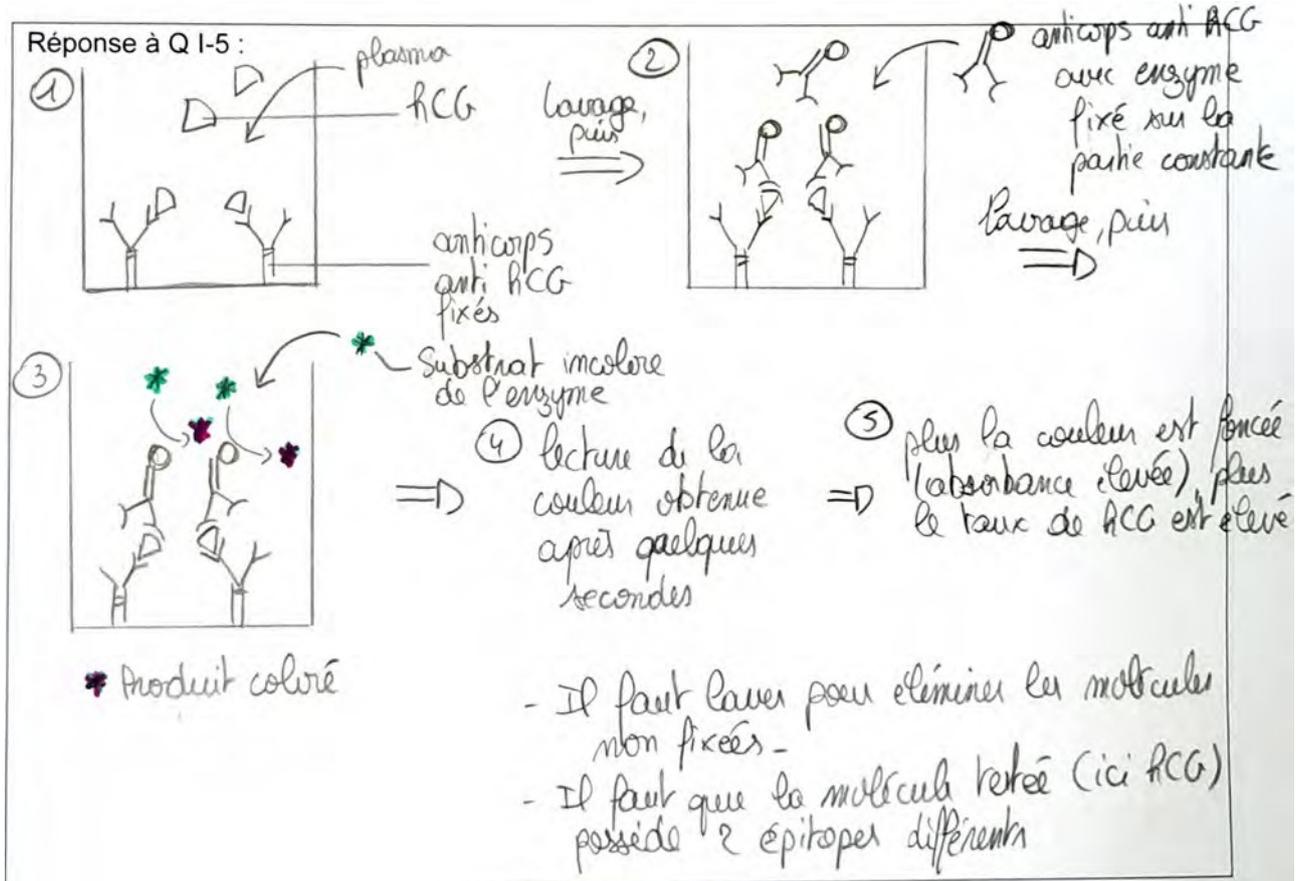
Q I-4 : Pourquoi doser l'hCG à 16 jours ?

□ Réponse à Q I-4 :

La gonadotrophine chorionique humaine est produite par les cellules trophoblastiques de l'embryon, et non résiduelle de l'injection. Cela indique l'implantation et le développement d'un embryon.

R 87%, P 20%

Q I-5 : A l'aide d'un schéma commenté, expliquez le principe de ce type de dosage.



Les résultats du dosage sont les suivants :

	Gamme étalon						Echantillon
pg/mL	16	80	400	2 000	10 000	50 000	Dilution 1/10e
Abs	0,01	0,02	0,10	0,40	1,00	2,00	0,60

Q I-6 : Utilisez le papier quadrillé de votre choix en annexe 1 pour tracer la courbe standard et déterminer la concentration plasmatique de hCG de Mme Y.

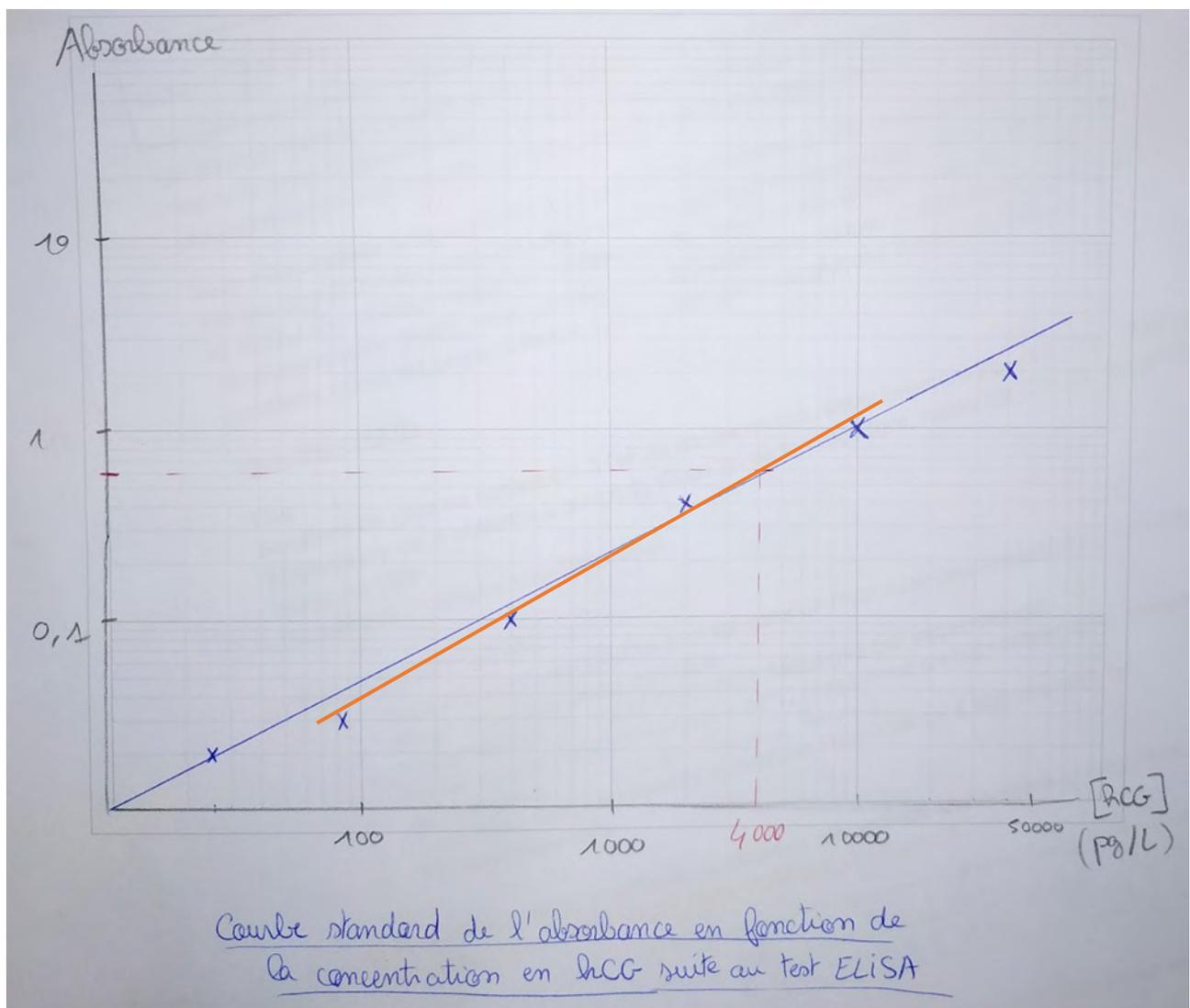
Réponse à Q I-6 :

Le papier log/log est celui qui est adapté aux plages de données dont l'étendue couvre plusieurs ordres de grandeur, tant pour les abscisses que les ordonnées. Sur l'exemple de graphe tracé par un candidat, il faut privilégier les points centraux de la gamme (droite orange).

L'échantillon mesuré a une concentration de 4000 pg/mL.

En tenant compte de la dilution, Mme Y a un dosage à 40 000 pg/mL soit 40 ng/mL

R 3% P 47



Q I-7 : Sachant que 1000UI/mL de hCG est équivalent à une concentration de $92 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, utilisez la figure 1 pour conclure sur l'état de Mme Y

▫ Réponse à Q I-7 :

Si $92\mu\text{g}/\text{mL}$ égalent 1000 UI/mL alors $40 \text{ ng}/\text{mL}$ équivaut à $0,435 \text{ UI}/\text{mL}$, C'est-à-dire $435 \text{ UI}/\text{L}$.

Cette valeur pour 16 jours se situe entre les courbes moyenne et maximale de concentration d'hCG au cours d'une grossesse, on peut donc conclure que Mme Y. est enceinte.

R 55%, P 16%

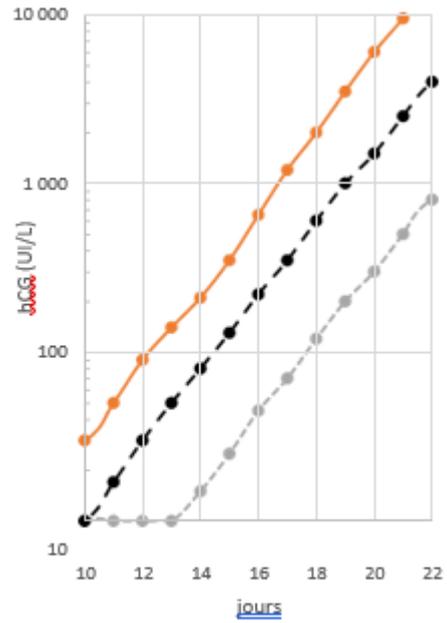
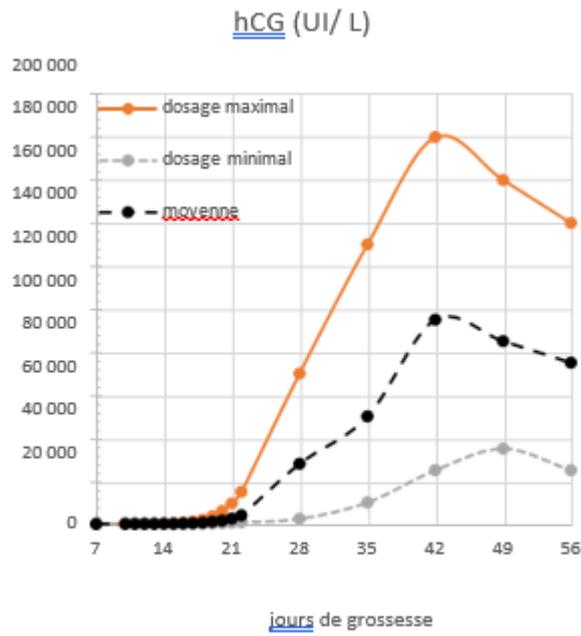


Figure 1 : Dosage maximal, minimal ou moyen de l'hormone hCG retrouvé au cours des jours de la grossesse.

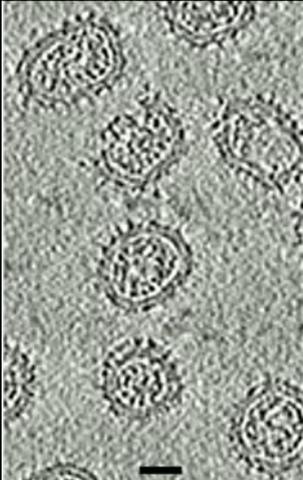
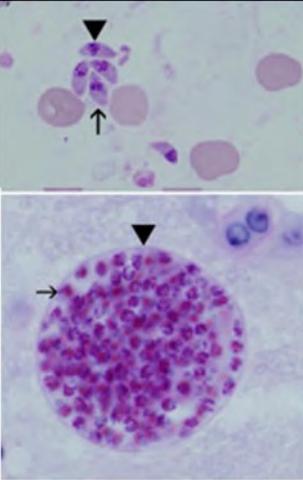
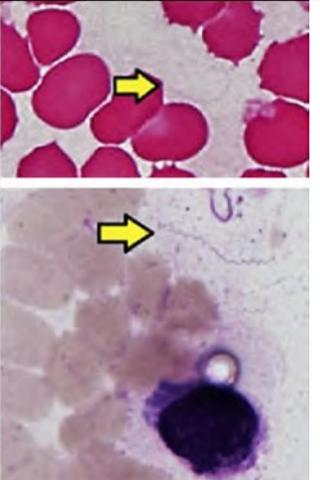
Partie II : Les dépistages au cours de la grossesse

Au cours de la grossesse, des examens médicaux obligatoires visent à détecter la survenue de pathologies.

II – A Dépistage de maladies infectieuses.

Le dépistage de la rubéole, l'hépatite B, la toxoplasmose et la syphilis sont recommandés par l'assurance maladie.

Q II-A-1 : D'après les informations du tableau ci-dessous, quelle est la nature des agents pathogènes responsables de ces maladies ? Répondez dans la dernière ligne du tableau.

Agent causal de l'hépatite B	Agent causal de la rubéole	Agent causal de la toxoplasmose (flèche noire)	Agent causal de la syphilis (flèche jaune)
 <p>Barre 40nm</p>	 <p>Barre 20nm</p>		
<p>La quantification est possible par PCR en temps réel.</p>	<p>La quantification est possible par RT-PCR en temps réel.</p>	<p>Coloration Giemsa (des globules rouges sont présents sur l'image d'en haut).</p> <p>La quantification est possible par PCR en temps réel.</p>	<p>En haut : Coloration de gram. En bas : coloration Giemsa (des globules rouges sont présents sur les images)</p>
<p>Taille + PCR -> virus à ADN</p>	<p>Taille + RT-PCR -> virus à ARN</p>	<p>Eucaryote unicellulaire -> protozoaire</p>	<p>Taille + coloration -> bactérie gram⁻ et Spirochète</p>

C'est la nature des agents, et non pas leur nom qui était demandé

R 90%, P 35%

Le dépistage du virus de l'immunodéficience humaine est également recommandé : celui-ci est réalisé par un test ELISA ou un test rapide d'orientation diagnostique (TROD), éventuellement suivi d'une analyse par immuno-empreinte (western blot).

Q II-A-2 : Pourquoi 2 types d'analyse sont nécessaires ? Qu'est ce qui est précisément détecté par le test ELISA ou le TROD, et qu'est ce qui est détecté par l'immuno-empreinte ?

□ Réponse à Q II-A-2 :

Analyses complémentaires : ELISA ou TROD détectent des anticorps contre le VIH (séropositivité, test indirect), alors que le WB détecte des protéines virales (test direct).

R 81%, P 32%

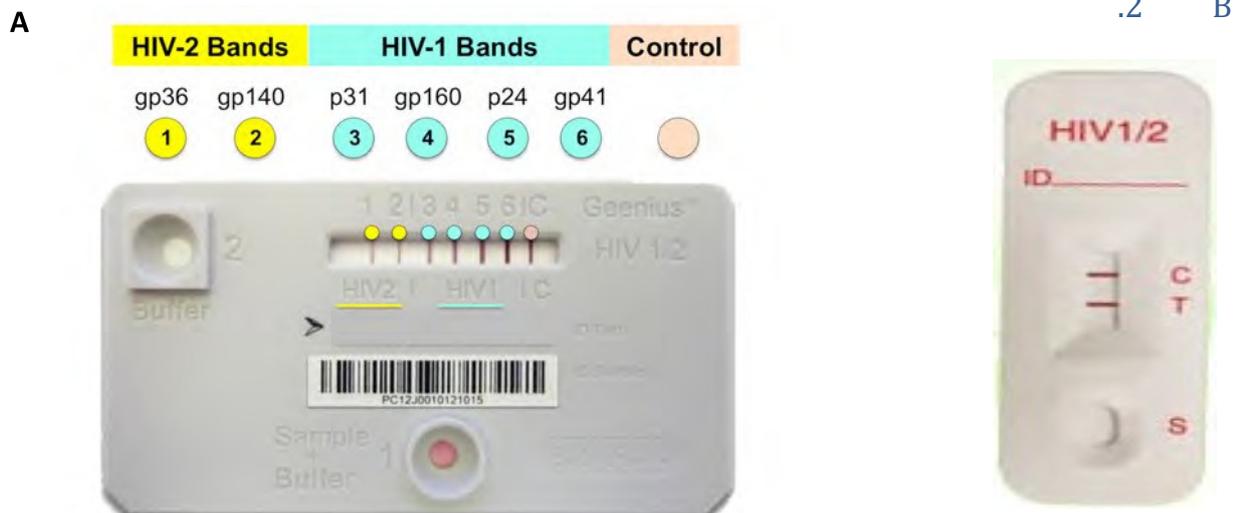
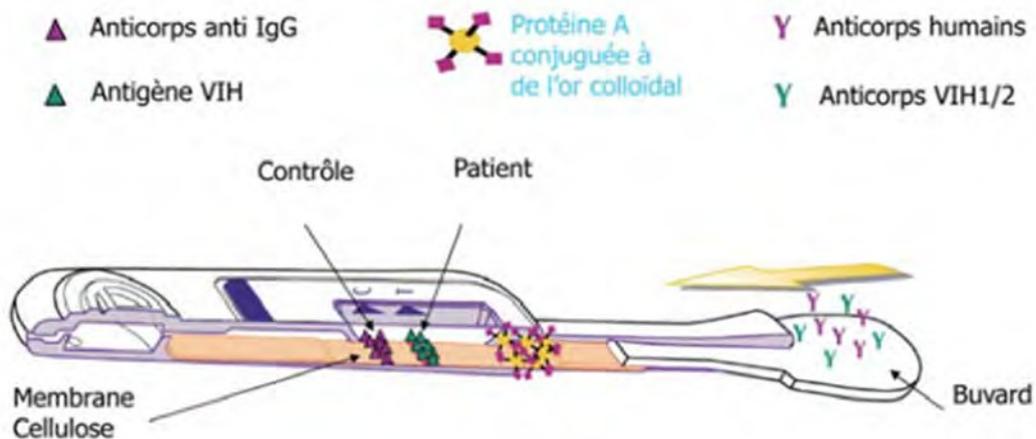


Figure 2 : 2 exemples (en A et B) de tests TROD pour le dépistage du HIV.

Q II-A-3 : Décrivez sous forme d'un schéma le principe de fonctionnement d'un test TROD de la figure 2B.

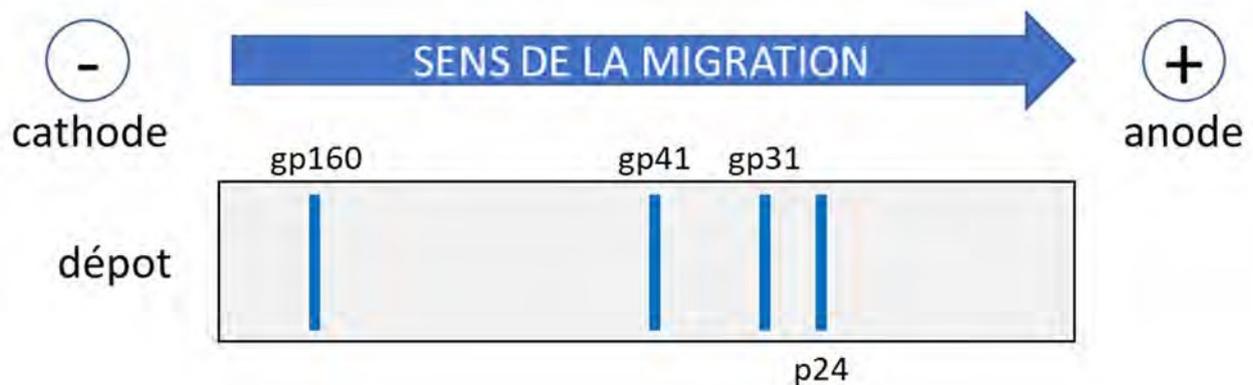
□ Réponse à Q II-A-3 :

Il est surprenant que cette méthode pose des difficultés aux candidats après 3 ans de Covid-19 et de tests nasaux relativement similaires ! R 68% P 7%



Q II-A-4 : A l'aide du rectangle ci-dessous, représentez la position des bandes obtenues si on réalisait une immuno-empreinte pour détecter les protéines du HIV-1 présentées figure 2A. Vous indiquerez aussi la zone de dépôt des échantillons, l'anode et la cathode et le sens de migration.

Réponse



L'immuno-empreinte ou western blot est une méthode de base de biologie qui doit être connue des agrégés. L'électrophorèse qui en est la première étape semble poser de sérieux soucis aux candidats. R53% P 7%

La protéine p24 est issue du gène *Gag*, la protéine p31 est issue du gène *Pol*, et les protéines gp160 et gp41 sont issues du gène *Env* du génome du HIV-1.

Q II-A-5 : À quel moment du cycle viral les protéines issues de ces gènes *Gag*, *Pol*, *Env* sont-elles majoritairement nécessaires ? Vous détaillerez les protéines virales et protéines de la cellule hôte qui permettent l'entrée du virus.

□ Réponse à Q II-A-5 :

Protéines d'enveloppe : entrée du virus dans la cellule. Gp120 (issu du clivage de Gp160) interagit avec CD4 sur les cellules cibles et gp 41 avec le corécepteur CCR5 ou CXCR4 ce qui permet la fusion avec la membrane plasmique.

Protéines issues de *Pol* (reverse-transcriptase et intégrase) : conversion du génome viral d'ARNsb en ADN et intégration dans l'ADN de la cellule hôte

Protéines issues de *Gag* (protéines de matrice et de capsid) : assemblage des nouveaux virions

R 51% P 4%

II- B Dépistage de la trisomie 21

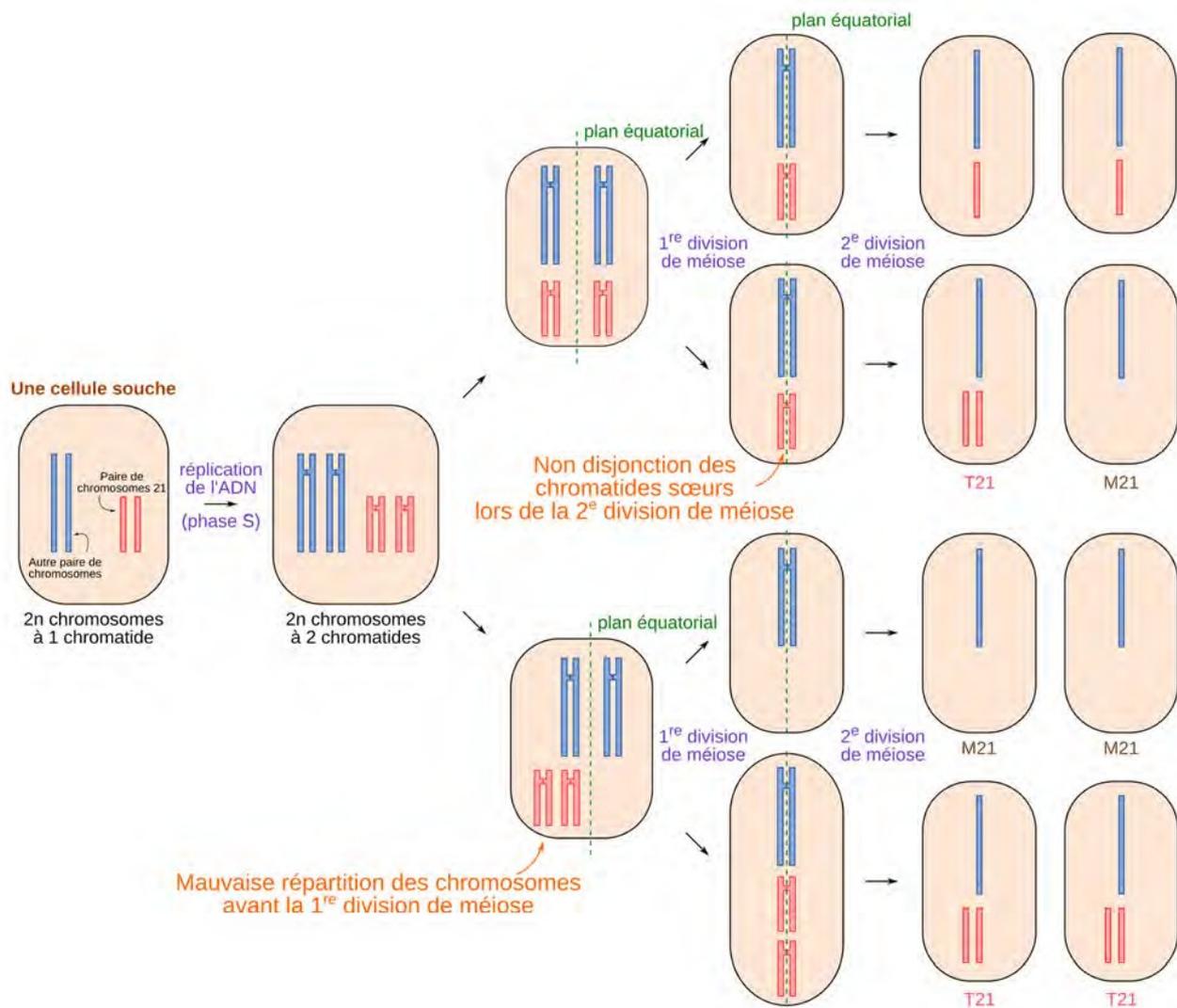
Le risque de trisomie 21 augmente avec l'âge de la mère, un dépistage systématique est proposé à toutes les futures mères pour évaluer ce risque.

