

**CONCOURS EXTERNE
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGREGES**

Section : sciences de la vie, sciences de la Terre et de l'Univers

Session 2018

Rapport de jury présenté par :

Madame Emmanuelle VENNIN
Professeur des universités

Présidente de jury

Les rapports des jurys des concours sont établis sous la responsabilité des présidents de jury

Table des matières

1. Présentation du concours	p. 3
2. Quelques éléments statistiques	p. 10
3. Programme du concours	p. 21
4. Épreuves écrites	p. 22
5. Épreuves pratiques	p. 44
6. Les épreuves orales	p. 175

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 (voir le détail des programmes en 3-1, 3-2 et 3-3).

Les modalités d'organisation du concours découlent de l'arrêté du 28 décembre 2009, modifié (NOR: MENH0931284A)

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021625792>

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

- 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 de connaissances générales qui porte sur des connaissances d'un niveau allant jusqu'à la licence universitaire, concerne l'ensemble des épreuves d'admissibilité et d'admission. Le programme de spécialité, qui définit le secteur, porte sur des connaissances de niveau Master.

Le programme de spécialité fait partie du programme de connaissances générales de chaque secteur mais implique une spécialisation de chacune des parties. 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 toutes être 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, au choix du candidat lors de l'inscription, sur le programme de l'un des secteurs A, B ou C (durée : six heures maximum ; 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 maximum ; coefficient 2). L'ordre de passage des candidats et les intitulés de leçons sont associés de façon totalement aléatoire par la présidence du concours.

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 totalement 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. L'ordre de passage des candidats et les intitulés de leçons sont associés de façon totalement aléatoire par la présidence du concours.

Le sujet porte :

- sur le programme des connaissances générales et sur le programme annexe de questions scientifiques d'actualité se rapportant au secteur C pour les candidats ayant choisi, lors de l'inscription, le secteur A ou le secteur B pour la première épreuve d'admission ;
- sur les programmes des connaissances générales et sur le programme annexe de 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 : trente minutes maximum], 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 d'option (secteur A, B ou C suivant le choix du candidat)	6h	3	60
2.1.2 Épreuve de contre-option (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 d'option (secteur A, B ou C suivant le choix du candidat)	4h + 50 min.+ 30 min.	5	100
2.2.2 Épreuve de contre-option 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 2018

1.2.1 Le calendrier.

Admissibilité : épreuves écrites

- mardi 12 Mars 2018 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A
- mercredi 13 Mars 2018 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B
- jeudi 14 Mars 2018 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C

Les résultats de l'admissibilité ont été publiés le vendredi 04 mai 2018.

Admission : épreuves pratiques

- Vendredi 8 juin 2018 : accueil des candidats.
- samedi 9 juin 2018 : travaux pratiques portant sur le programme de spécialité (secteur A, ou B, ou C)
- dimanche 10 juin 2018 : travaux pratiques portant sur le programme général des deux autres secteurs.

Admission : épreuves orales

- du Samedi 16 juin 2018 au lundi 1 juillet 2018.

Les résultats de l'admission ont été publiés le mardi 2 juillet 2018.

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 DPE. Les aspects financiers et matériels du concours ont été gérés grâce au soutien du Service Inter-Académique des Examens et Concours.

Les épreuves pratiques se sont déroulées au Département de Biologie de l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC, bâtiment Atrium, 4 place Jussieu 75005 Paris) 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 de l'ensemble des responsables de ces bâtiments. Il en fut de même au lycée Saint-Louis grâce au soutien du Proviseur, du Proviseur adjoint, de l'Intendant 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 gracieusement par la Société Texas Instrument.

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. Les 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 :

Pour les épreuves pratiques, le concours peut s'appuyer sur les personnels du Département d'enseignement de Biologie de l'Université Pierre et Marie Curie (75005 Paris) comme sur trois professeurs ayant rejoint l'équipe technique pour assurer le bon déroulement des épreuves pratiques. Par ailleurs, pour les travaux pratiques et les épreuves orales, 19 personnels de laboratoires travaillant dans le secteur des Sciences de la vie et de la Terre de différents lycées.

Ce groupe a fait preuve de compétence, 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, UPMC Atrium), en particulier le samedi 09 juin 2018 pour deux séances d'épreuves pratiques consécutives, d'une durée de six heures chacune. 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.

Les épreuves pratiques et orales du concours ont été approvisionnées en matériel végétal grâce au service des cultures du Muséum National d'Histoire Naturelle .

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

Les candidats par secteurs

Candidats inscrits	1359	
Candidats présents Ecrit secteur A	618	45,5 % des inscrits
Ecrit secteur B	590	43,4 %
Ecrit secteur C	581	42,8 %
Candidats présents aux 3 écrits	578	42,5 % des inscrits
Candidats admissibles	178	13,1 % des inscrits
		30,8 % des présents aux 3 écrits
Secteur A	64	36,0 % des admissibles
Secteur B	75	42,1 %
Secteur C	39	21,9 %
Candidats admis	76	42,7 % des admissibles
		13,1 % des présents aux 3 écrits
		5,6 % des inscrits
Secteur A	30	39,5 % des admis
Secteur B	31	40,8 %
Secteur C	15	19,7 %

La totalité des postes mis au concours (76) 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 la qualité des prestations et non pas sur la recherche d'une répartition proportionnelle au nombre de candidats en lice. Les modalités d'harmonisation influencent naturellement la répartition des notes finales.

Cette année, 178 candidats ont été déclarés admissibles. Ils représentent 13% des inscrits et 31% des présents aux trois écrits. En effet, 54% des candidats inscrits ne se sont présentés à aucune épreuve. 3% des inscrits ont participé à une ou deux épreuves.

Pour cette session, la barre d'admissibilité est de 8.12/20. La moyenne des candidats qui ont présenté les trois épreuves écrites est de 5.68/20 et celle des admissibles est de 8.96/20. Les meilleurs candidats obtiennent de bons résultats.

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 professeurs. Dans les deux types d'épreuves, il est attendu du candidat qu'il démontre rigueur scientifique et aptitudes pédagogiques. Il est d'ailleurs très intéressant de noter que si les admis ont en moyenne gagné 17 places entre les deux étapes du concours, les non admis en ont perdu en moyenne 5. Les coefficients élevés des épreuves d'admission expliquent bien évidemment ce résultat.

En particulier il doit être signifié que les épreuves pratiques et orales peuvent avoir un effet reclassant spectaculaire : cette année, un candidat a progressé de 140 places et 2 autres de plus de 100 places entre l'admissibilité et l'admission. 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.

Les candidats par sexe

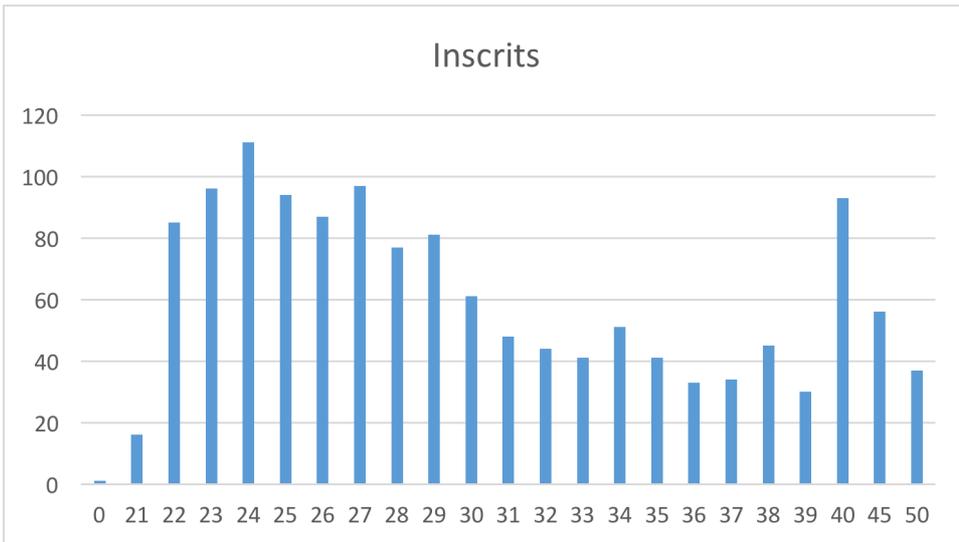
Sexe	Inscrits	Présents à l'écrit	Admissibles	Admis
Femmes	854	353	108	38
hommes	505	225	39	38

La répartition des candidats par sexe est nettement en faveur des femmes pour les admissibles, et cette différence s'estompe tout au long du concours. En effet, les femmes représentent 63% des candidats inscrits, 61% des admissibles et 50% des admis.

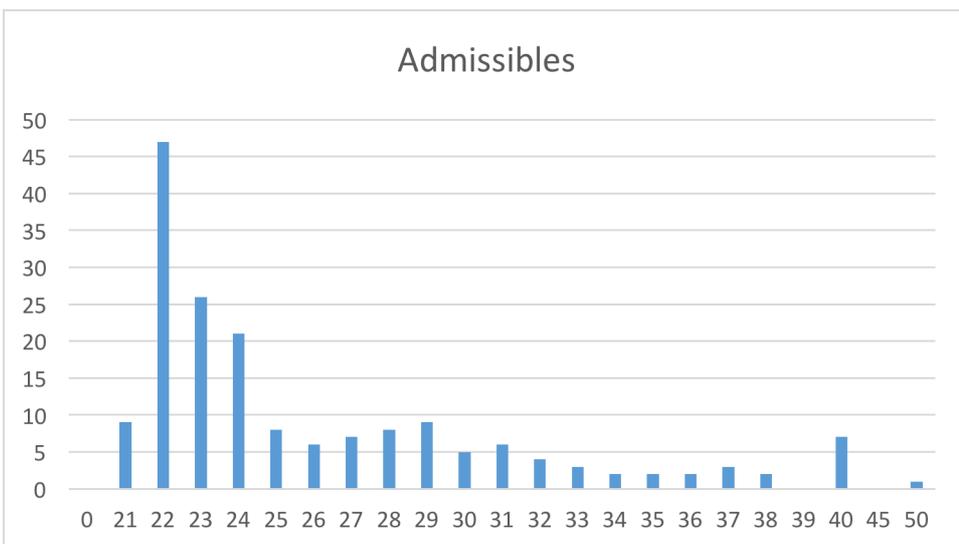
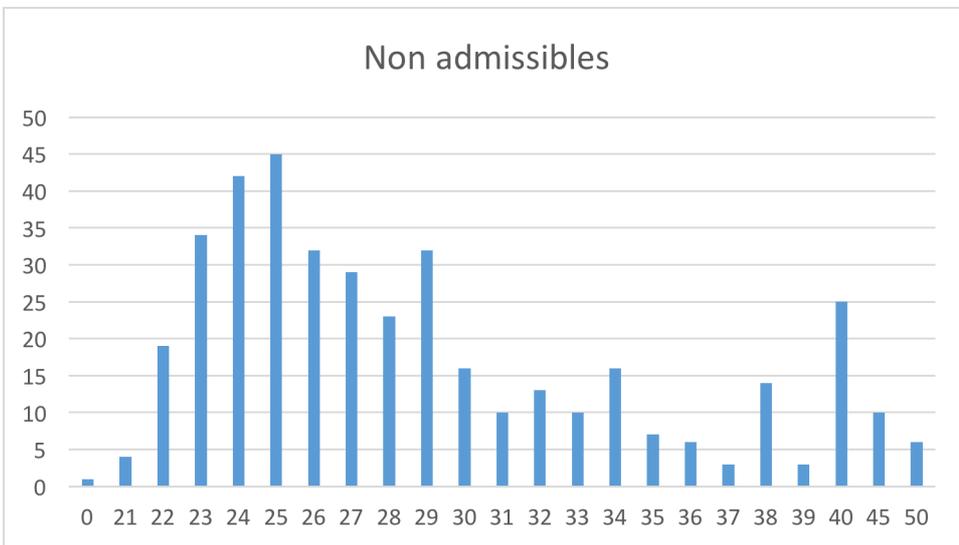
Âges des candidats

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 les étudiants assez jeunes, comme le montrent les histogrammes ci-dessous qui reprennent la distribution des âges en fonction des inscrits, des candidats présents aux trois épreuves et des admis. En effet, l'immense majorité des lauréats sont soit en M2 (année de naissance théorique : 1995), soit en année de préparation à l'agrégation post master (année de naissance théorique : 1993-4). Les lauréats plus âgés sont logiquement moins nombreux, mais il est possible encore comme cette année de voir des professeurs certifiés venir passer le concours de l'agrégation externe.

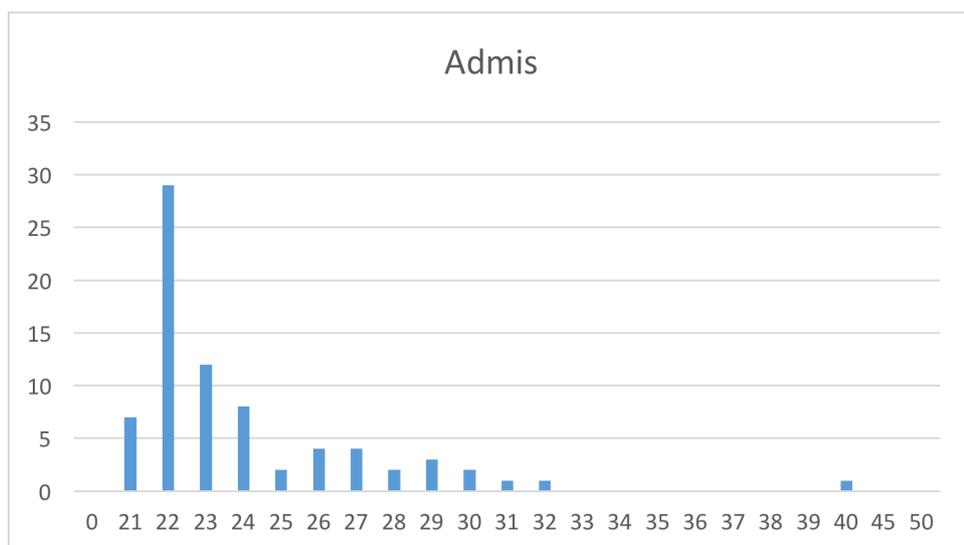
Inscrits :



Présents aux trois épreuves de l'écrit :



Admis



Statut des candidats	Inscrits	Présents aux écrits	admissibles	Admis
ELEVE D'UNE ENS	29	29	29	26
ETUDIANT HORS ESPE	174	142	91	48
CERTIFIE	441	198	68	14
ENS.STAGIAIRE 2E DEG. COL/LYC	138	88	21	5
PERS ENSEIG TIT FONCT PUBLIQUE	29	13	3	1
ETUDIANT EN ESPE	72	48	9	2
ASSISTANT D'EDUCATION	24	12	2	0
SANS EMPLOI	140	37	3	2
FONCT STAGIAIRE FONCT PUBLIQUE	11	5	2	0
ENSEIGNANT DU SUPERIEUR	6	2	2	0
PROFESSEUR ASSOCIE 2ND DEGRE	2	1	1	0
CONTRACT ENSEIGNANT SUPERIEUR	4	2	1	0
EMPLOI AVENIR PROF.2ND D.PUBLI	2	2	1	0
MAITRE AUXILIAIRE	21	8	1	0
AG NON TITULAIRE FONCT PUBLIQ	9	3	0	0
CADRES SECT PRIVE CONV COLLECT	29	3	0	0
CONTRACTUEL 2ND DEGRE	69	28	0	0
CONTRACTUEL APPRENTISSAGE(CFA)	2	1	0	0
FORMATEURS DANS SECTEUR PRIVE	6	1	0	0
INSTITUTEUR	1	1	0	0
INSTITUTEUR SUPPLEANT	2	1	0	0
MAITRE DELEGUE	5	2	0	0
PERS ENSEIG NON TIT FONCT PUB	7	3	0	0
PERS ENSEIG NON TIT FONCT PUB	7	3	0	0
PERS FONCT HOSPITAL	1	1	0	0
PERS FONCTION PUBLIQUE	7	2	0	0
PLP	10	1	0	0
PROF DES ECOLES STAGIAIRE	4	1	0	0
PROFESSEUR ECOLES	9	1	0	0
SALARIES SECTEUR INDUSTRIEL	10	1	0	0
SALARIES SECTEUR TERTIAIRE	13	2	0	0
VACATAIRE DU 2ND DEGRE	7	3	0	0
ADJOINT D'ENSEIGNEMENT	2	0	0	0

AG NON TIT FONCT HOSPITAL	1	0	0	0
AG NON TIT FONCT TERRITORIALE	2	0	0	0
MAITRE CONTR.ET AGREE REM TIT	5	0	0	0
MAITRE D'INTERNAT	1	0	0	0
PROFESSIONS LIBERALES	8	0	0	0
VACATAIRE APPRENTISSAGE (CFA)	1	0	0	0
VACATAIRE ENSEIGNANT DU SUP.	1	0	0	0

Répartition des candidats par statuts et/ou professions aux différentes étapes du concours :

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 : 48% sont étudiants (masters disciplinaires hors ESPE ou année de préparation à l'agrégation) ; 26 % sont élèves d'une ENS, 19% sont jeunes certifiés ou certifiés stagiaires. Les autres provenances sont anecdotiques : 2% en ESPE et 2% sans emploi.

96% des élèves d'une ENS sont admissibles, 63% pour les étudiants (masters disciplinaires hors ESPE ou année de préparation à l'agrégation) et 14% des enseignants stagiaires en second degré (MEEF 2). 8% des certifiés inscrits sont admissibles. Les autres provenances sont anecdotiques.

Il est intéressant de constater qu'alors que seul 8% des certifiés inscrits sont admissibles, 21% des présents aux trois épreuves le sont ; ce qui indique une désaffection des candidats certifiés pendant le concours. Toutefois, c'est un vrai plaisir de voir des professeurs certifiés, dont l'âge moyen est de 34 ans, venir passer leur agrégation externe ! Cela témoigne d'un investissement personnel très fort et nous tenons à les en féliciter. Ce constat est en totale adéquation avec l'analyse sur les années de naissances des lauréats.

Répartition géographique des candidats :

Académie d'inscription	Nb Inscrits	Présents aux 3 écrits	Nb admissibles	Nb Admis
AIX-MARSEILLE	82	33	19	5
AMIENS	46	24	0	0
BESANCON	11	4	1	0
BORDEAUX	60	33	12	5
CAEN	18	12	1	0
CLERMONT-FERRAND	21	15	2	1
CORSE	2	2	0	0
CRETEIL-PARIS-VERSAIL.	324	174	50	23
DIJON	19	11	0	0
GRENOBLE	35	22	2	0
GUADELOUPE	33	17	1	1
GUYANE	7	2	1	0

LA REUNION	17	15	1	0
LILLE	75	41	4	0
LIMOGES	6	3	0	0
LYON	81	57	40	28
MARTINIQUE	10	5	0	0
MAYOTTE	11	6	0	0
MONTPELLIER	59	30	9	4
NANCY-METZ	32	19	1	0
NANTES	41	29	1	0
NICE	42	28	2	0
NOUVELLE CALEDONIE	3	2	0	0
ORLEANS-TOURS	40	24	4	1
POITIERS	33	21	1	0
POLYNESIE FRANCAISE	5	4	0	0
REIMS	22	17	0	0
RENNES	69	43	4	2
ROUEN	36	15	1	0
STRASBOURG	58	28	13	5
TOULOUSE	61	34	8	1

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 31 secteurs géographiques qui présentent des candidats, 22 ont des candidats admissibles et seuls 11 ont des admis.

En ce qui concerne le pourcentage de présents admissibles, le secteur de Lyon s'élève à 70%, 48% pour Strasbourg, 46% Bordeaux, 40% Aix-Marseille, 39% Montpellier et 35% PVC. Toutefois, certains secteurs géographiques n'ont que très peu, voire aucun candidat inscrit qui se présente.

En ce qui concerne le nombre d'admis par rapport aux présents aux écrits, Lyon (49%), Bordeaux et Strasbourg (19%), Montpellier (17%) et PCV (16%) sont les principaux secteurs. Les admis (nombre d'admis par rapport au total des admis) sont issus des académies de Lyon (37%), PCV (30%), Bordeaux, Strasbourg et Aix-Marseille (7% chacun) ; ces académies représentent 88% 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 poursuit. La haute technicité du concours et des stratégies universitaires spécifiques de préparation aux concours de recrutement expliquent sans doute ce phénomène.

2.2 L'ÉVOLUTION DU CONCOURS SUR LE LONG TERME

année	nombre de postes mis au concours	nombre d'inscrits	nombre présents	nombre d'admissibles	nombre d'admis	liste complémentaire
1993	154	1439	819	233	148	
1994	154	1581	950	241	154	
1995	154	1770	1034	242	142	
1996	154	2041	1252	245	154	
1997	130	2273	1473	245	130	
1998	150	2416	1413	240	150	
1999	155	2477	1491	257	155	
2000	160	2678	1749	278	160	
2001	165	2924	1828	276	165	
2002	177	2521	1537	346	177	6
2003	198	2440	1553	378	198	
2004	160	2793	1733	334	160	
2005	160	2921	1827	334	160	
2006	105	3075	1707	257	105	
2007	105	2704	1489	259	105	
2008	87	2300	1420	217	87	
2009	87	1858	1056	196	87	
2010	80	1766	928	180	80	
2011	65	1354	592	145	65 (+1)	
2012	70	1535	636	155	70	
2013	80	1729	705	180	80	
2014	85	1455	650	190	85	
2015	101	1308	650	234	101	
2016	103	1464	640	231	103	
2017	95	1494	662	225	95	
2018	76	1359	578	178	76	

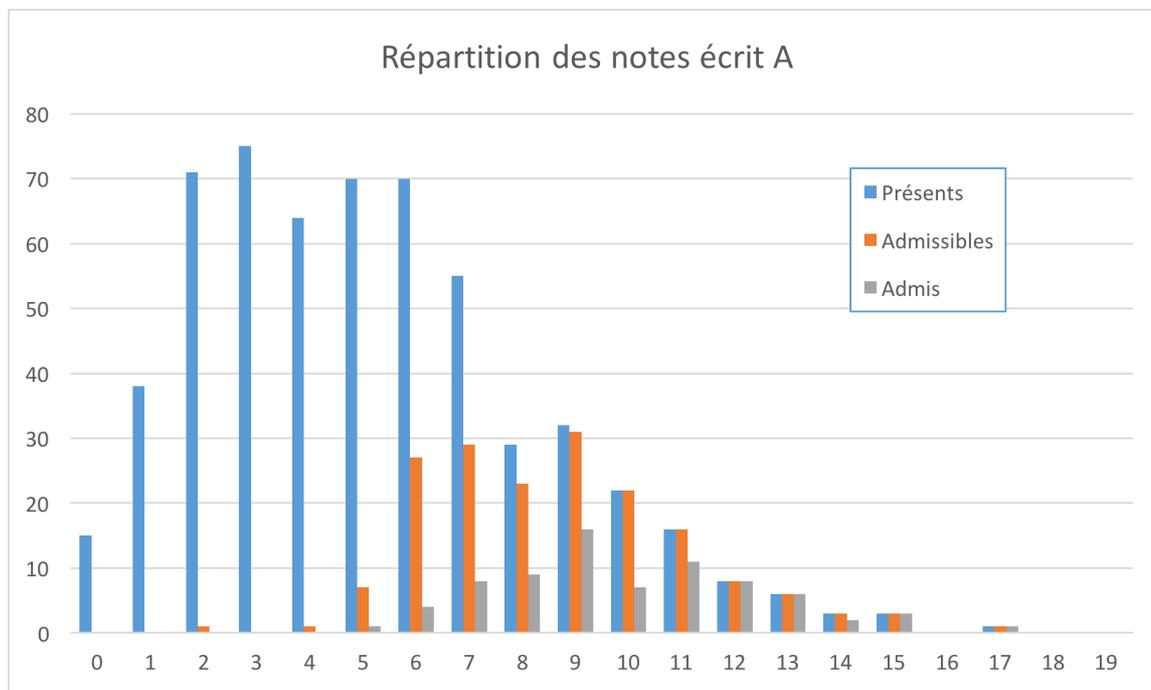
Évolution des chiffres clés du concours depuis 1993

Le concours de cette session est marqué par une stabilisation du nombre de candidats présents à toutes les épreuves écrites, et en particulier par une ré-augmentation du pourcentage des inscrits qui composent aux épreuves d'admissibilité (40% en 2013, 45% en 2014 et 50% cette année). Cependant, ce concours demeure très sélectif et la qualité des agrégés recrutés reste excellente.

2.3 QUELQUES DONNÉES STATISTIQUES CONCERNANT L'ÉCRIT

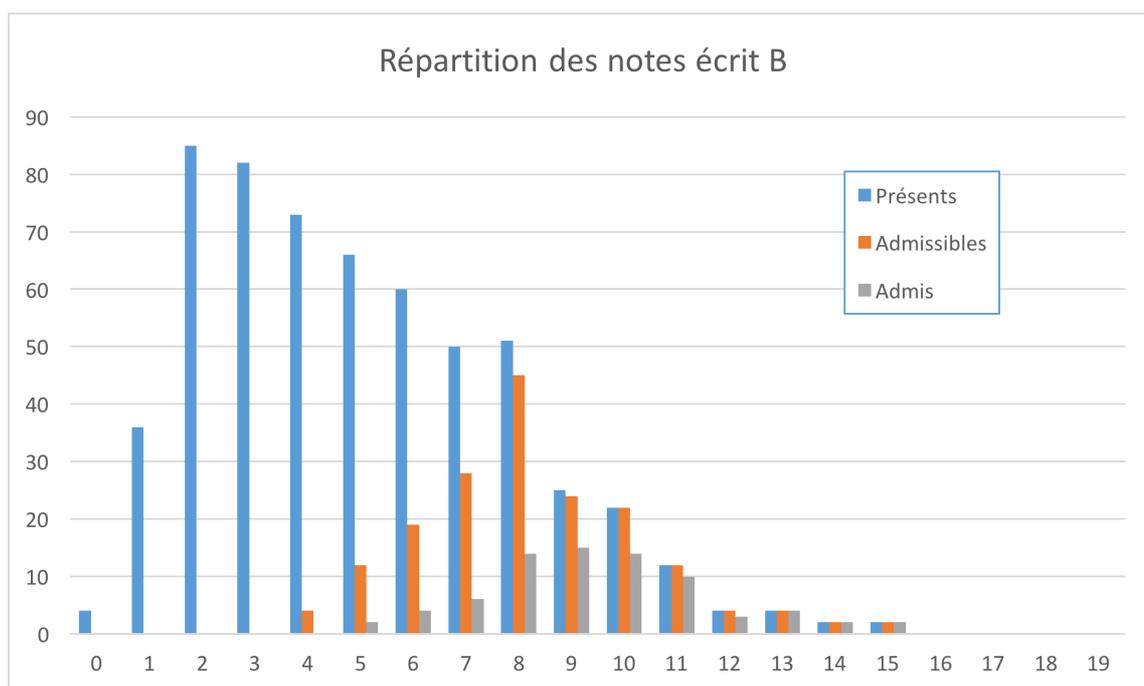
Il va de soi que ces valeurs décrivent plus les modalités adoptées pour l'harmonisation (calage des médianes et des écarts types tout en exploitant toute la gamme des notes disponibles) qu'un résultat à commenter.

2.3.1 Épreuve écrite de secteur A



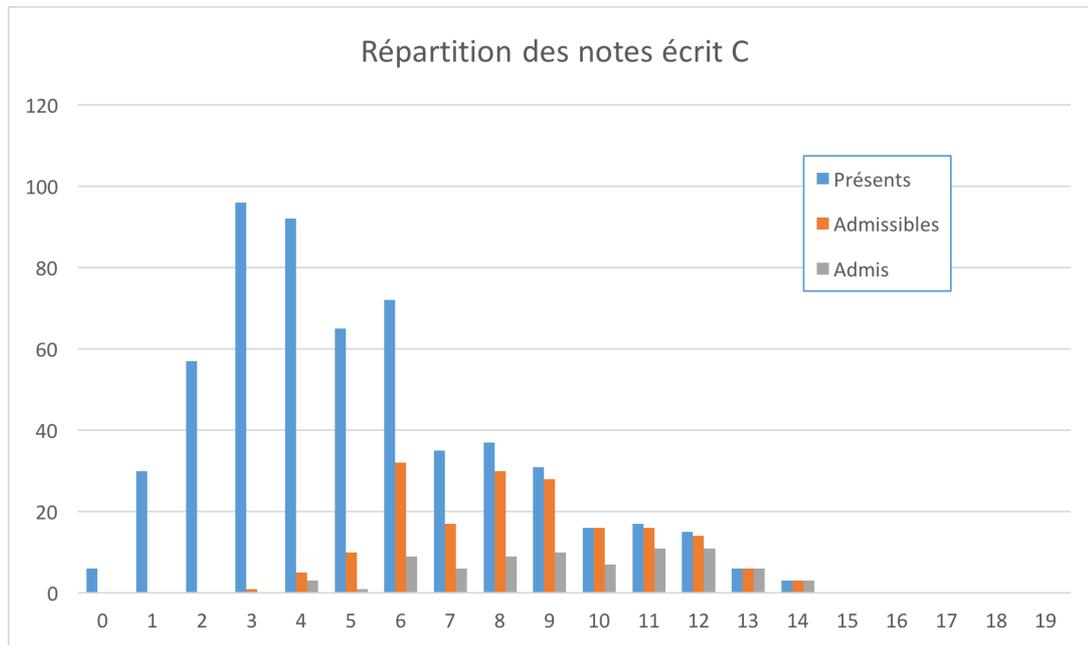
Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur A en fonction des présents, des admissibles et des admis

2.3.2 Épreuve écrite de secteur B



Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur B en fonction des présents, des admissibles et des admis

2.1.2 Épreuve écrite de secteur C



Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur C en fonction des présents, des admissibles et des admis

2.4 QUELQUES DONNÉES STATISTIQUES CONCERNANT LES ÉPREUVES PRATIQUES

	A	B	C	a	b	c
Moyenne	9,23	8,70	9,47	7,23	7,48	6,24
Ecartype	3,92	2,84	2,14	2,34	2,25	1,96
Médiane	9,00	8,50	9,28	7,26	9,69	6,17

Les trois premières colonnes correspondent aux travaux pratiques d'option (A, B et C) et les trois dernières aux travaux pratiques des contre-options (a, b et c).

2.4 Quelques données statistiques concernant les épreuves orales

2.4.1 Épreuves orales de spécialité

2.4.1.1 Épreuve orale de spécialité de secteur A (64 candidats admissibles)

Moyenne	7.92
Ecartype	4,15
Médiane	8,00

2.4.1.2 Épreuve orale de spécialité de secteur B (75 candidats admissibles)

Moyenne	8.28
Ecartype	4,63
Médiane	7,63

2.4.1.3 Épreuve orale de spécialité de secteur C (39 candidats admissibles)

Moyenne	8,20
Ecartype	3,64
Médiane	7,63

2.4.2 Épreuves orales de contre-option (maintenant notée sur 15)

2.4.2.1 Épreuve orale de contre-option de sciences de la Terre et de l'Univers pour les candidats de secteurs A et B

Pour secteur A : 64 admissibles

Moyenne	8.05
Ecartype	4,15
Médiane	7.60

Pour secteur B : 75 admissibles

Moyenne	8.18
Ecartype	3,33
Médiane	7.70

2.4.2.2 Épreuve orale de contre option de biologie pour les candidats de secteur C

Pour secteur C : 39 admissibles

Moyenne	7.56
Ecartype	4.59
Médiane	6.70

3. Programme du concours

Le programme de la session 2018 est disponible sur le site du ministère de l'éducation nationale à l'adresse suivante :

<http://media.devenirenseignant.gouv...>

Le programme de l'agrégation 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 haut niveau scientifique de l'agrégation nécessitera donc du candidat qu'il fasse la démonstration de sa maîtrise des différents éléments de la démarche scientifique tout au long des épreuves du concours. Si les épreuves d'admissibilité se concentreront 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 vérifieront 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 (à partir de la session 2018) être rédigés en langue anglaise.

4. Épreuves écrites

4.1 Epreuve écrite du secteur A :

4.1.1 Le sujet proposé :

Les réserves cellulaires

4.1.2 Commentaires

4.1.2.1 La résolution du sujet par notions

Le sujet proposé cette année a été choisi parce qu'il couvre un vaste champ du programme du secteur A, parce qu'il ne pose pas de problème de définition, et parce qu'il demande un effort de construction de réponse synthétique.

Il peut être considéré comme un sujet classique, ce qui ne l'a pas empêché d'être très discriminant. D'excellentes copies se sont illustrées notamment par leur capacité à formuler des idées, des notions, qui traitaient le sujet et s'enchaînaient les unes aux autres en utilisant des exemples précis de réserves cellulaires ; en prenant également soin de proposer une démarche scientifique démonstrative permettant de mettre en évidence les réserves, d'explicitier les processus de stockage et mobilisation. Inversement les copies qui utilisaient des plans catalogues sans aucune idée/notion et qui basaient leur rédaction sur des successions d'exemples, si bien documentés soient-ils, ne sont pas sorties du lot. En effet, nombreuses ont été les copies qui ont décrit de multiples exemples de réserves, parfois en détail, mais qui n'ont pas, au préalable, explicité en quoi il s'agissait de réserves. La grille a ainsi été conçue pour valoriser les candidats qui réfléchissent au sujet, qui se posent des questions permettant de le traiter, donc qui formulent des réponses sous la forme de notions : des titres explicites qui connectent des éléments de connaissances à un traitement du sujet. Les copies qui ont travaillé par exemples, témoignant seulement de compétences de restitution, n'ont ainsi récupéré que peu de points. Des titres génériques du type « le glycogène, une molécule énergétique », qui ne font référence qu'à un exemple, et sans lien explicite avec le sujet, n'ont donc pas été valorisés dans le barème. Le périmètre du sujet a posé problème pour certains candidats, qui l'ont abordé à une échelle trop physiologique. Il est rappelé l'intitulé du secteur A, qui place l'échelle de l'organisme comme une échelle d'intégration des connaissances en biologie cellulaire et biologie moléculaire. La plupart des notions attendues était donc à ces échelles. Un corollaire de ce travail par notions est qu'il est peu judicieux de traiter le sujet séparément pour les cellules animales, les cellules végétales et les cellules procaryotes. La distinction « par type cellulaire » n'est pas un raisonnement par notions mais une restitution de catégories classificatoires peu informative par rapport au sujet. Que les réserves cellulaires soient limitées à telle molécule chez un groupe taxonomique et telle molécule chez un autre, ne constitue qu'une observation descriptive, qui doit ensuite être transposée en principe biologique, par exemple le fait que « l'identité des molécules de réserves énergétiques peut refléter l'appartenance à un groupe d'organisme donné et informer sur son évolution ». Le fait de travailler par notions plus que par exemples ne doit pas faire oublier que pour chaque notion avancée, un exemple (pris dans n'importe quel règne) doit être pris, justifié, explicité, et potentiellement généralisé (si similitudes et/ou différences avec d'autres exemples).

4.1.2.2 La démarche démonstrative

La démarche démonstrative a été également valorisée. Le tableau ci-dessous donne des exemples de méthodes et/ou démarches expérimentales qui pouvaient être avancées dans les copies, sans pour autant constituer une liste exhaustive.

Exemples de démarche démonstrative	Exemple d'exploitation dans le sujet
Expérience du foie lavé	Mise en évidence d'une forme de réserve du glucose (dans le foie) : le glycogène
Mesure de la glycémie à l'entrée et à la sortie du foie	Mise en évidence de cellules spécialisées (différenciées) dans le stockage ou la libération de glucose
Mutants : ex métabolique avec les souris Akita (pas de production d'insuline)	Lien avec la physiopathologie diabète : mise en évidence de signaux de mise en réserve / de mobilisation
Dosages hormonaux	Mise en évidence des variations de signaux de mise en réserve / mobilisation en fonction de l'état physiologique
Microscopie optique	Observation de glycogène dans le foie ou les cellules musculaires, d'amidon dans les chloroplastes (après coloration au lugol par exemple), ou de gouttelettes lipidiques dans les adipocytes
Microscopie électronique à transmission	Observation d'ultrastructures, par exemple vésicules d'exocytose avant/après mobilisation des réserves
Coloration au rouge soudan, au lugol (amidon; glycogène sur organe), à l'acide périodique de Schiff (sur coupe : glycogène), au Biuret, au May-Grunwald-Giemsa (pour visualiser les granules de granulocytes)	Visualisation de biochimies différentes
Sondes calciques (Fura-2, aequorine)	Identification des compartiments de stockage du calcium, identification des flux calciques = mobilisation de la réserve
Marquages radioactifs au P32 ou S35 ou autre et autoradiographie	Marquages des molécules de réserve
Expérience avec cache noir sur feuille photosynthétique	Montrer la synthèse d'amidon = de réserve à la lumière : couplages énergétiques
Logiciel RASTOP	Visualisation de modèles moléculaires
Cytométrie en flux ou ELISA	Par exemple pour doser les cytokines stockées dans les lymphocytes
Test de cytotoxicité (au chrome par exemple)	Mise en évidence de la libération d'enzymes lytiques par les lymphocytes T cytotoxiques
Inhibiteurs de transcription	Mise en évidence du stockage d'ARNm
Auto-radiographie avec leucine tritiée (Equipe de Palade)	Mise en évidence du flux protéique vésiculaire

La démarche démonstrative permet ainsi de raisonner sur des faits observés, ce qui peut éviter de nombreuses dérives finalistes du type « la cellule a besoin de ... pour pallier les manques en nutriments », ou encore « la cellule met en place ... », beaucoup trop présentes dans des copies de sciences.

Citer les expériences ne suffit pas : il est attendu que celles-ci soient exploitées au service du sujet à traiter. Cela a été très bien fait dans certaines copies, mais reste encore trop peu fréquent. Au lieu d'utiliser un protocole et des résultats comme base pour construire une notion, certains candidats présentent les expériences en conclusion du paragraphe, ce qui ne permet pas de mettre en œuvre

une démarche démonstrative. De façon générale, il est important dans une démarche démonstrative de préciser les systèmes expérimentaux et/ou les organismes dans lesquels les observations ont été faites. Ainsi, les précisions du type « chez les Mammifères », « chez les Angiospermes » etc... ont été appréciées par rapport à des paragraphes généraux sans précisions quant aux organismes concernés.

L'introduction

L'introduction doit permettre de délimiter le sujet, de le définir et de mettre au point une stratégie pour résoudre la/les questions scientifiques qu'il pose.