Q II-B-1 : A quoi correspond la trisomie 21 ? Quelles sont les origines possibles ? Vous expliquerez avec l'aide d'un schéma.

Réponse à Q II-B 1:

Il s'agit d'une anomalie génétique congénitale où le chromosome 21 est en 3 exemplaires au lieu de 2 (aneuploïdie).

Origines possibles : mauvaise répartition des chromosomes / chromatides lors méiose. Parent trisomique ou mauvaise répartition des chromatides lors d'une mitose (trisomie mosaïque)



<https://planet-vie.ens.fr/thematiques/sante/pathologies/la-trisomie-21-origines-et-quelques-chiffres>

R 84% P 28%

Le dépistage est tout d'abord fait grâce à une échographie.

Q II-B-2 : Quel est le principe de cette technique ?

▫ Réponse Q II-B-2 :

L'échographie utilise des ultrasons (> 20 000 Hz) et permet l'étude de tissu élastiques et contenant peu d'air. Les ondes ultrasonores émises par la sonde sont réfléchies en arrivant sur un obstacle et l'«écho» est recapté par la sonde. La différence d'intensité de l'onde réfléchié dépend de la densité des « obstacles » et de leur distance, ce qui permet après intégration de délimiter les structures comme le fœtus du liquide amniotique.

R 72% P 26%

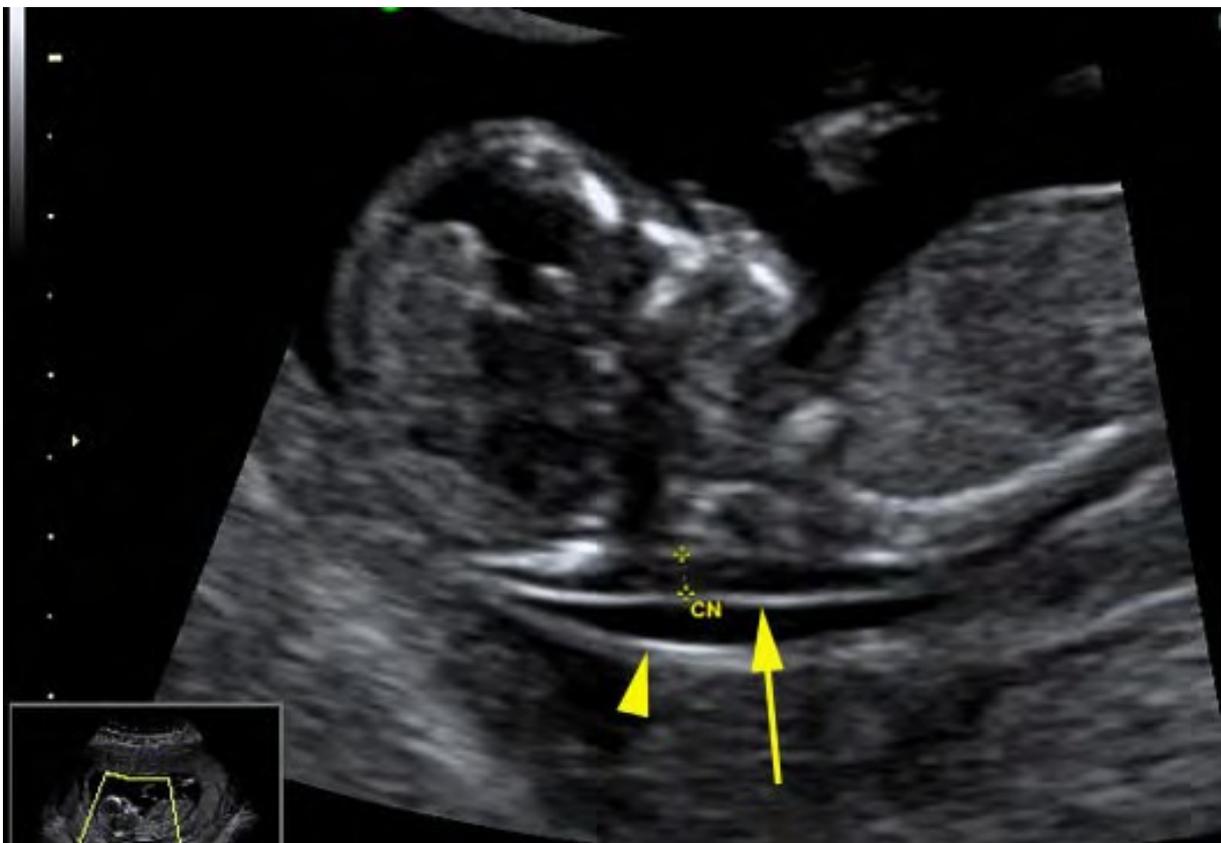


Figure 3A : Image de l'échographie du fœtus de Madame Z, âgée de 31 ans, réalisée lors de la consultation obligatoire à 13 semaine d'aménorrhée. CN = clarté nucale.

Grossissement : *2.

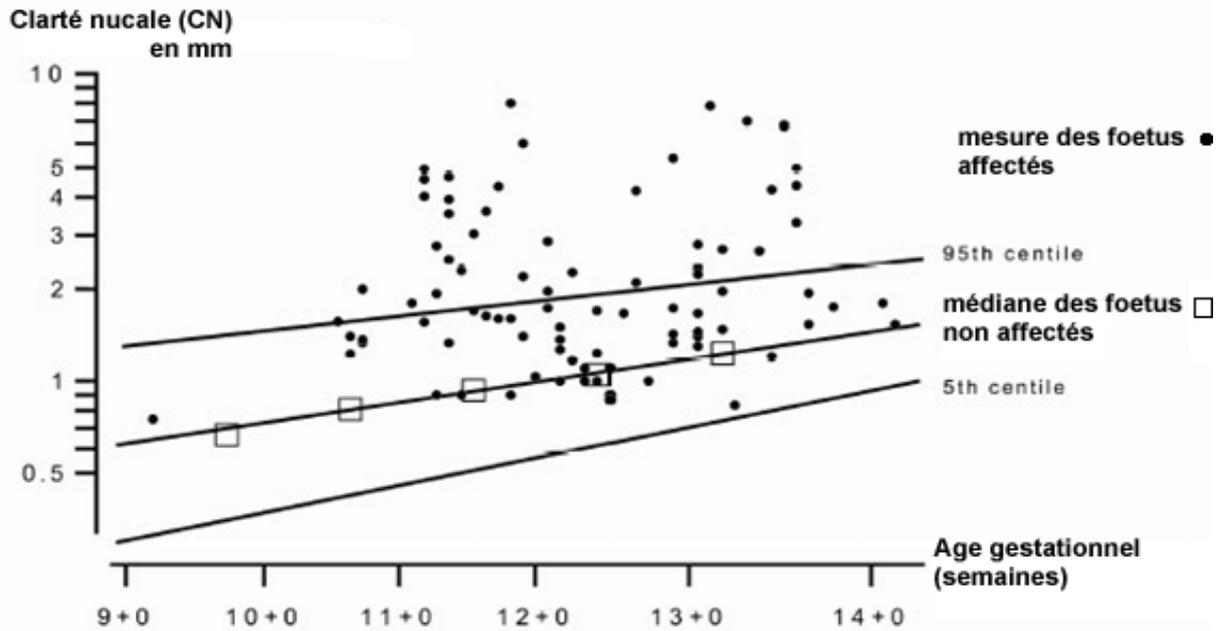


Figure 3B : Mesure de la clarté nucale (point noir) des fœtus atteints de trisomie 21 en fonction de l'âge de la grossesse. La médiane des fœtus non affectés est montrée par les carrés blancs. D'après l'étude SURUSS *J. Med Screen* (2003) 10 :56.

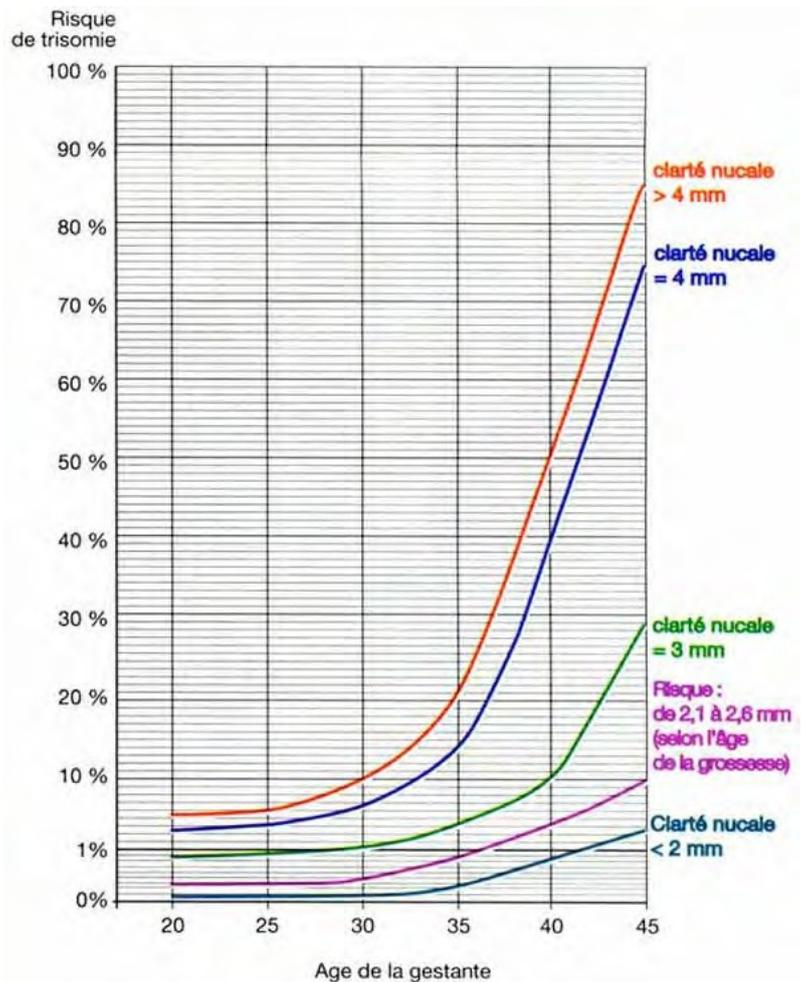


Figure 3C : Evaluation du risque de trisomie en fonction de l'âge de la patiente et de la taille de la clarté nucale à 13 semaines d'aménorrhée. Adapté de *J Gynecol Obstet Biol Reprod* (1999) 28 : 439

Q II-B-3 : À partir des différentes parties de la figure 3, y a-t-il ici un risque de trisomie 21 ?

□ Réponse à Q II-B-3 :

Clarté nucale mesurée sur le papier = 5mm, avec échelle 2, donc 2.5mm en réel.

13 semaines d'aménorrhée = 11 semaines de grossesse. D'après graphe 3B, cette valeur est au-dessus du 95th centile des fœtus non affectés, donc il semble y avoir un risque.

D'après le graphe 3C, le risque pour une patiente de cet âge est de l'ordre de 1%.

R 53% P 43%

Q II-B-4 : Lorsque le risque est supérieur à 1/50, un examen diagnostique est toujours demandé. Quel test complémentaire pourrait être fait pour cela ?

□ Réponse à Q II-B-4 :

Un caryotype fœtal sur des cellules du placenta après choriocentèse, ou des cellules du liquide amniotique après amniocentèse.

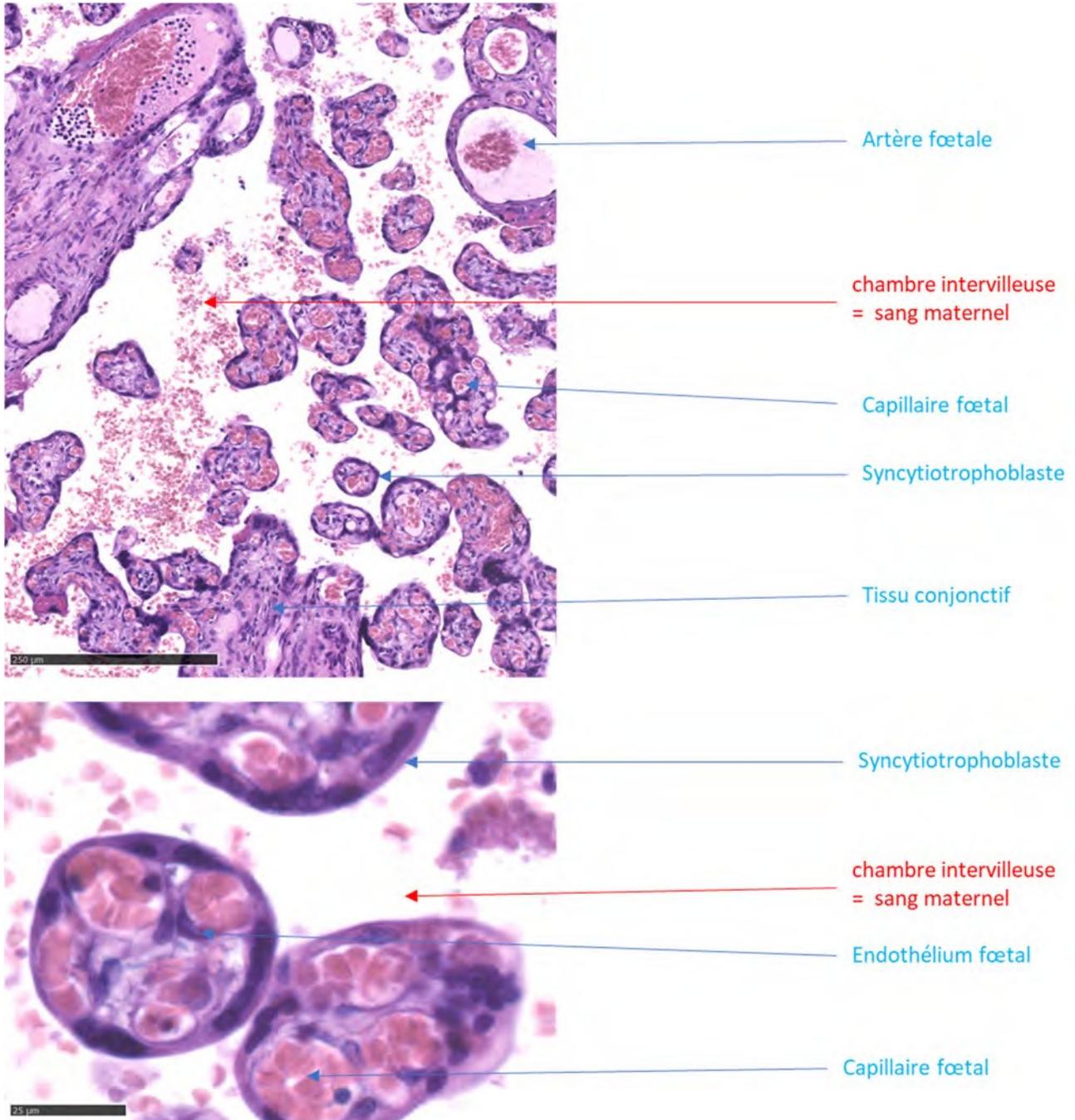
R 55% P 84%

Partie III : Les échanges fœtaux-maternels

III – A Anatomie et fonctionnement du placenta

Au cours de la grossesse, le placenta est un organe d'interface entre la mère et le fœtus.

Q III-A-1 : Légendez précisément la figure 4 en utilisant des couleurs différents pour les zones ou tissus maternels et fœtaux.

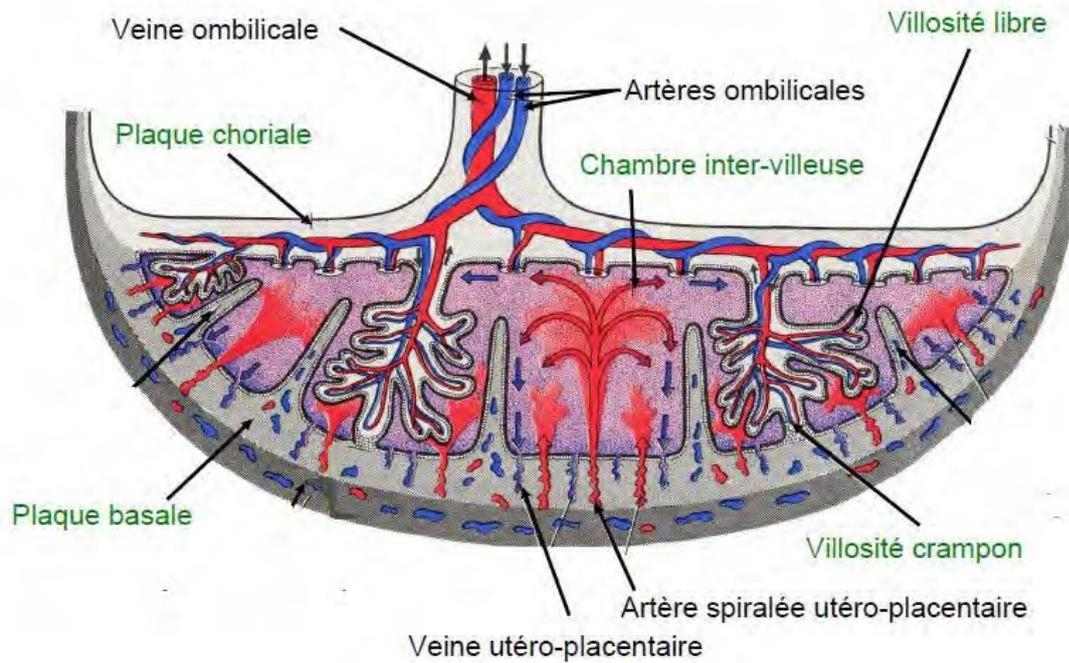


R 71% P 33%. Au moins les éléments nommés dans la légende étaient attendus !

Figure 4 : Coupes transversales du placenta au niveau des villosités montrant la chambre intervillieuse et les capillaires fœtaux à deux grossissements. En haut : barre 250µm, en bas : barre = 25µm.

Q III-A-2 : Réalisez un schéma interprétatif simplifié d'un placenta expliquant les échanges entre la mère et le fœtus, en reprenant les principaux éléments légendés et en les complétant si nécessaire. Choisissez le plan de coupe le plus pertinent.

Réponse à Q III-A-2 :



Très peu de candidats ont tiré parti des informations de la figure précédente pour réaliser leur schéma. Il fallait montrer que le sang maternel est libéré dans un espace libre et que la seule barrière entre le sang de la mère et de l'enfant est le syncytiotrophoblaste.

R 56% P 19%

Q III-A-3 : Quelles molécules sont échangées entre la mère et le fœtus et dans quel sens ?

▫ Réponse à Q III-A-3 :

Les sangs fœtal et maternel sont séparés par le syncytiotrophoblaste et par l'endothélium des capillaires fœtaux, les molécules échangées doivent donc pouvoir traverser des membranes cellulaires. Il peut s'agir de :

- Gaz, qui diffuseront selon leur pression partielle (O₂ de la mère vers le fœtus, CO₂ à l'inverse)
- Molécules hydrophobes ou petites molécules polaires non chargées qui diffuseront selon leur gradient de concentration (exemple éthanol, stéroïdes vers le fœtus ; urée vers la mère)
- Nutriments (glucose, acides aminés, ions etc.), hormones ou xénobiotiques grâce à des transporteurs membranaires de la mère vers le fœtus
- Plus grosses molécules comme Immunoglobulines G, lipoprotéines qui traversent par endocytose/transcytose médiée par récepteurs de la mère vers le fœtus.

Le niveau des réponses a rarement dépassé celui demandé aux élèves du collège... R 94%

P 23%

III – B Groupes sanguins et risques associés

La détermination du groupe sanguin de la mère fait partie des analyses obligatoires au cours de la grossesse.

Vous allez déterminer le groupe sanguin de Madame Z. et du père de son enfant, Monsieur Z. :

- Vous disposez de 3 réactifs : des agglutines anti-A, anti-B et anti-D (anti-Rhésus)
- Pour chaque détermination, sur une lame de verre, déposez 1 goutte (25µL) de chacun des réactifs
- Déposez une goutte (25µL) de sang de Madame (♀) ou Monsieur (♂) Z. sur chaque goutte de réactifs.
- Mélangez en changeant de cure-dent à chaque fois puis notez le résultat dans le tableau ci-dessous.
- **APPELEZ L'EXAMINATEUR POUR EVALUER VOTRE EXPERIENCE.**

Q III-B-1 : Quels sont les groupes sanguins de Monsieur et Madame Z. ? Inscrivez le résultat des expériences dans le tableau puis concluez sur le groupe de chaque échantillon.

Réponse à Q III-B-1 :							
♀	Réactif anti-A	Réactif anti-B	Réactif anti-D	♂	Réactif anti-A	Réactif anti-B	Réactif anti-D
	-	-	-		+	+	+
Madame Z = O -				Monsieur Z = AB+			

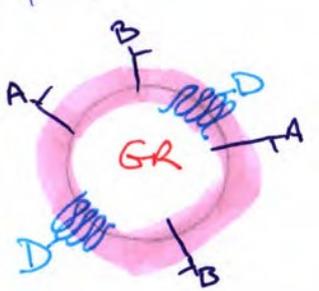
Les candidats qui n'ont pas eu tous les points ont oublié de préciser le rhésus. R 98% P 79%

Q III-B-2 : Représentez les antigènes et anticorps de M. et Mme Z. relatifs à ces groupes sanguins. Vous préciserez l'isotype des anticorps.

□ Réponse à Q III-B-2 :

$\Pi. Z : AB^+$

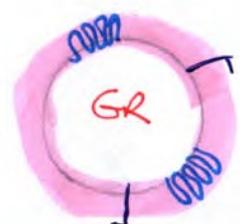
- sur les globules rouges :
glycosylation A et B
épitope protéique D



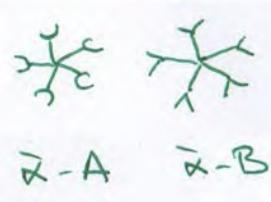
- dans le plasma :
pas d'anticorps
contre A ou B ou D

$\Pi^{me} Z : O^-$

- sur les globules rouges :
ni A, ni B, ni D



- dans le plasma :
IgM anti-A et anti-B
pas d'anticorps anti-D
ou général



Il est important de bien lire l'énoncé afin de répondre à la question posée et non à une autre ! De nombreux candidats font l'erreur d'indiquer la présence systématique d'anticorps anti-rhésus chez les individus Rh-. L'isotype des anticorps a rarement été précisé, en lien avec des réponses fausses aux questions suivantes.

75% P 28%

Q III-B-3 : Les anticorps maternels peuvent-ils passer dans la circulation fœtale ?

□ Réponse à Q III-B-3 :

Uniquement les IgG qui passent à travers le syncytiotrophoblaste grâce à des récepteurs spécifiques.

Les réponses manichéennes « oui » ou « non » n'ont pas été valorisées.

R 93% P 12%

Q III-B-4 : Proposez et argumentez les différentes possibilités de génotypes et groupes sanguins pour les enfants de ce couple

□ Réponse à Q III-B-4 :

Mère $\frac{O}{O} =$ X père $\frac{A}{B} \frac{+}{+}$ ou $\frac{+}{-}$

Tableau de fécondation

généteur généteur ♀	A ±	B ±	A -	B -
$\frac{O}{O} =$	$\frac{A}{O} \frac{+}{-}$	$\frac{B}{O} \frac{+}{-}$	$\frac{A}{O} =$	$\frac{B}{O} =$
	[A+]	[B+]	[A-]	[B-]

} 4 phénotypes possibles des enfants

R 87% P 38%

Q III-B-5 : Les groupes sanguins respectifs de M. et Mme Z. peuvent -ils conduire à un risque lors de la première grossesse, lors de grossesses futures ? Pourquoi ?

□ Réponse à Q III-B-5 :

Pas de risque pour la 1ere grossesse car les IgM anti-A ou anti-B ne traversent pas le placenta.

Si un enfant est Rh+ et que la mère Rh- est exposée au sang fœtal, il y a risque d'immunisation anti- Rh et de fabrication d'IgG anti-Rh, qui peuvent traverser le placenta et attaquer un prochain fœtus Rh+. Il y a donc un risque pour des grossesses ultérieures.

R 70% P 21%

Lorsqu'un risque est présent, la prophylaxie est l'injection immunoglobuline humaine anti-D (antigène Rhésus).

Q III-B-6 : Quel est le principe de fonctionnement de cette prophylaxie ?

□ Réponse à Q III-B-6 :

Immunisation passive, neutralisation des antigènes Rh des hématies fœtales qui auraient atteint la circulation maternelle.

R 50% P 24%

Partie IV : Le diabète au cours de la grossesse

Les examens de routine au cours de la grossesse permettent de dépister le diabète.

Q IV-1 : Qu'est-ce que le diabète ? Quels en sont les deux principaux types (hors gestation) et leur cause ?

□ Réponse à Q IV-1 :

Le diabète correspond à un excès durable de la concentration de glucose dans le sang (hyperglycémie). Les deux principaux sont :

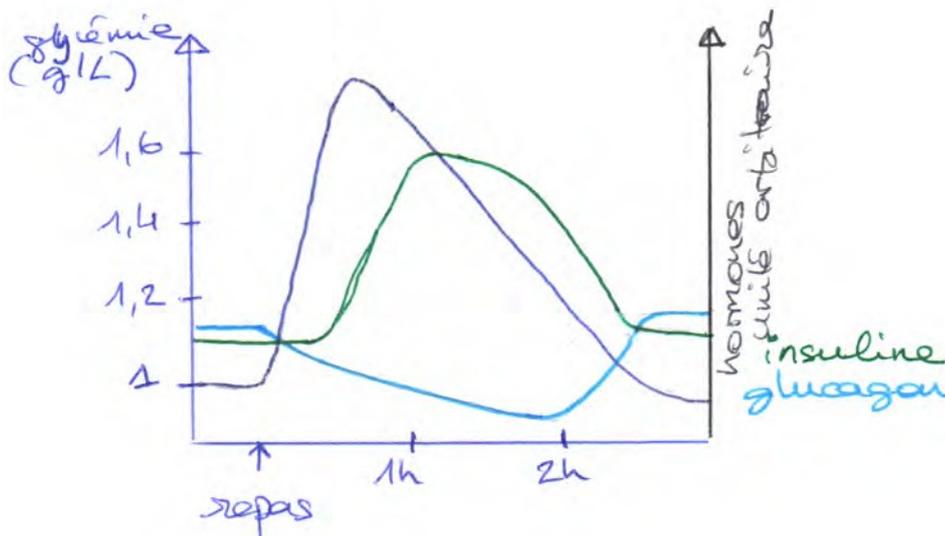
- Le diabète de type 1 (dit diabète insulino-dépendant) dû à une absence de sécrétion d'insuline par le pancréas suite à une réaction auto-immune contre les cellules β des îlots de Langerhans.
- Le diabète de type 2 (dit diabète non-insulino-dépendant) dû à une perturbation du métabolisme glucidique, notamment en cas de surpoids.