La maîtrise de cette compétence repose sur les quatre points suivants (non ordonnés) :

- « l'approche » ou « la contextualisation », partant de l'actualité, d'expériences, d'éléments d'histoire des sciences, ou autre : celle-ci doit servir d'ancrage au sujet.
- « les pré-requis » : il ne s'agit pas seulement de définir abruptement les termes du sujet. Par exemple, la définition de « cellule » comme « unité fondamentale du vivant » apporte peu à la réflexion sur le sujet ; de même, certaines copies ont passé beaucoup de temps à rappeler la théorie cellulaire, sans faire le lien avec le sujet, soit « les réserves ». En revanche, avancer que la cellule constitue un système thermodynamiquement ouvert, échangeant matière, énergie et information avec l'environnement, peut être utile comme « pré-requis » aux questionnements ultérieurs, notamment quant à la mise en place et à l'utilisation des réserves. Cette étape-là est fondamentale pour clairement cerner les limites du sujet : nombreuses sont les copies qui se sont limitées aux réserves énergétiques, témoignant d'une mauvaise analyse des termes du sujet, ce qui a mené à son traitement très partiel.
- « la problématique » ou « les questionnements » : ils sont soulevés par l'approche et les pré-requis. Il est à noter que de nombreuses « problématiques » avancées dans les copies n'en sont pas : il est rappelé qu'une problématique émerge seulement quand l'approche et/ou les pré-requis ont permis de mettre en lumière des faits en apparence contradictoires. Problématique(s) ou questionnement(s) doivent ainsi être en accord avec l'approche et les pré-requis avancés. Un exemple classique de problématique/questionnement possible : « chez les Mammifères par exemple, face à la consommation continue d'ATP par exemple d'une cellule musculaire et face à un apport discontinu de nutriments au moment des repas, comment la cellule soutient-elle son métabolisme hétérotrophe ? »
- « La stratégie de résolution de la problématique / des questionnements » : ce sont les axes directeurs de la composition, explicités et justifiés par les trois points précédents.

L'explicitation de l'introduction en ces quatre points ne doit cependant pas mener à des introductions en quatre temps séparés, chaque point étant dépendant des autres : la genèse d'un ensemble cohérent et fluide est ainsi également évaluée.

La conclusion

La conclusion doit permettre de faire un bilan, une synthèse sur le sujet, en en relevant les points clés, puis d'élargir le sujet.

La maîtrise de cette compétence repose ainsi sur les 2 points suivants :

- Une partie « bilan » qui répond explicitement aux questions posées en fin d'introduction. Elle doit être rédigée ou schématisée (mais avec des légendes explicatives) de sorte à faire ressortir le raisonnement qui sous-tend la synthèse. Il ne s'agit ainsi pas de répéter ce qui a déjà été dit : des points sont attribués quand il y a un réel travail de synthèse accompli dans cette partie conclusive. Comme pour l'introduction, cette partie doit constituer un ensemble cohérent.
- Une partie « élargissement » du sujet, ou d'une notion qui a été évoquée dans l'exposé. Il ne s'agit pas de s'éloigner du sujet, ou de proposer un nouveau sujet, mais réellement d'apporter de la culture générale et scientifique « pour aller plus loin ».

La maîtrise de la langue française et du vocabulaire scientifique

Les copies s'évaluent dans leur globalité, notamment au niveau de l'orthographe ou encore de la syntaxe. Des fautes d'orthographe, des oublis de pluriel, des erreurs dans la conjugaison des verbes ou dans les accords des participes passés, sont relevés de façon récurrente, diminuant ainsi la qualité des copies.

Le vocabulaire doit également être le plus rigoureux possible. Par exemple, pour décrire la mobilisation des réserves par rupture de liaisons covalentes, on a lu les termes trop imprécis de « découpage », ou encore de « dégradation ».

D'autres commentaires sont avancés directement dans la grille d'évaluation fournie par le jury.

4.1.3. Grille de notation

Une version modifiée de la grille d'items utilisés pour la notation des copies est présentée ci-dessous. Elle ne constitue en aucun cas un plan type ou un corrigé, mais elle balaye avec quelques exemples non exhaustifs les notions pouvant être abordées.

Agrégation externe			
Épreuve du secteur A		SUJET : Les réserves de la cellule	
Introduction	<p>Approche : elle doit servir d'ancrage à l'introduction. Exemples : Apports énergétiques non continus versus physiologie continue (apports vs dépenses) / Survie en cas d'absence d'apport énergétique / Obésité. <i>L'approche n'est pas forcément à l'échelle cellulaire/moléculaire (échelle du sujet et du secteur A), mais doit y mener dans la suite de l'introduction.</i></p>		
	<p>Pré-requis dont analyse des termes du sujet, permettant de poser le questionnement et d'annoncer les axes directeurs du devoir. Réserve = quantité accumulée pour être utilisée en cas de besoin, donc sous effet de signaux. Une réserve sous-entend qu'il y a stockage, pendant une certaine durée, puis remobilisation, suite à des signaux = 4 conditions sont ainsi nécessaires pour définir une réserve. <i>La définition d'une limite temporelle en-dessous de laquelle on ne peut plus qualifier les substances stockées de réserves exclut l'ATP au turn-over trop élevé ; la définition d'un stockage préalable et d'une mobilisation excluent le génome in toto (car présent en permanence).</i> La définition de "cellule" qui doit être donnée doit être en cohérence avec cette définition : atomes et molécules constitutives (organiques versus minérales : questionnement vers "quels types de molécules peuvent constituer des réserves"), métabolisme cellulaire par utilisation de substrats = besoins en énergie d'une cellule (questionnement vers l'approvisionnement permanent des cellules en substrats du métabo), système thermodynamique ouvert (questionnement vers les flux d'énergie), avec dans certains cas une spécialisation cellulaire (organismes multicellulaires, questionnement vers les éléments de différenciation permettant un traitement spécialisé des réserves, pour le bénéfice de l'organisme). Les exemples pris dans ce sujet doivent être pris au sein des Eucaryotes (animal/végéta) et procaryotes (Bactéries/Archées).</p>		
	<p>Problématique / Questionnement(s) clairement posé(s) et justifié(s) par l'approche du sujet et les pré-requis Comment concilier apports discontinus et besoins continus ? Quelles sont les biochimies associées à la fonction de réserve ? Quelles sont les localisations en rapport avec ces biochimies ? Quels sont les signaux et les voies de mises en réserve et de mobilisation ? Quels sont les rôles de l'utilisation de ces réserves aux échelles cellulaire et de l'organisme ?</p>		
	<p>Axes directeurs de la composition explicites et justifiés = stratégies de résolution d'axes de questionnements posés (plan en adéquation avec le reste de l'introduction). La cohérence de l'introduction par rapport au contenu du devoir doit être soignée : par exemple, certains candidats ayant initié l'introduction aux réserves énergétiques traitent pourtant des réserves informationnelles dans le devoir.</p>		
Biochimie des réserves de la cellule = Quels atomes / quelles molécules sont stockées ?	<p>Reserves minérales. Très peu abordées et généralement limitées à des généralités sur le calcium</p>		<p>ion calcium (dans réticulum, matrice extracellulaire, matrice mitochondriale, enveloppe nucléaire), P (dans matrice extracellulaire osseuse, P chez cyanobactéries), S (dans granule de soufre chez les bactéries).</p>
	<p>Reserves glucidiques</p>		<p>Oligomères : saccharose, maltose, oligosaccharine Macromolécules/Polymères = Amidon, inuline (végétaux), glycogène (Métabolisme, champignons), granules corticaux (pour glycoaminoglycannes), chrysolaminarine (diatomées), cellulose et hémicellulose dans le cas particulier du dattier et de l'asperge. <i>Le traitement en parallèle de l'amidon et du glycogène, plutôt que leur présentation séquentielle sans mise en relation, a été appréciée</i></p>
	<p>Reserves lipidiques</p>		<p>Acides gras complexés au glycérol : tri-Acyl-Glycérol, cholestérol estérifié. <i>De fréquentes confusions ont été relevées entre lipides et acides gras, termes souvent considérés comme synonymes. Si les triglycérides ont été assez souvent mentionnés, leur nature biochimique exacte est rarement connue. Certains copies développent la diversité des acides gras, sans que cela n'apporte réellement au sujet. Les paragraphes encyclopédiques, sans réelle réflexion ou intégration au sujet, ne peuvent être valorisés.</i></p>
	<p>Reserves protéiques</p>		<p>Plaquettes vitellines (phospholipoprotéines) de l'ovocyte de Xenopus, zymogènes de la cellule acineuse du pancréas ou granules corticaux (pour protéases) de l'ovocyte, neurotransmetteurs, hormones (ex insuline), cytokines, enzymes tyriques (ex granzyme)</p>
	<p>Reserves d'acides nucléiques</p>		<p>ARNm de l'ovocyte d'amphibien</p>
<p>Quantification des réserves</p> <p>A l'échelle cellulaire : 4000 à 10000 molécules d'acétylcholine dans une vésicule. A l'échelle de l'organisme : 150g de glycogène dans 1 foie chez un homme de 70kg, concentration du calcium dans réticulum versus cytosol et matrice mitochondriale. <i>Beaucoup trop peu de copies ont fourni des données chiffrées, à part avec souvent beaucoup d'imprécisions, comme pour le calcium cellulaire.</i></p>			
Fonctions cellulaires des réserves	<p>Fonction énergétique</p>		<p>Rendements de voies métaboliques, modifications de la charge énergétique de la cellule. Glucides simples et complexes, TAG, (protéines en cas de jeûne). <i>Quelques copies ont judicieusement fait appel aux expériences de mesure de quotient respiratoire pour illustrer les diverses réserves énergétiques utilisées par les cellules musculaires au cours de l'effort physique.</i></p>
	<p>Fonction informationnelle</p>		<p>Messageur Oligosaccharines, neurotransmetteurs, hormones. <i>La notion de messageur (ou second messageur) est souvent illustrée dans les copies, mais sans que les termes donc les notions n'apparaissent explicitement, ce qui ne peut être valorisé.</i></p>
	<p>Second messageur</p>		<p>Calcium : conséquence cytosolique (exocytose), conséquence métabolique (activation d'enzymes)</p>
	<p>Génétique</p>		<p>ARNm = régulation temporelle de l'expression génique</p>
	<p>Fonction structurale</p>		<p>Composés structuraux dans vésicules = granules corticaux (glycoaminoglycannes, glycoprotéines)</p>
<p>Fonction enzymatique</p>		<p>Zymogènes dans vésicules avec problème du stockage, forcément sous forme de précurseurs inactifs</p>	
Localisation des réserves. La spécialisation de certains organites et cellules dans la fonction de réserve est connue et soulignée. Il faut cependant penser à illustrer ce propos et non seulement citer des organites et des types cellulaires. Le lien structure / propriétés des différentes molécules n'est souvent pas réalisé, et on ne comprend alors pas leurs différences de localisation intracellulaire	<p>Des limites de compartiments imperméables aux atomes / molécules de réserves qu'ils contiennent : importance de la nature des membranes (imperméables aux constituants hydrophiles et aux macromolécules), importance des précurseurs pour constituants hydrophobes qui ne peuvent pas être stockés si non.</p>		
	<p>Comportement vis à vis de l'eau, solvant de la cellule</p>		<p>Réserves hydrophiles = Glucides, protéines, acides nucléiques et réserves minérales : établissement de liaisons faibles avec l'eau (peut également être évoqué en biochimie). Exemples : Cytosol, stroma des chloroplastes, vésicules, réticulum, MEC, vacuole (inuline, saccharose, chrysolaminarine), granules de stress pour ANRm ; préciser un exemple pour chaque lieu de stockage</p>
	<p>Réserves hydrophobes = Lipides et établissement d'interactions hydrophobes entre eux (peut également être évoqué en biochimie). Exemples : Cytosol des adipocytes. <i>La localisation des réserves lipidiques dans la cellule a souvent fait l'objet d'imprécisions dans le vocabulaire : de fréquentes confusions sont faites entre liposomes, micelles, gouttelettes lipidiques, voire vacuole.</i></p>		
	<p>Concentration des réserves, des enzymes de mise en réserve et des enzymes de mobilisation dans un même compartiment ...</p>		<p>Exemples : glycogène entouré d'une couronne d'enzymes, ou péripiline/adipophiline autour des gouttelettes lipidiques.</p>
	<p>... proche du lieu d'utilisation</p>		<p>Exemples : grains de zymogène au pôle apical, vésicules d'exocytose des neurotransmetteurs proches de la membrane de l'élément présynaptique, localisation du glycogène dans les cellules musculaires...</p>
	<p>Des réserves dans toutes les cellules : ubiquité</p>		<p>Exemples : TAG, glycogène, calcium (réserves "généralistes" présentes dans toutes les cellules, à distinguer des réserves de cellules différenciées spécialisées dans cette fonction)</p>

		Des réserves dans des cellules spécialisées	Exemples : adipocytes, cellules à aleurones des graines végétales, hépatocytes et cellules musculaires et stockage de glycogène, granulocytes, polyplodisation	
		Des réserves dans tous les règnes	Exemples pris chez les eucaryotes (animaux, végétaux, champignons) et les procaryotes (bactéries et archées)	
Fond	Stratégies de stockage	Stratégie : l'oligomérisation / la polymérisation	Définition de l'état macromoléculaire : Molécules constituées de nombreux monomères (oses, acides aminés, nucléotides) reliés par des liaisons covalentes (poids moléculaire > 10 000 Da) Conséquences de la mise en réserve énergétique à l'état MM : Pression osmotique développée moindre (à comparer avec la même quantité de solutés libres) / Diminution du nombre d'extrémités réactives. Pour l'amyllopectine (ou le glycogène), molécule ramifiée, il reste 1 unique extrémité réductrice et il y a n extrémités non réductrices au niveau desquelles se font les stockages/destockages massifs. Conséquence : non engagement des substrats énergétiques dans les voies métaboliques / non libération des signaux de communication. Exemple : Glycogène, oligosaccharines	
		Stratégie : la complexation	Par liaison à une autre molécule . Exemple : calcium (calsequestrine du réticulum, protéines matricielles)	
		Stratégie : la modification	ARNm (raccourcissement de la queue polyA), cholestérol esterifié, hormones végétales, colloïdes pour les hormones thyroïdiennes	
		Stratégie : la séquestration dans des lumières autres que les vésicules, genèse d'un gradient	Calcium	
		Stratégie : la séquestration dans des vésicules	Vésicules de neurotransmetteurs ou de zymogènes ou de composés structuraux (glycosaminoglycannes, glycoprotéines)	
Mécanismes de mise en place de la réserve	Origine des éléments constituant les réserves cellulaires (sucres, acides gras, phosphore, calcium, acides aminés)	Origine exogène (à la cellule) : alimentation, réserves . L'origine des éléments mis en réserve a amené à de très longues digressions sur la photosynthèse végétale et l'alimentation / digestion chez les métazoaires. S'il est important de les aborder, l'ampleur du sujet doit amener les candidats à choisir un degré raisonnable de développement de ces aspects		
		Origine endogène (à la cellule) , Autotrophie (exemple de la photosynthèse = fabrication des réserves organiques à partir de molécules minérales) ; voies métaboliques de synthèse des nucléotides		
	Mise en place d'oligomères / de polymères énergétiques	Etablissement de liaisons covalentes à partir des substrats énergétiques actifs de voies métaboliques (glucose-1-P sous forme de glycogène, acyl-coA sous forme de TAGs, etc.). Exemples de voies métaboliques : glycogénogenèse, biosynthèse des TAGs, biosynthèse du saccharose. Les voies métaboliques de la mise en réserve sont souvent citées (malgré des confusions fréquentes de terminologie, par exemple entre glycogénogenèse et néoglycogénèse) mais très rarement décrites, encore moins correctement, même dans leur version la plus simple...		
		Contrôles sur enzymes-clés (étapes limitantes) : l'étape d'engagement a un ΔG très négatif, avec catalyse via une enzyme allostérique. Exemple : la glycogène synthétase.		
	Mise en place de séquences d'information	... pour les ARNm : mécanismes de raccourcissement de la queue polyA / d'interaction avec le cytosquelette		
		... glucidique ("messager" des fonctions)	Voies de biosynthèse de séquences glucidiques (localisation, enzymes). Exemples : glucides pariétaux (hémicellulose, glycoprotéines, etc.)	
Mise en place de gradients ("seconds messagers" des fonctions)	Transport actif primaire (pompe). Exemple : pompes calciques ATP-dépendante à la surface du réticulum			
Mise en place de vésicules	Chargement des vésicules	Insertion co-traductionnelle dans le REG, réseau trans-golgien, adressage au compartiment de stockage / transports actifs secondaires si voie de biosynthèse cytosolique. Exemple : gradient protonique et chargement de l'acétylcholine		
	Maintien par le cytosquelette	Réserve seulement si libération sous signal : maintien des vésicules dans la cellule par liaison au cytosquelette. Exemple des vésicules de messagers de la communication (neurotransmetteurs), d'enzymes (zymogènes), ou de composés structuraux (glycosaminoglycannes, glycoprotéines)		
Mobilisation de la réserve	Libération de substrats énergétiques	Les enzymes, effecteurs de la catalyse et du désassemblage des molécules de réserve	Mobilisation de substrats énergétiques par rupture de liaisons covalentes . Exemple de voie métabolique énergétique : glycogénolyse avec mise en évidence du potentiel énergétique libéré. Les réactions de libération des substrats énergétiques sont très mal connues et souvent étudiées, au profit d'une description très détaillée et disproportionnée du catabolisme oxydatif. Ces développements ont parfois souligné des représentations erronées des processus métaboliques. Ainsi, les réactions de respiration et de photosynthèse ont été attribuées de façon récurrente aux seuls organismes comportant des mitochondries et des chloroplastes, respectivement, ignorant ainsi les réactions se déroulant chez les procaryotes	
		Contrôles sur enzymes-clés (étapes limitantes) : glycogène phosphorylase	Contrôle coordonné des enzymes intervenant dans des voies opposées (mise en réserve VS mobilisation) : Exemple de la glycogène synthase et glycogène phosphorylase (coordination par phosphorylation)	
	Libération de séquences d'information	Quantification de la libération d'énergie	... dépendante du degré d'oxydation : comparaison des rendements énergétiques des glucides / lipides par exemple (molécule en C6 plus ou moins hydrogénée) ... par formation d'acétyl-coA qui entre dans le cycle de Krebs = formation du pouvoir réducteur	
		Mobilisation des réserves par rupture de liaisons covalentes (genèse de messagers)	Libération de signaux glucidiques systémiques (exemple des oligosaccharines dans le cas de la FCD induit par une contrainte biotique)	
	Libération de seconds messagers par dissipation de gradient	Mobilisation des réserves par modification/de complexation de la forme de réserve	Cas des ARNm (déséquestration ou polyadénylation)	
		Mobilisation des réserves par perméabilisation des membranes (genèse de seconds messagers)	Canaux spécifiques : Libération de molécules informationnelles (Calcium)	
Libération de contenus vésiculaires	Mobilisation des réserves par modifications des interactions au cytosquelette (exocytose)	Mécanisme d'exocytose : lien avec le cytosquelette et le calcium. Exemples de l'AcH, de l'insuline, de cytokines, d'enzymes lytiques, de composés structuraux. Les mécanismes précis sont rarement présentés, le rôle du calcium est très souvent oublié par exemple		
		Ensemble de	Engagement d'un ou plusieurs récepteurs cellulaires. Eviter un messager = un effet (ensemble de messagers). Exemples : insuline, stimulation antigénique (ex des lymphocytes T cytotoxiques).	

	Signaux CELLULAIRES de mise en réserve / remobilisation des réserves. Celle partie sur le contrôle n'a souvent été traitée qu'à l'échelle de l'organisme, ce qui n'est que l'échelle d'intégration des données en biologie moléculaire et cellulaire pour une épreuve de secteur A	Extracellulaire (ou dans "Intégration à l'échelle de l'organisme")	signaux	Cocktail de signaux. Balances hormonales (insuline/glucagon, glibbérine/ABA)		
			Signalisation / transduction des signaux	Adréraline, adénylate cyclase, AMPc, cascade de phosphorylation intracellulaire, glycogène synthase		
			Thermodynamique		Contrôle de la mise en réserve ou de la mobilisation en fonction de l'apport en substrats (loi d'action de masse) de la charge énergétique, etc.	
			Variabilité de la durée entre la mise en réserve et la remobilisation		Quelques heures (plaquettes vitellines, glucose et homeostasie glycémique), quelques mois (glucose à partir d'amidon lors du passage de la mauvaise saison), quelques années. Pour l'amidon il y a plusieurs échelles de temps. Périodicité quotidienne dans le chloroplaste, périodicité saisonnière dans les tissus de réserve	
	Intégration à l'échelle de l'organisme	Des cellules regroupées en tissus / en organes, spécialisées dans les réserves		Distinguer les cellules qui mettent en réserve égoïstement pour leur propre activité (glycogène dans cellules musculaires), et les cellules hépatiques qui font une mise en réserve pour l'ensemble de l'organisme, ou encore les cellules osseuses avec matrice extracellulaire riche en phosphates et calcium, disponibles à l'échelle de l'organisme		
				Des organes spécialisés dans la réserve : foie, tubercules (exemple radis, pomme de terre), rayons du bois, etc.		
		Rôles des réserves à l'échelle de l'organisme. "Grâce aux réserves cellulaires, l'organisme..."	... fonctionne / survie (physiologie ; homeostasie)	Homeostasie : glycémique par exemple		
			... se reproduit	Communication inter-cellulaire (neurotransmetteurs, hormones, cytokines)		
	Conclusion		... se défend (suite à une rupture de l'homeostasie)	Croissance et développement : germination des graines / exemple des signaux environnementaux "photopériode" (amylases dans le caryopse de blé) ou "concentration en O2"		
				Défense de l'organisme : granules toxiques des lymphocytes T cytotoxiques ou des granulocytes.		
				Résistance à un stress (biologique ou abiotique) ; exemple de l'utilisation des réserves au cours d'un exercice physique : glucidiques et lipidiques (corps cétoniques) ; exemple du passage de la mauvaise saison (hivernation, hibernation, bois d'été/de printemps) ; exemple de la défense végétale (oligosaccharines)		
				Reponse à la problématique et/ou au(x) questionnement(s) de l'introduction et organisation dans un ensemble cohérent (écrit et/ou schématisé) Idée d'élargissement pertinente... ... et apport d'une culture générale et scientifique		
Qualité générale de la construction de la copie. Une mauvaise gestion du temps est constatée pour de nombreux candidats : seule une partie du plan annoncé est traitée, les dernières idées étant mises "en vrac" sur le fin.	Plan			<i>Il est regrettable que les plans ne soient pas toujours cohérents. Ainsi, on trouve souvent dans les parties « mobilisation des réserves » des exemples de réserves qui n'ont pas été introduits dans les parties « nature des réserves », ou inversement des exemples de réserves présentes en début de devoir qui ne sont plus discutées ensuite dans les parties « mise en place et mobilisation ». Les candidats ont souvent été confrontés à la difficulté d'éviter les redites entre grandes parties. Ainsi dans certaines copies, le rôle énergétique des réserves a été répété plusieurs fois, sans que cela n'apporte d'éléments nouveaux, engendrant ainsi une perte de temps et un manque de structure de l'exposé.</i>		
	Transitions			<i>Elles se limitent le plus souvent à "nous avons vu... nous allons voir", ce qui n'articule pas correctement le raisonnement.</i>		
	Démarche démonstrative			<i>Les approches expérimentales le plus souvent évoquées sont l'expérience du foie lavé, ainsi que la mise en évidence de groupes de molécules ou de fonctions chimiques (ce qui ne démontre absolument pas le caractère de réserve) par coloration. En général, les "expériences" ne sont pas présentées avec une question, une explicitation de la méthode utilisée pour répondre à cette question et encore moins ensuite analysées sous forme de résultat et discussion, voire de nouvelles hypothèses émergeant des résultats (compétence du secondaire).</i>		
	Illustrations			<i>Un schéma doit être introduit et expliqué : un titre (quand il y en a un) ne suffit pas</i>		
	Total du fond					
Forme	Rédaction			Clairé, concision		
	Présentation			Orthographe, syntaxe		
	Total de la forme			Présentation et soin		
TOTAL de la copie						

4.2 Epreuve écrite du secteur B:

4.2.1 Le sujet proposé :

Les plans d'organisation des organismes pluricellulaires

4.2.2 Commentaires

4.2.2.1 Commentaires généraux sur l'épreuve

Le sujet proposé cette année abordait de nombreux domaines largement développés dans la partie 3 du programme de l'agrégation intitulée "Plans d'organisation du vivant et phylogénie". Il portait sur la caractérisation des plans d'organisation observés chez les espèces pluricellulaires actuelles et fossiles, leur mise en place et les contraintes associées ainsi que leur utilisation dans la compréhension du vivant.

Un tel sujet permettait aux candidats d'exprimer leur aptitude à la synthèse en exposant leurs connaissances sans se limiter à une simple description successive d'exemples, même judicieusement choisis. Il nécessitait également, comme tout sujet de synthèse, la construction d'une démarche logique répondant à une problématique. Ainsi, le sujet de cette année se prêtait à une réflexion sur le concept de plan d'organisation et sa revisite actuelle par l'approche Evo-Dévo. Il s'agissait de comprendre pourquoi, malgré de nombreuses critiques, les plans d'organisation sont encore utilisés dans la systématique et/ou la compréhension des grandes lignes de l'évolution du vivant. Il fallait aussi montrer que les données de la génétique moléculaire associées aux gènes du développement fournissent un nouvel éclairage sur la notion du plan d'organisation et permettent de comprendre leur mise en place au cours de l'évolution des organismes pluricellulaires. Très rares sont les candidats à avoir eu une véritable réflexion sur la dimension évolutive et phylogénétique du plan d'organisation. Ceux qui ont su présenter une critique argumentée de ce concept ont été valorisés.

Les copies des candidats admissibles sont des copies bien rédigées et illustrées à partir d'exemples choisis dans des taxons variés. Elles révèlent des connaissances solides sur l'architecture et le développement des organismes pluricellulaires. Les copies les moins bonnes correspondent à des connaissances scientifiques insuffisantes, voire erronées, et une incompréhension du sujet. Cette dernière a conduit à de longs développements sur la physiologie comparée des grandes fonctions, l'apparition de la multicellularité dans le vivant ou même l'organisation de la cellule eucaryote.

On peut aussi déplorer la faible qualité des schémas dans nombre de copies, dépourvus d'orientation (pourtant au cœur du sujet), peu lisibles (un code couleur récurrent aurait été utile pour repérer une polarité ou un système donné) ou comportant des erreurs révélant des connaissances très approximatives. Le jury a été attentif à l'utilisation d'exemples choisis dans des taxons complémentaires au sein d'une démonstration rigoureuse et logique. Comme les années précédentes, les formulations finalistes fréquentes, dès lors qu'on aborde la biologie évolutive, ont été pénalisantes.

Pour les sessions à venir, le jury encourage les candidats à bien connaître le programme du concours et à prendre du recul sur leurs connaissances. Les conseils généraux développés dans chaque rapport de jury portant sur la rédaction d'une composition sur un sujet de synthèse restent valables. Il convient toutefois ici de rappeler quelques points importants inhérents au sujet de cette année. Les items proposés ci-dessous intègrent les principales notions attendues et quelques commentaires.

Comme dans la grille de correction proposée en fin de section, il ne s'agit pas de fournir un corrigé complet mais d'indiquer les points essentiels attendus.

4.2.2.2 Commentaires spécifiques sur l'épreuve

Introduction et analyse du sujet

L'introduction est le premier paragraphe d'une composition et le plus important pour montrer la compréhension du sujet et la démarche de résolution proposée. Elle doit comporter un ancrage pertinent, suivi logiquement par une analyse des termes du sujet et l'exposé d'une démarche à travers un plan. Ces étapes doivent présenter des liens logiques et expliciter le raisonnement qui sera développé dans le devoir.

Beaucoup de candidats ont choisi comme contexte introductif la biodiversité et sa caractérisation morphologique mais on pouvait également introduire le sujet à partir des données sur l'apparition des organismes pluricellulaires au cours de l'histoire de la vie. Ces contextes conduisaient à définir le plan d'organisation comme un schéma corporel, caractéristique d'un taxon. Il était aussi impossible de traiter le sujet sans définir les organismes pluricellulaires, un groupe polyphylétique comprenant les Métazoaires, certains Chlorobiontes et Rhodobiontes, des Straménopiles mais aussi des Eumycètes, généralement oubliés dans les copies. L'absence d'une telle définition explique en partie pourquoi de nombreuses copies n'ont traité que des Métazoaires.

Toutes ces définitions permettaient ensuite de développer la problématique et de construire le raisonnement. Il est encore utile de rappeler qu'une problématique ne peut pas se résumer à une succession de questions, en général convertie ensuite en un plan. Dans ce sujet, la problématique pouvait être développée à partir de plusieurs approches. L'approche historique, avec la définition du plan d'organisation établie par Cuvier au 19^{ème} siècle, était un point de départ de la démarche. L'approche évolutive avec l'observation de ressemblances parmi une variété de formes chez les organismes pluricellulaires se prêtait aussi bien au sujet. S'intéresser aux plans d'organisation des organismes pluricellulaires revenait donc à les définir et à les comparer pour montrer leur diversité et leur évolution au sein du vivant.

La réponse à la problématique devait donc être organisée au sein d'un plan logique comportant des titres de paragraphes clairs et adaptés au contenu. Comment peut-on imaginer répondre à ce sujet en décrivant successivement des exemples d'organismes sans établir de synthèse ? De plus, il est encore trop fréquent de voir que le plan annoncé ne correspond pas au contenu réel du devoir. Malgré ces écueils, les meilleures copies ont su adopter un plan original permettant de couvrir l'ensemble du sujet.

Définition morpho-anatomique du plan d'organisation

Le plan d'organisation d'un organisme est un schéma corporel qui prend en compte à la fois les grandes orientations mais aussi la disposition relative des différents éléments constitutifs de l'organisme. Ainsi, la description des axes de polarité et des différents types de symétrie était attendue à partir de plusieurs exemples choisis dans différents taxons. Étonnamment, ce point a révélé des lacunes en géométrie chez certains candidats qui confondent axe et plan ou polarité et symétrie.

Une autre caractéristique du plan d'organisation de nombreux organismes pluricellulaires peut être la propriété de modularité ou la présence d'unités répétées spatialement. Les exemples de la segmentation antéro-postérieure des Métazoaires et les unités architecturales observées chez les végétaux comme le phytomère des Trachéophytes (ou les pleuridies des algues à thalle cladomien) étaient attendus. La comparaison de cette modularité entre différents taxons (par exemple, la tagmatisation chez certains Métazoaires) permettait de compléter cette présentation.

Le plan d'organisation des organismes concernant également la disposition spatiale des organes et des structures internes, une comparaison entre un Vertébré et un autre Bilatéralien, aisément schématisable sous la forme de diagrammes, était attendue. La plupart des copies l'ont fait mais le plus souvent avec deux exemples de Vertébrés. La disposition des cavités coelomiques, du système nerveux, des appendices chez les Métazoaires et la disposition des organes dans l'appareil végétatif ou reproducteur des Embryophytes pouvaient être aussi décrites.

Cette partie sur la définition morpho-anatomique du plan d'organisation était donc l'occasion de démontrer que chaque groupe évolutif possède un plan d'organisation spécifique reposant sur un ensemble de caractères. Elle a été l'occasion pour les candidats de décrire une diversité d'exemples montrant la diversité de l'organisation des organismes pluricellulaires mais aussi de nombreuses convergences. Cette partie a révélé malheureusement des lacunes importantes au niveau de la systématique et de l'anatomie des organismes, avec parfois de graves confusions (entre Cnidaires et Spongiaires par exemple).

Un plan de fonctionnement

L'observation des plans d'organisation chez les organismes pluricellulaires révèle de nombreuses convergences évolutives, des ressemblances morpho-anatomiques corrélées à des contraintes fonctionnelles. Ainsi, les organismes sessiles ou fixés possèdent souvent une symétrie radiaire alors que les organismes vagiles à mouvements polarisés présentent une symétrie bilatérale.

La mise en place du plan d'organisation

Pour chaque plan d'organisation des Métazoaires, il existe un stade embryonnaire appelé phylotype possédant une grande partie de ses caractères (présence ou pas du mésoderme, relation entre la bouche et le blastopore...). Il s'agit pour les Vertébrés du stade bourgeon caudal ou pharyngula. Chez les plantes à fleurs, la plantule est considérée comme le stade phylotypique. Il était donc impensable de ne pas traiter les relations entre plan d'organisation et développement, ce qu'a fait effectivement la très grande majorité des candidats. Toutefois, plusieurs candidats n'ont pas su faire des choix ou prendre le recul nécessaire pour traiter cette partie et s'y sont littéralement noyés.

Il s'agissait de montrer que le développement, par l'ensemble de ses étapes et de ses contrôles, aboutit à un être vivant caractérisé par un plan d'organisation spécifique de chaque phylum.

Concernant le développement embryonnaire précoce, une description de la spécification des axes de polarité et des symétries était attendue. Chez les Métazoaires, la présentation de la gastrulation était l'occasion de montrer l'évolution des axes de polarité chez l'embryon et de rappeler l'origine de la subdivision Protostomien - Deutérostomien. La présentation d'un exemple de morphogénèse (coelome, système nerveux, membre chiridien...) permettait aussi de démontrer la conservation des polarités établies au début du développement. L'équivalent dans la lignée verte ou chez les algues brunes pouvait être présenté avec les étapes précoces du développement du zygote. La formation de l'embryon des Angiospermes et de son devenir permettait ensuite d'illustrer la mise en place des organes grâce à des divisions cellulaires (divisions périclines et anticlines observées au niveau du méristème apical caulinaire).

Le développement embryonnaire étant contrôlé par divers signaux endogènes et exogènes qui affectent l'expression du génome, étaient attendus quelques éléments sur le rôle des déterminants morphogénétiques issus de l'ovocyte ou de l'embryon et sur les inductions embryonnaires. Ainsi, le plan d'organisation des organismes métazoaires apparaît être le résultat d'une interaction spatio-temporelle rigoureuse de nombreux signaux moléculaires.

Le plan d'organisation des organismes pluricellulaires est aussi le résultat de l'expression d'un ensemble de gènes régulateurs et architectes. Chez les Métazoaires, un nombre relativement limité de gènes du développement, dont les gènes homéotiques et les gènes sélecteurs, déterminent l'organisation structurelle de l'organisme. Une grande majorité des candidats a abordé le rôle des

gènes du développement chez la drosophile, les gènes impliqués dans la détermination des polarités (gènes *bicoid*, *nanos*, *caudal*...), dans l'organisation antéro-postérieure (gènes *gap*, *pair-rule*...) ou dans l'identité segmentaire (gènes *Hox*). Ce fut l'occasion de constater dans plusieurs copies des confusions entre gènes homéotiques et gènes *Hox*. De nombreux candidats ont préféré illustrer l'implication des gènes du développement avec l'exemple de la morphogenèse du membre chiridien chez les Tétrapodes ou celle des pièces florales chez les Angiospermes (modèle ABCE impliquant des gènes à fonction homéotique). Tous ces exemples étaient pertinents pour démontrer l'importance d'un contrôle génétique similaire dans la mise en place du plan d'organisation des organismes pluricellulaires. Cependant, le jury regrette l'absence fréquente d'une approche démonstrative à partir d'une démarche expérimentale.

Les changements post-embryonnaires du plan d'organisation ont été traités dans plusieurs copies par le développement de la métamorphose des amphibiens et son contrôle. Le têtard et la grenouille possédant tous les deux une symétrie bilatérale, il était plus judicieux de développer un exemple montrant une altération de la symétrie bilatérale (Gastéropodes, Pleuronectiformes, Echinodermes), une altération complète du plan d'organisation (bonellie, sacculine) ou un retour à la symétrie bilatérale (certains Echinodermes). L'exemple de la métamorphose des amphibiens était par contre utile pour décrire le lien entre les phénomènes de morphogenèse et de croissance ainsi que les facteurs hormonaux impliqués. Chez les Métazoaires, l'embryon apparaît donc comme une version miniature de l'organisme adulte, les développements embryonnaire puis post-embryonnaire consistant essentiellement en une augmentation de la taille et une maturation des organes. Chez les Angiospermes, au contraire, le plan d'organisation embryonnaire ne présage pas de celui de l'organisme adulte, la morphogenèse étant essentiellement post-embryonnaire et flexible en fonction des conditions environnementales. Ce changement du plan d'organisation chez les Angiospermes pouvait être abordé avec la présentation du fonctionnement des méristèmes pendant la croissance, son contrôle endogène (génétique, hormonal et trophique) et ses nombreuses interactions avec les contraintes environnementales. Le résultat final du développement est donc très différent selon les taxons. Malheureusement, très peu de copies ont su pousser leur réflexion aussi loin, se limitant à un simple descriptif des processus développementaux.

Plans d'organisation et phylogénie

Grâce aux apports de l'anatomie comparée, de la paléontologie et de l'embryologie, le plan d'organisation a été pendant longtemps une des bases de la classification des organismes avant d'être délaissé. La place donnée au coelome et à la métamérie chez les Métazoaires ou l'absence de tige, feuille, racine dans la lignée verte a été abandonnée. Cependant, les plans d'organisation présentent des caractères homologues encore utilisables dans l'établissement de la classification phylogénétique du vivant. Ainsi, les Bilatériens Triblastiques regroupent les animaux partageant une symétrie bilatérale et un feuillet embryonnaire intermédiaire, le mésoderme. Les Protostomiens et les Deutérostomiens seraient différenciés en fonction du devenir du blastopore chez l'embryon. L'angiospermie et la présence d'un seul cotylédon sont également des caractères encore pertinents. De plus, des hypothèses d'homologie peuvent être faites grâce aux connexions morpho-anatomiques de certains caractères embryologiques comme le montrent les exemples du membre chiridien des Tétrapodes et de l'articulation de la mâchoire chez les Vertébrés.

La biologie du développement fournit des arguments pour établir des liens de parenté entre les organismes pluricellulaires. Les travaux de E.H. Haeckel au 19^{ème} siècle aboutissant à la notion de stade phylotypique ont été cités par les candidats. Par contre, il faut rappeler que l'idée que le stade phylotypique représente un tronc commun par lequel toutes les espèces passent obligatoirement est fautive. De nombreux contre-exemples montrent que si un stade phylotypique révèle effectivement un plan d'organisation commun à un groupe d'organismes, il ne permet pas d'établir une chronologie.

Par contre, la découverte des gènes homéotiques *Hox* chez la plupart des Métazoaires et la description d'un plan d'organisation en fonction d'un pattern d'expression spécifique de ces gènes a conduit à un véritable renouveau de l'utilisation des plans d'organisation dans la compréhension de l'histoire évolutive des taxons. Ainsi, pour chaque taxon, il est possible de définir un phylotype moléculaire à partir de l'expression spatio-temporelle d'un petit nombre de gènes. La comparaison des complexes de gènes homéotiques *Hox* chez les Métazoaires comme la séquence des gènes permet d'envisager leur histoire évolutive à partir d'un ancêtre commun exprimant au moins 7 gènes *Hox* organisés en un seul complexe. Si une large majorité des candidats a pensé aux gènes *Hox*, rares sont ceux qui ont évoqué la conservation du rôle des gènes du développement *Hox* et encore plus rares sont ceux qui ont expliqué leur implication dans l'évolution à l'origine d'une diversité de formes biologiques. Il existe pourtant de multiples exemples, certains enseignés dans le secondaire. Le jury attendait un exemple de modification de l'expression des gènes *Hox* à l'origine de modifications du plan d'organisation. Parmi les exemples possibles, on pouvait citer des modifications spatiales de l'expression de gènes *Hox* comme l'inversion de l'expression dorso-ventrale des gènes *Hox* chez les Chordés, le changement d'expression antéro-postérieure des gènes *Hox* à l'origine de la diversification de la métamérie chez les Arthropodes ou de la régionalisation du squelette axial chez les Vertébrés. L'évolution du plan d'organisation peut aussi résulter d'une évolution de l'expression temporelle ou d'intensité des gènes *Hox* : exemple du déterminisme génétique des membres pairs chez les Vertébrés, exemple de l'évolution de la forme du bec chez les géospizes...