R 98% P 65%

Q IV-2 : Quelle est la glycémie normale à jeun ? Dessinez son évolution après un repas ainsi que l'évolution des hormones qui permettent son contrôle

□ Réponse à Q IV-2 :

Glycémie à jeun = 0.7 à 1.1 g/L (4 à 6 mM)



Un graphe était attendu. De nombreux candidats n'ont mis aucune échelle sur les axes.

Un dosage sanguin du glucose est réalisé si la femme enceinte présente un ou des facteurs de risque de diabète gestationnel. Le dosage sanguin est réalisé à jeun puis 1 heure et 2 heures après une hyperglycémie provoquée par voie orale (HGPO) par ingestion de 75 g de glucose.

Vous allez réaliser le dosage des échantillons de madame Z. par la méthode de Trinder. Dans ce dosage le glucose est oxydé en présence d'O₂ par la glucose-oxydase (GOD) en acide gluconique et H₂O₂. Ce dernier réagit en présence de peroxydase (POD) avec le chloro-4-phénol et l'aminopyrine (PAP) pour former une quinonéimine rouge. L'absorbance (460-560nm) du complexe coloré est proportionnelle à la concentration en glucose dans l'échantillon.

Vous disposez de :

Eau

Solutions de glucose notées G1 à G4 de concentration respectivement 25 – 50 - 75 – 100 mg/L. Echantillons de la patiente à temps 0, 1h ou 2h de la procédure, notés Z0, Z1, Z2, qui devront être dilués **au 1/20^e**.

Réactif prêt à l'emploi noté GOD-PAP

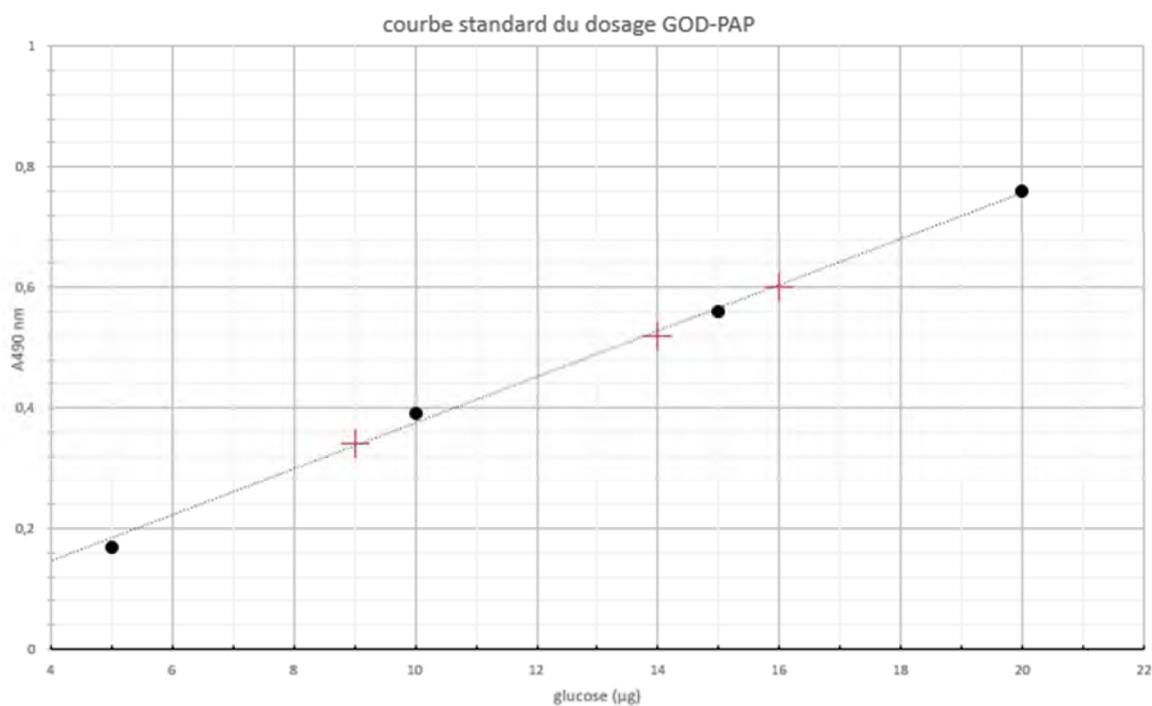
Protocole expérimental :

- Déposez **200µL** de solution à doser dans un microtube (ependorf). Les échantillons Z devront avoir été dilués au 1/20e.
- Ajoutez **800 µL** de réactif GOD-PAP. Mélangez par retournement.
- Placez le tube pour 10 minutes à 37°C (incubateur ou bain-marie) puis stoppez la réaction dans la glace.
- Transférez dans une cuvette et mesurez l'absorbance à 490 nm avec un spectrophotomètre.

Q IV-3 : Notez dans le tableau ci-dessous les valeurs d'absorbance mesurées puis **APPELEZ L'EXAMINATEUR POUR EVALUER VOTRE EXPERIENCE.**

Nom								
A490nm								

Q IV-4 : Utilisez le papier quadrillé de votre choix en annexe 1 pour tracer la courbe standard du dosage de glucose.



R 70% P 52%

Q IV-5 : Quelles sont les valeurs de glycémie de Mme Z. ? Vous détaillerez les étapes de votre réflexion.

□ Réponse à Q IV-5 :

$A_{490}(Z0) = 0.34$ donc lecture sur le graphe 9 µg, en tenant compte de la dilution $900\mu\text{g/mL} = 0.9\text{g/L}$ $A_{490}(Z1) =$

0.60 donc lecture sur le graphe 16 µg, en tenant compte de la dilution 1.6 g/L

$A_{490}(Z2) = 0.52$ donc lecture sur le graphe 14 µg, en tenant compte de la dilution 1.4 g/L

Enormément de candidats ont oublié de tenir compte de la dilution des échantillons Z ! Malgré des valeurs de glycémie correctes données à la question IV-2, ils ne réalisent pas leur erreur et commentent des valeurs autour de 50 mg/L.

R 71 % P 47%

Q IV-6 : D'après ces valeurs, un suivi particulier est-il nécessaire ?

▫ Réponse à Q IV-6 :

Mme Z a une glycémie normale à jeun, mais après la prise de sucre cette glycémie monte au-delà de la normale et après 2h elle n'est pas revenue au niveau des valeurs de consigne. On peut supposer qu'elle est résistante à l'insuline, ce qui est une forme de pré-diabète.

Un suivi régulier et une meilleure hygiène de vie (exercice, alimentation) sont donc nécessaires.

R 59% P 19%

5.5 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur B : Sujet et commentaires

Commentaires généraux

L'épreuve de travaux pratiques de contre-option de secteur b portait sur l'étude du groupe écologique des champignons et le sujet avait été conçu pour évaluer des compétences pratiques variées, incluant les capacités d'observation, de manipulation et d'analyse raisonnée à partir de connaissances mobilisées dans différentes parties du programme (reproduction et cycles de développement, génétique, écologie, phylogénie). Une grande liberté était laissée aux candidats pour présenter et valoriser leur exploitation du matériel biologique fourni.

La première partie s'appuyait sur l'exploitation de structures de reproduction de trois espèces (un ascomycète, un basidiomycète et un zygomycète) permettant aux candidats de retracer le cycle de reproduction correspondant et d'illustrer la diversité des modalités de reproduction sexuée et asexuée observées dans ces groupes.

La seconde partie considérait différents aspects de l'écologie des champignons et notamment leurs modes de vie, en abordant notamment plusieurs relations interspécifiques dans lesquelles ceux-ci étaient impliqués.

La troisième partie imposait de réaliser un bilan des données tirées des deux parties vues précédentes, complété par des connaissances de classification et, en particulier, de phylogénie.

Présentation détaillée de l'épreuve et commentaires du jury

Première partie.

Il s'agissait, dans un premier temps, de réaliser un croquis du résultat du croisement de deux souches de *Sordaria* mis à la disposition des candidats et d'identifier le phénomène de caryogamie sur la base de la présence de périthèces. Après avoir extrait les bouquets d'asques des périthèces, il était demandé de décrire les mécanismes cellulaires mis en jeu pour former la diversité des asques observés. Le jury souligne la qualité scientifique et graphique de certaines productions mais déplore que, trop souvent, le titre et l'échelle aient été oubliés. Même si certains candidats maîtrisent parfaitement les mécanismes chromosomiques de la méiose, il est regrettable que, pour la majorité des candidats, la schématisation des processus de brassages méiotiques pose encore de sérieux problèmes.

Ensuite, une analyse morpho-anatomique complète et raisonnée d'un carpophore de champignon de Paris était attendue, ce qui a été globalement bien traité. Néanmoins, il persiste encore dans l'esprit de certains candidats que la présence de spores (notons d'ailleurs que ce substantif est féminin !) résulte nécessairement d'une reproduction asexuée, alors que, justement, ce sujet visait à rappeler combien les modalités de reproduction des champignons sont diverses et que, notamment, les spores produites au sein de ce groupe pouvaient être méiotiques (c'était le cas ici avec les basidiospores d'*Agaricus sp.*) ou mitotiques.

Enfin, l'étude d'une lame de *Rhizopus sp.* à partir de laquelle les candidats devaient réaliser le cycle de reproduction de l'espèce étudiée a révélé une grande hétérogénéité de connaissances selon les copies. De nombreux candidats

ont renseigné de mémoire la position systématique des Mucorales, incapables de s'appuyer sur les caractères observables sur l'échantillon et de se placer dans la démarche déductive et argumentée attendue.

Deuxième partie.

L'analyse morpho-anatomique d'ectomycorhizes n'a que très rarement été réalisée de manière complète et précise. De nombreux candidats s'arrêtent à une présentation de leur échantillon sous la loupe binoculaire, en oubliant de légendier leur travail de façon complète. Très peu de candidats se sont lancés dans la réalisation d'une coupe transversale qui aurait permis d'observer le réseau d'hyphes fongiques autour de la racine. Le petit nombre de coupes réalisées et colorées ont été, en revanche, très réussies et souvent très bien exploitées. À la lecture de l'immense majorité des copies, il apparaît nécessaire de rappeler que le terme « mycorhize » désigne la structure mixte résultant de l'association entre les racines de certaines plantes terrestres et certaines lignées fongiques et non l'interaction dans sa globalité (appelée, quant à elle, symbiose mycorhizienne). Le jury déplore que la physiologie de cette association ne soit que très vaguement connue de la plupart des candidats, qui la décrivent bien trop succinctement comme : « *relation à bénéfices réciproques entre un champignon et un végétal* ».

Pour ce qui concerne l'interaction parasitaire, très peu de candidats ont reconnu qu'il s'agissait d'une feuille de vigne infestée par le mildiou et beaucoup ont vu une feuille d'érable ou de platane. Si l'agent parasitaire n'a que très rarement été correctement identifié, l'analyse de la partie « champignon » de l'échantillon a été, dans la majeure partie des cas, réussie. Le jury souligne la pertinence des initiatives prises par de nombreux candidats pour étudier l'organisme et son stade de développement et la qualité des préparations et de leurs exploitations, dans le cadre d'une démarche déductive bien menée. Si le parasitisme a été évoqué la majeure partie du temps, cette relation interspécifique, à travers la réalisation de schémas souvent de qualité médiocre, n'a pratiquement jamais été justifiée en termes de valeur sélective, la majorité des candidats se contentant de parler d'effets positifs ou négatifs sans en préciser la nature.

L'exercice d'identification taxonomique de diverses espèces ou traces issues du groupe des champignons a été très inégalement réussie, permettant au jury de féliciter les excellentes prestations de candidats dotés d'une bonne culture naturaliste et de déplorer le manque de curiosité d'autres candidats incapables de reconnaître des pourritures blanches ou cubiques sur bois ou des cultures de *Physarum polycephalum*.

Troisième partie.

La dernière partie, nécessitant un travail de synthèse des données acquises dans les parties précédentes, a été souvent traitée trop rapidement. La polyphylie du groupe des champignons, tel qu'il était proposé par le sujet, n'a pas pu être justifiée par beaucoup de candidats et le jury déplore que seul un très peu nombre de candidats ait été en mesure de réaliser un arbre phylogénétique – même très grossier – des Eucaryotes pour étayer leurs idées en remplaçant les lignées étudiées.

Le schéma bilan attendu pour rendre compte de la place des champignons dans le cycle de la matière a été réalisé par seulement un petit nombre de candidats et de façon trop rapide et incomplète, sans reprendre les exemples

précédemment étudiés dans les parties précédentes. Cette dernière question a, en revanche, été très bien traitée par un petit nombre de candidats, que le jury souhaite féliciter.

Conclusion.

Ce sujet, construit sur l'étude d'exemples classiques (*Agaricus sp*, *Sordaria sp.*, *Rhizopus sp.*, *Plasmopara viticola sur vigne*, mycorhizes sur marronnier) et la réalisation de manipulations élémentaires (ex : observations de lames au microscope, réalisation de coupes transversales ou de prélèvement de spores) ne présentait aucune grande difficulté et a permis de discriminer les candidats selon leurs compétences techniques, la capacité de valorisation de leur présentation, leur culture naturaliste et leur capacité de synthèse.

AGRÉGATION DE SCIENCES DE LA VIE – SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2023

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE OPTION DU SECTEUR B CANDIDATS DES
SECTEURS A ET C

Durée totale : 2 heures

Le groupe écologique des champignons

Ce TP est organisé en trois parties : les deux premières sont indépendantes entre elles, tandis que la dernière impose de réaliser un bilan de ce qui a été vu précédemment.

Partie 1 - Reproduction de plusieurs champignons ;

Partie 2 - Quelques aspects de l'écologie des champignons ;

Partie 3 - Bilan : places des champignons dans le monde vivant.

La réponse à la plupart des questions nécessite des manipulations : prévoyez votre organisation en conséquence. L'évaluation de plusieurs manipulations et de leur exploitation sera réalisée pendant l'épreuve par un examinateur avec lequel il ne vous sera pas possible de communiquer oralement. La mention « **soumettez votre travail à un examinateur** » vous invite ainsi à présenter sur votre paillasse vos croquis et autres analyses par écrit sur des feuilles blanches mises à votre disposition puis à appeler un examinateur.

Les réponses aux questions figureront dans les cadres ou espaces réservés à cet effet.

AVANT DE REMETTRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DE TOUS LES DOCUMENTS.

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier.

Partie 1 : Reproduction de plusieurs champignons

A- Reproduction de *Sordaria macrospora*

Une boîte de culture est mise à votre disposition, nommée **échantillon 1**.

A-1 Réalisez un croquis de l'**échantillon 1** mis à votre disposition. Légendez-le de la façon la plus complète possible afin de rendre compte du phénomène qu'il permet d'observer, que vous nommerez dans le cadre ci-après. **Soumettez votre travail à un examinateur.**

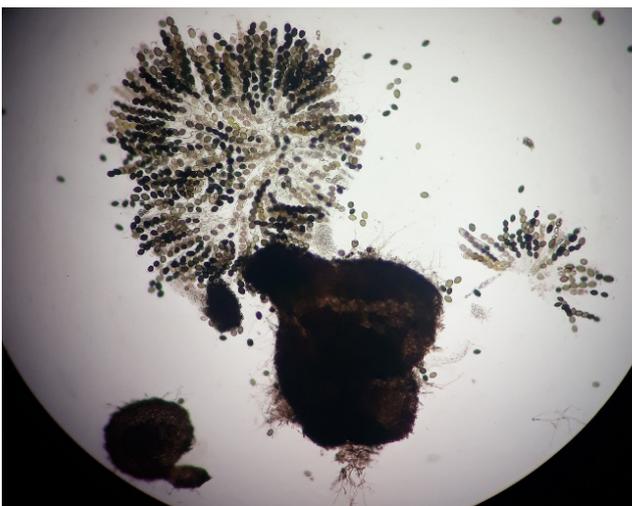
- L'échantillon 1 était une culture de deux souches compatibles de *Sordaria sp.*, l'une à spores claires, l'autres à spores foncées.
- Le phénomène observé est la caryogamie, dernière étape de la fécondation entre deux filaments compatibles (ici les souches l'une jaune, l'autre noire, sont autostériles), voire, plus simplement, la fécondation. Il s'agit d'un phénomène associé à la reproduction sexuée.
- *Légendes attendues* : spore, milieu nutritif, mycélium ou filaments mycéliens/hyphes, périthèce.



Ci-contre : Exemple de boîte de culture mise à disposition des candidats.

A-2 Prélevez une des structures situées sur la ligne médiane de la boîte de culture. Nommez cette structure dans le cadre ci-après. Réalisez-en une analyse la plus complète possible à l'aide de montages de votre choix que vous **soumettez à un examinateur.**

- Les structures situées sur la ligne médiane de la boîte de culture sont des périthèces.
- Les périthèces devaient être prélevés délicatement avec des pinces fines et observées sous une loupe binoculaire. Pour ce faire, ils sont déposés sur une lame dans une goutte d'eau puis écrasés délicatement (avec les pinces ou la lamelle) pour faire sortir les bouquets d'asques. Observation au microscope au grossissement x40
- *Légendes attendues/acceptées* : périthèce, asque, ascospore.



Ci-contre : Exemple de montage obtenu par un candidat.

A-3 Expliquez, dans le cadre ci-après, à l'aide des schémas de votre choix les plus précis possible, les mécanismes cellulaires mis en jeu pour former la diversité des structures observées.

- La diversité des structures observées correspond à la diversité des arrangements de spores dans les asques en fonction de leur couleur, qui rend compte de leur génotype vis-à-vis du gène déterminant la couleur des spores.
- Les mécanismes permettant de rendre compte de cette diversité d'asques sont les étapes de la méiose qui fait suite à la fécondation préalablement mise en évidence.
- On note : N : l'allèle responsable de la couleur noire des spores et J : l'allèle responsable de la couleur jaune (claire)
- Les candidats devaient, au moins, envisager une situation sans crossing-over (asques dits prétréduits) et une avec crossing-over (asques dits posttréduits).

The diagram shows two scenarios for Meiosis I. In the first, 'Sans crossing-over', two pairs of homologous chromosomes (one with alleles C and N, the other with C and J) separate normally, resulting in two types of 'Demi-asques homogènes' (2N/2J and 2N/2N) or 'Asques prétréduits'. In the second, '1 crossing-over', a crossover occurs between the C and J alleles on the second chromosome, resulting in four types of 'Demi-asques hétérogènes' (2N/2J, 2J/2N, 2J/2J, 2N/2N) or 'Asques posttréduits'. Centromeres are labeled 'C' and 'J14'.

A-4 Rappelez, dans le cadre ci-après, la position systématique de *Sordaria macrospora* en précisant quels caractères observés ici vous permettent de la justifier.

- Cellules dotées de noyaux : Eucaryotes
- Appareil végétatif filamenteux et reproduction sexuée impliquant des spores : Eumycètes
- Spores de reproduction sexuée produites au sein d'asques : Ascomycètes.

B- Reproduction d'un autre champignon.

Un **échantillon 2** est mis à votre disposition.

B-1 Réalisez une analyse morpho-anatomique la plus complète possible de l'**échantillon 2**, nommez les différentes structures identifiées, présentez et annotez votre travail sur votre paillasse et **soumettez-le à un examinateur.**

L'échantillon 2 était un basidiocarpe de champignon de Paris.

Ce basidiocarpe, ou carpophore de Basidiomycètes, présente une organisation « typique » en pied (ou stipe) et chapeau.

- Son étude morphologique permet de dégager les termes :
 Stipe/pied : s'amincissant à la base et permettant l'ancrage de la structure sur le substrat. Il porte un anneau fragile qui n'est pas toujours visible.
 Chapeau, dont la face supérieure est recouverte de mèches brunâtres en écailles et peut être déprimée en son centre. Sa face inférieure est organisée en lames concentriques de couleur rose à brun foncé, dont l'ensemble forme l'hyménium, partie fertile du carpophore.
- Son étude anatomique permet de compléter avec les termes : lamelle, baside et basidiospore.

Une coupe longitudinale du basidiocarpe permettait de visualiser l'ancrage des lames sur le stipe. Un prélèvement de lames et son observation, après montage entre lame et lamelle, au microscope optique permettait d'identifier les basides et basidiospores.

B-2 Précisez le type de reproduction mis en jeu et argumentez votre réponse dans le cadre ci-après.

- L'analyse précédente a permis de révéler la présence de basides et de basidiospores. Ces dernières étant des spores méiotiques, la reproduction mise en jeu est sexuée.

B-3 Dans le cadre ci-après, donnez la position systématique de l'**échantillon 2**, en précisant quels caractères observés ici vous permettent de la justifier.

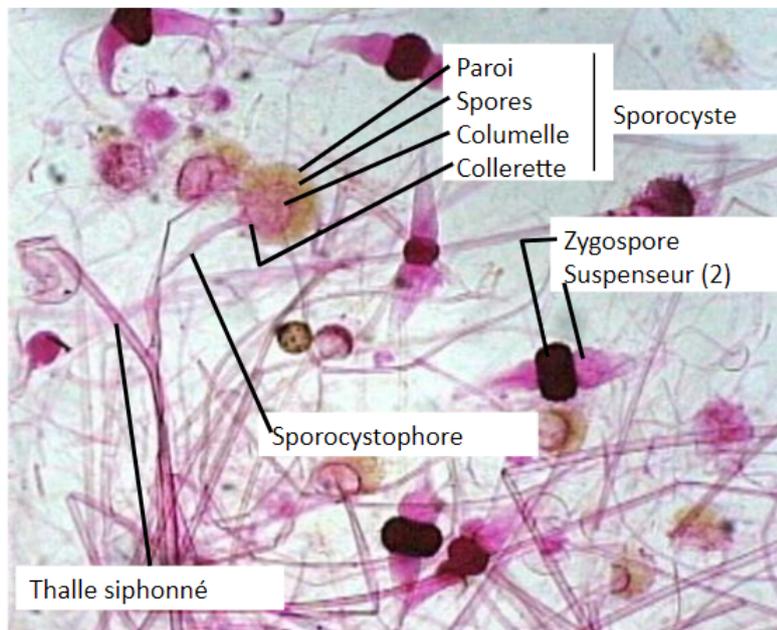
- Cellules dotées de noyaux : Eucaryotes
- Appareil végétatif filamenteux et reproduction sexuée impliquant des spores : Eumycètes
- Spores de reproduction sexuée produites au sein de basides : Basidiomycètes.

C- Reproduction d'un 3^e champignon

- Une lame est mise à votre disposition et constitue l'échantillon 3.

C-1 Réalisez, dans le cadre ci-après, un croquis d'observation de l'**échantillon 3** mis à votre disposition. Légendez-le de la façon la plus complète possible afin de rendre compte des phénomènes observés.

Organisez votre présentation de façon à rendre compte des étapes du cycle de vie de cet organisme et **soumettez votre travail à un examinateur.**



- Ci-contre : Photographie de l'échantillon 3 observé au microscope.
- Échelle : la zygospore fait 100µm de diamètre.

- L'échantillon 3 était une lame d'observation microscopique de *Rhizopus sp* présentant divers stades de développement. Était attendue l'identification de : L'appareil végétatif constitué d'hyphes coenocytiques (non cloisonnées) formant un thalle siphonné ;

- Des structures associées à la reproduction du champignon :

Reproduction asexuée : Sporocystophore ou pédicelle ;
 Sporocyste avec paroi intègre ou éclatée (les deux cas sont présents sur la dispositive), columelle et collerette ;
 Spores, dites endogènes car produites à l'intérieure du sporocyste.

Reproduction sexuée : **Zygosporé et suspenseurs** ;
 Stades précédant la formation de la zygosporé : bourgeons latéraux ; progamétocystes, gamétocystes + suspenseurs.

La reproduction sexuée des Mucorales fait intervenir une fusion de cellules de thalles compatibles avec rapprochement de bourgeons latéraux qui entrent en contact et fusionnent. La fusion des gamétocystes conduit à la formation d'un zygote volumineux dont la paroi est épaisse et résistante. Il est appelé zygosporé. Le cycle est haplophasique.

C-2 Dans le cadre ci-après, donnez la position systématique de l'**échantillon 3** en précisant quels caractères observés ici vous permettent de la justifier.

- La présence de zygosporés suffit à identifier le groupe des Zygomycètes

Partie 2 : Quelques aspects de l'écologie des champignons

A- Étude d'ectomycorhizes

- Un échantillon 4 est mis à votre disposition.

A-1 Réalisez une analyse morpho-anatomique la plus complète possible des ectomycorhizes prélevées à partir de l'**échantillon 4**. Rendez compte de vos observations à l'aide de croquis légendés et **soumettez votre travail à un examinateur.**

L'**échantillon 4** était un fragment d'appareil racinaire mycorhizé de marronnier.

La qualité des observations, des coupes et leur montage pour observation au microscope était largement valorisée.

Observation macroscopique :

Les ectomycorhizes sont faciles à observer à l'œil nu ou à la loupe au faible grossissement dans de l'eau. Elles se repèrent à la morphologie particulière des racines courtes qui se ramifient beaucoup à leur niveau et, surtout, à leur couleur (qui diffère selon l'espèce de champignon impliquée) et/ou à leur aspect cotonneux (dû aux manchons mycéliens).