Conclusion

La notion de plan d'organisation étant sujette à discussion, la conclusion ne pouvait pas se résumer à un catalogue des idées développées dans le devoir ou à l'évocation des thèmes oubliés. Elle devait répondre à la problématique posée en introduction. Ainsi, même si l'utilisation des plans d'organisation est contestable, le concept connaît avec l'étude des gènes du développement une revisite importante qui permet aujourd'hui de l'utiliser avec une dimension évolutive (Evo-Dévo) sans pour autant oublier ses interactions avec les contraintes du mode et/ou milieu de vie des organismes. Les ouvertures proposées dans les copies ont été souvent peu pertinentes. Une ouverture sur les autres échelles du plan, tels que les niveaux cellulaires, était une possibilité. A noter qu'un schéma bilan non intégré dans une présentation écrite ne peut pas remplacer une conclusion rédigée.

4.2.3 Grille de notation

Une version modifiée de la grille d'items utilisés pour la notation des copies est présentée ci-dessous. Elle ne constitue en aucun cas un type de plan ou un corrigé, mais elle balaye avec quelques exemples non exhaustifs les notions pouvant être abordées.

Agrégation externe		n° de copie			
Épreuve du secteur : B					
Fond	Introduction	Contexte: il doit servir d'ancrage clair à l'introduction = la biodiversité et sa caractérisation; la biosphère et ses niveaux d'organisation; la théorie de l'évolution			
		Analyse des termes du sujet à partir du contexte	Organismes pluricellulaires	Entités biologiques constituées de plusieurs cellules différenciées ou non, en contact, et capables de réaliser les fonctions du vivant	
			Groupes concernés: Opisthocoentes Eumycètes, Métazoaires (Eumétazoaires et Porifères ou Eponges), SAR (Straménopiles), Rhodobiontes et Chlorobiontes tels que les Embryophytes		
		Plan d'organisation: architecture du corps ou schéma corporel, caractéristique d'un taxon			
		Problématique clairement posée et justifiée par l'analyse du sujet.			
	Axe directeur de la composition explicité et bien justifié.				
	Définition morpho-anatomique des plans d'organisation	Grandes orientations (externes) des plans d'organisation	Axes de polarité et symétries	Symétrie axiale / radiaire, axe de polarité vertical: polype des Cnidaires, appareil végétatif (polarité apico-basale) et fleur régulière d'une Angiosperme.	
				Symétrie bilatérale	Symétrie bilatérale à l'échelle de l'organisme. Définition avec 2 axes de polarité antéro-postérieure et dorso-ventrale (plan de symétrie) : un exemple bien explicité avec illustration (organisation d'un bilateria) et diversité. Notion de droite-gauche.
					Symétrie bilatérale à l'échelle des organes et des appareils: organe de Bilateria, feuille et pétiole d'Angiosperme. Unité et diversité.
			Relativité de la présence d'un plan d'organisation: Eponges, parasites, mycélium, Cyanobactéries....		
		Modularité et répétition d'unités	Segmentation et métamérie des Métazoaires Bilateria. Définition de l'unité métamère et de sa répétition au sein du plan d'organisation, variation de la segmentation antéro-postérieure selon les groupes d'animaux (segmentation/métamérie, hétérométamérie, tagmes)		
			Répétition de structures similaires selon les axes de polarité chez des Embryophytes (phytomère comme unité architecturale, organisation des verticilles de la fleur des Angiospermes) ou chez les algues à thalle cladomien.		
		Organisation interne des plans d'organisation	Cavités internes	Cœlome et cavités associées (hémocoèle, pseudocœlome, hémocoèle) chez les Bilateria. Place dans le plan d'organisation et évolution selon les taxons.	
			Organisation des organismes à symétrie axiale-radiaire	Certains Diblastiques (Spongiaires et Cnidaires), thalle de certaines algues	
			Organisation des organes selon les grandes orientations dans les plans à symétrie bilatérale	Topologie des organes avec une comparaison de la disposition entre des Métazoaires Vertébrés et Arthropodes par exemple, mise en évidence des caractéristiques communes et des différences entre 2 taxons (squelette, épineuriens / hyoneuriens)	
Plan de fonctionnement		Relation entre plan d'organisation et les interactions organisme / milieu	Contraintes associées aux plans d'organisation: taille, surface d'échanges et métabolisme.		
	Corrélation entre plan d'organisation et fonctionnement chez les organismes pluricellulaires				
La mise en place des plans d'organisation	Mise en place pendant le développement embryonnaire	Une spécification des axes de polarité et des symétries	Etablissement des polarités chez les Métazoaires avant, par ou après la fécondation. Déterminisme et diversité des modalités. Chez les Angiospermes, polarité apico-basale déterminée au stade proembryon (cellule basale et cellule apicale), organisation concentrique précoce.		
		Mise en place développementale des plans d'organisation chez les organismes	Etapes et processus de migrations cellulaires chez les animaux. Présentation des étapes de clivage, gastrulation, morphogénèse (neurulation, différenciation du mésoblaste avec le cœlome et la métamérie) aboutissant au plan d'organisation protostomien ou deutérostomien. Développement des remaniements de la gastrulation sur le plan d'organisation, développement de la mise en place du cœlome et de la métamérie. Divisions cellulaires orientées responsables de la mise en place du plan d'organisation chez les végétaux. Présentation des différents types de divisions et leur localisation, conséquences sur la morphologie.		
		Contrôles par des interactions cellulaires	Détermination et différenciation des cellules par des cascades d'induction. Définition et exemple (centre de Nieuwkoop ou centre organisateur de Spemann), cascades d'inductions précoces permettant une définition de plus en plus précise du plan d'organisation		
		Contrôle par les gènes du développement	Définition des axes du corps par l'implication de plusieurs groupes de gènes interdépendants. Exemple de la drosophile (gènes de polarité, gap, pair-rule, de polarité segmentaire, gènes architectes homéotiques).		

			Gènes homéotiques	Gènes Hox d'identité segmentaire. Exemple (mutation <i>antennapedia</i> , mise en place du membre), organisation des gènes (colinéarité spatiale et temporelle et zone d'expression)	
				Des gènes sélecteurs d'organes: <i>eyeless</i> ou <i>Pax 6</i> pour les yeux, gènes homéotiques MADS (gènes ABC) dans la mise en place des pièces florales.	
		Mise en place post-embryonnaire du plan d'organisation	Morphogenèse et croissance. Mise en place post-embryonnaire du plan d'organisation	Croissance et développement post-embryonnaires chez les animaux en respectant les grandes lignes du plan d'organisation. Facteurs endogènes et exogènes de contrôle.	
				Une mise en place permanente du plan d'organisation des végétaux avec croissance en longueur et ramification (monopodial, sympodial, acrotonie), transformation du méristème végétatif en méristème floral.	
				Construction tardive du plan d'organisation dépendant de signaux exogènes (influence des saisons ou du sol, dormances croissance en largeur discontinue, port des plantes).	
				Développement indirect et métamorphoses: changement du plan d'organisation avec altération plus ou moins importante des symétries.	
Les plans d'organisation et leurs apports à la compréhension du vivant	L'apport des fossiles à l'étude de l'évolution des plans d'organisation - apparition des plans d'organisation			Plans d'organisation des Métazoaires dès le cambrien (540 MA-530 MA): 1 ^{ers} pluricellulaires, faune d'Ediacara, explosion cambrienne de Burgess et Chengjiang, sortie des eaux.	
	L'apport des plans d'organisation à la reconstitution phylogénétique	Caractères homologues dans les plans d'organisation		Homologies primaires à partir de connexions morpho-anatomiques de certains caractères embryologiques. Reconstitution phylogénétique. Homoplasie dans les plans d'organisation.	
		Apports des plans d'organisation embryonnaires		Stade phylotypique commun à plusieurs taxons: stade pharyngula des Vertébrés, plantule des Angiospermes. Zootype défini par le profil d'expression des gènes du développement. Comparaison du nombre de complexes et des séquences des gènes du développement Hox et leurs apports en reconstitution phylogénétique.	
	L'évolution des plans d'organisation	Par modification spatiale de l'expression des gènes Hox		Inversion des axes dorso-ventral et antéro-postérieure entre les Arthropodes et les Vertébrés. Modification régionale de l'expression antéro-postérieure des gènes et diversification de la métamérie chez les arthropodes ou régionalisation du squelette chez les Vertébrés.	
		Par modification temporelle ou d'intensité des gènes Hox		Exemple du passage de la nageoire à la patte par modification de l'expression de <i>Hoxd13</i> ou exemple de l'évolution du bec du pinson.	
		Hétérochronie		Exemple et conséquences.	
	Réflexion critique sur la notion de plan d'organisation				
	Maîtrise des concepts fondamentaux de l'évolution				
	Qualité générale de la construction de la copie	Conclusion	Quelques idées clés ...		
			... qui permettent de dégager des réponses concrètes aux questions posées en intro		
Ouverture pertinente					
Plan		Logique, cohérence, titres informatifs, adéquation entre titres et contenus des paragraphes			
Transitions		Transitions absentes, artificielles, logiques, logiques et bien justifiées			
Approches expérimentales et observations		à apprécier par rapport à la richesse de la copie			
Illustrations		Pertinence, qualité (à apprécier par rapport à la richesse de la copie)			
Bonus					
Forme	Rédaction	Clarté, concision			
		Orthographe, syntaxe			
	Présentation	Présentation et soin			
	Total de la forme				
TOTAL de la copie					

4.3 Epreuve écrite du secteur C:

4.3.1 Le sujet proposé :

Les séismes

4.3.2 Commentaires

4.3.2.1. Commentaires généraux sur l'épreuve

Ce sujet traite d'un thème classique, en principe connu de la plupart des candidat(e)s voire pour certaines parties, connu des « non scientifiques ». Il ne s'agissait évidemment pas de faire un catalogue de tout ce qui peut être de près ou de loin lié aux séismes. Le but n'était pas non plus de traiter le sujet à la manière d'un sismologue, ou d'un géologue, voire d'un historien, mais d'utiliser la pluridisciplinarité des Sciences de la Terre afin de comprendre et de montrer comment le fonctionnement de la machine Terre induit des séismes, quelles en sont les caractéristiques, et en quoi l'étude de ces phénomènes amène des avancées scientifiques. La durée de l'épreuve impose une hiérarchisation et un choix d'exemples judicieux afin d'illustrer la composition de manière rationnelle et scientifique.

Le titre, très court et sans consigne, ne suggérait pas de problématique ni de plan. Toutefois, une démarche scientifique partant de l'analyse des caractéristiques des séismes (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 séismes, pour enfin traiter de l'utilité de ces études (dans la sismologie et la prévention des risques) suffit largement pour « faire le tour » du sujet. 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.

Le jury a souhaité que la correction soit une occasion de privilégier les copies qui montrent une rigueur de construction scientifique par rapport à celles qui font étalage de connaissances sans démarche. Il est préférable (voire obligatoire) de commencer par les observations, les mesures plutôt que par les modèles (si cette assertion paraît évidente, elle l'est vraisemblablement beaucoup moins pour un grand nombre de candidats...). De la même manière, nous avons privilégié les copies où la quantification des phénomènes (des valeurs, des chiffres, des équations) a été mise en avant tout au long du devoir.

Au-delà de la démarche scientifique et de la qualité scientifique des copies, un grand nombre de candidats cumule souvent deux défauts qui sont rédhibitoires à l'obtention d'une bonne note (on n'observe que très rarement ces défauts dans les copies « scientifiques »).

Le premier de ces défauts porte sur **la forme globale du devoir**. Un certain nombre de copies courtes se contentent d'un plan avec des titres. Ce n'est pas l'exercice demandé et un titre ne vaut pas explication et ne rapporte donc aucun point pas plus qu'une suite de « schémas » non expliqués (et souvent faux). Au-delà de ces copies « parcellaires » qui ne répondent pas à l'exigence du concours de l'agrégation, nous avons observé trop peu de copies bien rédigées. L'illisibilité d'une partie de la copie, une présentation plus que déplorable, une syntaxe et une orthographe catastrophiques sont rarement compatibles avec un devoir de qualité. Les épreuves écrites de Sciences de la Terre ne sont pas un exercice de littérature et aucune « note de style » n'est attribuée mais il est nécessaire pour les candidats de fournir un effort minimum afin de placer le correcteur dans des conditions qui lui permettent de juger correctement la copie. Dans un certain nombre de cas (faibles, fort heureusement) la correction est quasi impossible.

Le deuxième défaut concerne les illustrations. Si le jury souligne les efforts, en général, pour essayer d'illustrer des copies, il y a cependant, nombre de schémas qui restent beaucoup trop imprécis, peu rigoureux et sans échelle (ou avec échelle fausse), parfois faux. Un schéma, une illustration se doivent d'être les plus justes, de représenter la réalité (quantitativement ou qualitativement) mais surtout d'apporter quelque chose dans le déroulé du devoir. Certains candidats se disqualifient d'eux-mêmes par la réalisation de schémas surréalistes (sur la forme et le fond), avec des schémas d'une naïveté sans rapport avec ce concours (souvent au niveau des « schémas bilan »). Comme pour le cas précédent les agrégatifs gagneraient à se placer réellement dans un contexte où leur copie va être analysée et corrigée de manière rigoureuse par un enseignant scientifique.

En ce qui concerne le **fond du devoir**, bien que vaste, le sujet proposé possède des limites. Beaucoup de copies sont largement hors-sujet en consacrant un paragraphe ou deux (jusqu'à 50% de la copie) aux méthodes sismologiques (sans lien avec les séismes) ou à la nature de la lithosphère et à sa mise en place, ou encore à l'historique de la tectonique des plaques. A ce stade, le jury souhaite évoquer un point qui ressort (parfois aussi aux oraux, mais en proportion bien moindre) et qui pose vraisemblablement problème à un certain nombre de candidats. La problématique d'un devoir sur les séismes amène forcément à l'utilisation de notions et de prérequis qu'il n'est pas nécessaire de présenter précisément dans sa composition. L'absence de réflexion sur ce point d'un certain pourcentage de candidats s'exprime par des copies « tiroirs » où le candidat finit par exposer la totalité de l'histoire de « Wegener » (en confondant d'ailleurs tectonique des plaques et dérive des continents), ou la cinématique des plaques (ou quelque chose qui lui ressemble) en oubliant bien sûr complètement le sujet : les séismes. Le plus souvent on retrouve lors de ces « excursions loin du sujet » les items des programmes du secondaire plus ou moins bien présentés. Le jury n'est pas là pour juger des connaissances globales du candidat mais pour évaluer la capacité de raisonnement scientifique appliquée à un thème (les séismes ici). Ce raisonnement se base évidemment sur des connaissances qu'il convient de maîtriser convenablement et qui sont, par là même, évaluées lors de l'écrit.

En ce qui concerne la limitation du sujet, l'introduction doit mettre en perspective le sujet, en analyser les termes et poser une problématique en montrant comment le plan suivi va permettre d'avancer dans cette problématique. Une problématique ne saurait se réduire à une liste de questions sans liens entre elles. La conclusion ne devrait pas non plus être réduite à une liste de points abordés dans le devoir mais récapituler de manière concise et claire la démarche scientifique suivie tout au long du devoir.

Dans ce sujet, l'ensemble des exemples traités se devaient d'apporter des informations sur les séismes (observations, mesures, apports de leurs études). La présentation exhaustive de la discipline qu'est la sismologie (différents types de sismique) ou des apports de la sismologie à la Terre interne étaient hors sujet. Si la tomographie, le modèle PREM et les modèles de Terre interne résultent de l'étude des séismes, il fallait judicieusement choisir certains exemples (couche D'', Moho, tomographie sous les Andes par exemple) afin d'illustrer ce que l'étude des séismes nous a apporté. A ce stade de trop nombreux candidats ont oublié le sujet et se sont sanctionnés d'eux-mêmes.

Enfin il est important d'évoquer l'importance de la quantification et de la justesse des exemples et valeurs présentés dans une copie. En effet, si peu de copies argumentent les différents points sur des exemples réels, localisés et bien décrits, encore moins présentent des chiffres, des données et des équations justes. Au-delà des valeurs d'intensité et de magnitude, des temps de récurrences des séismes, de la quantification des dégâts (pertes humaines notamment) qui sont bien trop souvent absents, il est étonnant de trouver si peu de candidats capables de reproduire l'évolution de la vitesse des ondes P et S avec la profondeur (déduite indirectement des hodochrones) avec des valeurs de vitesses cohérentes et pas trop fausses. Le nombre de candidats capables d'écrire les équations d'ondes les plus simples (ondes P et S) est très faible. Le sujet se prêtait parfaitement à l'utilisation en début de devoir, de tableaux comparant différents séismes en termes, de magnitude, d'intensité

locale, de nombre de morts, de contexte géodynamique. Certains candidats, trop peu nombreux, ont compris que ce genre de présentation est un premier pas vers une copie scientifique et certains ont reproduit ce genre de travail sur les ondes générées par les séismes en introduisant les équations d'ondes.

La présentation correcte et scientifique, à l'aide de schémas ou d'illustrations, de données, des faits, de chiffres, d'équations (même simples) et des modèles ou conclusions qui en découlent (en lien bien sûr avec la problématique) constituent la base d'un écrit réussi. Les candidats qui tirent leurs épingles du jeu ont respecté ces règles et montrent par là même leurs capacités à devenir enseignants de Sciences.

4.3.2.2 Éléments de correction et commentaires généraux sur les copies des candidats

Pour l'introduction, une possibilité, dans ce sujet, est de partir de « l'observation » que la Terre est une machine thermique, et qu'une partie de la dissipation de l'énergie se réalise de manière mécanique rapide ce qui provoque des séismes (ou tremblements de Terre). Ces séismes impliquent un comportement cassant des enveloppes affectées. Il est possible à ce stade (mais sans se tromper de dates/de noms) d'utiliser des « séismes » ou « événements liés à un séisme » comme exemple. A partir de là, une annonce simple du plan et de la stratégie de la copie qui mettent en avant les questions importantes en les liant entre elles (et donc la problématique) permet de réaliser une introduction acceptable (Qu'est-ce qu'un séisme ? Quels dégâts provoque-t-il ? Comment les étudie-t-on ? Comment les quantifier et les modéliser ? Que nous apporte l'étude des séismes ? Comment se protéger des séismes ?)

Le plan proposé dans notre corrigé s'articule suivant trois axes :

- (1) Mise en évidence, observations, méthodes d'études.
- (2) La mécanique des séismes.
- (3) La sismologie : de la Terre interne au risque sismique.

(1) Mise en évidence, observations, méthodes d'études

Comme dans le cas de la délimitation du sujet, il semble que « les programmes du secondaire » (ou du moins la volonté farouche de certains candidats de ne pas s'en éloigner, ou l'impossibilité ?) influencent les copies de certains agrégatifs dans une direction très négative. Certains logiciels, certaines illustrations, utilisés en collège et en lycée sont des « conséquences » ou des « représentations » qui découlent d'un travail scientifique plus complexe. Les scientifiques ne localisent pas les séismes avec « Tectoglob » ou « Sismolog », pas plus qu'ils ne mesurent les vitesses des ondes dans la Terre avec « Audacity ». Ils ne placent pas non plus de « gros morceaux de roche » dans les cellules à enclume de diamant. Ces simplifications et erreurs montrent la faible connaissance de certains candidats qui ne maîtrisent qu'à peine les programmes de lycée et qui par là même sont incapables de répondre au sujet à un niveau d'agrégation de SVT. Ces candidats les plus faibles, non majoritaires, mais bien représentés, se doivent, avant tout, d'améliorer leurs connaissances globales et de base dans la discipline s'ils veulent pouvoir passer la barrière de l'écrit de l'agrégation de SVT.

A ce titre on attend d'un agrégatif qu'il connaisse les chiffres et valeurs relatives aux séismes d'autant plus qu'à chaque tremblement de Terre les médias relayent ces informations. Les grands séismes récents (Sendai, Japon 2011 ; Sumatra 2004) ont été largement commentés. La magnitude et les pertes humaines, pour ces événements ou d'autres, devraient être connues de tous les candidats.

Les effets des tremblements de Terre, les vibrations, dégâts associés, la notion de foyer et d'épicentre ont été généralement traités, même si certains confondent épicentre et hypocentre. En revanche, les décalages et escarpements de surface liés à des séismes n'apparaissent que dans peu de copies et

sont rarement quantifiés. Les autres marqueurs (tectoglyphes par exemple) sont eux aussi rarement cités ou rarement reliés avec le sujet.

La sismicité anté-instrumentale est parfois abordée notamment dans l'introduction avec l'exemple du séisme de Lisbonne, mais avec des dates fluctuantes s'étendant de 1500 à la fin du 19^{ème} siècle. Les autres méthodes de paléo-sismicité n'ont été que trop peu présentées et parfois évoquées (paléo-sismicité à partir des sédiments, archéo-sismicité, catalogue « Sisfrance »). De la même manière les phénomènes induits (liquéfaction et glissement de terrain) apparaissent dans un certain nombre de copies (avec des exemples parfois, mais peu souvent).

Le suivi de la déformation induit par un séisme a rarement été traité. Le GPS a davantage été utilisé pour suivre les mouvements des plaques dans des exemples généraux plutôt que comme outil de suivi de la déformation locale (en s'éloignant souvent du sujet). De nombreuses copies décrivent le sismomètre historique « chinois » et/ou le sismomètre à inertie, mais pour ce dernier, l'explication et/ou le schéma sont souvent faux. Le sismomètre moderne et les accéléromètres utilisés aujourd'hui, ainsi que les réseaux mondiaux type « Géoscope », n'apparaissent que dans trop peu de copies.

Beaucoup de copies ont fait l'impasse sur les sismogrammes, et il est évident que moins d'un tiers des candidats maîtrisent correctement les outils sismologiques des bases associées à l'étude des séismes et des ondes. Dans un nombre conséquent de copies, la déformation induite par le passage des ondes de volume n'est pas connue. La déformation associée aux ondes de surface a été abordée dans trop peu de copies. Les équations des vitesses et les valeurs typiques de vitesse des ondes P et S sont données dans ¼ des copies, parfois avec des erreurs. L'équation de Snell-Descartes n'est pas connue de tous. Elle est souvent donnée avec l'indice de réfraction sans jamais définir cet indice. On trouve également beaucoup d'erreurs pour cette équation, mais également sur le schéma qui ne respecte pas toujours la loi de la réflexion ou de la réfraction. La courbure des raies sismiques dans le manteau a été très rarement abordée (même si elle apparaît sur le schéma de propagation dans un certain nombre de copies).

La question de temps d'arrivée des ondes P et S pour les séismes proches et lointains n'a pas été traitée. Quelques copies présentent des hodochrones corrects pour les ondes P, S voire pour les ondes de surface, mais presque aucune ne présente d'autres types d'ondes (PP par exemple). La localisation par triangulation (méthode des cercles uniquement, jamais celle des hyperboles) a été traitée dans moins de la moitié des copies et pas toujours correctement.

La localisation spatiale des séismes a généralement été traitée. Mais les séismes sont souvent localisés comme étant à la frontière des grandes plaques lithosphériques uniquement (les séismes intra-plaques sont rarement traités). Le plan de Waditi-Benioff a souvent été abordé pas toujours avec la précision ni la démarche escomptée. En revanche, la répartition verticale des séismes dans la lithosphère n'a presque pas été abordée, de même pour les séismes profonds (ce qui est pourtant important pour relier ces données avec la partie suivante).

(2) La mécanique des séismes

La quantification des magnitudes (Magnitude de Richter, Magnitude de moment) est souvent traitée mais avec beaucoup d'erreurs. Il s'agit en particulier d'une inversion entre échelle d'intensité et échelle de magnitude (dans près de 50 % des copies ! ce qui est déconcertant, voire choquant !) ou/et d'une méconnaissance profonde de ce qu'est une échelle de magnitude. Peu de copies précisent qu'il s'agit d'une échelle log. Magnitude locale et magnitude de moment ont été discutées dans quelques copies. Le jury déplore le fait qu'il ait trop rarement trouvé un chiffrage de la magnitude des séismes. Les mécanismes au foyer ont été traités correctement dans quelques copies. La principale erreur observée, est que de nombreux candidats ne savent pas relier les zones en compression/dilatation avec la polarité de l'onde et le mouvement sur la faille. Les mécanismes au foyer sont rarement présentés avec des exemples réels qui illustrent un phénomène tectonique en lien avec les séismes.

La mécanique des roches n'est pas systématiquement abordée. Parfois elle est traitée en inversant la déformation élastique avec la déformation plastique et souvent en présentant les modèles sans les observations. Les méthodes expérimentales et l'influence de la variation des paramètres (T° , pression de confinement, vitesse) sont discutées mais dans trop peu de copies

Le diagramme contrainte-déformation est tracé dans une copie sur 5 environ, parfois en inversant les axes contrainte et déformation ou en remplaçant la déformation par le temps. La contrainte déviatorique et son influence sont discutées dans environ 10% des copies.

Les critères de rupture (cercle de Mohr) et les profils (loi de Byerlee) sont très rarement discutés, et on trouve beaucoup d'erreurs (en particulier sur la loi de Byerlee). Le profil lithosphérique est rarement discuté et s'il l'est, la lithosphère se comporte comme un milieu cassant jusqu'à 100 km de profondeur (et très peu de lien est fait avec les données sur la profondeur des séismes calculées dans la lithosphère). Les critères de passage du ductile au cassant ne sont que très rarement traités. Quelques copies abordent la théorie du rebond élastique et le cycle sismique (rarement avec des répliques) et précisent la déformation co-sismique et inter-sismique.

La taille de la rupture d'une faille sismogène en lien avec la magnitude n'a été discutée que dans les meilleures copies tout comme l'influence des « aspérités » sur la sismogénèse. Le « gap sismique » a été traité pour la faille Nord-Anatolienne ou San Andreas dans quelques copies, souvent très bonnes. L'existence des répliques et leurs significations (et l'utilité pour le géologue) apparaissent dans plusieurs copies mais sans aucune interprétation ni questionnement.

(3) La sismologie : de la Terre interne au risque sismique

Les discontinuités géophysiques, déduites des études sismologiques sont listées dans plus de la moitié des copies mais n'ont pas été systématiquement traitées en lien avec l'outil sismique et les séismes. Plusieurs candidats, pensent que l'on a fait des profils V_p , V_s jusqu'au noyau avec un camion vibreur ! (C'est d'ailleurs en plus d'être faux, hors sujet !) Le modèle PREM est souvent présenté sans valeur sur l'axe des vitesses. La zone d'ombre est traitée dans environ 1/3 des copies ... mais de façon plus ou moins juste, peu démonstrative, et peu scientifique. La découverte du Moho, qui constitue un très bon exemple, n'est pas souvent connue.

La définition du risque, de l'aléa et de la vulnérabilité n'est pas toujours connue de manière précise. On retrouve un grand nombre de définitions « à peu près justes » ou « pas fausses ». Le zonage sismique a été traité par peu de candidats. Dans quelques copies, on trouve une carte du risque sismique en France (rarement très juste d'ailleurs), les seules régions sismiques toujours données sont les Alpes, les Pyrénées, parfois le fossé rhénan, pratiquement jamais la Bretagne et la Vendée (même si la faille Sud Armoricaïne est parfois citée).

Le terme parasismique est présent dans une majorité de copies mais il est rarement illustré par un exemple concret. On trouve également beaucoup de bâtiments antisismiques !

La prévision des séismes a été traitée dans quelques copies, mais pour dire qu'il n'était pas possible de prévoir le prochain sauf à donner une échéance basée sur le temps de récurrence.

Le mécanisme de l'effet de site est évoqué (sans utiliser le terme « effet de site » dans certains cas), notamment dans le cas des bassins sédimentaires. Les exemples « grenoblois » et « mexicains » ont rarement été mis en avant et replacés dans le contexte du sujet.

Les tsunamis sont très souvent cités, mais rarement compris. Beaucoup (une majorité de candidats tentant une explication) pensent que le tsunami est induit par l'onde sismique, voire que tous les séismes dont le foyer est sous un océan provoquent un tsunami ! La question de la magnitude du séisme en rapport avec le décalage sur la faille en profondeur, requis pour déclencher un tsunami n'a été abordée que dans quelques copies. La prévention à l'aide de balises et de réseaux de surveillance est très peu présentée, alors même que ces systèmes qui se sont développés depuis le séisme de Sumatra en 2004 ont été mis en avant et vulgarisés auprès du grand public.

En conclusion nous pouvons dire que l'existence de secousses telluriques (séismes) à la surface et dans les enveloppes superficielles de notre planète est une des manifestations qui permet de classer la Terre parmi les planètes actives du système solaire. La terre est une machine thermique active, et la dissipation de l'énergie interne amène des transferts de chaleur qui se réalisent par convection ou conduction. La convection du manteau inférieur et d'une partie du manteau supérieur influence la lithosphère qui se déplace. Cette lithosphère en partie cassante, va réagir et produire des secousses telluriques : les séismes.

L'archivage des données et des observations sur les séismes, les techniques développées au cours des dernières décennies et les apports de la sismologie (et ce qui en découle : localisation des séismes, compréhension du trajet des ondes, quantification des séismes) permettent aujourd'hui de mettre en lien la source sismique et la compréhension mécanique que nous avons de la lithosphère en partie cassante.

Ces avancées permettent aujourd'hui d'étudier finement la structure interne de la Terre par différentes méthodes qui participent (avec d'autres domaines) aux modèles des différentes enveloppes de la Terre. Elles ne permettent malheureusement pas actuellement de prédire les séismes, toutefois de nombreux résultats permettent de mettre en œuvre des approches de prévention du risque et de l'aléa en fonction du contexte local. Pour certains risques, comme pour les tsunamis, la mise en œuvre des techniques de prédictions et de signal d'alerte est au point dans de nombreuses zones du globe. Malheureusement, comme pour les constructions para-sismiques, la réalité du terrain n'est pas souvent en lien avec les solutions possibles... et de nombreux dégâts qui pourraient être évités ne le sont pas (parfois pour des raisons financières, parfois pour des raisons inconnues).

Depuis quelques années, des travaux sur des signaux précurseurs de séismes (étude du bruit de fond, séismes précurseurs, ondes gravitationnelles détectées plus tôt que les ondes sismiques) sont prometteurs mais ne doivent pas cacher le fait, que contrairement aux éruptions volcaniques, la prédiction réelle des séismes est encore un objectif scientifique lointain. La mise en place réelle de mesures de prévention est sans doute l'axe le plus important à développer afin de minimiser les effets des séismes sur les populations et les installations humaines.

4.3.3 Grille de notation

Une version modifiée de la grille d'items utilisés pour la notation des copies est présentée ci-dessous. Elle ne constitue en aucun cas un plan type ou un corrigé, mais elle balaye avec quelques exemples non exhaustifs les notions pouvant être abordées.

Introduction	Contexte : il doit servir d'ancrage clair à l'introduction			
	Analyse des termes du sujet à partir du contexte			
	Problématique et (contexte), clairement posée et justifiée par l'analyse du sujet			
	Axe directeur de la composition explicité et bien justifié			
Fond	Partie I : Mise en évidence, observations, méthodes d'études	A: Mise en évidence et méthode	Les observations actuelles et passées : séismes et failles	Effets de surface, mouvements, vibrations, notion de tremblement de terre, d'épicentre, dégâts dont humains Rupture en surface, et autres effets visibles : tectoglyphes, cannelures, cataclaste, brèche de faille Sismicité autre que instrumentale, historique, archéo, paléosismicité, paléo-rupture quaternaire, notion de catalogue sismique ancien Séismes non tectoniques : tremors volcaniques, rebond isostatique, barrages, fracturation hydraulique. Liquéfaction, glissement de terrain induit par des séismes
			Suivi "en temps réel" d'une déformation discontinue	Méthodes: GPS, INSAR, Lidar, MNT, et exemples Vitesse et déformation, quantification de vitesse et taux de déformation
		B: Apport de la sismologie	Sismomètres et enregistrement des séismes	Historique des sismomètres (Chine, sismomètre classique 3D), chroniques de séismes Sismomètres modernes et réseaux sismiques permanents et temporaires (accéléromètres)
			Sismogramme et ondes sismiques : de la nature des ondes à la localisation	Exemple de sismogramme (lointain, proche, situation des ondes sur le sismogramme) Les ondes sismiques P, S, surfaces : mécaniques, vitesses, équations, mode de propagation, particularités Loi de Snell Descartes, trajet et type d'onde dans la Terre (nomenclature des ondes) Interprétation des sismogrammes: hodochrones, calculs de vitesses des ondes, distance aux séismes
	Répartition et localisation des séismes		Localisation horizontale et lien avec la tectonique des plaques au niveau mondial et exemples locaux Localisation verticale, séismes crustaux, séismes profonds, profil de séismes dans une lithosphère et exemples	
	Partie II : La mécanique des séismes	A: Quantification et compréhension rhéologique des séismes	Intensité, Magnitude, comment classer les séismes	Echelles arbitraires (MSK, Mercalli, etc...), méthode et échelle, notion d'isosaïste Echelle semi et quantitative (Magnitude "Richter", moment sismique), quelques chiffres (grands séismes)
			Mécanismes au foyer	Méthode, lien avec le type de faille et le contexte (exemple)
			Séismes et mécaniques des roches	Méthodes d'étude expérimentale Diagramme contrainte-déformation, et contrainte deviatorique, et comportement des roches
		B: Modélisation de la source sismique, mécanique rupture	Séismes et rhéologie de la lithosphère	Modèle de rupture, dislocation, conditions de glissement, critère de Coulomb, loi de Byerlee, cercle de Mohr. Enveloppes rhéologiques de la lithosphère et paramètres modifiant celle-ci (passage ductile/cassant)
			Sources sismiques et le/les modèle(s) du cycle sismique	Modèle du rebond élastique, cycle sismique et déformations co-sismique Plan de faille et glissement, échelle des séismes, lien avec la magnitude, aspérités, gap sismique, stress drop
Apport de l'étude des répliques			Répliques : détermination et localisation des failles, de la zone de rupture, loi d'Omori, essaim de sismicité	
Partie III: La sismologie: de la Terre interne au risque sismique	A. Dans l'étude de la Terre Interne	Structure globale du globe	Mise en évidence : discontinuités (historique du Moho., zone d'ombre et discont. de Gutenberg, sauts de vitesses...)	
		Modèle sismique du globe	Généralisation au modèle Prem Méthode de tomographie sismique et intérêt, exemples Loi de Birch (manteau/Noyau)	
	B. Dans la compréhension des risques et de l'aléa sismique	Applications, prévention	Définitions	Définitions risque/aléa et acceptabilité Carte aléa ou zonage sismique (sur quelles bases), probabilité Génie para-sismique : fréquence propre des bâtiments et exemple de technique de construction Exemple de plan de prévention prescription réglementaires La prévision de séismes (état des lieux), piste de recherche (bruit de fond) Effet de site (exemple Grenoble, Mexico) Tsunami et séismes (mécanismes et préventions) Séismes et volcans : tremors et prévisions volcanique
Conclusion	Quelques idées clés qui permettent de dégager des réponses concrètes aux questions posées en intro Ouverture pertinente			
Qualité générale de	Plan	Logique, cohérence, titres informatifs, adéquation entre titres et contenus des paragraphes		
	Transitions	Les transitions sont globalement : absentes (0), artificielles (1), logiques (2), logiques et bien justifiées (3)		
	Approches expérimentales et observations	A apprécier par rapport à la richesse de la copie		
	Illustrations	Pertinence, qualité : à apprécier par rapport à la richesse de la copie		
	Total du fond			
	Bonus			
Forme	Rédaction	Clarté, concision		
		Orthographe, syntaxe		
	Présentation	Présentation et soin		
Total de la forme				
TOTAL de la copie				

5. 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

5.1.1 Présentation de l'épreuve

Le sujet de TP 2018 de spécialité du secteur A était un sujet de microbiologie, biochimie et biologie moléculaire. Il s'agissait d'exprimer chez *E. coli* la Taq polymérase, de la purifier partiellement et de tester son activité de manière semi-quantitative

Comme chaque année, l'épreuve de TP a pour visée d'évaluer des compétences :

- manipulateurs
- de compréhension de protocoles, d'outils et de techniques
- de réalisation de protocoles
- d'analyse de résultats
- organisationnelles, via le respect d'un planning sur l'ensemble des 6h, d'un planning de passage à un poste et la réalisation de plusieurs expériences en parallèle.

L'évaluation des compétences manipulateurs a consisté notamment en l'évaluation

- de manipulations en condition stérile et de manière sûre autour d'un bec électrique (manipulation dans le cône de stérilité, absence de gants, etc.). Il est à noter que ces conditions de stérilité ont été rarement respectées par les candidats. Il est impératif que des candidats à un concours de l'enseignement soient vigilants à toutes les règles d'hygiène et sécurité inhérentes à des manipulations de biologie par des élèves du secondaire.
- de manipulations lors du chargement d'un gel
- de pipetages avec micropipettes et pipettes

Hormis le respect des règles d'hygiène et sécurité, le jury a relevé de bonnes capacités manipulateurs chez la plupart des candidats.

Les commentaires du jury ont été relevés dans les cadres prévus pour les réponses des candidats directement dans le sujet.

5.1.2 Sujet commenté

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2018

TRAVAUX PRATIQUES DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR A

Durée totale : 6 heures

**Purification et caractérisation fonctionnelle d'une Taq polymérase produite
chez *Escherichia coli***

Thermus aquaticus est une bactérie à Gram-négatif extrêmophile, qui a été isolée pour la première fois en 1969 dans une source chaude du parc national de Yellowstone aux Etats Unis. Cette bactérie est capable de vivre à des températures comprises entre 50 et 80°C, et à des pH compris entre 2 et 3. Son ADN polymérase (Taq polymérase) est active dans ces conditions extrêmes de température, et a été déterminante pour le développement de protocoles d'amplification de l'ADN *in vitro* (PCR : *Polymérase Chain Reaction*).

L'objectif de ces travaux pratiques est **d'exprimer, de purifier, et de caractériser fonctionnellement l'ADN polymérase (90kDa) de *Thermus aquaticus* produite chez *E. coli***. Vous serez ainsi évalués sur votre capacité à conduire et à comprendre des expérimentations de microbiologie, de biochimie, et de biologie moléculaire.

Afin que vous puissiez réaliser l'ensemble du TP en six heures, les trois parties ont été rendues indépendantes les unes des autres ; ainsi, vous veillerez à avoir une vision d'ensemble de l'épreuve avant de commencer le TP et à vous organiser afin de réaliser l'ensemble des expérimentations. Pour vous y aider, un planning indicatif vous est fourni en page 2.

Vous veillerez à toujours identifier vos échantillons avec vos nom, N° de candidat et N° de salle.

Organisation du TP

Partie I : Manipulation de cultures bactériennes pour la production de Taq polymérase page 03 <i>Durée conseillée : 2h ; barème : 40/120</i>
Partie II : Préparation de Taq polymérase page 16 <i>Durée conseillée : 1h30 ; barème : 30/120</i>
Partie III : Mesure de l'activité d'un extrait de Taq polymérase page 25 <i>Durée conseillée : 2h30 ; barème : 50/120</i>

Planning indicatif des manipulations

	7h 14h	7h30 14h30	8h 15h	8h30 15h30	9h 16h	9h30 16h30	10h 17h	10h30 17h30	11h 18h	11h30 18h30	12h 19h	12h30 19h30	13h 20h
I-Culture		Culture	Induction et cinétique de croissance										
I-Equivalence DO/UFC													
II-Purification Taq Pol			Centrifugations										
III-PCR					Réaction PCR								
III-Gel Agarose								Electrophorèse					

Partie I : Les cultures bactériennes doivent être lancées au plus tôt.