La morphologie des ectomycorhizes est très variable d'une espèce de champignon à l'autre.

La présentation de quelques mycorhizes sous la loupe binoculaire avec leur localisation précise sur un morceau de racine était attendue.

Observation microscopique :

Sous loupe binoculaire, les candidats pouvaient :

Réaliser des coupes transversales, complètes ou non, afin d'observer le manteau d'hyphes fongiques autour de la racine (Le réseau de Hartig, c'est-à-dire les hyphes pénétrant entre les cellules corticales, n'était pas visible).

Écraser ou dilacérer une ectomycorhize afin permettre la visualisation des hyphes fongiques.

La coloration n'est pas nécessaire mais certains candidats ont utilisé, à bon escient, le bleu coton mis à disposition, parmi d'autres colorants et autres réactifs, sur les paillasse individuelles.

A-2 Définissez ce qu'est une ectomycorhize et expliquez en quelques mots son fonctionnement physiologique dans le cadre ci-après.

- Certains champignons (Ascomycètes et, surtout, Basidiomycètes) présents dans les sols sont impliqués dans des associations durables avec des racines de plantes. Ces associations symbiotiques, appelées symbioses mycorhiziennes, constituent une des relations mutualistes durables les plus répandues dans les écosystèmes terrestres. Elles se traduisent par la formation d'un organe mixte, appelé mycorhize (étymologiquement « racine-champignon » du grec mukês, champignon et rhiza, racine), issu de la colonisation des racines de la plante par des filaments mycéliens.
- Dans le cas d'une ectomycorhize, les hyphes mycéliens ne pénètrent pas profondément à l'intérieur de la zone corticale de la racine et un manchon mycélien est visible depuis l'extérieur de la racine : les racines infectées par les champignons ectomycorhiziens présentent des ramifications (les racines secondaires) courtes, épaisses, voire dodues, à aspect coralloïde. Observées à la loupe binoculaire, leur surface se révèle entourée d'un feutrage mycélien leur conférant un aspect cotonneux de couleur variée.
- Les mycorhizes sont le siège d'échanges trophiques entre les partenaires impliqués et permettent des services de protection. Le réseau d'hyphes du champignon explore un volume de sol bien plus important et des zones inaccessibles aux racines seules ; il possède des enzymes aptes à mobiliser des substrats : il participe à l'alimentation en eau, sels minéraux, azote et phosphore (le phosphore soluble est peu disponible dans le sol, les mycorhizes jouent un rôle essentiel dans la mise à disposition de cet élément pour la plante) de leurs partenaires et le manchon d'hyphes mycéliens joue un rôle dans la protection mécanique et chimique de son hôte. Le partenaire chlorophyllien fournit une partie des sucres issus de sa photosynthèse, des vitamines et des hormones à son partenaire fongique, hétérotrophe pour le carbone.

B- Étude d'un champignon à déterminer au sein d'une interaction.

- L'échantillon 5 mis à votre disposition rend compte d'une interaction entre un organisme de la lignée verte et un organisme du groupe écologique des champignons.

L'échantillon 4 était une feuille de vigne contaminée par *Plasmopara viticola*.

- B-1 Identifiez le partenaire de la lignée verte le plus précisément possible (noms vernaculaire et scientifique ainsi que position systématique). Répondez dans le cadre ci-après.

La vigne ou vigne cultivée (*Vitis vinifera*). Famille des Vitacées.

B-2 Réalisez, à l'aide du matériel mis à votre disposition, une analyse la plus complète possible de la partie « champignon » de l'échantillon 5, vous permettant d'identifier l'organisme présent et son stade de développement. **Soumettez votre travail à un examinateur.**

Un prélèvement de sporocystophores et de spores monté entre lame et lamelle et présenté au microscope était attendu. Ce prélèvement, réalisé sur la face inférieure des feuilles, pouvait être réalisé à l'aide de ruban adhésif ou à la faveur d'un grattage des zones contaminées à l'aiguille lancéolée.

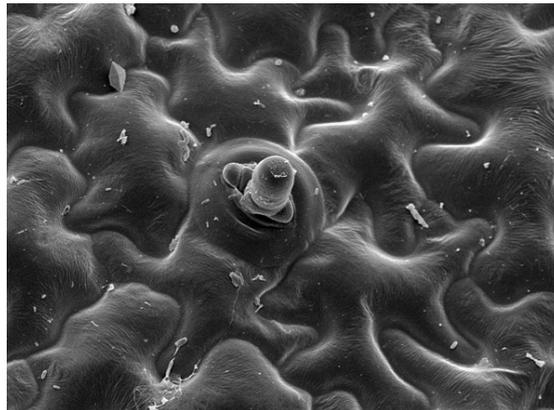


Ci-dessus : À gauche : Vue de détail de la face inférieure d'une feuille de vigne contaminée permettant d'observer la sporulation de *Plasmopara viticola*. Barre d'échelle : 1 cm.

À droite : Exemple d'observation au microscope d'un prélèvement permettant de visualiser un sporocystophore de *Plasmopara viticola* et quelques spores. Barre d'échelle : 10 µm.

B-3

Légendez les deux photographies ci-après. Donnez-leur un titre le plus complet possible.



Titre : Observation au microscope électronique à balayage d'un épiderme de face inférieure de feuille de vigne montrant un sporocystophore de *Plasmopara viticola* en formation et émergeant des tissus foliaires à partir de l'ostiole d'un stomate.



Titre : Observation au microscope électronique à balayage d'un ensemble de sporocystophores de *Plasmopara viticola* développés sur la face inférieure d'une feuille de vigne.

B-4 Réalisez, dans le cadre ci-après, un schéma permettant de rendre compte de la nature des interactions entre les partenaires étudiés.

Cette question, sans grande difficulté, n'a été traitée que par un nombre limité de candidats.

C- Étude d'échantillons.

•	<ul style="list-style-type: none"> • Identification : nom et position systématique de l'organisme ou de l'organisme à l'origine de la trace présentée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Type trophique de l'organisme, source de matière carbonée et régime alimentaire le cas échéant. Liens avec le groupe écologique des champignons.
• 1	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Piptoporus betulinus</i> ou polypore du Bouleau (Fomitopsidaceae, Basidiomycètes) 	<ul style="list-style-type: none"> • Champignon parasite de faiblesse, inféodé au genre <i>Betula</i> (Betulaceae, Angiospermes).
• 2	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Flavoparmelia caperata</i> – • La partie « champignon » est un Ascomycète (Eumycète). Le partenaire photosynthétique est une algue verte (famille des Trébouxiacées) 	<ul style="list-style-type: none"> • Association symbiotique entre un ascomycète et une algue verte. Le champignon, hétérotrophe pour le carbone, fournit à son partenaire photosynthétique de l'eau, des sels minéraux et des gaz. Réciproquement, l'algue fournit au champignon une partie des sucres produits par photosynthèse. Au sein de l'association, le champignon synthétise des acides lichéniques aux propriétés diverses.
• 3	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Neottia nidus-avis</i> ou néottie nid d'oiseau (Orchidées, Angiospermes), avec détail des mycorhizes racinaires. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cette orchidée, non photosynthétique, récupère de son partenaire mycorhizien de l'eau, des sels minéraux, ainsi que des substances carbonées que celui-ci a prélevé sur un de ses partenaires photosynthétiques. L'orchidée est ainsi nourrie par le champignon mycorhizien et ce mode de nutrition est appelé mycohétérotrophie.
• 4	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Euphorbia cyparissias</i> ou euphorbe petit cyprès (Euphorbiacées, Angiospermes) 	<ul style="list-style-type: none"> • Deux clichés étaient proposés : un pied sain et un pied parasité par la rouille du pois (<i>Uromyces pisi</i>, Basidiomycète).
• 5	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Physarum polycephalum</i> ou blob (Physaraceae, Amoebozoaires) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hétérotrophe pour le carbone, cette espèce se nourrit, par phagotrophie, de champignon et autres micro-organismes.
• 6	<ul style="list-style-type: none"> • Pourriture blanche • Trace 	<ul style="list-style-type: none"> • L'expression « pourriture blanche » désigne le résultat de l'action de champignons dégradant sélectivement la lignine et les hémicelluloses du bois, au profit du maintien de la cellulose. Le résidu de cette dégradation est ainsi plus léger et plus clair que le bois dont il est issu, et caractérisé par une structure fibreuse, dans le sens de l'allongement, voire spongieuse quand le processus est très avancé. Les agents biologiques qui en sont responsables s'attaquent au bois sur pied, alors que l'arbre est encore vivant, mais également au bois mort et les plus répandus font partie, entre autres, les genres <i>Trametes</i>, <i>Daedaleopsis</i> ou <i>Fomes</i> et de la famille des Xylariaceae.
• 7	<ul style="list-style-type: none"> • Pourriture cubique ou pourriture brune • Trace 	<ul style="list-style-type: none"> • Les expressions « pourriture brune » et « pourriture cubique » désignent le résultat de l'action de champignons dégradant sélectivement la cellulose et les hémicelluloses, au profit du maintien de la lignine. Ce processus désorganise les parois des cellules du bois et, à un stade avancé de dégradation, le bois, devenu brun foncé (disparition des composés de couleur claire), perd une grande partie de sa résistance et se débite en « cubes » à la faveur de fentes formées dans les tissus. La pourriture brune peut se former sur les arbres vivants comme sur le bois mort. Les espèces de champignons qui en sont à l'origine comptent divers polypores (ex : amadouvier des pins (<i>Fomitopsis pinicola</i>)).
• 8	<ul style="list-style-type: none"> • Criquet (Caelifera)– infecté par <i>Beauveria bassiana</i> (Ascomycètes) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Beauveria bassiana</i> est une espèce de champignon ascomycète parasite, responsable d'une maladie affectant certains insectes, dont les criquets. Lorsque ses spores entrent en contact avec le corps de l'hôte, elles germent et pénètrent l'intérieur du corps à la faveur des stigmates de l'appareil respiratoire, tuant ensuite l'insecte dont il se nourrit. Un feutrage blanc très caractéristique se développe sur le cadavre de l'animal, libérant de nouvelles spores.

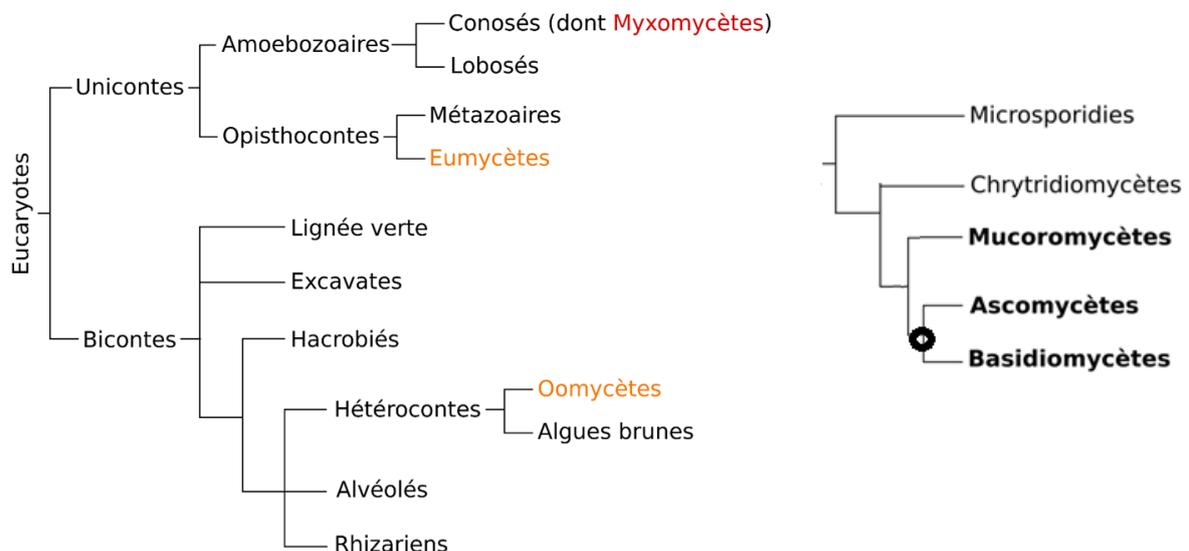
Partie 3 : Bilan : places des champignons dans le monde vivant.

A- A partir de l'étude de l'ensemble des échantillons proposés et de vos connaissances, expliquez en quoi le groupe des champignons ne constitue pas un groupe valide d'un point de vue phylogénétique. Justifiez qu'un tel groupe ait pu être constitué au cours de l'histoire de la taxonomie traditionnelle. Répondez dans le cadre ci-après.

Dans ce sujet de TP, l'acception du terme « champignon » incluait un ensemble de lignées traditionnellement étudiées par les mycologues et regroupées car leurs membres sont :

- Dotés d'un appareil végétatif « simple » unicellulaire (ex : levure) ou organisés en filaments septés ou siphonnés, dont l'ensemble forme le *mycélium*.
- Hétérotrophes pour le carbone et dotés d'une paroi (chitineuse ou cellulosique) qui contraint leur prise alimentaire. Leur nutrition se réalise par exodigestion et *absorbotrophie* : des enzymes digestives émises à l'extérieur de l'organisme dégradent les composés organiques en éléments qui sont ensuite absorbés par les cellules.

Cette définition historique des champignons conduit à regrouper des lignées disséminées dans l'arbre phylogénétique des Eucaryotes établi actuellement (désignées en orange dans la figure ci-après). Notons que le sujet incluait aussi l'espèce *Physarum polycephalum* qui ne remplit pas tous les critères précédemment évoqués (pas de mycélium ni de paroi cellulaire et nutrition par *phagocytose*) et positionné ci-après en rouge.



Ci-dessus : Le groupe historique des champignons à l'épreuve de la phylogénie : à gauche : Arbre phylogénétique simplifié des Eucaryotes avec localisation des lignées constituant le groupe historique des champignons ; à droite : détail des lignées du groupe monophylétique des Fungi ou Eumycètes.

Source : Simplifié d'après Lecointre et Le Guyader (2016).

L'arbre phylogénétique proposé permet de visualiser que les lignées du groupe des champignons préalablement construit ne partagent pas d'ancêtre commun exclusif : ensemble, elles ne forment pas un clade mais bien un groupe polyphylétique. Le sujet proposait d'en illustrer la diversité à travers quelques exemples.

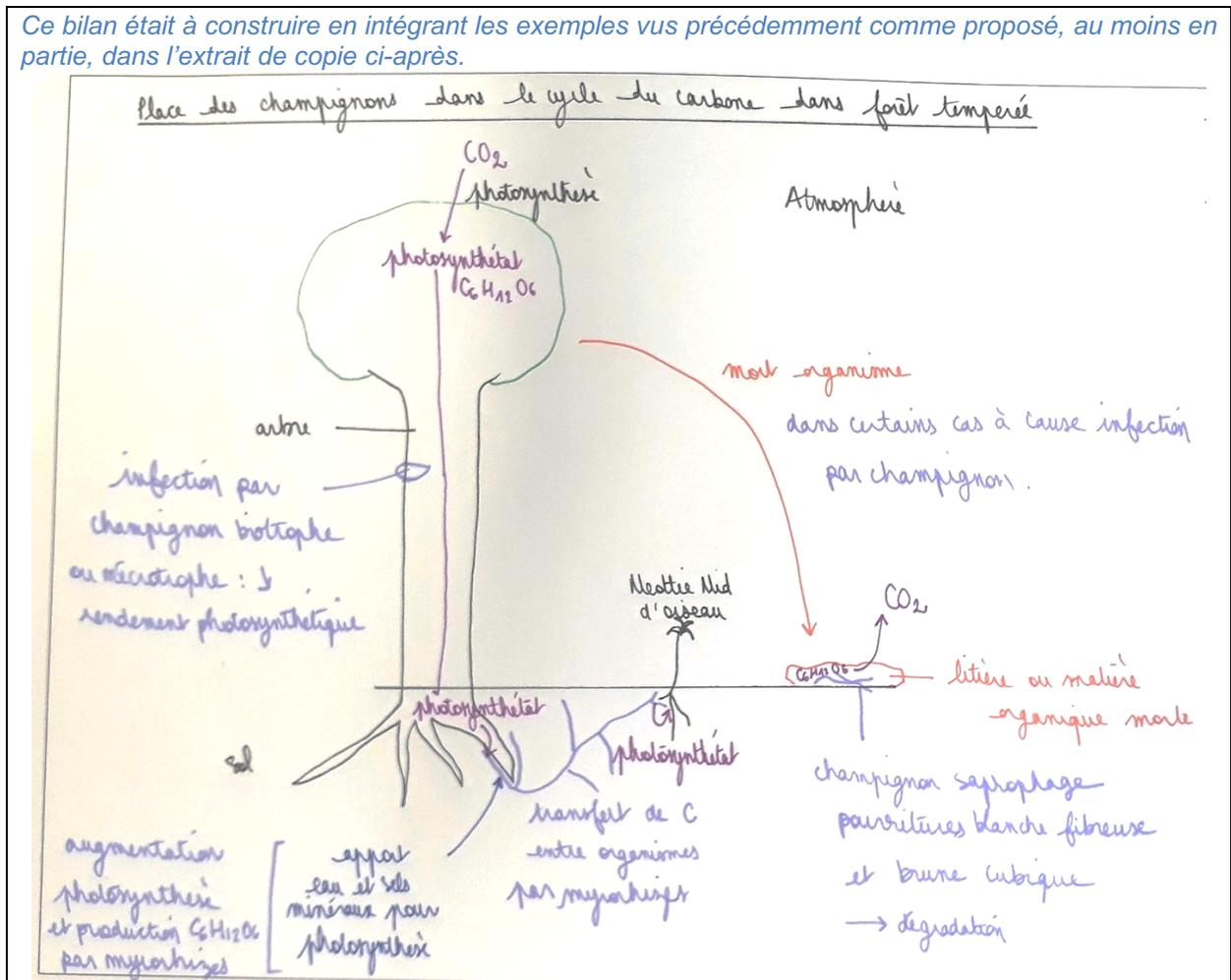
L'étude de *Plasmopora viticola* permettait d'évoquer le groupe des **Oomycètes**, au sein des Bicontes, Hétérocontes (ou Straménopiles). Leurs hyphes sont siphonnés et leurs parois de nature *cellulosique*.

Les exemples de *Sordaria*, d'*Agaricus* et de *Rhizopus* permettaient d'explorer le groupe des Eumycètes au sein des Unicontes, Opisthochontes. Les Eumycètes, aussi appelés champignons vrais ou Fungi, forment un groupe monophylétique ou clade. La présence de cloisons régulières (filaments septés) est un caractère dérivé propre aux Septomycètes (clade indiqué par un cercle noir en gras sur l'arbre phylogénétique simplifié des Eumycètes). Les parois cellulaires des Eumycètes sont de nature *chitineuse*.

Ce groupe inclut des organismes d'une grande diversité de formes et de modes de vie. Leurs représentants les plus connus du grand public et les plus importants en termes de rôle écologique sont les Gloméromycètes (inclus dans le groupe des Mucoromycètes), les Ascomycètes et les Basidiomycètes.

- .1 2- À partir de vos observations et de vos connaissances, proposez, dans le cadre ci-après, un schéma bilan permettant de rendre compte de la place des champignons dans le cycle de la matière de l'écosystème de votre choix.

Ce bilan était à construire en intégrant les exemples vus précédemment comme proposé, au moins en partie, dans l'extrait de copie ci-après.



5.6 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur C : Sujet et commentaires

Le jury a noté une grande variabilité dans les réponses aux différents exercices et activités proposés et en particulier des faiblesses notables sur des exercices relevant des fondamentaux des Sciences de la Terre (cartographie et reconnaissances). Beaucoup de candidats montrent aussi d'importantes difficultés à mener une réflexion argumentée à partir d'observations et de documents, et se raccrochent souvent à des concepts approximatifs tirés de cours ou d'ouvrages, sans lien concret avec les données et documents proposés.

Concernant la réalisation de la coupe géologique (première partie) si les candidats ont dans l'ensemble correctement identifié les structures plissées ils ont très rarement reconnu les discordances (ex : de l'Oligocène sur le Crétacé) permettant d'encadrer l'âge des phases tectoniques. Par ailleurs, la caractérisation du jeu des failles (ici inverses) est rarement réalisée.

Pour la reconstitution des événements géologiques de la région étudiée, il était attendu l'application de certains principes de chronologie relative simples pour en dégager les grandes étapes (ex : phase pyrénéenne anté-Oligocène). Cette approche a été peu mise en œuvre. Une analyse plus fine des discordances montrait une déformation progressive à l'Oligo-Miocène (molasses syn-tectoniques) conséquence de l'avancée de la nappe de Digne (phase alpine). Cet aspect n'a pas été abordé par les candidats.

Pour l'interprétation de la prise de vue (nappe de Digne), il fallait faire le lien entre la succession des âges et l'identification d'un contact chevauchant (Trias-Lias chevauchant l'Oligocène) ce qui a été réussi dans la majorité des cas. Concernant la localisation, l'indication « Nord-Sud » de la photographie permettait d'orienter au mieux le point de vue, peu de candidats y sont arrivés.

Trop souvent, et en particulier dans la dernière partie, il apparaît que les questions ne sont pas lues attentivement par les candidats et que les réponses proposées ne sont pas en lien direct avec la question. Par exemple, le cheminement choisi dans l'organisation des questions de la dernière partie visait à, tout d'abord, synthétiser des observations sur le transport sédimentaire actuel et passé de la Durance, pour ensuite proposer des interprétations permettant d'expliquer ces observations. Dans beaucoup de rendus, cette séquence n'a pas été respectée et trop d'interprétations ont été proposées sans que les observations clés permettant de les soutenir aient d'abord été clairement énoncées.

Ce manque de systématique dans la démarche s'est aussi retrouvé dans l'analyse des échantillons macroscopiques proposés, ainsi que la lame mince. Concernant cette dernière, il a été très étonnant que beaucoup de candidats ont fait une description correcte de celle-ci, en termes de texture et minéraux présents, mais n'ont pas poussé jusqu'à la proposition d'un nom de roche.

Seul un nombre très limité de copies ont proposé une reconstitution pertinente de l'histoire du secteur d'Oraison. La séquence d'événements sédimentaires et géomorphologique conduisant à la configuration observée actuellement n'a été comprise que très rarement. En particulier, le lien avec les événements Messiniens et le creusement du canyon n'a quasiment pas été fait. Par exemple, beaucoup de candidats ont essayé de raccrocher les évolutions

observées le long du forage à des modèles de systèmes sédimentaires de type prismes de marge passive, et ensuite de reconstruire une histoire dans le cadre de ce type de contexte.

Pour la partie II, si la plupart des candidats connaissent le mode d'obtention d'un profil sismique, peu ont reconnu les diapirs de sels (qui ont souvent été interprétés comme des « plis ». Cela empêchait, pour nombre d'entre eux, une mise en lien complète du contexte géodynamique avec les événements déduits en domaine continental (creusement de canyons) et marin (isolement de la Méditerranée, évaporation partielle et précipitation massive de sel).

Agrégation de sciences de la vie - sciences de la Terre et de l'univers

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2023

TRAVAUX PRATIQUES de contre option du secteur C

Candidats des secteurs A et B

Durée totale : 2 heures

Géologie du secteur durancien

Les différentes parties sont indépendantes.

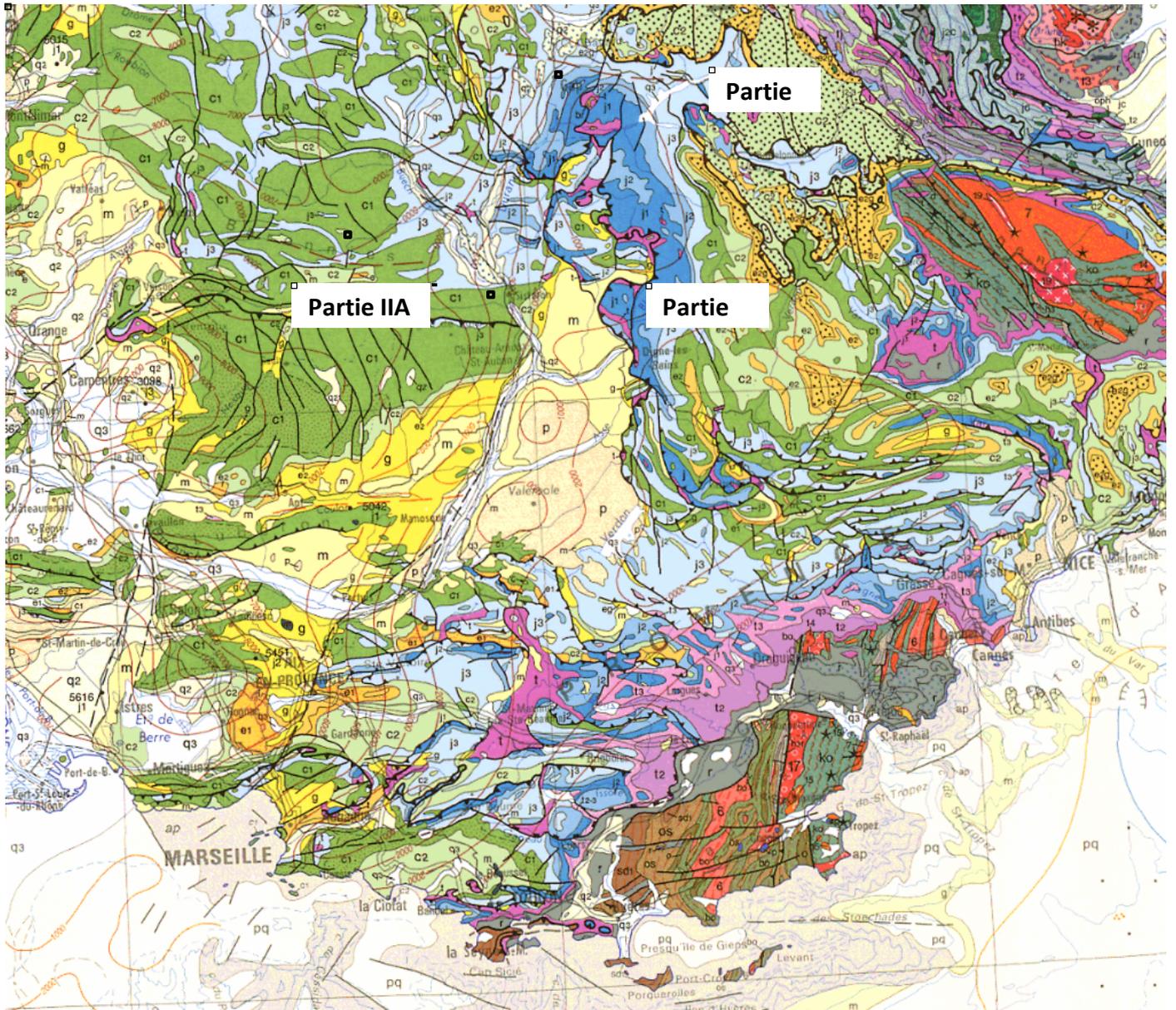
Partie I : Histoire tectonique de la région de Gap	page 3
<i>Durée conseillée : 40 minutes – barème : 6 points</i>	
<i>Documents sur les planches IA et IB</i>	
Partie II : Marqueurs d'un événement majeur de la fin du Miocène	page 5
<i>Durée conseillée : 40 minutes – barème : 8 points</i>	
<i>Documents sur les planches IIA et IIB</i>	
Partie III : Comparaison des dynamiques mio-pliocène et actuelle de la Durance	page 10
<i>Durée conseillée : 40 minutes – barème : 6 points</i>	
Passage aux postes d'observation 1 et 2 (2x10 min)	
<i>Documents sur les planches IIIA et IIIB</i>	

Les réponses aux questions figureront dans les cadres réservés à cet effet.

AVANT DE REMETTRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DE TOUS LES DOCUMENTS.

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier, qui contient 13 pages numérotées de 1 à 13, ainsi que les 6 planches IA à IIIB.

GEOLOGIE DU SECTEUR DURANCIEN

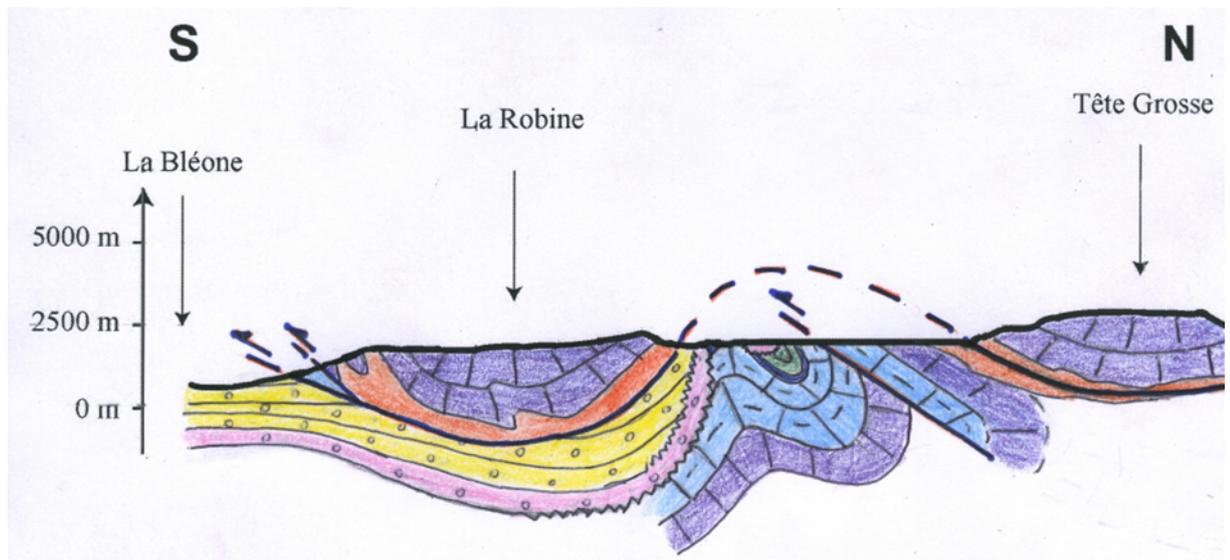
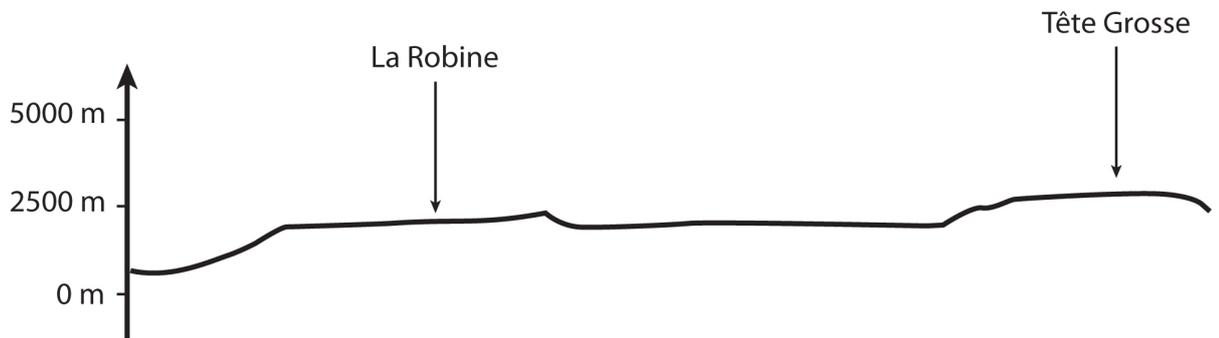
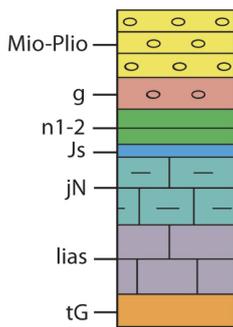
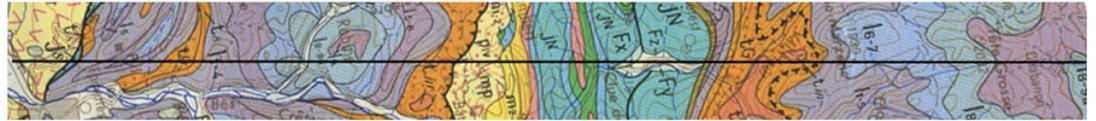


Partie I : Histoire tectonique de la région de Gap

Cette partie s'appuie sur les documents présentés sur les *planches I-A* (extrait de la carte géologique de Gap au 1/250 000) et *I-B* (légende de la carte et photographie d'un panorama du secteur).

Réalisation d'une coupe géologique

Question I-1 A partir de l'extrait de carte de Gap (1/250 000), du profil topographique et de la colonne lithostratigraphique simplifiée (échelle identique à celle de la coupe) fournis, réalisez une coupe géologique selon le trait de coupe indiqué.



Analyse d'une coupe géologique

Question I-2 A partir de la coupe réalisée, reconstituez les principales étapes de l'histoire géologique de la région. Vous rattacherez ces événements régionaux aux grandes phases tectoniques et orogéniques connues en France.

-du **Trias au Crétacé** : sédimentation (lagunaire/marine)
-Eocène : plissement / érosion / **phase pyrénéenne**
-Oligocène : sédimentation (continentale) en discordance sur les terrains plissés
-Oligo-Miocène : mise en place de la nappe de Digne (couche « savon » gypseuse) et de la faille inverse (post-plis) avec discordances progressives dans l'Oligo-Miocène / **phase alpine**

Interprétation d'un panorama

Question I-3 Positionnez, sur l'extrait de carte de Gap (*planche I-A*) par un symbole « < », la localisation possible de la prise de vue de la photographie de la *planche I-B*. Vous préciserez, en annotant directement la photographie (*planche I-B*), la structure tectonique reconnaissable dans ce panorama.

Partie II : Marqueurs d'un événement majeur de la fin du Miocène

Cette partie s'appuie sur les documents présentés sur les *planches II-A* et *II-B*.

Observations géologiques dans le secteur d'Oraison

Différents types de données (de terrain, forage, géophysique) sont présentés sur la *planche II-A*. Elles permettent de retracer plusieurs étapes de l'histoire érosive et sédimentaire du secteur d'Oraison (Alpes de Haute Provence), commune située en rive gauche de la Durance.

Légende de la *planche II-A* : (a) Photographie aérienne (IGN) du secteur d'Oraison. (b) Surface topographique ombrée (IGN) localisant le profil de résistivité électrique (rouge) et le forage (vert). Même emprise que la photo aérienne. (c) Profil de résistivité électrique et panorama Nord-Sud. Noter que la falaise (panorama) et le profil de résistivité ne sont pas sur le même plan et sont séparés par une surface horizontale correspondant aux terrasses quaternaires de la Durance. La position du forage est aussi projetée sur le profil de résistivité. (d) Relevé du forage effectué à proximité d'Oraison (âge des formations et lithologie). Source des données : thèse S. Molliex.

Question II-1 Dans quel grand ensemble géologique se situe le site étudié, et quel est son contexte géologique général de mise en place ?

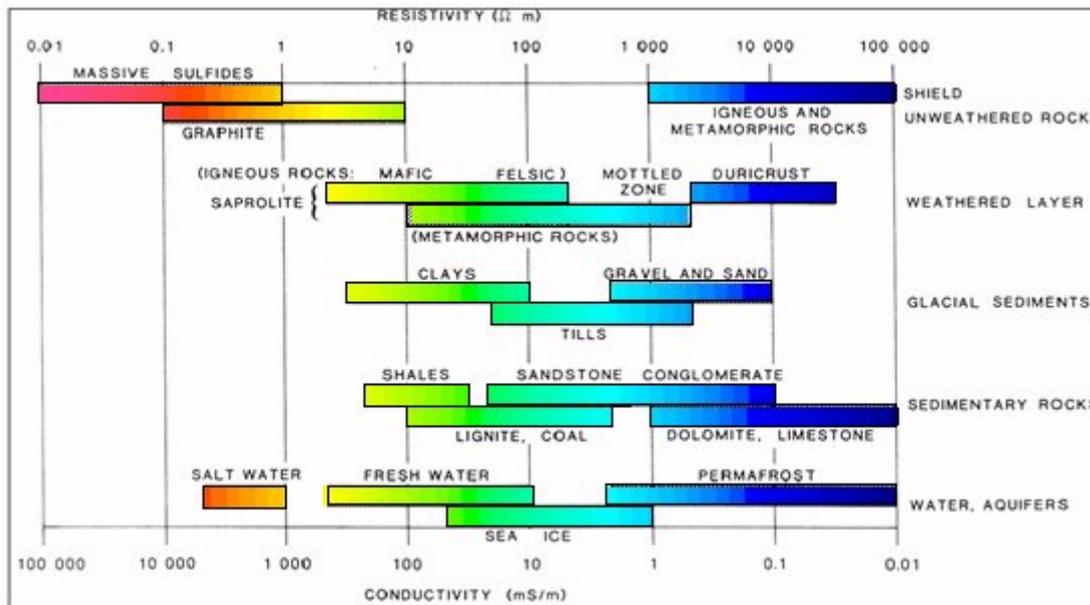
Le secteur étudié est situé dans le bassin de Valensole, qui est un domaine de sédimentation molassique au front sud des Alpes, ayant fonctionné au Miocène et Pliocène. On y rencontre une sédimentation principalement détritico-conglomératique, des produits d'érosion des reliefs alpins situés plus au nord. La morphologie de plateau observée actuellement correspond à l'abandon d'une surface sommitale pendant le Quaternaire et à l'incision des rivières (Durance et ses affluents) au sein des dépôts mio-pliocène.

Un profil de résistivité électrique est présenté sur la *planche II-A* (*document c*). La tomographie de résistivité électrique est une technique de géophysique de sub-surface permettant d'imager et de mesurer les variations de résistivité électrique des roches et des sols. La résistivité électrique (mesurée en ohm.mètre) indique la résistance du milieu (sol, roche, ...) à la circulation d'un courant électrique. Les données sont obtenues en appliquant et mesurant les courants au niveau d'électrodes espacées

régulièrement le long d'un profil. La distribution en coupe 2D de la résistivité électrique est obtenue après un traitement informatique (inversion) des données.

Question II-2 Expliquez les liens entre lithologie et résistivité électrique des roches.

La résistivité électrique est en grande partie contrôlée par la teneur en fluide des roches, la porosité jouant donc un rôle très important. Les argiles présentent une résistivité souvent plus faible que les autres roches sédimentaires du fait de l'eau pouvant être accueillie entre les feuillets.



Gammes de résistivité des principaux types de roches (Palacky 1987)

Question II-3 Interprétez les observations faites le long du forage (*document d, planche II-A*) en termes d'évolution des conditions de dépôt.

Les faciès observés le long du forage montrent d'importantes variations des conditions de sédimentation et d'énergie du milieu. Le conglomérat Valensole 1 et les argiles jaunes indiquent une sédimentation continentale au Miocène, associée aux premières phases de remplissage du Bassin de molassique de Valensole, les variations de granulométrie étant probablement liées à des changements de dynamique locale et déplacement des systèmes de cônes alluviaux et chenaux. Après la mise en place d'une couche basale de graviers calcaires, le Pliocène voit un changement drastique des conditions de dépôt qui devient marin, ce qui correspond à la remontée globale à la fin de l'événement messinien et à la mise en eau des canyons qui se remplissent d'argile. La séquence Pliocène se termine avec un retour à une sédimentation continentale de type molassique, avec la mise en place de la formation Valensole 2 qui vient terminer le comblement des canyons. Au Quaternaire, les rivières ré-incident ces dépôts pour former la topographie actuelle et des grandes nappes alluviales d'origine fluviale ou fluvioglaciale se mettent en place.

Question II-4 Réalisez une série de schémas présentant les événements géologiques ayant affecté le secteur d'Oraison depuis le Miocène jusqu'à l'actuel, et permettant notamment d'expliquer la configuration actuelle des terrains (Valensole-1, Argiles grises et Valensole-2) observée sur la *planche II-A*.

Exemple de séquence d'événements associés à la formation puis au remplissage d'un canyon messinien (thèse Molliex). Dans le cas du site d'Oraison, l'incision se fait dans la formation du Valensole 1. Une dernière étape, non figurées dans les blocs diagrammes ci-dessous et la phase d'incision Quaternaire de la Durance et de ses affluents dans les dépôts mio-pliocène et les dépôts alluviaux récents.

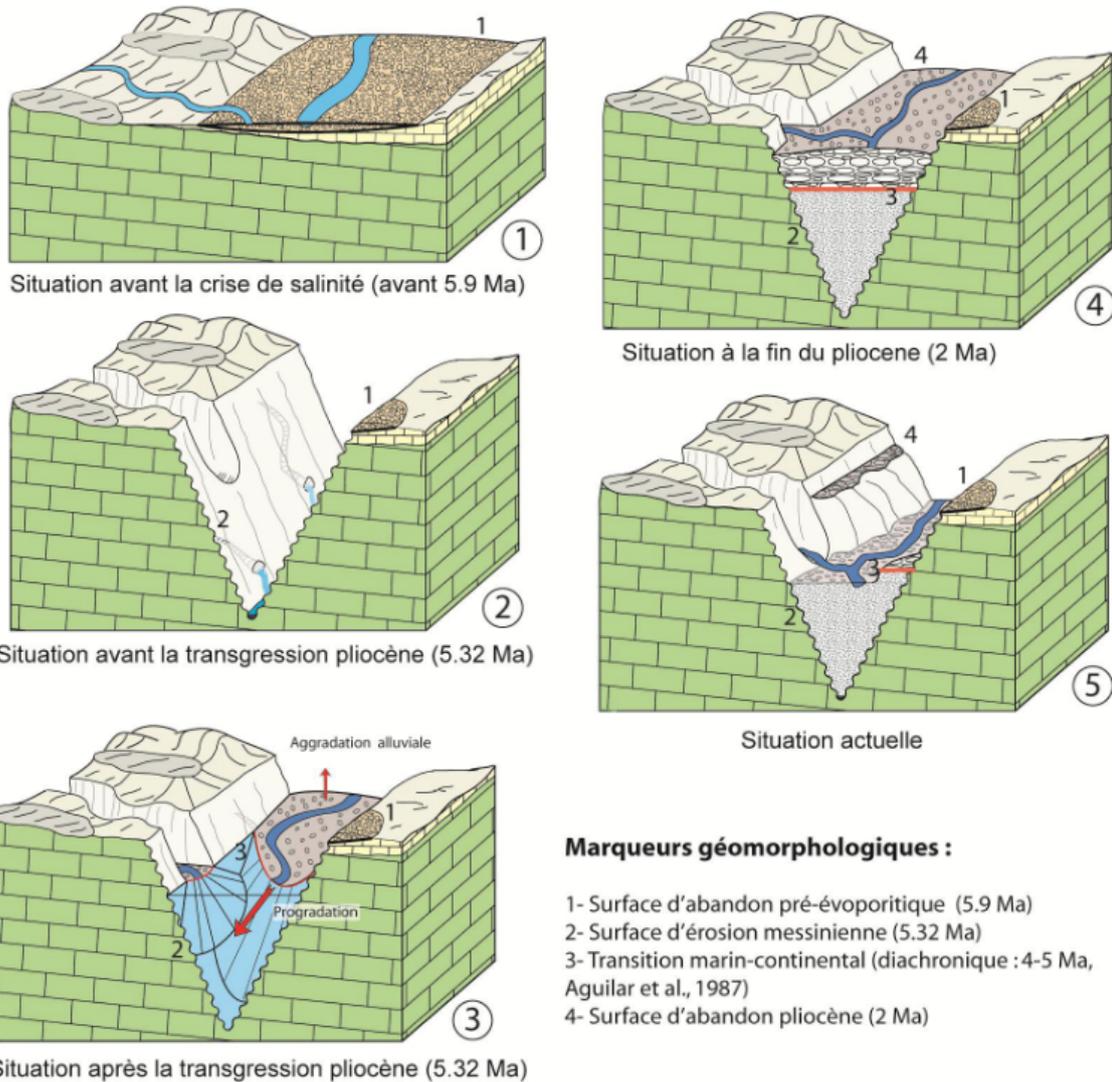


Figure 58: Bloc-diagramme schématisant l'évolution d'un canyon messinien et la mise en place des marqueurs géomorphologiques qui en résultent, du messinien à l'actuel (modifié d'après Mocochain et al., 2006)

Analyse régionale de l'événement messinien

La *planche II-B* présente des documents permettant d'aborder la dimension régionale des événements étudiés ci-dessus.

Légende de la *planche II-B* : (a) extrait de la carte géologique de la France au 10⁶ (voir la *planche III-B* pour la légende). (b) profil sismique (sismique réflexion) réalisé en Méditerranée (source : Morelli, 1975). (c) Évolution géodynamique du domaine méditerranéen (sources : Jolivet, Suc et al., modifié). (d) carte d'extension des creusements messiniens.

Question II-5 Quelles informations apporte le *document d* de la *planche II-B* en complément des informations obtenues à partir de la *planche II-A* ?

Le phénomène décrit en question II-3 (creusement d'un canyon à la fin du Miocène) est visiblement généralisé à toute la partie Sud de la France, de la vallée du Rhône à celle de la Durance. Ce creusement messinien a une extension d'échelle régionale

Question II-6 Présentez le mode d'obtention d'un profil sismique.

La sismique réflexion est une méthode de prospection géophysique qui permet de visualiser les structures géologiques en profondeur grâce à l'analyse des échos d'ondes sismiques. Les ondes sismiques étudiées sont artificielles (camion vibreur ou explosif à terre, canon à air en mer) Les ondes sismiques suivent les mêmes lois de propagation que les ondes lumineuses. La sismique par réflexion étudie la réflexion d'ondes sismiques aux interfaces entre plusieurs couches géologiques. Les ondes émises se propagent suivant les lois de réflexion et réfraction de Snell-Descartes et sont en partie réfléchies à chaque changement de vitesse de propagation (couche géologique de densité différente en fonction de sa lithologie ou du fluide qu'elle contient). Une couche sédimentaire correspond alors à un réflecteur sismique. Les ondes réfléchies sont reçues par des capteurs (hydrophones en mer). L'échelle verticale d'un profil sismique est en secondes temps double (temps d'aller-retour d'une onde).

Question II-7 Identifiez et légendez les structures reconnaissables en les surlignant directement sur le profil sismique (*document b, planche II-B*). Vous expliquerez le processus mis en jeu dans la formation de ces structures. Vous pourrez également vous appuyer sur la carte géologique au 1/10⁶ (*document a, planche II-B*).

Les formes en « dômes » correspondent à des diapirs de sels (« Salt » indiqué sur la figure). Il s'agit de remontées « intrusives » de halite (évaaporite) moins dense que les roches environnantes. Ce contraste de densité s'explique par une compaction moindre, lors de l'enfouissement, des dépôts évaporitiques par rapport à d'autres sédiments (argile, sable). La présence de ces diapirs témoigne d'une épaisse couche de sel en Méditerranée, déposée au Messinien. Ces mêmes « dômes de sel » sont indiqués sur la carte géologique de la France au 1/10⁶.

Question II-8 Tracez sur la carte géologique au 1/10⁶ l'extension de ces structures (*document a, planche II-B*)

Question II-9 À partir du cadre géodynamique présenté sur le *document c* de la *planche II-B*, reliez les événements décrits en domaines continental et marin.

Le document c permet la mise en lien des différents phénomènes décrits en comprenant le cadre géodynamique :

- dans un contexte de remontée vers le Nord de l'Afrique de l'Oligocène au Miocène le Déroit de Gibraltar subit un **soulèvement tectonique induisant une déconnexion de la Méditerranée avec l'océan atlantique**. Cela a pour conséquence une interruption de l'alimentation en eau du bassin méditerranéen.
- Le bassin, alors isolé, subit une **intense évaporation** qui a deux conséquences au Messinien : (1) la **précipitation d'évaaporites** (niveau salifère induisant le diapirisme observé en question II-7) et (2) une diminution du niveau marin induisant un **surcreusement des vallées** (canyons) dans toute la partie Sud de la France (notamment à Oraison)

Partie III : Comparaison des dynamiques mio-pliocène et actuelle de la Durance

Les documents utilisés dans cette partie sont regroupés sur les *planches III-A* et *III-B*.

Légende de la planche III-A : (a) Carte géologique (1/10⁶) du bassin versant de la Durance. Le rectangle rouge localise la carte b. (b) Carte de situation du secteur étudié (cours inférieur de la Durance). Les symboles correspondent aux différents sites de mesure. (c) Photographie du site d'échantillonnage des galets prélevés dans la charge actuelle de la Durance. (d) Évolution de la proportion d'éléments non-carbonatés dans différents sites de comptage de galets, le long de la Durance ou au sein de formations mio-pliocène du bassin de Valensole (localisation des sites sur la carte b). Sources thèses Mercier et Chapuis.

Légende de la planche III-B : carte géologique (1/10⁶) du bassin versant de la Durance.

Des comptages lithologiques ont été réalisés sur des bancs de galets actifs le long de la Durance ou sur les formations conglomératiques du bassin de Valensole d'âge mio-pliocène. Pour chaque site d'étude la proportion de galets non-carbonatés a été déterminée (incluant les roches endogènes et les galets dérivés de veines de quartz).

Question III-1 -poste 1 (10 min)- Quatre galets ont été prélevés au site représenté par la *photo c* de la *planche III-A* (point kilométrique 240 le long de la Durance). Des échantillons ont été préparés à partir de ces galets en les sciant en tranches. Pour chaque échantillon :

(1) proposez une détermination argumentée dans les cadres ci-dessous. Observez les échantillons sur leurs différentes faces (poli lié au transport fluvial, face sciée et cassure fraîche) et n'hésitez à mouiller l'échantillon pour une meilleure visualisation.

(2) proposez une provenance possible, en termes de formation géologique, au sein du bassin versant de la Durance en complétant les cadres prévus sur la *planche III-B*, et en les reliant à une position possible sur la carte géologique.

Échantillon A

Méta-gabbro

Origine possible : Partie amont du bassin versant de la Durance drainant la zone Liguro-Piémontaise

Échantillon B

Calcaire sombre, présence matière organique et laminations

Origine possible : n'importe où dans la couverture sédimentaire carbonatée Jurassique et Crétacé

Échantillon C

Grès, présence de quartz et feldspath, ainsi que quelques éléments ou matrice carbonatés

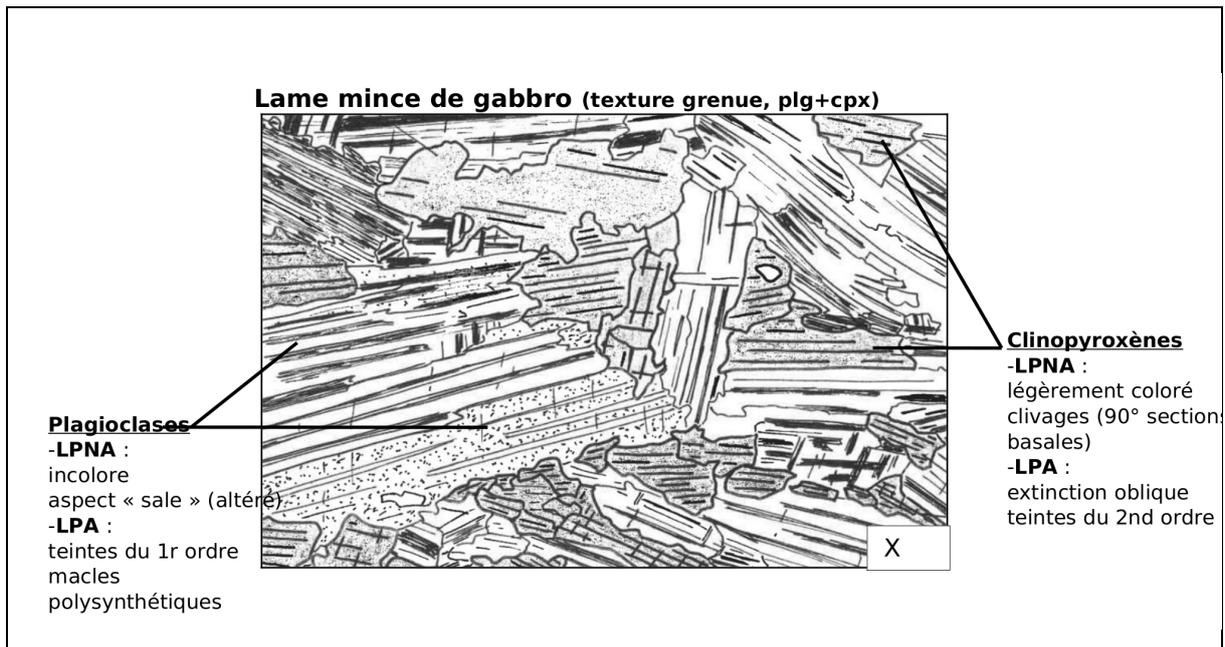
Origine possible : Flysch Crétacé et Éocène

Échantillon D

Granite

Origine possible : massif cristallins externe (Écrins, Pelvoux)

Question III-2 -poste 2 (10 min)- Une lame mince de la roche correspondant au protolithe de l'échantillon A est proposée. Réalisez un schéma d'interprétation dans le cadre ci-dessous.