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

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier

Partie I

Manipulation de cultures bactériennes pour la production de Taq polymérase

L'organisation du plasmide de production de la Taq polymérase est présentée sur la **figure 1**. Les régions codantes sont en jaune. Le gène *bla* code une bêta-lactamase, enzyme conférant la résistance à l'antibiotique carbenicilline. Le promoteur *tac* est un promoteur inducible à l'IPTG (IsoPropyl β -D-1-ThioGalactopyranoside).

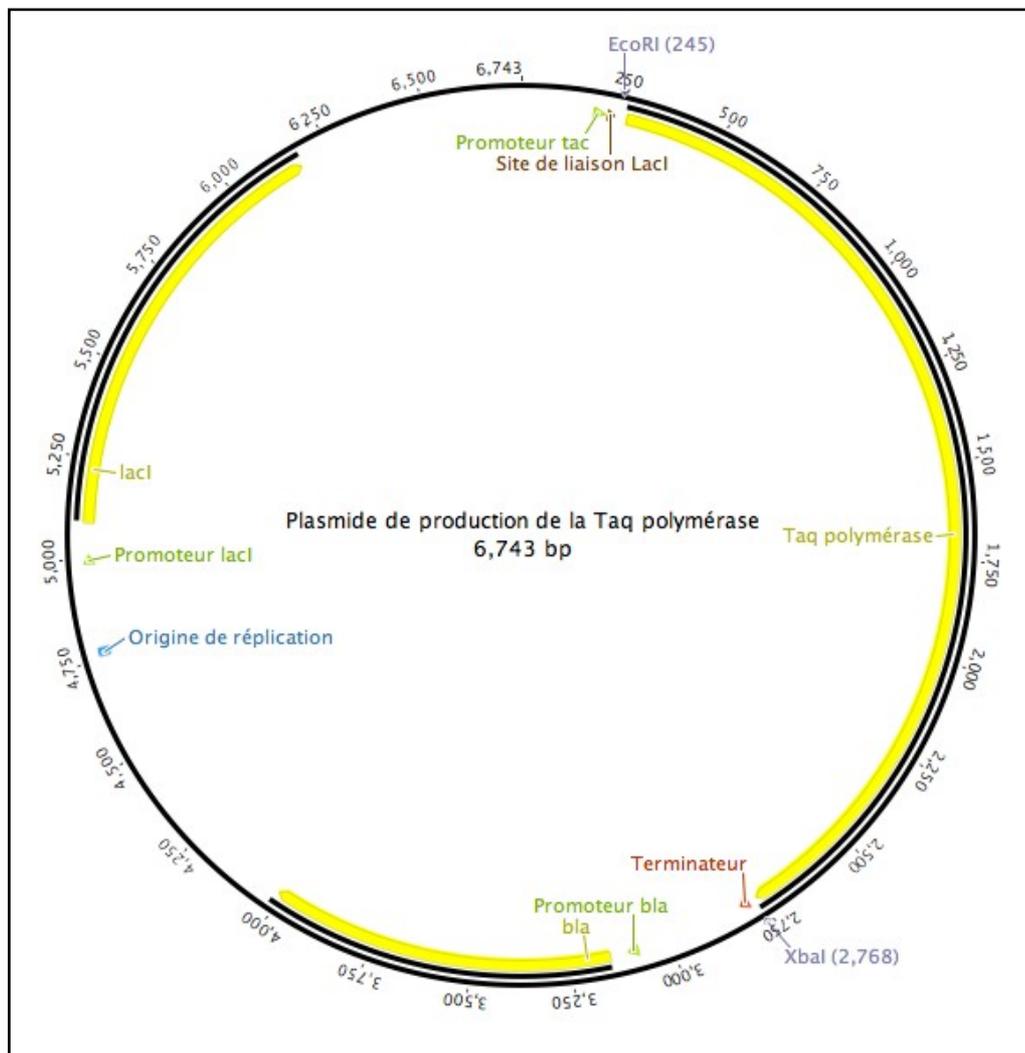


Figure 1 : Carte du plasmide permettant la production de la Taq polymérase. Le nom des gènes ou séquences le composant est indiqué. L'échelle est donnée en paires de bases (bp).

Question I.1 : Préciser le rôle de chaque élément de ce plasmide pour la production de la Taq polymérase. Comment est contrôlée l'expression de la Taq polymérase ? De quel système biologique sont issus les gènes contrôlant l'expression de la Taq polymérase ?

Réponse à la question I.1

Eléments de production de la Taq

- ORI pour permettre la réplication dans *E. coli*
- *bla* : seules les bactéries qui possèdent le plasmide synthétisent cette enzyme qui leur confère une résistance à la carbénicilline. Ce dernier impose ainsi une pression de sélection maintenue sur la population bactérienne de sorte à sélectionner uniquement les bactéries qui conservent le plasmide
- Le terminateur stoppe la transcription
- Les sites *EcoRI* et *XbaI* ont probablement été utilisés pour cloner le gène codant la Taq polymérase.
- Système inductible à l'IPTG : expression du gène sous condition

lacI code le répresseur du promoteur placé en amont du gène de la Taq polymérase, par fixation sur l'ADN. En présence d'IPTG, le répresseur se détache et permet l'expression de la Taq pol.

Peu de candidats ont fait ce lien entre IPTG et lacI.

Ce système inductible à l'IPTG est celui de l'opéron lactose de *E. coli* régulant le transport et la métabolisation du lactose. Il a été découvert par Jacobs, Monod et Lwoff qui ont obtenu un prix Nobel pour cette découverte.

Vous disposez d'une culture en phase stationnaire de *E. coli* portant le plasmide de production de la Taq polymérase. Elle a été réalisée dans un milieu liquide *Lysogeny Broth* (LB) dont la composition pour un litre est la suivante : 10g peptone de caséine, 5g extrait de levures, 10g NaCl.

Question I.2 : En quoi le milieu LB constitue-t-il un milieu adapté à la culture de *E. coli* ?

Réponse à la question I.2

Peptones = protéines = source d'acides aminés

Extrait de levures = protéines, acides nucléiques, lipides, carbohydrates, vitamines, oligo-éléments

Sel : minéraux – osmolarité

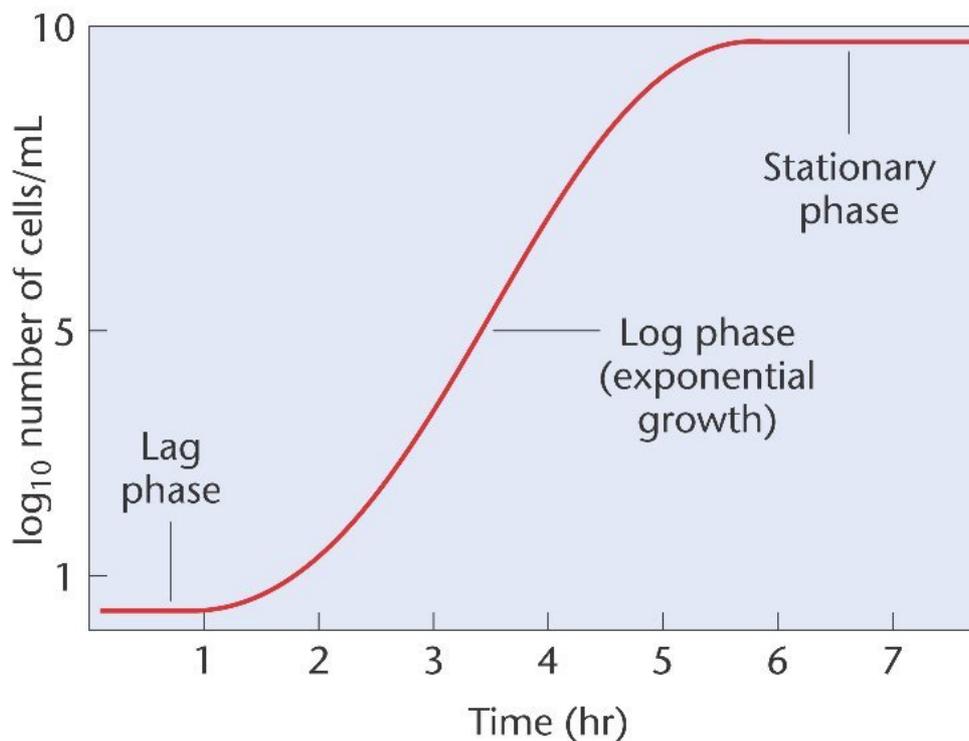
Les composants du milieu de culture n'ont été que très rarement explicités et mis en lien avec les besoins nutritifs de *E.coli*.

Question I.3 : Que signifie que la culture initiale est en phase stationnaire ? Quel est l'effet de l'inoculation de cette culture dans un nouveau milieu sur la croissance bactérienne ? Représentez schématiquement une cinétique de croissance bactérienne illustrant les différentes phases de croissance.

Réponse à la question I.3

Phase stationnaire : plateau de densité sans croissance obtenue en fin de culture lorsque les nutriments deviennent limitants dans le milieu. *Pour cette partie, confusion fréquente avec l'inhibition de contact des cellules eucaryotes.*

La culture repartira en phase de croissance exponentielle après la phase de latence : vecteur vitesse de croissance linéaire (en échelle log) et maximal.



Même si, de façon générale, l'allure globale de la courbe était bien représentée, l'axe des ordonnées était souvent imprécis : absence d'échelle log, vitesse au lieu de nombre de cellules...

Après avoir déterminé la densité optique (DO) à 600nm de cette culture initiale, préparer **en conditions stériles** deux cultures dont la DO sera de $0,1 \pm 0,01$. Ces cultures de 20mL seront préparées en

Erlenmeyer ou bouteilles de 100mL avec un milieu LB, auquel sera rajouté de la carbenicilline à la concentration finale de 100µg/mL (vous disposez de carbenicilline à 10mg/mL).

Afin de manipuler en conditions stériles, vous disposez de bacs bunsens électriques : il vous est rappelé que l'utilisation de ce matériel requiert des précautions, dont l'éloignement de tout objet inflammable aux abords du bac (prenez soin notamment aux objets disposés en hauteur de la paillasse ainsi qu'à vos blouses et autres objets inflammables).

Vous disposez d'un luminomètre et de cuves de spectrophotomètre pouvant contenir entre 1 et 2 mL. Pour qu'une mesure au luminomètre soit exacte, la DO mesurée doit être inférieure à 1.

Questions I.4 : Détailler ci-dessous l'ensemble des mesures et des calculs réalisés pour la préparation de ces deux cultures.

Réponse à la question I.4

Prise de DO de la culture mère sans dilution : valeur supérieure à 1 => mesure non valide. *Beaucoup de candidats n'ont pas respecté la consigne en ne diluant pas la culture et sont donc partis d'une valeur sous-évaluée de DO.*

Dilution de la culture mère dans du milieu LB au 1/10^{ième} (100 µL de culture + 0,9 mL de LB_Carb).
DO(1/10)= 0.421 => DO de la =4,21. *Une dilution à l'eau n'est pas acceptable. De même, l'eau n'était pas une bonne référence pour la calibration du luminomètre*

DO de 0,1 demandée par l'énoncé : 4,21/0,1, culture à diluer 42x.

Pour deux erlens de 20 mL (40 mL) à préparer =

40mL / 42 = 950µL + 39mL LB+ 40µL Carbenicilline (100x)

Répartition ensuite dans les deux erlens

Remarque : la préparation des 2 cultures de 20 mL de façon indépendante est une perte de temps, et une source d'erreur (multiplication des pipetages). *La plupart des candidats a préparé les deux cultures de façon indépendante générant des différences de DO dès le début de la manipulation.*

Exemple DO mesurée= 0,102

La plupart des candidats n'ont pas suivi la consigne ci-dessus en ne demandant pas à un examinateur d'assister à la validation de leur mesure.

Procéder à la prise de DO pour ces deux cultures en présence d'un examinateur.

Disposez vos cultures sur le plateau prévu à cet effet. Les cultures seront placées à 37°C dans des incubateurs soumis à agitation par les préparateurs. Ils seront rapportés en salle toutes les 45 minutes et

laissés à votre disposition pendant 5 minutes, après quoi ils devront être remis sur le plateau pour être replacés à 37°C.

Question I.5 : Proposer et expliquer un protocole permettant le suivi de la croissance des deux cultures pendant au moins 4h avec induction de la production de la Taq polymérase dans l'une des deux cultures. Vous réaliserez ce protocole, sachant que les mesures devront être réalisées sur les 4h en conditions stériles. L'expression de la Taq polymérase devra être induite dans une seule des deux cultures par l'ajout de 1mM d'IPTG 30 min après la mise en culture. Une solution stock d'IPTG à 250mM est à votre disposition.

Réponse à la question I.5

Induction après 30min : Stock IPTG à 0,25M, donc 250x. Pour 20mL : 80µL ajoutés. *Plusieurs candidats n'ont pas réalisé l'induction à 30 min mais beaucoup plus tard, par exemple au troisième point de prélèvement, ou pas du tout.*

Six temps (l'équipe technique va rapporter 4 fois les échantillons dans les 4h) pendant les 4h : T0 à l'ensemencement, temps 30min (induction) + 3h30h (fin de l'étude) avec 4 mesures intermédiaires soit toutes les 45 minutes.

Pour chaque temps : prélèvement stérile de 1 mL, mesure de la DO au luminomètre. Le prélèvement doit être réalisé sur les 2 cultures exactement aux mêmes temps.

Si valeur >1, dilution avec milieu LB. *A la fin du suivi de croissance, les valeurs devaient être supérieures à 1. En cas de valeur supérieure à 1: certains candidats ne s'en sont pas rendus compte, d'autres (presque la moitié des candidats) ont éliminé ces points en notant que les valeurs étaient invalides, ne les incluant pas dans la courbe, et moins de la moitié d'entre eux a pensé à diluer et donner une valeur exploitable.*

Question I.6 : Dans le cadre suivant, vous détaillerez les mesures et les calculs que vous avez réalisés au cours de cette manipulation.

Réponse à la question I.6

Heure	Temps après induction	DO culture sans IPTG	DO culture avec IPTG
8 :43	-	0,102	0,102
9 :13	0	0,106	0,109

9 :53	0 :40	0,181	0,193
11 :15	2 :00	0,37 =>aliquot	0,493=>aliquot
12 :00	2 :45	0,53	0,74
13 :15	4 :00	0,95 (DO 0,19 dans dilution 1/5)	1,35 (DO 0,27 dans dilution 1/5)

Les valeurs mentionnées ici sont données à titre indicatif et ne respectent pas la séquence de prélèvement imposée aux candidats lors de l'épreuve

Question I.7 : A l'aide d'une représentation graphique réalisée sur la feuille de papier millimétré ci-dessous, en déduire un temps de génération dans les deux cultures. Conclure.

Réponse à la question I.7

Pour la résolution graphique :

Sans IPTG : doublement entre 2h15 et 3h40 : donc 1h25 de temps de génération

Avec IPTG : doublement entre 2h10 et 3h20 : donc 1h10 de temps de génération

Souvent, une seule courbe était représentée, alors que les valeurs étaient différentes.

On s'attendait à une croissance un peu plus lente sur la culture exprimant la Taq (coût de la production sur le fitness), ou à une croissance quasi-identique. En fait, il était difficile de conclure suite à l'absence de répliquas. *Pour cette partie, de bonnes qualités critiques et d'analyse.*

L'objectif est maintenant de rédiger et réaliser un protocole de dilution permettant de mesurer précisément l'équivalence DO – unité formant des colonies pour une culture bactérienne de *E. coli*.

Vous disposez pour cela du matériel suivant...

- La culture en phase stationnaire de *E. coli* portant le plasmide de production de la Taq polymérase.
- Une boîte de pétri avec du LB-carbénicilline

, ... et des données suivantes :

- La DO initiale de la culture d'*E. coli* en phase stationnaire (déterminée à la partie I)
- Une DO égale à 1 équivaut à environ $2 \cdot 10^8$ à 10^9 cellules/mL pour *E. coli*
- Un maximum de 5 gouttes de 10 μ L peut être déposé sur la boîte LB
- Le nombre idéal de colonies à compter dans une goutte est entre 10 et 20

Question I.9 : Proposer et expliciter au moins deux expériences complémentaires qui auraient pu être menées dans le but d'optimiser la production de la Taq polymérase par *E. coli*.

Réponse à la question I.9

Par exemple, suivi dans le temps de la production

Différentes quantités d'IPTG

D'autres souches de *E. coli* ?

D'autres systèmes de contrôle d'expression

D'autres vecteurs

Optimiser les usages de codons

Partie II

Préparation de Taq polymérase

Vous disposez de deux culots bactériens obtenus à partir de 10mL de culture de *E. coli* portant le plasmide de production de la Taq polymérase, **induite ou non induite** pendant 16h avec de l'IPTG.

Vous réaliserez le protocole suivant :

- Etape 1 : Resuspendre chaque culot bactérien dans 0,5 mL de tampon A fourni (50mM Tris HCl pH 7.9 ; 50 mM dextrose, 1mM EDTA ; 4 mg/mL lysozyme). Transférer dans un Eppendorf de 1,5 mL.
- Etape 2 : Incuber 15 minutes à température ambiante.
- Etape 3 : A partir des solutions stocks mises à votre disposition, préparez 1 mL du tampon B suivant : 10mM Tris (trishydroxyméthylaminométhane, $C_4H_{11}NO_3$)-HCl pH 7.9, 50 mM KCl, 1 mM EDTA, 0,5 % Tween 20 (détergent), 0,5 % Nonidet P40 (détergent).

Question II.1 : Détailler vos calculs pour la préparation du tampon B.

Réponse à la question II.1

	Stock	Final	dilution	Pour 1mL
Tris HCl	1M	10mM	100x	10 μ L
KCl	1M	50mM	20x	50 μ L
EDTA	0,5M	1mM	500x	2 μ L
Tween 20	10%	0,5%	20x	50 μ L
Nonidet P40	10%	0,5%	20x	50 μ L
qsp H ₂ O	1mL (838 μ L)			

Cette question a globalement été bien traitée. Ne pas oublier le volume d'eau pour compléter à 1 ml.

- Etape 4 : Ajouter 0,45 mL de tampon B, mélanger par inversion.
- Etape 5 : Incuber dans le bain-marie à 75°C pendant 20 minutes. Mélanger les tubes par inversion toutes les 10 minutes.
- Etape 6 : Centrifuger 10 minutes à vitesse maximale en prenant soin de bien équilibrer le rotor. En cas d'attente, conserver les échantillons sur glace. Des centrifugations seront réalisées toutes les 10 minutes par le personnel technique sur le créneau horaire indiqué à la page 2 ; pour cela, vous devez faire appel à l'examineur pour qu'il récupère vos échantillons, correctement annotés (Nom / Prénom / N° de salle)
- Etape 7 : Transférer le surnageant clarifié dans un tube Eppendorf de 1,5mL. Conserver sur glace les 2 échantillons : prenez soin de correctement les annoter, le jury les évaluant ultérieurement.

Question II.2 : Quelles sont les actions sur *E. coli* des tampons A et B utilisés dans ce protocole ?

Réponse à la question II.2

Le lysozyme (Tampon A) dégrade le peptidoglycane

L'EDTA (Tampon A & B) chélate les cations divalents (Ca, Mg, Zn) et inhibe DNAses et protéases

Les détergents (Tampon B) déstabilisent les membranes.

Question II.3 : Quelle propriété biochimique de la Taq polymérase est exploitée dans l'étape 5 ?