Question III-3 Sur la base de la *figure d* et de la *carte b* (*planche III-A*), décrivez l'évolution de la teneur en éléments non-carbonatés observée lors de comptages sur des bancs de galets actuels le long de la Durance et de ses affluents (Asse et Bléone). Comment les différences entre rivières (Durance, Asse et Bléone) peuvent être expliquées par la géologie de leurs bassins versants ?

- Les teneurs en éléments non carbonatés sont entre 10 et 20% lors de la traversée du bassin de Valensole jusqu'au PK200. On observe ensuite une augmentation progressive jusqu'à 40% dans la partie aval, avant la confluence avec le Rhône.
- Les teneurs en éléments non-carbonatés sont systématiquement inférieures (<10%) pour les tributaires de la Durance.
- Cette différence peut être expliquée par la nature principalement sédimentaire (carbonates et formations détritiques) de ces deux bassins versants, alors que la Durance draine des massifs de roches endogènes (Massifs Cristallins Externes : Pelvoux) et ophiolites des zones internes.

Question III-4 Commentez l'évolution observée le long de la Durance sur l'ensemble de la section étudiée. Quels peuvent être les phénomènes impliqués ?

- Une augmentation importante de la teneur en éléments non-carbonatés est observée sur le cour aval de la Durance.
- On peut noter que les zones drainées spécifiquement par cette partie aval (PK200-300) sont principalement constituées de la couverture sédimentaire carbonatée Mésozoïque et détritique Cénozoïque. Cette variation n'est donc probablement pas due aux apports locaux sur ce segment du cours de la Durance.
- Il est probable que cette évolution résulte d'une modification de la charge de fond de la rivière lors du transport, avec un enrichissement progressif en éléments non-carbonatés (en provenance des parties très amonts du bassin versant de la Durance). Plusieurs processus peuvent intervenir, comme la dissolution des galets carbonatés ou grès à matrice carbonatée. Une autre possibilité est l'attrition plus importante lors du transport des lithologies moins résistantes et donc l'augmentation en proportion des roches endogènes plus résistantes à l'abrasion ou la fracturation.

Question III-5 Décrivez les valeurs obtenues pour les formations mio-pliocènes du bassin de Valensole, et comparez avec les observations le long du cours actuel de la Durance (*documents b et d, planche III-A*). Sur la base de l'ensemble des informations fournies sur la *planche III-A* et des échantillons fournis, proposez des hypothèses pour expliquer les variations entre les apports sédimentaires actuels et mio-pliocènes.

- Les différentes mesures faites sur les sites de formations conglomératiques du bassin de Valensole montrent des teneurs en éléments non-carbonatés <10%, qui sont comparables à celles faites sur la Bléone et l'Asse et nettement inférieures à ce qui est observé actuellement le long de la Durance.
- Une possibilité peut être un apport dominant en provenance de secteurs différents correspondant aux anciens bassins de l'Asse et de la Bléone, mais on note que les directions de transport S-SW observées à ces sites sont globalement similaires à l'axe de la Durance actuelle.
- Une autre possibilité peut être un changement de la géométrie du bassin versant de la Durance, avec une capture post-Pliocène des zones amonts actuelles où sont présentes les roches endogènes.
- À géométrie du bassin constante, on peut aussi envisager l'existence d'une couverture sédimentaire plus étendue, qui aurait été érodée, notamment dans les parties amont pour mettre à l'affleurement les roches endogènes (en particulier Massif Cristallins Externes). Les glaciations quaternaires peuvent avoir joué un rôle dans l'érosion des zones amont à haute altitude.

6. Les Épreuves Orales

Les épreuves orales sont au nombre de deux : une épreuve de spécialité (option) et une épreuve de connaissances générales (contre-option).

L'épreuve de spécialité (option) porte sur le secteur choisi par le candidat lors de son inscription au concours (secteur A, B ou C). Elle doit permettre de faire la preuve que le candidat possède des connaissances approfondies dans ce secteur (i.e. du niveau d'un Master 1).

Chaque titre de leçon de spécialité est accompagné d'un nombre limité de documents (classiquement 4 ou 5) qui correspondent à des documents fournis sur clé USB (diagramme, schéma, photo, carte, vidéo...) ou à des échantillons ou des protocoles concrets. Le jeu de documents est conçu de façon à ce que leur analyse/exploitation par le candidat ne dépasse pas 45 minutes et qu'il soit complémentaire des éléments à disposition dans la bibliothèque des ouvrages, documents et matériels. La totalité des documents et matériels imposés doit être intégrée à la leçon (leur ordre de présentation est laissé à l'appréciation du candidat).

L'épreuve de contre-option porte sur les domaines autres que la spécialité du candidat. Ainsi un candidat d'option A ou B aura une leçon de contre-option en Sciences de la Terre et de l'Univers, suivie d'une interrogation en Sciences de la Vie (respectivement en b ou a), alors qu'un candidat d'option C aura une contre-option en Sciences de la Vie (secteur a ou b) suivi d'une interrogation dans l'autre secteur des Sciences de la Vie (b ou a). Elle doit permettre d'évaluer les connaissances générales du candidat dans les domaines relevant des Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Univers (i.e. de niveau Licence 3). Il n'y a pas de document ni matériel imposé par le jury : le candidat doit construire son exposé avec les ouvrages, spécimens et matériels proposés dans la bibliothèque du concours.

6.1 Déroulement des épreuves

6.1.1 Conditions de préparation

Après avoir pris connaissance du sujet, accompagné des documents imposés par le jury pour les leçons d'option, le candidat dispose de 4 heures pour préparer sa leçon. Après un premier temps de réflexion de 15 minutes, l'accès à la bibliothèque est autorisé. Le candidat remplit une fiche lui permettant d'obtenir les ouvrages, documents et matériels dont il estime avoir besoin. Le jury rappelle qu'il est impératif que le candidat indique correctement sur la fiche prévue à cet effet les ouvrages et le matériel demandé. Aucun matériel d'expérimentation n'est fourni durant les 30 dernières minutes de la préparation, et aucun document ou support n'est fourni durant les 15 dernières minutes de la préparation. Il est rappelé que tous les documents et matériels demandés aux préparateurs doivent être exploités par le candidat lors de sa présentation (le jury vérifie l'adéquation de la présentation à la fiche de demande de matériel lors de l'interrogation).

Durant son temps de préparation, le candidat doit construire sa leçon, réaliser le diaporama, et le cas échéant les montages expérimentaux, qui lui semblent nécessaires à sa démonstration, et analyser-interpréter l'ensemble des documents qui lui ont été fournis pour la leçon d'option.

Le support numérique à l'agrégation de SV-STU

Les candidats ont à leur disposition un ordinateur équipé avec les logiciels de la suite **Libre Office** et une clé USB leur permettant de sauvegarder leur préparation (un enregistrement automatique est programmé sur l'ordinateur mis à disposition).

Les documents demandés par le candidat sont fournis par le personnel technique et le candidat les scanne lui-même à l'aide d'un scanner à main présent dans la salle de préparation (mode d'emploi fourni et facile d'usage).

Les documents imposés par le jury pour la leçon d'option sont fournis en version papier et sur la clé USB en format pdf. L'ordre des documents fournis dans le fichier pdf peut être modifié, un même document peut apparaître plusieurs fois au cours de l'exposé.

L'ensemble des documents numériques doivent être vidéoprojetés au cours de la leçon : des maladroites ont parfois été constatées dans leur présentation, notamment la suppression des légendes des figures. Ces imprécisions ont été évaluées dans la rubrique « communication » de la grille du barème.

Quelques principes de base :

Les divers documents utilisés doivent être intégrés à un diaporama, constitué par le candidat.

L'inclusion des images dans le diaporama permet d'isoler celles-ci et de les exploiter avec les outils bureautiques de base (surlignage, encadrement statique ou dynamique, décomposition d'une image en plusieurs secteurs, délimitation d'une enveloppe, d'une courbe moyenne, mise en valeur de données chiffrées, etc...).

Rappelons quelques conseils de base :

- une diapositive = une idée. Éviter de projeter en même temps plusieurs documents,
- une diapositive doit être vue : veiller à ce que l'image projetée soit lisible.

Quid du plan de la leçon ? S'il doit continuer à être clairement explicité et rédigé, **l'habitude du « plan rédigé au tableau pendant la leçon » peut être abandonnée si le plan en question est déroulé à l'aide du diaporama**. Le candidat gagne ainsi un temps certain, et évite de consacrer de précieuses minutes à l'écriture au tableau de lignes de texte. Le tableau peut ainsi être réservé à la confection d'un schéma bilan par exemple.

Au cours de la préparation, le diaporama confectionné doit être régulièrement enregistré sur la clé fournie, pour éviter tout problème lors de la leçon.

L'utilisation du numérique dans les épreuves orales d'agrégation doit permettre à ces leçons de démontrer la capacité des candidats à utiliser les outils pédagogiques et didactiques du XXI^{ème} siècle. Elle doit permettre aux candidats de faire la preuve de la qualité scientifique et pédagogique de leur leçon.

6.1.2 Présentation et entretiens de la leçon d'option

À l'issue des 4 heures de préparation, le candidat dispose de 50 minutes pour présenter sa leçon d'option devant une commission composée de membres du jury de spécialité.

A la fin de son exposé, le candidat est interrogé en deux temps. Dans un premier temps, un entretien d'une durée de 10 minutes est conduit par le concepteur du sujet et porte sur la thématique de la leçon. Lors de cet entretien, le concepteur du sujet peut revenir sur des aspects traités durant l'exposé, sur la façon qu'a eu le candidat de le présenter au jury, la pédagogie mise en place, sur l'exploitation des documents fournis, sur des documents et du matériel présentés durant la leçon, ou encore interroger le candidat sur des aspects non traités du sujet mais liés à la thématique de la leçon. L'objectif de ce questionnement est de s'assurer que le candidat a bien compris les différents volets du sujet proposé et qu'il maîtrise les notions et les connaissances liées à ce sujet.

Dans un second temps, deux entretiens, chacun d'une durée de 7 minutes 30, sont menés par deux autres membres du jury. Ces entretiens portent sur des thématiques relevant du domaine de spécialité du candidat et visent à évaluer les aptitudes et connaissances du candidat sur ce secteur. Ils peuvent

ou non débiter par l'étude d'un document ou d'un échantillon proposé par le jury comme document d'appel pour entamer la discussion.

6.1.3 Présentation et entretiens de la leçon de contre-option

A l'issue des 4 heures de préparation, le candidat expose pendant 40 minutes devant une commission de quatre membres du jury, deux dans chacune des deux contre-options.

A la fin de l'exposé, l'interrogation a lieu en trois temps :

- un premier échange de 7 minutes, conduit par le concepteur du sujet, porte sur le contenu de la leçon.
- une deuxième interrogation de 9 minutes, menée par un autre membre de la commission, mobilise des connaissances dans le même domaine scientifique. Le questionnement s'écarte du thème de la leçon et explore les connaissances dans des champs du même secteur scientifique.
- enfin, le dernier questionnement de 9 minutes est conduit par un troisième interrogateur et explore les connaissances de la deuxième contre-option.

Lors de la première interrogation, le jury revient sur certains aspects de l'exposé ; cela peut concerner le déroulement d'une expérience, l'explicitation d'un cliché, l'exploitation d'un échantillon présenté, sur un aspect du sujet qui n'a pas été abordé par le candidat ou bien sur certaines erreurs pour déterminer s'il s'agissait d'un lapsus ou non. L'objectif de ce questionnement est de s'assurer que le candidat a acquis une bonne compréhension globale des différents aspects du sujet proposé et de revenir sur la démarche pédagogique mis en œuvre.

La deuxième interrogation s'écarte de l'exposé et explore d'autres domaines du secteur. S'agissant d'une contre-option, le jury ne cherche pas à tester des connaissances de détail mais il veut s'assurer d'une bonne vision intégrée des connaissances du secteur exploré. La troisième interrogation porte sur la deuxième contre-option. Il y a donc changement de secteur.

L'interrogateur peut prendre appui sur un document (échantillon, photographie, résultat d'expérience) pour amorcer le questionnement. Au cours de la discussion qui s'engage, le membre du jury qui interroge explore différents domaines de la contre-option.

L'oral de contre-option est donc une épreuve qui nécessite une concentration permanente, une bonne réactivité et de solides connaissances générales.

6.2 Constats et conseils pour les épreuves orales

Les épreuves orales sont des épreuves pour laquelle le jury se montre exigeant, et attend des candidats une réelle démarche et une rigueur scientifique dans leur démonstration.

Par exemple, lorsque le document présenté est une expérience, il est essentiel de l'analyser attentivement, de le décrire, d'indiquer la question posée et la (ou les) hypothèse(s) testée(s), puis d'interpréter le document afin de conclure si l'hypothèse est confirmée ou infirmée par les résultats. Partir d'un modèle théorique issu d'un ouvrage et essayer de faire coïncider les données expérimentales avec ce dernier est contre-productif et s'apparente non pas à une démonstration mais à une illustration. En revanche l'analyse d'un document peut permettre d'initier la construction d'un modèle, qui peut alors être complété en indiquant clairement ce que le document montre et ce qui n'a pas été démontré et qui est ensuite présenté pour gagner du temps dans l'exposé.

Les éléments détaillés ci-dessous s'appliquent tout d'abord aux leçons d'option mais sont transposables, pour la plupart aux leçons de contre-option, dont la démarche générale est identique.

6.2.1 La leçon d'option : une épreuve de haut niveau scientifique visant à répondre à une problématique

Cette épreuve porte sur les différentes rubriques du programme relevant du domaine de spécialité du candidat. Les champs disciplinaires concernés sont ceux qui doivent permettre aux candidats de démontrer leur maîtrise de la démarche scientifique et leurs aptitudes pédagogiques à présenter clairement des notions de haut niveau. Beaucoup de candidats cherchent en 50 minutes à tout dire sur un sujet en survolant les points abordés.

Le jury rappelle qu'une contextualisation servant d'appui à la construction de la problématique est nécessaire en introduction. Cependant, elle est trop souvent déconnectée, artificielle et sans lien avec le reste du sujet ou le plan énoncé par le candidat. Il est fondamental que le candidat dégage une problématique claire dans son introduction qui servira de fil directeur à sa démonstration, et ce, à partir d'une analyse rigoureuse des termes de son sujet sans pour autant se contenter d'un catalogue définitoire. La leçon peut ne pas aborder tous les aspects du sujet si la limitation de celui-ci est clairement exposée et justifiée. Ensuite, elle doit se tenir à cette problématique, ce qui signifie apporter des réponses à des questions et non pas asséner des vérités à la chaîne, de façon dogmatique. Les documents présentés et les connaissances apportées doivent être au service de la réponse à cette problématique. La présentation doit se terminer par une synthèse des éléments présentés et une ouverture visant à replacer le sujet dans un contexte plus général, tout en évitant une ouverture faussement naïve du sujet. Ainsi, la stratégie d'apprendre par cœur des plans préconçus est totalement contre-productive pour se préparer à cet exercice qui demande, plutôt que la capacité à restituer une organisation préétablie, une capacité à réorganiser ses idées le moment venu, autour de la problématique proposée.

6.2.2 Le recul nécessaire pour traiter des thèmes plus ou moins classiques

Le titre de la leçon, que ce soit celle d'option ou de contre-option, renvoie le plus souvent à des thèmes classiques connus de la majorité des candidats mais il peut aussi faire référence à des thèmes *a priori* plus délicats à cerner ou à des synthèses transversales, et pour lesquels les candidats estiment leurs connaissances initiales plus limitées. Paradoxalement, les candidats ont souvent moins de difficultés à traiter des leçons jugées *a priori* ardues que des leçons jugées plus classiques : leurs connaissances initiales ne pouvant servir de refuge, ils sont alors forcés de rentrer dans une réelle démarche de raisonnement. Ce constat oblige à répéter qu'il est indispensable de prendre du recul pour construire sa leçon ; elle doit constituer un exposé personnel du candidat mettant en avant ses qualités scientifiques et pédagogiques. Les membres du jury insistent sur le fait que la leçon, que ce soit celle d'option ou de contre-option, est un exercice scientifique avec toutes les exigences de raisonnement et de justification que cela impose. Il est regrettable de voir des leçons où les connaissances sont présentes mais simplement restituées et énoncées dans une juxtaposition sans raisonnement ou de façon très dogmatique. Un point important mérite d'être souligné à propos des sujets de leçon comportant un « et » dans l'intitulé : un certain nombre de candidats traitent chacun des items séparés par le « et » de façon indépendante, alors que l'enjeu est évidemment d'analyser les interrelations entre les deux composantes du sujet.

6.2.3 L'exploitation des documents imposés dans la leçon d'option

Une analyse rigoureuse des documents fournis par le jury doit aider le candidat à dégager, au moins partiellement, la problématique de sa leçon. Le jury tient cependant à rappeler que (i) les documents ne sont en aucun cas supposés refléter l'intégralité des notions à aborder par le candidat durant sa leçon et que (ii) l'ordre de numérotation des documents ne présage en aucun cas de l'ordre attendu de présentation des documents au cours de la leçon. Les documents doivent être intégrés à la démarche scientifique de la leçon. Ils sont souvent l'occasion d'apporter des données expérimentales permettant d'argumenter les notions théoriques traitées par le candidat. Trop de documents sont simplement présentés de façon forcée dans une partie, sans plus-value pour la question générale posée dans l'exposé. Les documents fournis doivent, bien sûr, **être exploités intégralement au cours de l'exposé**, et les notions dégagées doivent être intégrées dans la démarche démonstrative de la leçon. Il est regrettable que certains candidats omettent de présenter (volontairement ou faute de temps) certains documents, ce qui naturellement les pénalise. Quand le document contient plusieurs parties, le regroupement doit inviter le candidat à mettre en relation ces documents afin de dégager des conclusions ou proposer des modèles cohérents avec les données et qui permettent de répondre, en partie, à la problématique liée au sujet. Lorsque cela s'y prête, une réalisation du candidat pour exploiter le document (par exemple un schéma explicatif de l'expérimentation ou un schéma résumant les principaux résultats) est très appréciée.

Rappelons quelques principes de base pour ce qui concerne l'utilisation de documents :

- préciser la nature du document et justifier de son intérêt dans le cadre de la problématique exprimée, qu'il ne faut pas hésiter à rappeler régulièrement au cours de l'exposé (observation, des données analytiques, résultats théoriques, modèle etc.).
- s'il s'agit d'une photographie, il est pertinent d'identifier la méthode d'obtention, les colorations éventuelles ou encore l'échelle d'observation.
- s'il s'agit d'un graphique (nuage de points, courbe, histogramme...) il est pertinent d'identifier le type de données présentées, le type d'échelle figurant en ordonnées et en abscisses ou encore la méthode d'obtention des données.

Le candidat est encouragé à présenter les données chiffrées que contiennent les documents de la façon qu'il juge la plus appropriée comme par exemple en calculant une moyenne, un pourcentage d'augmentation, ou en mettant en valeur différents domaines etc.

A de nombreuses reprises, des candidats présentent des corrélations et en déduisent des relations de causalité ou ne prennent pas en compte les analyses statistiques associées, ce qui n'est pas admissible à ce niveau de formation. Cela commence parfois dès la lecture des graphiques où des candidats confondent le paramètre modifié expérimentalement et le paramètre mesuré, ce qui revient à inverser cause et conséquence. Ces erreurs dans la lecture des graphiques entraînent des contresens qui mettent les candidats en difficulté et qui questionnent le jury sur les capacités d'analyse des candidats concernés.

L'exploitation quantitative doit être effectuée quel que soit le type de graphique ou diagramme (histogramme, boîte à moustache), et le candidat ne doit pas hésiter à demander une calculatrice pendant le temps de préparation si l'ordinateur à sa disposition ne lui semble pas suffisant.

Il est rappelé à l'attention des futurs candidats que certains documents fournis par le jury peuvent être rédigés en langue anglaise, compte tenu de leur nature scientifique (Arrêté du 13 mai 2015 modifiant certaines modalités d'organisation des concours de recrutement de personnels enseignants des premiers et seconds degrés relevant du ministre chargé de l'éducation nationale) mais que les termes spécifiques sont traduits afin qu'ils ne constituent pas un obstacle à la compréhension des documents.

6.2.4 Le choix et l'exploitation du matériel au service de la leçon (option et contre-option)

Pour la leçon d'option, comme déjà souligné, les documents proposés par le jury ne couvrent pas tous les aspects du sujet. Ils sont destinés à orienter le candidat dans la construction de sa leçon. Le concepteur du sujet peut également choisir de ne pas aborder, par les documents qu'il propose, certains aspects importants du sujet afin de laisser au candidat l'initiative de certains documents et matériels. Même si tous les documents imposés doivent être intégrés à la leçon et analysés, l'exposé ne peut donc pas être construit exclusivement autour des thèmes que les documents permettent d'aborder. Il revient donc au candidat de compléter l'illustration de sa leçon par des expérimentations, matériel concret ou documents (y compris de courtes séquences vidéo) complémentaires. L'exploitation du matériel complémentaire doit faire l'objet de la même rigueur que celle du matériel imposé, et elle est très clairement prise en compte dans l'évaluation de la leçon.

En contre-option, le candidat doit faire lui-même le choix du matériel illustrant sa leçon.

Dès que cela est possible, le jury rappelle que l'observation directe d'un échantillon plutôt que sa présentation sous forme d'image doit être privilégiée. Prendre l'initiative de demander, de présenter et de manipuler du matériel est une occasion que trop peu de candidats saisissent pour montrer leur créativité, leur habileté à manipuler, leurs connaissances naturalistes et leur goût pour le concret et

l'observation de terrain. Le jury déplore que de nombreux candidats préfèrent des schémas théoriques (souvent approximatifs) à du matériel (coupes, dissections, échantillons, montages...).

Le jury rappelle à cette occasion que **l'observation et l'analyse du réel sont fondamentales en Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Univers**. Toutefois, **le matériel sorti doit être utilisé de façon pertinente** et doit apporter une plus-value pour la leçon. Une stratégie, erronée, visant à demander de nombreux documents et/ou matériels afin de répondre à cette évaluation mais sans les utiliser à bon escient est préjudiciable. A ce titre, la demande quasi systématique d'images ou de spécimens illustrant les documents imposés **est superflue et constitue une perte de temps** pour le candidat mais également pour l'équipe technique. Le jury rappelle, une fois encore, que la présentation de matériel concret nécessite la réalisation de schéma(s) interprétatif(s).

Le jury a aussi assisté à des leçons présentant de trop nombreux supports choisis par le candidat (parfois plus de dix échantillons sortis, simplement pour illustrer un organisme), ne pouvant déceimment pas être exploités dans le temps imparti. Le jury rappelle que **tout objet sorti doit être analysé et mis au service d'une notion ou d'un concept**. De même une présentation de plusieurs dizaines de diapositives contenant uniquement des figures théoriques dessert le plus souvent le candidat.

6.2.5 Une démarche scientifique incontournable

Au cours de la leçon, la démarche scientifique doit s'appuyer sur une analyse rigoureuse des objets proposés par le jury ou apportés par le candidat. Cette démarche doit commencer par une mise en contexte, par exemple la question scientifique et l'hypothèse testée de l'expérience, puis une description des objets, spécimens ou faits expérimentaux, en lien avec la question posée. Une interprétation raisonnée permet alors soit de conclure un paragraphe et donc de répondre à une question, soit donner lieu à une nouvelle question, et sert alors de transition avec la suite de l'exposé. L'exploitation des documents est encore trop rarement accompagnée d'un véritable travail traduisant sa réelle appropriation par le candidat. Trop souvent, le document est seulement décrit ou n'est utilisé que comme prétexte pour exposer des généralisations et des modèles théoriques recopiés dans des ouvrages, et donc écrits dans un autre contexte que celui de la leçon. Trop souvent aussi, la théorie est présentée en premier, les documents n'étant ensuite utilisés que comme une simple illustration *a posteriori* sans que se construise une vraie démarche scientifique fondée sur la confrontation entre les faits et les idées.

Par ailleurs, le jury invite les candidats à réfléchir au statut des modèles et de la modélisation dans leur raisonnement. Un modèle est une construction intellectuelle qui essaie de rendre compte d'une réalité complexe. Il convient donc de s'interroger sur sa place dans la démonstration, sur sa valeur prédictive ou explicative et sur son dimensionnement. Il est important de ne pas confondre les faits avec les modèles. Ces derniers peuvent apparaître sous forme d'un bilan de la leçon ou bien ils peuvent servir à poser des questions critiques lors de la démonstration.

Enfin, le jury rappelle que le finalisme ne constitue en aucun cas une argumentation satisfaisante. Il est important que les candidats bannissent de leur champ lexical les formulations du type "L'objectif du processus est de ..." "Pour que ...".

6.2.6 Un véritable travail de synthèse et de choix

Le jury est tout à fait conscient que 40 ou 50 minutes est un temps d'exposé limité. Le candidat sera généralement amené à faire un important travail de synthèse : il devra alors clairement justifier, dans son introduction, les différents aspects du sujet qu'il souhaite traiter et, inversement, les différents aspects du sujet qu'il souhaite délaissier. C'est la **rigueur de la démarche qui justifiera la validité de ses choix**, et il est impératif que le candidat présente au jury **les raisons de ce choix**. Si le jury entre en salle avec une idée claire de ce qui doit figurer dans la leçon, il n'arrive pas avec un plan préconçu et est prêt à entendre les propositions que pourra lui faire le candidat et à les accepter pour peu que ces choix assumés soient justifiés au cours de la présentation ou lors de l'entretien.

En fin d'exposé, la conclusion doit mettre en valeur les idées-clés dégagées au cours de la démonstration et déboucher sur une ouverture liée avec la thématique abordée durant la leçon. Elle

peut s'appuyer sur un schéma bilan récapitulatif à la condition que celui-ci se justifie et soit réellement construit à partir des éléments de la leçon. Ce schéma bilan n'est en aucun cas une obligation.

6.2.7 Une communication d'une qualité suffisante

L'épreuve de leçon est aussi l'occasion d'évaluer par les membres du jury les qualités de communication des candidats et la pédagogie mise en place. Le jury note de nets progrès dans la présentation avec une bonne aptitude pour beaucoup de candidats à s'exprimer. Cependant, certains candidats restent encore trop proches de leurs notes durant leur exposé. Le vocabulaire scientifique doit être employé et explicité de manière appropriée. Le jury insiste sur le fait qu'il s'agit d'une leçon dont le niveau scientifique attendu est celui d'une personne diplômée de l'université à un niveau master, ce qui implique une maîtrise et un usage adéquat du vocabulaire et des concepts scientifiques. De même, il convient d'éviter une posture dogmatique en tant que futur enseignant. Enfin, le jury apprécie que le candidat utilise le matériel et support mis à sa disposition (vidéoprojecteur, tableau, feuilles de papier) afin de réaliser une présentation projetée et des schémas et/ou dessins de qualité. Ces derniers, lorsqu'ils sont approximatifs, illisibles ou ne reflétant pas les observations microscopiques desservent les candidats.

6.2.8 Une indispensable réactivité

Le premier entretien, consécutif à la leçon, a pour but de faire réfléchir le candidat à l'exposé qu'il vient de produire, et à l'aider à revenir sur d'éventuelles omissions, imprécisions ou erreurs. Il sert également à évaluer l'aptitude du candidat à raisonner et à exploiter ses connaissances en temps réel. L'interrogation est ensuite ouverte à d'autres domaines du champ des SV-STU – elle peut revêtir des formes très variables qui visent à évaluer les connaissances du candidat et ses aptitudes à construire un raisonnement logique à la suite d'une question posée. Le jury insiste sur le fait qu'il est important que le candidat construise sa réponse, et qu'une juxtaposition de mots-clefs ne peut suffire. L'écoute et la réactivité sont des qualités indispensables pour une bonne réussite de cette partie de l'épreuve qui peut permettre au candidat de montrer que, malgré une leçon plus ou moins réussie, il maîtrise de larges connaissances.

Si le candidat ne connaît pas la réponse à la question posée, il est vivement conseillé qu'il n'essaie pas de gagner du temps en fournissant une réponse hors sujet ou en demandant à l'évaluateur de reformuler sa question. Cette attitude lui sera très préjudiciable. Il est préférable qu'il énonce clairement ne pas connaître la réponse.

Le jury observe souvent une baisse de réactivité très nette au cours des entretiens. Il est donc impératif de rester attentif jusqu'à la fin des entretiens. Il est ainsi important de profiter du temps proposé par le jury pour se désaltérer afin de se réhydrater mais aussi de bien se remobiliser avant de démarrer l'entretien.

6.2.9 Les critères d'évaluation des leçons

L'évaluation des leçons est faite autour d'items reprenant ces points fondamentaux :

- qualité de l'introduction, du plan et de la conclusion
- démarche scientifique, qualités pédagogiques/didactiques de la leçon
- maîtrise des concepts, notions et connaissances liées au sujet
- exploitation du matériel imposé (pour les leçons d'option)
- choix et exploitation du matériel complémentaire
- maîtrise des concepts et des connaissances, capacités de réflexion en temps réel aux différents entretiens
- communication, réactivité.

6.3 Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur A

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons par des commentaires spécifiques aux leçons de secteur A.

6.3.1. Maîtriser les connaissances

La réussite de cette épreuve nécessite de maîtriser des connaissances dans le secteur A : connaissances de niveau licence pour les leçons de contre-option et de niveau master 1 pour les leçons d'option. Le candidat doit également les mettre en perspective avec ses « fondamentaux » de biologie, qui sont souvent les bases d'une leçon bien construite.

Le niveau des candidats est hétérogène, que ce soit en option ou en contre-option. S'il n'est pas attendu d'un candidat qu'il connaisse parfaitement tous les intermédiaires d'une voie métabolique, ou la liste exhaustive des inducteurs embryonnaires, on rappelle que le niveau requis pour **cette leçon est au minimum d'un niveau de licence SV**. Il n'est pas possible d'acquérir des connaissances et de les mobiliser sans un travail de fond, d'appropriation, d'organisation, de recherche de sens et de curiosité scientifique.

Le jury s'étonne d'avoir encore rencontré des erreurs récurrentes sur des connaissances simples. Par exemple, de trop nombreux candidats sont incapables de raisonner en termes d'oxydoréduction sur une voie métabolique classique, d'identifier les organites et structures supramoléculaires sur une électrographie, de décrire correctement une division cellulaire, la réplication de l'ADN ou les principes de la régulation de l'expression des gènes, la diversité du monde viral, l'organisation des matrices extracellulaires, les principes fondamentaux de l'excitabilité cellulaire, etc... ou de démontrer les relations entre structure, propriétés et fonctions des molécules biologiques fondamentales. Le jury a également constaté que beaucoup de candidats ont des lacunes dans le domaine de la biologie cellulaire végétale.

Le jury a souvent observé une difficulté des candidats à hiérarchiser les connaissances. Certains candidats placent ainsi au même niveau des mécanismes fondamentaux et des détails de mécanismes biologiques : par exemple, connaître la séquence RGD de la fibronectine tout en étant incapable de décrire simplement la structure d'une lame basale.

6.3.2 Intégrer de nouvelles connaissances pendant la préparation de la leçon

Avec la leçon d'option le jury n'évalue pas seulement les connaissances du candidat. Les documents et la bibliographie apportent des informations qui ne sont pas forcément connues initialement du candidat ; celui-ci doit alors démontrer qu'il est capable d'intégrer rapidement ces nouvelles connaissances à son bagage scientifique. Les qualités d'analyse et de raisonnement à partir de ces données sont donc également évaluées.

De façon générale, **il est préférable pour un enseignant scientifique de comprendre et manipuler les notions de base et d'être capable de les compléter** par des détails recherchés dans des ouvrages ou sites Internet.

Que ce soit pour la leçon d'option ou de contre-option, la maîtrise de la bibliothèque mise à la disposition des candidats, dont le contenu est en adéquation avec les attendus du jury, permet de mieux appréhender l'ensemble des sujets posés. Ainsi, le jury a constaté que les candidats qui consultent un grand nombre d'ouvrages généralistes pour un sujet très pointu ont généralement du mal à faire ressortir les éléments essentiels de la leçon. *A contrario*, certains ouvrages plus spécifiques, qui auraient pu aider les candidats à traiter certains sujets, n'ont pas été consultés.

6.3.3 Organiser l'exposé

Dans l'introduction, il est conseillé d'exposer avec rigueur les définitions des différents mots du sujet pour ensuite les associer, ce qui amène à proposer une démarche construite. La plupart des problématiques proposées étaient satisfaisantes.

Les plans catalogues qui ne font pas suffisamment ressortir les concepts sont à proscrire. La recherche d'un plan original peut toutefois être contre-productive quand elle aboutit à l'oubli d'un pan majeur

du sujet. De la même façon, dans la leçon d'option, lorsque le plan se limite à la succession des documents proposés, il est souvent incomplet. Les documents proposés par le jury doivent être intégrés dans une réflexion d'ensemble et il ne faut pas oublier qu'ils ne recouvrent en général qu'une partie du sujet. Mieux vaut faire la démonstration de sa maîtrise des concepts de base de la biologie dans un plan classique, en particulier quand le sujet n'est pas parfaitement maîtrisé par le candidat. Au cours de l'exposé, la compréhension du plan par le jury est trop souvent perturbée par des titres de paragraphes annoncés et écrits *a posteriori*, plus souvent du fait d'un oubli du candidat que de sa volonté de ménager le suspense... **Rappelons qu'il n'est pas nécessaire d'écrire le plan au tableau** (ce qui représente une perte de temps pour le candidat et de place au tableau pour illustrer la leçon), **il peut être déroulé au fur et à mesure de la leçon en étant intégré au diaporama**. Si le candidat souhaite mettre en évidence une notion avant de la formaliser, ce qui est tout à fait pertinent, il doit choisir un titre qui le permet et pourquoi pas le compléter par la conclusion dans le plan ou sur un schéma bilan. Le jury a été surpris par l'inadéquation qui existe parfois entre le titre d'un paragraphe et son contenu.

Il n'y a aucun formalisme imposé pour les leçons. Ainsi, un schéma bilan n'est pas exigé, surtout si celui-ci n'apporte rien. Cependant, certains schémas, souvent construits progressivement, peuvent être intéressants s'ils synthétisent les notions développées au cours de l'exposé.

Certaines conclusions, qui ne se bornaient pas à une répétition des grandes lignes du plan, mais qui dégageaient une idée transversale et mettaient en perspective les notions développées, ont été particulièrement appréciées.

6.3.4 Travailler à toutes les échelles et construire le sens biologique

Dans le programme officiel de l'agrégation, le secteur A est désigné par le titre : « Biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire ; leur intégration au niveau des organismes ». Les candidats oublient trop souvent cette seconde partie de l'intitulé et se concentrent sur des mécanismes moléculaires précis sans les resituer au niveau physiologique. Par exemple, il est difficile de décrire les mécanismes immunitaires ou neurobiologiques sans les localiser dans les différents organes lymphoïdes ou les différents organes nerveux. On attend des candidats un certain recul sur les notions développées, qui doit leur permettre de les intégrer à différentes échelles et de leur donner du sens biologique.

6.3.5 S'appuyer sur le réel pour illustrer sa leçon

Même si le secteur A n'est pas celui où il est le plus facile de présenter des échantillons biologiques « réels », l'apport de ces éléments augmente fortement la plus-value de la leçon, lorsqu'ils sont bien évidemment utilisés à bon escient et dans une démarche explicative. Ce matériel peut être imposé dans les documents fournis par le jury ou proposés par le candidat pour illustrer les points-clés de son exposé. La liste des ouvrages, matériels, lames histologiques, matériel expérimental est disponible pendant la phase de préparation de la leçon et le candidat est accompagné durant cette phase par l'équipe technique qui lui fournit le matériel complémentaire qu'il souhaite. L'ensemble des documents et matériels, imposés et demandés, doit être intégré à la leçon (le jury vérifie l'adéquation de la liste des demandes du candidats avec le contenu de l'exposé).

Il semble encore nécessaire de rappeler qu'un échantillon ou un document ne doit pas être fourni au jury de façon brute : il doit être accompagné de tous les éléments permettant de rendre sa compréhension aisée (et que pour qu'une dissection soit exploitable, cela implique qu'elle soit recouverte d'eau).

Les préparations histologiques doivent toujours être exploitées/léguées (par tout moyen au choix du candidat : dessin, annotation d'une capture d'image...) afin de démontrer au jury la capacité du candidat à identifier (et retrouver) les structures présentes et à intégrer leur présentation à la problématique. C'est aussi l'occasion de rappeler que l'usage du microscope optique et de la loupe binoculaire doit être parfaitement maîtrisé par les candidats. Plus largement, les différentes échelles d'observation et le principe des différents microscopes doivent être connus. Les électrographies sont des supports trop peu exploités par les candidats.

Quand une manipulation est demandée, elle doit être réalisée au moins en partie devant les membres du jury, sauf si sa réalisation demande beaucoup de temps. C'est le cas de certaines manipulations de type ExAO. On note d'ailleurs que trop peu de candidats proposent spontanément ce type de mesures. Enfin, on rappelle que toute situation expérimentale nécessite d'y inclure des témoins : ils doivent être présentés, ou au moins explicités, lors de la présentation des observations ou des résultats des expériences.

Des manipulations simples de biochimie ou de biologie cellulaire peuvent être appréciées, et ont tout leur intérêt si elles sont réalisées et analysées avec rigueur et que les interprétations sont en adéquation avec les résultats observés et le sujet de la leçon. En cas de résultat imprévu (qui aurait parfois pu être évité par un essai préalable pendant le temps de préparation), il ne faut pas s'arrêter au constat d'échec mais proposer des explications. Le jury y reviendra forcément lors de l'entretien, si cela n'a pas été fait spontanément par le candidat. L'utilisation de programmes de manipulation de modèles moléculaires doit être maîtrisée par les candidats ; elle est parfois imposée par les documents proposés par le jury, qui attend une véritable exploitation des modèles (et non leur simple présentation, qui n'a alors qu'un rôle illustratif).

Au-delà de l'exploitation de matériel réel pour illustrer les leçons, la mise en place d'une démarche démonstrative tout au long de l'exposé est absolument requise. Chaque partie doit être introduite par un questionnement, auquel le candidat doit proposer de répondre par l'observation, avant de dégager des notions générales qui peuvent alors être complétées de données plus théoriques. Cette démarche s'applique particulièrement aux documents fournis par le jury dans le cas de la leçon d'option, mais doit être généralisée à l'ensemble des leçons (y compris contre-option).

S'appuyer sur une approche historique pour exposer l'évolution des connaissances dans un domaine donné peut être pertinent, il ne faut cependant pas en abuser ni y consacrer l'ensemble de la leçon.

6.3.6 Adopter une démarche scientifique dans l'exploitation des documents

On rappelle que les documents imposés par le jury pour la leçon d'option sont des supports d'une partie de la démarche que le candidat doit construire. Ainsi, certains aspects du sujet, souvent classiques, peuvent ne pas être abordés dans les documents proposés par le jury mais sont néanmoins attendus.

Que ce soit des documents imposés ou des documents choisis par le candidat, y compris dans les leçons de contre-option, il est judicieux d'introduire le document par un questionnement, et de justifier en quoi le protocole réalisé peut permettre d'y répondre. S'il est inutile de passer du temps à paraphraser le protocole décrit, un schéma expérimental peut parfois être très didactique. On attend que les documents soient analysés et interprétés avec précision. L'analyse proposée par le candidat doit être quantifiée lorsque c'est possible (travail sur des histogrammes, des graphiques, etc.). Indiquer que « tel paramètre mesuré augmente dans telle situation » est beaucoup moins informatif que de préciser que « tel paramètre mesuré est multiplié par 50 dans telle condition par rapport à telle autre ». Le jury a apprécié que certains candidats légendent intelligemment les documents, c'est-à-dire leur donnent du sens. L'analyse doit se poursuivre par une conclusion clairement explicitée. Là encore, une phrase du type « le paramètre joue un rôle dans... » est imprécise : ce rôle peut être positif ou négatif. Un effort d'interprétation, c'est-à-dire une mise en perspective vis-à-vis de la démarche globale de la leçon, doit être fait. Lorsque cela s'y prête, la formulation d'hypothèses pour expliquer les observations est appréciée, de même que la critique de la démarche expérimentale ou des résultats obtenus.

Pour la leçon d'option, s'il n'y a pas de lien entre les différents documents proposés par le jury, il y a en revanche un lien entre les différentes parties d'un même document : il est donc dans ce cas recommandé de les étudier successivement et d'établir les liens entre les différentes données présentées. Dans certains cas, il peut toutefois être pertinent de faire appel et d'exploiter les différentes parties d'un même document à différentes étapes de la démarche globale de la leçon, pour illustrer différentes notions associées à un même phénomène biologique.

Idéalement, les documents doivent venir apporter des éléments de réponse à un questionnement explicité par le candidat et découlant des parties précédentes de l'exposé. Les documents sont trop souvent présentés dans le plan comme un exemple illustrant une situation particulière, alors que ce

n'est pas spécifiquement cet exemple ou ces conditions qui importent mais le mécanisme cellulaire ou moléculaire mis en évidence.

6.3.7 Adopter une démarche didactique

La démarche didactique n'est souvent pas assez mise en avant par les candidats. Le candidat ne doit pas oublier que le jury teste ses capacités à faire passer un message clair et compréhensible. Les candidats passent souvent très rapidement sur des mécanismes thermodynamiques, moléculaires ou cellulaires complexes, faisant douter le jury de leur capacité à transmettre ce type de notion à leurs futurs élèves.

6.3.8 Maîtriser l'oral

Les candidats ont globalement des qualités de communication satisfaisantes (positionnement de la voix, occupation de l'espace, etc.) et la gestion du temps d'exposé est correcte. Le tableau, souvent délaissé ces dernières années, est de nouveau utilisé abondamment par les candidats pour compléter des schémas en direct, ce qui est positif. Le fait de recopier au tableau certaines voies métaboliques ou équations bilans à l'aide de ses notes, sans exploitation particulière, n'est toutefois pas judicieux et peut faire perdre un temps précieux pour le traitement de la leçon.

La plupart des candidats ont pris le temps de construire un diaporama, intégrant au fur et à mesure les documents, plus ou moins re-travaillés (il ne faut pas hésiter à légender, ou mettre en exergue certaines parties de documents, au service de la démarche démonstrative de l'exposé). Les candidats doivent toutefois veiller à **passer l'affichage en mode « présentation »** au début de la leçon pour un résultat optimal.

Le jury attire l'attention sur des formulations inappropriées qui faussent la compréhension par l'auditoire et peuvent dénoter un problème de logique du candidat, par exemple l'usage du futur qui suggère faussement des successions d'événements. Le jury note que le finalisme, qui avait quasiment disparu des exposés, a malheureusement fait son retour lors des dernières sessions.

Enfin, rappelons que la conclusion en forme de schéma-bilan n'est pas obligatoire, tout comme les cartes mentales : ces éléments ne sont pertinents dans la conclusion que s'ils apportent à la démarche démonstrative inhérente à l'exposé.

6.3.9 Rester mobilisé pour les entretiens

Le jury est conscient que la durée totale de l'épreuve, leçon et entretien compris, est conséquente, mais il tient à souligner l'importance de rester mobilisé pour les entretiens. En effet, quelle que soit la qualité de la leçon présentée, les entretiens jouent un rôle essentiel dans l'évaluation du niveau scientifique et de la capacité de réflexion des candidats, et ont un poids assez important dans la note finale. Ainsi, il peut arriver qu'un candidat ait à traiter une leçon sur laquelle il n'est pas à l'aise, mais puisse tout de même montrer de très bonnes compétences scientifiques lors des entretiens.

Les entretiens permettent d'explorer les connaissances dans des domaines différents de celui de la leçon et sont l'opportunité pour les candidats de montrer leur expertise particulière sur tel ou tel aspect du secteur, indépendamment du sujet traité au cours de la leçon. Lors des entretiens, le jury constate que de trop nombreux candidats ne maîtrisent pas les notions associées aux mots qu'ils utilisent, en particulier des notions de base, et ne sont pas capables d'en proposer des définitions pertinentes. En revanche, il apprécie les candidats qui assument avec honnêteté de ne pas connaître une réponse et qui construisent alors un raisonnement en interagissant avec le jury pour élaborer cette réponse. Il ne faut donc pas se laisser déstabiliser par une discussion qui se ferait à partir d'un support volontairement inconnu : ce qui est alors évalué n'est pas la connaissance de ce support par le candidat mais sa capacité à réfléchir en mobilisant les connaissances appropriées. Les entretiens peuvent également être l'occasion d'estimer la culture scientifique des candidats. **Une bonne réactivité sur des sujets d'histoire des sciences, de santé publique ou d'actualité en lien avec le programme est appréciée.**

6.4 Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur B

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons d'option par des commentaires spécifiques propres aux leçons de secteur B.

6.4.1 Des connaissances naturalistes à privilégier sans négliger les connaissances de base

Une formation naturaliste est attendue des candidats pour le secteur B à l'Agrégation externe de SV-STU en tant que futurs enseignants.

Pour les leçons d'option, les dossiers proposés par le jury comprennent souvent du matériel concret comme des échantillons biologiques, des dissections à réaliser, des préparations histologiques ou des coupes à faire, des cartes de végétation ou même de courtes séquences vidéo. L'entretien avec le jury après l'exposé est aussi très souvent amorcé à partir d'un échantillon, d'une photographie ou d'un document.

Que ce soit en leçon de contre-option, et encore plus en leçon d'option, le jury attend un minimum de connaissances sur les organismes classiques de la faune et de la flore française. Plusieurs candidats présentent des lacunes importantes dans la diagnose des échantillons, la description de l'anatomie des organismes, de leur écologie et de leur positionnement dans les classifications phylogénétiques.

La maîtrise des connaissances naturalistes ne doit pas se faire au détriment des autres domaines de l'option B comme les notions de base sur la biologie de la reproduction, la physiologie rénale et la neurophysiologie (notamment en ce qui concerne les aspects sensori-moteurs), la physiologie des grandes fonctions (rein, foie, cœur, poumon...). L'écologie des populations ou des communautés, la biologie de la conservation, l'écologie comportementale et l'évolution des organismes semblent souvent négligées. Cette année encore, le jury a également relevé une méconnaissance quasi systématique des lois physico-chimiques permettant de raisonner et d'argumenter les concepts (loi de Fick, de Poiseuille, de Laplace, de Henry, calcul du potentiel hydrique, etc.). Le jury a aussi constaté que les mécanismes évolutifs ainsi que les méthodes de reconstruction phylogénétique sont mal maîtrisés par de nombreux candidats. Il est peu pertinent de chercher à placer des exemples pointus, anecdotiques, ou du vocabulaire scientifique très spécialisé alors que des concepts de base de biologie, physiologie ou d'écologie ne sont pas maîtrisés, ou du moins pas expliqués de manière claire et argumentée. Présenter moins de choses mais avec rigueur est valorisé, alors qu'un catalogue d'exemples sans les relier à des concepts permettant de répondre à la problématique posée est peu judicieux.

Ceci étant dit, le jury a constaté cette année que certains candidats montraient des compétences naturalistes très appréciables ainsi que du recul sur les fondements théoriques des différents domaines de leur discipline de spécialité. Le jury de secteur B encourage donc les futurs candidats à travailler leur culture naturaliste en zoologie, botanique, microbiologie, écologie et évolution tout en maîtrisant des connaissances de base en biologie et physiologie. Il veillera à continuer cette évaluation lors de la prochaine session.

6.4.2 Exploitation du matériel et intégration dans l'exposé

L'exploitation du matériel et des documents

Pour la leçon d'option, le dossier proposé par le jury comporte, quand le sujet s'y prête, des supports concrets et des manipulations auxquels s'ajoutent des documents organisés sous la forme d'un diaporama. Tous ces supports doivent être impérativement exploités. Le jury rappelle que l'ordre des documents dans le dossier ne fournit aucune indication sur leur séquence d'analyse. De même, les documents ne couvrent généralement pas la totalité du sujet et servent seulement, la plupart du temps, à illustrer des notions précises à intégrer dans la démarche ou encore à traiter un point plus complexe, peu illustré dans la bibliographie disponible. Le jury attend une exploitation rigoureuse et approfondie des éléments du dossier et leur intégration dans une démarche scientifique alors que, trop souvent, les candidats se limitent à la seule description des documents en les paraphrasant. De

même, un manque de rigueur dans l'observation, l'expérimentation et l'argumentation a été souvent observé. Une démarche scientifique doit s'appuyer sur des faits qui permettent d'envisager des hypothèses dont les plus raisonnables sont testées et validées ou invalidées afin de dégager les notions qui peuvent parfois être généralisées. Les documents ont rarement été écartés cette année, ce qui est un progrès notable. De manière globale, il s'agit pour les candidats de tirer des interprétations des données fournies afin d'argumenter en faveur d'un modèle ou d'en discuter une limite.

Quel que soit le matériel présenté (complémentaire ou non), le jury est attentif au matériel demandé par le candidat. Ce matériel est très souvent prévu lors de l'énonciation du sujet de la leçon et préparé par l'équipe technique dans l'attente d'une demande de la part du candidat. Le jury apprécie ainsi la pertinence des demandes (diversité des échelles, richesse du contenu...), la diversité des supports complémentaires (matériel frais, préparations histologiques, vidéos, bandes sonores, cartes...) et surtout l'exploitation qui en est faite. Trop souvent, ces supports sont simplement intégrés au déroulé de l'exposé sans qu'une réelle démarche scientifique soit adoptée. Le matériel demandé par le candidat doit être utilisé avec le même soin que les supports imposés. Aussi, l'utilisation d'un petit nombre de supports judicieusement choisis et exploités dans le cadre d'une démarche démonstrative est toujours préférable à un inventaire d'exemples rapidement évoqués ou à l'utilisation de nombreux échantillons pour leur seul caractère illustratif.

D'une manière générale, les matériels doivent être exploités de manière rigoureuse et exploitable. Ainsi, de nombreux candidats continuent à importer les documents dans leur diaporama de manière partielle, sans la légende, se retrouvant dépourvus lors de l'exploitation. Cette pratique reste peu pertinente, d'autant que les documents présentés sont rarement annotés par les candidats alors qu'il serait aisé avec l'outil informatique d'être démonstratif et de faire ressortir les clés de lecture. Les échantillons, imposés ou choisis, doivent être utilisés pour illustrer certaines notions dans la leçon. Le jury rappelle qu'il attend, sauf indication contraire, que les candidats exploitent efficacement ces matériels en réalisant des préparations de qualité (dissections, coupes histologiques, colorations...). Les montages doivent être impérativement complétés de dessins légendés (ou de prises de photos projetées) et/ou de fléchages des structures d'intérêt pour le sujet (par exemple pour les dissections). Le jury rappelle que les observations présentées lors de l'exposé doivent correspondre au dessin que le candidat a réalisé, le microscope ou la loupe étant correctement réglés. Les zones d'observation en microscopie doivent être, au préalable, repérées pour être rapidement trouvées lors de l'exposé. Enfin, le jury regrette que de nombreux candidats présentent les structures d'intérêt sans réelle démonstration ou objectif indiqué. Encore une fois, tout objet ou échantillon doit être exploité en appui d'une notion ou d'un concept. Échantillons ou observations doivent être au service de la démonstration menée dans la leçon, et non une illustration évoquée. De même, il est indispensable dans une approche expérimentale d'inclure des montages qui servent de témoins et qui permettent de conclure (par exemple des colorations mettant en évidence des réserves...).

L'exposé

Construction et organisation :

Si la plupart des candidats enracinent bien leur exposé sur une problématique scientifique clairement énoncée dans l'introduction, la suite de la leçon est trop souvent une juxtaposition de notions reliées par des transitions artificielles. Une mise en contexte n'a de sens que si elle permet logiquement de s'interroger sur les termes du sujet et déboucher sur une problématique cohérente. Le jury rappelle qu'une introduction réduite à une définition des termes et à l'annonce d'un plan ne répond pas aux attentes de l'épreuve : elle doit déboucher sur une question scientifique apportée avec une certaine cohérence dans les propos. Le jury a apprécié les efforts des candidats qui ont pris le temps de reprendre leur problématique afin d'y répondre dans la conclusion. Le jury insiste sur le fait que le travail de construction d'une leçon est une étape cruciale afin que celle-ci exploite au mieux les différents outils (ceux du dossier imposé, le matériel complémentaire, les ressources collectées dans les ouvrages et les connaissances scientifiques du candidat) dans une progression logique et articulée. Aussi, une approche naturaliste ne se limite pas à la description d'un objet ou l'évocation d'un

exemple. Les leçons du secteur B reposent bien évidemment sur une démarche argumentée et une démonstration des concepts, à partir de faits, d'observations et d'expériences.

Les candidats ont accès à un certain nombre d'ouvrages figurant dans la bibliothèque de l'agrégation. Les coordonnées des livres demandés (auteurs et titre et non seulement le code) doivent être clairement indiquées sur une feuille qui est consultée par le jury pendant la leçon. Celui-ci est attentif à l'adéquation et à la pertinence des ouvrages consultés en rapport avec le sujet. Pour certains candidats, la liste des ouvrages demandés est beaucoup trop longue et s'avère contre-productive. Pour d'autres qui ne consultent que des ouvrages généraux, elle révèle une méconnaissance des ouvrages traitant de tous les sujets spécialisés proposés. Le jury invite donc les futurs candidats à mieux s'approprier les ouvrages de la liste durant leur préparation.

Dimension pédagogique et didactique de l'exposé :

Au-delà des qualités scientifiques des candidats, le jury prête une attention marquée à leurs capacités à communiquer, à montrer, à expliquer, à la rigueur du vocabulaire utilisé, à l'utilisation du vidéoprojecteur et du tableau.

De manière judicieuse, la grande majorité des candidats a choisi de projeter directement les documents imposés ou complémentaires sans oublier d'en faire ressortir les éléments pertinents. Le jury est aussi attentif à la tenue du tableau et aux schémas réalisés. Le plan au tableau n'est pas une obligation, pas plus que la construction d'un schéma bilan. En revanche, des schémas explicatifs de notions extraites des documents, des bilans intermédiaires de parties peuvent se révéler très pertinents. On observe encore des exposés où les schémas bilan sont squelettiques, non finalisés, voire en partie hors-sujet. Certains candidats le dessinent à la place de la conclusion alors qu'il devrait être construit au fur à mesure de l'exposé.

Malgré ces réserves, le jury tient à souligner que la majorité des candidats montre des qualités de communication tout en sachant gérer le temps imparti pour les exposés d'option.

Les entretiens

Au cours du premier entretien, le jury revient sur certains points abordés pendant l'exposé pour lever certaines ambiguïtés, permettre au candidat de corriger des erreurs ou obtenir des explications ou des compléments sur des points choisis. Il est important que le candidat reste mobilisé pendant l'entretien et, ce, même s'il perçoit, avec les questions qui lui sont posées, certaines faiblesses de sa leçon. La capacité des candidats à revenir sur d'éventuelles erreurs faites ou à compléter des points restés flous lors de la leçon est une qualité appréciée.

Les autres entretiens permettent d'évaluer les connaissances du candidat dans d'autres domaines du secteur B et de tester ses capacités de raisonnement. Cette interrogation menée successivement par d'autres membres du jury est généralement initiée à partir d'un échantillon (coquilles de mollusque, crânes et squelettes, spécimens empaillés, échantillon végétal...) ou un document (photographie d'une coupe histologique, graphe montrant les résultats d'une expérience, tableaux de données...). Ces approches permettent de valoriser les qualités d'observations, d'analyse des candidats et l'exploitation de savoirs opérationnels au service de l'étude d'un échantillon ou d'un phénomène biologique. L'argumentation est un aspect fondamental des Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Univers, et le jury tient à rappeler qu'il attend alors un raisonnement argumenté à partir de l'échantillon ou du document fourni et non un placage de connaissances. L'entretien se poursuit ensuite par un questionnement suivant un fil directeur orienté par les réponses du candidat. Les réponses attendues doivent être ni trop courtes, ni trop longues de manière à couvrir un champ de connaissances scientifiques suffisant et, lorsque l'échantillon soumis à l'analyse s'y prête, le jury apprécie particulièrement les candidats capables d'en mener une présentation construite, active et rigoureuse en lien avec la biologie, l'écologie, la physiologie ou l'évolution des organismes. Le jury tient à rappeler que ces entretiens, effectués dans des domaines complémentaires du secteur B, peuvent permettre de contrebalancer, dans une certaine mesure, d'éventuelles faiblesses révélées par l'exposé et le premier entretien. Ainsi, comme cela a déjà été dit, les candidats sont encouragés à rester totalement mobilisés pendant toute la durée des entretiens.

6.5 Commentaires particuliers concernant les leçons d'option C

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons d'option par des commentaires spécifiques propres aux leçons de secteur C.

6.5.1 Connaissances scientifiques

Le jury déplore un manque de maîtrise des bases scientifiques en général, non seulement en Sciences de la Terre et de l'Univers mais aussi sur des notions simples de chimie ou de physique : des notions de thermodynamique et de chimie (notamment isotopique) sont requises pour aborder le système Terre. Des connaissances quelquefois pointues sur des sujets d'actualité peuvent être mal valorisées en l'absence d'une culture géologique de base. Il est rappelé que préparer l'agrégation ne se fait pas uniquement au cours de l'année de préparation mais que cela implique d'avoir assimilé les enseignements fondamentaux de niveau Licence. L'application d'une méthode pédagogique standardisée ne suffit pas à remplacer les connaissances fondamentales approfondies.

Les connaissances de bases suivantes posent un problème de manière récurrente aux candidats :

- Les notions faisant appel à une quantification ou une estimation de vitesse, débit, durée ou de la cinématique des processus géologiques ;
- Le principe du fonctionnement du microscope optique et des propriétés utilisées pour la détermination des minéraux (biréfringence, pléochroïsme, réfringence...) ;
- Les principes et acquis fondamentaux de la minéralogie (systèmes cristallins, formules chimiques, classification...)
- L'analyse de roches et/ou d'échantillons macroscopiques et de lames minces (confusion entre périclase-gabbro ; plagioclase-pyroxène ; organismes fossiles ; ciment-matrice) ;
- L'exploitation de diagrammes de phase lors de l'étude de processus magmatiques ;
- La confusion entre les trajets P-T-temps et les gradients, l'absence de lien entre les gradients métamorphiques et le contexte géodynamique ;
- Les relations entre contraintes et déformations ;
- La notion d'anomalie en géophysique (les candidats ne mentionnant souvent pas l'existence d'un modèle de référence et dans le cas particulier de la délimitation latérale des plaques, les anomalies gravimétriques sont quasi-systématiquement oubliées, les candidats ne se référant qu'aux données sismiques et thermiques) ;
- La différence entre géoïde et ellipsoïde ;
- La définition du $\delta^{18}\text{O}$, de même que la signification de ses variations dans la glace ou dans les organismes calcifiés ;
- La signification des roches sédimentaires et des environnements de dépôts associés, souvent très approximative ;
- Le principe et le fonctionnement des outils expérimentaux les plus classiques (GPS, radar, microsonde électronique, spectromètre) ;
- L'utilisation des cartes géologiques adaptées par les candidats : utilisation correcte des cartes au millionième, au 1/50000 et au 1/250000 ;
- L'utilisation des modèles analogiques (exploité mécaniquement et trop souvent sans compréhension des lois d'échelle, des limites et des biais).

Enfin, les membres du jury du secteur C souhaitent rappeler qu'une solide formation naturaliste est attendue des candidats à l'Agrégation externe de SV-STU. De solides connaissances géographiques sont également exigées en particulier pour situer certaines structures ou régions géologiques remarquables.

6.5.2 Organisation de l'exposé / Démarche

Les plans proposés par les candidats sont souvent scolaires et présentent des titres peu démonstratifs ou non homogènes. Si le plan est projeté, il n'est pas nécessaire de l'écrire une seconde fois au tableau. Par contre il reste indispensable de l'énoncer au fur et à mesure de la leçon.

Globalement la problématique est présente, mais il ne faut pas oublier qu'elle doit permettre la construction d'une leçon suivant un fil directeur bien identifié et elle ne doit pas simplement reprendre le titre.

Durant la leçon, un des problèmes majeurs reste que les candidats ne partent pas assez de l'observation et de l'exploitation du matériel et des documents pour construire des notions. Les supports ne doivent pas être de simples illustrations d'un propos mais une base pour discuter des processus, un modèle... Le jury constate que globalement les candidats ne partent pas suffisamment des objets géologiques, mais préfèrent traiter des processus de façon très théorique ; et qu'il y a un gros travail à faire sur la bibliographie, car les ouvrages sortis par les candidats sont souvent trop nombreux, et pas toujours les plus appropriés pour traiter de la leçon.

6.5.3 Exploitation des documents fournis et des documents complémentaires

Trop de documents (imposés ou non) ne sont pas exploités ou pas dans le sens de l'intitulé de la leçon. Il faut que le candidat ne perde jamais de vue sa problématique, et exploite les documents afin d'y répondre.

Les documents et objets géologiques (imposés et choisis en option) doivent être placés au cœur de l'argumentation. Concrètement, ils doivent être exploités.

Les recommandations du jury sont ainsi (1) de s'appuyer sur des supports concrets et (2) d'exploiter efficacement les documents sans multiplier de façon exagérée les documents complémentaires. L'exercice de présentation et d'exploitation des documents permet ainsi d'évaluer conjointement les capacités d'analyse scientifique et les qualités pédagogiques.

Les documents proposés par le jury sont souvent des données géophysiques ou géochimiques, des résultats d'expériences, mais cela peut également être des cartes géologiques, des échantillons de roches, des lames minces, des photos d'affleurements... Le candidat doit les présenter au jury, les décrire systématiquement avant de les interpréter. Rares sont les candidats qui pensent à encadrer, souligner les points importants de façon graphique. L'utilisation d'un pointeur ou du curseur n'est pas systématiquement utilisée. Traduire des données fournies (ex : tableau) en graphique est maintenant facile en utilisant un tableur, peu de candidat se sont néanmoins livrés à l'exercice.

Le jury a remarqué que certains candidats ne présentaient pas la globalité des documents imposés en leçon d'option ou occultaient certaines parties de ceux-ci, ce qui les pénalise lors de la notation.

Les échantillons et photos des lames minces sont inégalement exploités ; une présentation complète des échantillons à différentes échelles, accompagnée de schémas et croquis explicatifs soignés est fortement conseillée. Pour une analyse raisonnée d'échantillon, il convient d'utiliser des critères qui permettent de s'orienter vers le type de roche (magmatique, sédimentaire, métamorphique) puis d'affiner les observations afin de conclure sur la nature de la roche et son histoire. Dans cette démarche, l'analyse inclut la texture, la description précise et le nom des minéraux, la caractérisation morphologique des objets. Le vocabulaire qui permet de décrire les échantillons est souvent très approximatif, et on note de nombreuses confusions (matrice pour mésostase, confusion macle/clivage, teinte/couleur/pléochroïsme d'un minéral...).

De même, les cartes géologiques sont souvent présentées de manière trop superficielle sans réelle exploitation : une production autour des cartes est souhaitable (schéma structural, coupe...).

Les échantillons et les cartes utilisés doivent être replacés dans leur contexte géographique et géologique.

Les candidats présentent parfois des modèles analogiques, mais leur utilisation est très fréquemment maladroite. En effet, il ne faut pas confondre modèle et phénomène naturel. Le transfert d'échelle entre les objets naturels et le modèle doit être souligné. L'utilisation d'un modèle doit découler d'un certain cheminement qui pose préalablement une hypothèse. Les limites et les biais des modèles doivent être discutés.

Rares sont les candidats qui cherchent à quantifier les phénomènes par des calculs simples qui s'appuient sur des lois physiques et chimiques. Les ordres de grandeur des vitesses, débits, durées, concentrations ... sont rarement présentés.

6.5.4 Communication

Les candidats maîtrisent de mieux en mieux les différents moyens de communication parfois au détriment d'une bonne utilisation du tableau. L'occupation de celui-ci est souvent mal gérée et il serait bien de ne pas y trouver que le plan à la fin de la leçon.

Rares sont les leçons où le tableau se construit progressivement et à la fin desquelles le candidat présente un schéma de synthèse répondant au sujet ou, une représentation graphique des points forts de la leçon.

Tous les sujets ne se prêtent pas à un "schéma bilan" et il n'est donc pas nécessaire de vouloir à tout prix en réaliser un. Quand il peut être réalisé, ce schéma doit être construit au fur et à mesure de la leçon et présenter un aspect « fonctionnel » (relations de cause à effet, mécanismes de contrôle positif ou négatif). Un schéma qui consiste à écrire des mots clés reliés entre eux par des traits sans signification n'a strictement aucun intérêt et ne pallie pas le manque de connaissances approfondies sur le sujet. Il doit nécessairement présenter l'échelle à laquelle il s'applique (croûte, lithosphère...).

6.6. Liste des leçons d'option de la session 2023

LECONS D'OPTION DE SECTEUR A

La culture de cellules animales : apports et limites
Les potentiels membranaires
La myopathie de Duchenne, une maladie dégénérative
Immunité et cancer
L'asymétrie membranaire
Les catécholamines
La formation des neurones
Cofacteurs et effecteurs de la réaction enzymatique
Les cellules des crêtes neurales
Les enzymes du système digestif
L'adressage des protéines dans la cellule animale
Les ARN non codants
Le complexe hypothalamo-hypophysaire
Les dysfonctionnements du système immunitaire
Formation des membres chez la drosophile et les Vertébrés
prévenir et traiter l'infection par le VIH
Les enveloppes bactériennes
La réponse à une hémorragie
Epigénétique et expression du génome
La mise en place des axes de polarité chez les animaux
L'exploitation des métabolismes microbiens en biotechnologie
Le contrôle hormonal de la pression artérielle
Structure et conformation des macromolécules biologiques
Détection et conduction de l'information visuelle chez l'homme
Les protéines recombinantes
L'immunité innée chez les végétaux
Diversité cellulaire et communication nerveuse
Le xénope un modèle animal
les mitochondries
Oxydants et anti-oxydants

Dynamique du cytosquelette des cellules eucaryotes
Les cellules musculaires striées
Les gradients morphogénétiques chez les animaux
Les endothéliums
Les récepteurs sensoriels
Les hormones sexuelles dans l'espèce humaine
Enzymes et biotechnologies
La glande thyroïde et ses hormones
La maîtrise de la reproduction dans l'espèce humaine
L'amélioration des plantes par l'homme
Séquençage des génomes : principes et apports
Les cellules du tissu nerveux

LECONS D'OPTION DE SECTEUR B

Le sélection sexuelle
Edification de l'appareil végétatif des angiospermes
Les stomates
La dynamique des populations et ses modèles
Interrelation cœur-vaisseaux
L'écosystème prairie en climat tempéré
Adaptation des angiospermes aux milieu aquatique
La vie dans la zone intertidale
La circulation de l'eau dans la plante
Homéostasie et perturbations
Les agrosystèmes
Sang et pigments respiratoires
les espèces exotiques envahissantes
Espèce et spéciation
Les êtres vivants du sol
La nutrition azotée des angiospermes
Les systèmes à contre-courant
L'adaptation dans le cadre de l'évolution
Le système nerveux des animaux
La coévolution
Les microorganismes dans le vivant
Les conséquences génétiques de la reproduction
Ecologie des récifs coralliens
La fonction ovarienne chez les mammifères
La biologie des céphalopodes
Comportements reproducteurs et systèmes d'appariement chez les vertébrés
Les constructions animales
L'excrétion azotée et les milieux de vie des animaux
La gamétogenèse chez les mammifères
La fleur des angiospermes
La domestication
Biologie et écologie des êtres vivants des cours d'eau
Le parasitisme et ses conséquences dans les communautés écologiques
Gestation, parturition et allaitement
Les interactions entre les champignons et les plantes
Les bourgeons chez les angiospermes
Structure et fonctions de la racine chez les angiospermes
Unité et diversité des mollusques
Les sèves et leur circulation

Le cœur des vertébrés
La dynamique des populations et ses modèles
Mesurer la biodiversité
La vie ralentie chez les végétaux
La feuille des Angiospermes et la fonction de nutrition
Les symbioses chez les végétaux
L'érosion de la biodiversité
Pollen et pollinisation
Les vaisseaux sanguins chez les mammifères
Les ajustements physiologiques accompagnant une activité physique chez l'être humain
Parasitisme et mutualisme
La fonction testiculaire
Les couleurs chez les animaux
Biomes et aires biogéographiques
La lumière chez les végétaux
Polymorphisme et traits d'histoire de vie
L'autotrophie pour l'azote chez les angiospermes
Flux de matière au sein de l'écosystème forestier
Les adaptations physiologiques des mammifères à l'altitude
Unité et diversité des champignons
Le passage de la mauvaise saison chez les végétaux en milieux tempérés
Les relations plantes-insectes
Autofécondation et allofécondation
L'espèce humaine face aux maladies infectieuses
La différenciation sexuelle chez les mammifères

LECONS D'OPTION DE SECTEUR C

Spécificité de la planète Terre et zone d'habitabilité du système solaire.
L'enregistrement sédimentaire des variations du niveau marin
Les couplages océan-atmosphère à travers un exemple
Tectonique active et cycle sismique
L'importance de la géodynamique interne dans la genèse des ressources minières.
L'apport des fossiles comme marqueurs paléoclimatiques
La collision continentale
Le dynamisme des éruptions volcaniques
Évolution du relief des chaînes de montagne
Cause(s) et conséquences de la crise Crétacé/Paléogène
La chaîne varisque en France
Comparaison géodynamique actuelle et géodynamique archéenne
Enregistrement sédimentaire et cycle de Wilson
Les facteurs de contrôle de la sédimentation
Le cycle externe de l'eau
Les minéraux marqueurs des processus internes
Les anomalies en géophysique
L'univers et les grandes étapes de la formation du système solaire
Genèse et évolution des bassins sédimentaires
Les minéraux en géoscience
Les microfossiles : outils pour le géologue
Impacts de la géodynamique interne sur le climat
Géochronologie et vitesse des processus géologiques
Volcanisme et risques associés
L'océan indien
L'importance de la géodynamique externe dans la genèse des ressources minières.

Chaîne alpine, chaîne pyrénéenne : une comparaison
Aléas et risques sismiques
les risques naturels
La lithosphère continentale
Le magnétisme terrestre et ses apports aux géosciences
La fusion partielle des péridotites
Du sédiment à la roche : les différentes étapes de la diagenèse
L'exhumation des roches métamorphiques
Les systèmes réservoirs pétroliers et aquifères
Expérimentation et modélisation en géologie
Origine et évolution de la lignée humaine

6.7 Liste des leçons de contre-option de la session 2023

LECONS DE CONTRE-OPTION DE SECTEUR A

Les phagocytes dans la réponse immunitaire
Les cellules méristématiques
La cellule procaryote
Les gènes du développement embryonnaire animal
Les maladies infectieuses
Les ATPases
La double hélice d'ADN
Adhérence et migration des cellules animales
L'ADN dans la cellule
Les potentiels membranaires
L'apport des bactéries et des virus en génétique et biologie moléculaire
Le cytosquelette
Les ARN des eucaryotes
La transduction du signal
La notion de boucle de régulation
Le développement floral
Mitose et méiose
Les couplages énergétiques
Lipides et vie cellulaire
Les macromolécules
Les cellules du système nerveux

LECONS DE CONTRE-OPTION DE SECTEUR B

Les cycles de développement des embryophytes
Les forces évolutives
Oviparité et viviparité chez les vertébrés
L'exercice physique
Le polymorphisme
Respiration et milieux de vie
La dispersion chez les embryophytes
Pollen et pollinisation
La croissance des angiospermes
Les animaux et la température
Classer les êtres vivants
Structure et dynamique des écosystèmes forestiers
Le sol : un écosystème
La vie dans la zone intertidale

La lumière et les végétaux
La ventilation chez les vertébrés

LECONS DE CONTRE-OPTION DE SECTEUR C

La sismicité de la France dans son cadre géodynamique
Risques et aléas sismique
La paléobiodiversité
La géologie de la Corse à partir de cartes géologiques au choix du candidat
Magmatisme et subduction océanique
Le manteau terrestre
La chronologie relative à partir de cartes et d'échantillons
Le paléomagnétisme : outil de la géodynamique
La bassin de Paris à partir de la carte géologique au millionième
Du rift à la dorsale
L'apport des ondes sismiques
L'effet de serre
La sédimentation en domaine océanique
L'oxygénation des enveloppes fluides terrestres
La cinématique des plaques à différentes échelles de temps
Le bilan radiatif de la Terre et son évolution au cours du 21ème siècle
Le géotherme terrestre
Le cycle externe de l'eau
Fossiles et échelle des temps géologiques
Croûte océanique et croûte continentale
Les grands cycles orogéniques à partir de la carte géologique de France au millionième
Les météorites
Les variations du niveau marin à différentes échelle de temps
La datation des roches magmatiques
Les grandes lignes de l'histoire géologique des Alpes à partir de cartes géologiques au choix du candidat
Diversité des dynamismes éruptifs
De l'ouverture océanique à la naissance d'une chaîne de montagne
La mesure du temps en géologie
Les cycles glaciaires/interglaciaires et leurs conséquences
Genèse et évolution de la lithosphère continentale
Les fossiles : marqueurs de l'évolution
L'apport des données paléontologiques à la reconstitution paléoenvironnementale
Les structures décrochantes à différentes échelles
Les processus d'altération et érosion des reliefs, et leur évolution au cours des temps géologiques
Les grands ensembles géologiques de l'Europe
La subduction océanique
Les bassins sédimentaires observés sur la carte géologique de France au millionième dans leur cadre géodynamique
L'arc des Petites Antilles
Les dorsales océaniques
Les ophiolites
L'habitabilité dans le système solaire et au delà.
Les métamorphismes liés au cycle alpin en France
Les grandes lignes de l'histoire géologique du Jura à partir de cartes géologiques au choix du candidat
La géologie de la Martinique à partir de cartes géologiques au choix du candidat
La formation des roches par les organismes vivants
Les microfossiles : outils pour le géologue
Les grandes crises de la biodiversité

Les grands ensembles géologiques de France à partir de la carte au millionième
Les grands cycles orogéniques à partir de la Carte géologique de France au millionième
Les provinces magmatiques géantes
Les géochronomètres
Du plancton à la roche
La Terre au Précambrien
La circulation océanique
Les déformations actives
Les transferts de chaleur à l'intérieur de la Terre
Les marqueurs de la collision continentale
L'apport des données satellitaires en Sciences de la Terre
Le bilan radiatif de la Terre et son évolution au cours du 21ème siècle
Les marqueurs des variations climatiques passées
Relief et géodynamique externe
Les ressources énergétiques fossiles
La chronologie relative
L'apport des données satellitaires à l'étude de la Terre
Etude de processus (au moins deux) géologiques au choix du candidat à partir d'échantillons
La Terre dans le système solaire
Géologie de l'Océan Indien
Comportement rhéologique des matériaux géologiques et structures associées
Données géologiques, chimiques et biologiques sur les origines de la Vie
Dynamismes éruptifs et risques associés
Le géotherme terrestre
Les mouvements verticaux de la lithosphère
Les grands ensembles géologiques de France à partir de la carte au millionième
Le champ magnétique terrestre
Transition climatique et énergétique : rôles des géosciences
Elaboration d'un modèle de la structure interne de la Terre
Cause(s) et conséquences de la crise Crétacé/Paléogène
Apports de la géochimie à notre compréhension des processus magmatiques
Reliefs de la Terre
La sédimentation détritico-silico-clastique et bio-clastique
Les magmas dans leur contexte géodynamique
La circulation atmosphérique
Déformations de la lithosphère : de l'échelle microscopique à l'échelle de la plaque
Les géomatériaux
Les grandes lignes de la géologie des Pyrénées à partir de cartes géologiques au choix du candidat
Les marqueurs de la collision continentale
La formation des granites
Le cycle du carbone
Vitesse des processus géologiques
Le modèle PREM : origine et application
Les nappes d'eau souterraines : ressources en eau, sources d'énergie
Origine et genèse des granites
Origine et histoire de la matière organique des roches
Le cycle du carbone
Transferts de matières du continent à l'océan
La reconstitution des chemins Pression - Température des roches métamorphiques
L'apparition de la vie sur la Terre primitive
L'échelle des temps géologiques
Les fossiles : apports en phylogénie
La différenciation de la Terre

Les bassins houillers

Intérêts d'un groupe fossile au choix du candidat

Rhéologie de la lithosphère

Les grands ensembles géologiques à la surface de la Terre à partir de la carte géologique mondiale

Origine et évolution de la lignée humaine

La sédimentation continentale