Réponse à la question II.3

La Taq polymérase n'est pas dénaturée à 75°C contrairement aux protéines de *E. coli*.

Les acides nucléiques doivent être partiellement dénaturés à ce stade

La Taq polymérase reste donc soluble alors que acides nucléiques et autres protéines coagulent et sont donc culotés lors de la centrifugation.

L'analyse de ces extraits protéiques peut se faire par SDS-PAGE. Pour des raisons de temps, elle ne sera pas réalisée en pratique ici. Les questions suivantes concernent cette analyse, dont le résultat vous est présenté sur la figure 2.

Pour préparer des extraits protéiques analysables par SDS-PAGE, les échantillons à analyser sont repris dans du tampon Laemmli 1X final, incubés 5 minutes à 95°C, puis conservés sur glace.

La composition du tampon Laemmli 1X est la suivante : 60 mM Tris HCl pH 6,8, 2% SDS (détergent tensioactif anionique), 10% glycerol, 0,1M DTT (agent réducteur), Bleu de bromophenol.

Question II.4 : Quel est l'effet du tampon Laemmli sur les protéines de l'extrait ? En quoi permet-il la séparation en SDS-PAGE des protéines selon leur masse moléculaire ?

Réponse à la question II.4

Le DTT réduit les ponts disulfures : perte des structures tertiaires (puis quaternaires) des protéines

Le SDS dénature les protéines et les charge négativement.

(Le chauffage finit de dénaturer les protéines et l'incubation au froid bloque leur renaturation)

Le SDS charge négativement les protéines de manière proportionnelle à leur longueur et permet ainsi leur migration de manière inversement proportionnelle à leur masse moléculaire dans le champ électrique, compte tenu de l'empêchement à la migration qu'impose le gel (il ralentit davantage plus les plus grandes protéines).

Afin de quantifier la quantité de protéines déposées sur le gel SDS-PAGE, une gamme étalon de BSA (*Bovine Serum Albumin*) dans du tampon Laemmli 1X final doit être préparée à partir d'une solution stock de BSA à 10mg/mL. On dispose également de Laemmli 2X

Question II.5 : Proposer un protocole pour la construction de la gamme BSA de manière à pouvoir déposer 0,5, 1, 2, 5 et 10µg de BSA par puits sur le gel SDS-PAGE. Un puits peut recevoir de 1 à 10µL d'extrait.

Réponse à la question II.5

Stock BSA à 10mg/mL ; ie. 10µg/µL

Préparer une dilution à 1µg/mL

50µL LB 2x

40µL H₂O

10µL BSA

Volume final 100µL

Charger 0,5 ; 1 ; 2 ; 5 ou 10µL sur gel

Beaucoup de candidats ne savent pas construire une gamme étalon et n'aboutissent pas à une concentration finale de 1X en Laemmli.

Un gel issu de ce protocole vous est présenté en Figure 2.

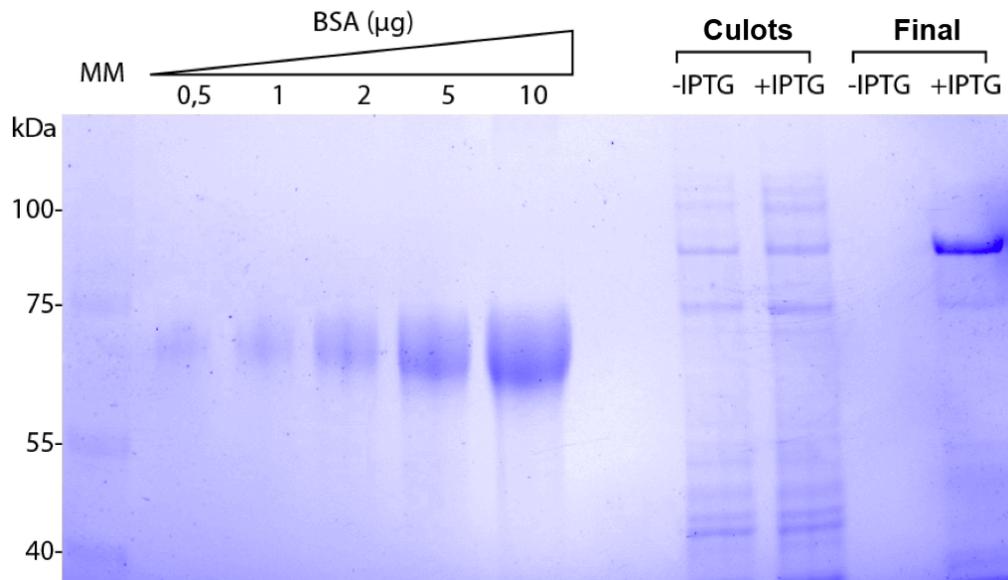


Figure 2 : Analyse de la production et de la purification de la Taq polymérase par séparation en SDS-PAGE et coloration au bleu de coomassie. Puits 1 : La masse moléculaire des protéines composant le marqueur de masse moléculaire (MM) est précisée (gauche du gel) en kDa. ; Puits 2-6 : Gamme de BSA allant de 0,5 à 10 µg par piste. Puits 8-9 : extraits protéiques obtenus directement à partir de culots d'*E coli* contenant le plasmide étudié en partie I, 4h après ajout ou non d'IPTG. Puits 10-11 : Extrait protéiques issus du protocole décrit p. 15/16. 10 µL des préparations finales ont été déposés sur gel.

Question II.6 : Analyser le gel présenté en Figure 2 et estimer la purification de l'échantillon.

Réponse à la question II.6

Pas de Taq visible dans les extraits totaux (TE ; durée d'induction trop courte)

Une bande majeure à 90kDa dans la purif = Taq polymérase

Si pas d'IPTG ajouté sur la nuit, alors pas de purification de Taq : normal, pas induite.

Masse moléculaire de la BSA = ca. 65 kDa

Estimation de la purification de l'extrait déposé sur gel : Si 600 μL de surnageant ont été récupérés, alors on peut estimer que $1/60^{\text{ème}}$ a été déposé sur gel. La bande correspondant à la Taq polymérase correspond à environ 10 μg . Donc environ 600 μg de Taq polymérase purifiée ; ou encore 1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$.

Nous avons très souvent trouvé une mauvaise interprétation des lignes « culot » : on y visualise toutes les protéines produites par les bactéries. La bande plus intense à 90 kD n'est pas la Taq polymérase mais un ensemble d'autres protéines ayant ce PM.

Question II.7 : Quelles sont les limites du protocole proposé ? Proposer et expliciter des étapes supplémentaires qui permettraient d'optimiser ce protocole.

Réponse à la question II.7

Limites du protocole proposé : temps d'induction trop faible ?

Optimisations possibles : Chromatographie (exclusion de taille ; ion exchange ; éliminer des protéines contaminantes et ADN génomique) ; DNase (problème des contaminants ADN dans la PCR) ; Précipitation (éliminer des protéines contaminantes).

Partie III

Mesure de l'activité d'un extrait de Taq polymérase

Une PCR sera lancée 2h30 après le début du TP pour toute la salle. Vos tubes peuvent être préparés à l'avance et attendre dans la glace si besoin. L'examineur viendra les collecter. N'oubliez pas de correctement les annoter (Nom, N° de salle, N° de candidat)

L'objectif est de comparer l'activité d'une Taq polymérase produite par le protocole des parties I et II avec celle d'une enzyme commerciale (5 unités par μL , notées 5 U/ μL). Un produit PCR de 329 pb correspondant à la région 3' du gène *avrAC* (Figure 3) sera amplifié par les deux oligonucléotides fournis P1 et P2 (5pmole/ μL) sur l'ADN génomique de la bactérie *Xanthomonas*.

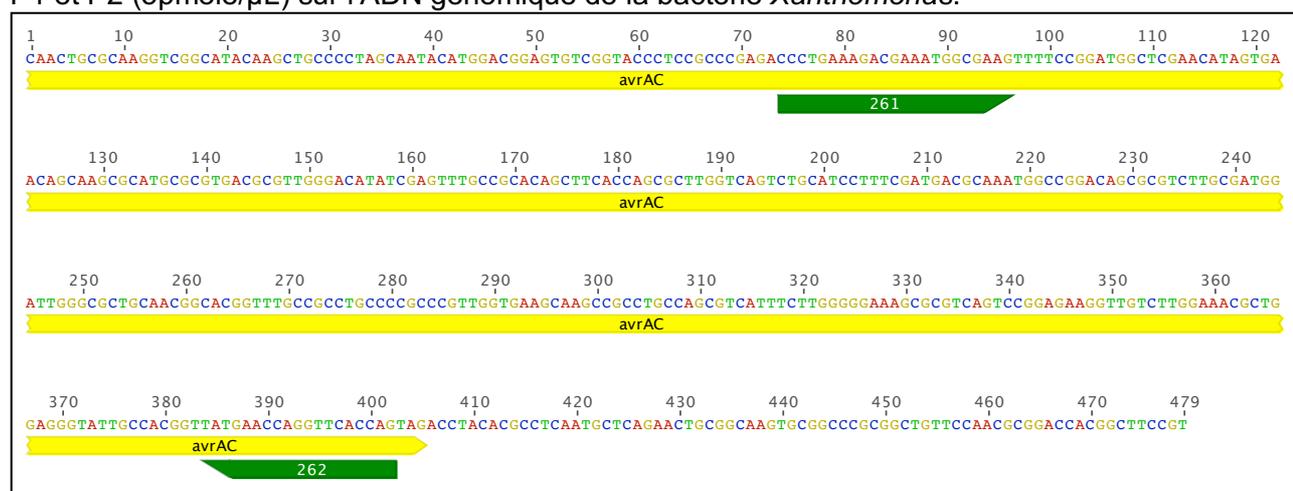


Figure 3 : Séquence de la région 3' du gène *avrAC* de la bactérie *Xanthomonas*. La partie codante du gène est représentée en jaune. La position et l'orientation des oligonucléotides 261 et 262 est indiquée par les flèches vertes.

Question III.1 : Donner la séquence des oligonucléotides 261 et 262. Quels sont les critères qui gouvernent au choix d'un oligonucléotide ?

Réponse à la question III.1

La plupart des candidats choisissent le mauvais brin comme matrice, et les séquences proposées sont souvent non orientées.

261 : 5'-CCCTGAAAGACGAAATGGCGAAG-3' ; 23pb

262 : 5'-CTGGTGAACCTGGTTCATA-3' ; 19pb

La température d'hybridation est primordiale. Elle dépend de la longueur de l'oligonucléotide (suffisamment long pour éviter les hybridations non spécifiques) et de sa composition : un oligo riche en GC permet de travailler à des températures d'hybridation plus élevées

Les arguments sont, la plupart du temps, connus et bien explicités

Voici la composition d'une réaction de PCR.

- 2 μL ADNg (Stock 100ng/ μL)
- 2 μL Oligonucléotide 261 (stock 5pmol/ μL)
- 2 μL Oligonucléotide 262 (stock 5pmol/ μL)
- 2 μL dNTPs (stock 2mM chacun)
- 4 μL Tampon Taq Polymérase (5X ; coloré vert et contenant du glycerol)
- 2 μL Taq polymérase

qsp (quantité suffisante pour) H₂O 20µL

Question III.2 : En quoi le tampon peut-il favoriser l'activité enzymatique de la Taq polymérase ?

Réponse à la question III.2

Ce tampon est un mélange qui favorise l'activité de l'enzyme à de multiples niveaux.

Tampon tel que le pH soit optimal pour l'enzyme d'intérêt

Mg²⁺ essentiel pour l'activité

Salinité qui contrôle la conformation de la Taq (cet aspect n'a jamais été envisagé par les candidats)

Bonus : Les sels influent aussi sur la température de dénaturation-hybridation entre les deux brins de l'ADN et ADN-Oligonucleotides et donc sur l'efficacité de l'amplification.

Préparer un mélange pour 10 réactions, en y incluant un test des dilutions 1/5^{ème}, 1/25^{ème} et 1/125^{ème} des deux enzymes (commerciale ou issue de votre purification). Les deux tubes libres seront utilisés comme contrôles.

Question III.3 : Détailler votre protocole. Justifier la nature et le choix des deux contrôles.

Réponse à la question III.3

L'épreuve de TP d'option teste notamment les connaissances et la maîtrise des outils et techniques du secteur A : en ce qui concerne cette question, il a été remarqué que la qualité des réponses était binaire : soit l'ensemble est juste et très clairement expliqué (avec parfois des schémas illustrant notamment les dilutions), soit la réponse est confuse et/ou fausse et/ou fragmentaire.

Préparation du mélange PCR pour 10 réactions

20µL primer 261

20µL primer 262

20µL dNTPs

40µL Tampon

60µL H₂O

Mélanger et pipeter 16 µL dans le premier tube PCR + 2µL H₂O + 2µL Taq Pol maison pure = contrôle sans ADN

Rajouter 18µL d'ADNg au mix PCR

Pipeter 18 µL dans les tubes PCR restant

Tube 2 : +2µL H₂O (contrôle sans Taq)

Préparer les dilutions de Taq commerciale et purifiée en pipetant 3 fois successivement 5µL dans 20µL. Mélanger entre chaque étape.

Ajouter 2µL de chaque dilution aux tubes PCR

Contrôles possibles :

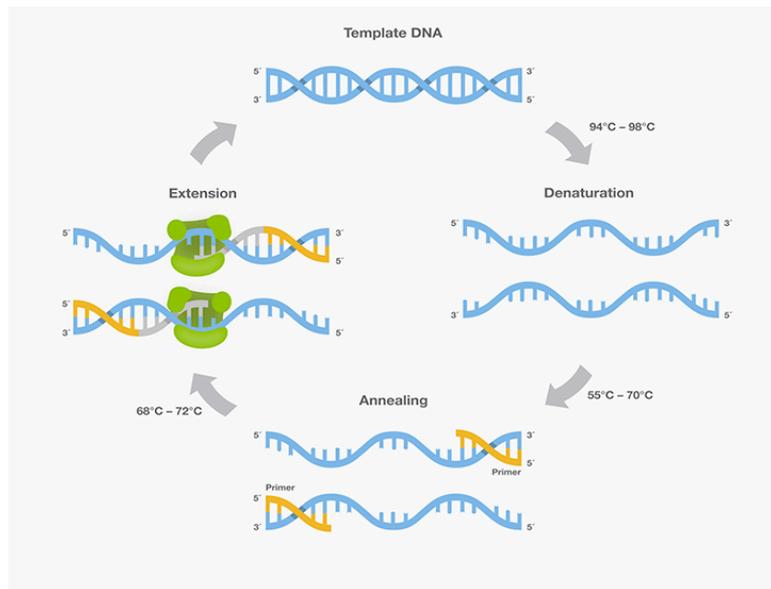
Sans Taq : on s'assure que les bandes sont bien dues à une amplification de l'ADN

Extrait purif sans IPTG : l'activité ADN polymérase doit être dépendante de l'induction de la production de l'enzyme dans la culture. Prendre un extrait concentré : non dilué ou dilué au 1/5^{ème}.

Sans ADN : on s'assure que l'ADN matrice est bien celui qui a servi dans la PCR et non une contamination apportée par l'un des composants de la PCR

Question III.4 : Représenter schématiquement un cycle PCR.

Réponse à la question III.4



Question III.5 : Proposer une programmation de la machine PCR en précisant les paramètres critiques qui gouvernent vos choix.

Réponse à la question III.5

La technique est connue de presque tous les candidats : seules les durées des différentes étapes sont parfois fantaisistes car non réfléchies.

Cycle PCR : 94°C 1min ; {94°C 30 sec, 55°C 20 sec ; 72°C 30 sec} 25 cycles ; 72°C 4 min ; 20°C. Durée du cycle 1h10 environ.

T° de dénaturation de tous les ADN fixée à 94°C

T° d'hybridation classique entre 50 et 65°C

72°C est la T° d'incorporation des dNTP optimale pour la Taq ; Temps d'élongation ; 1kb/min

25 cycles permettent d'amplifier 2^{25} fois l'ADN soit plus de $3 \cdot 10^7$

Température d'hybridation

Nombre de cycles

Et autres moins évidents (nature de l'enzyme, concentration & pureté de la matrice,...)

Confier vos tubes aux examinateurs pour incubation dans la machine PCR. L'heure de fin de la PCR vous sera communiquée sur le tableau de la salle. A l'issue de la PCR, les produits seront analysés par électrophorèse sur gel d'agarose. A cette fin, des gels d'agarose 1,5% (1,5 g d'agarose dans 100 mL de TAE 1X) auront été disposés dans des cuves d'électrophorèse remplies tampon TAE 1X (Tris, Acétate, EDTA). Charger alors 10 μ L de chaque échantillon sur gel, ainsi que 10 μ L du marqueur de taille (**Figure 4**). Un planning de passage pour charger ces gels vous sera communiqué sur le tableau de la salle : vous devez alors vous rendre sur la paillasse commune qui regroupe l'intégralité des appareils de migration ; prenez soin de respecter les conditions de sécurité découlant de toute manipulation d'appareil électrique en environnement humide.

Question III.6 : Quel est le principe de la séparation sur gel d'agarose ? Pourquoi ne pas avoir utilisé un gel de polyacrylamide comme pour les extraits protéiques (partie II) ?

Réponse à la question III.6

L'agarose est une matrice qui va freiner la progression des molécules de manière proportionnelle à leur taille. Les ADN les plus longs migreront moins loin. Mais pas linéaire (voir marqueur de taille ci-dessus)

Différence de taille du réseau entre PAGE et agarose : Le poly-acrylamide permet de séparer des molécules bien plus petites : oligonucléotides, protéines, ... Et puis c'est plus cher !!!

Contrairement à ce que plusieurs candidats ont affirmé, le fragment d'ADN amplifié est beaucoup plus gros que la Taq polymérase. Sa masse moléculaire, donnée en dernière question est de plus de 43 000 kDa...

Question III.7 : Justifier par écrit la polarité du champ électrique à imposer pour séparer l'ADN sur le gel d'agarose.

Réponse à la question III.7
ADN chargé négativement, donc migre de l'anode vers la cathode ; Petit schéma éventuellement attendu.

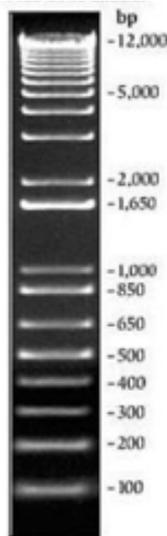


Figure 4 : Marqueur de taille ADN séparé sur gel d'agarose 1,5% et visualisé par coloration au bromure d'éthidium. Le marqueur de taille fourni est composé d'un mélange de 22 fragments d'ADN ayant des longueurs allant de 100 bp à 12 kb.

A l'issue de la migration, un membre du personnel technique récupèrera le gel pour coloration au « ClearSight DNA stain » (colorant ADN sans danger pour la santé humaine aux doses recommandées). Ce colorant est préféré au bromure d'éthidium dont la formule et la fiche de toxicologie est fournie dans la Figure 5. La photo de votre gel vous sera apportée après environ 30 minutes de coloration.

CN1C=NC2=C(N)C=CC=C2C1[N+](C)(Br-)

BROMURE D'ÉTHIDIUM

Danger

H341 - Susceptible d'induire des anomalies génétiques
H330 - Mortel par inhalation
H302 - Nocif en cas d'ingestion

Figure 5 : Formule et fiche de toxicologie du bromure d'éthidium

Question III.8 : Que signifient les deux pictogrammes de la **figure 5** ? Pour quelle raison le « ClearSight DNA stain » peut-il être préféré au bromure d'éthidium ?

Réponse à la question III.8

Il est impératif que les candidats aux concours de l'enseignement aient connaissance des règles d'hygiène et de sécurité consécutives à l'utilisation d'outils et techniques de biologie.

La tête de mort représente la toxicité. Le deuxième « sensibilisant, mutagène, cancérigène reprotoxique »

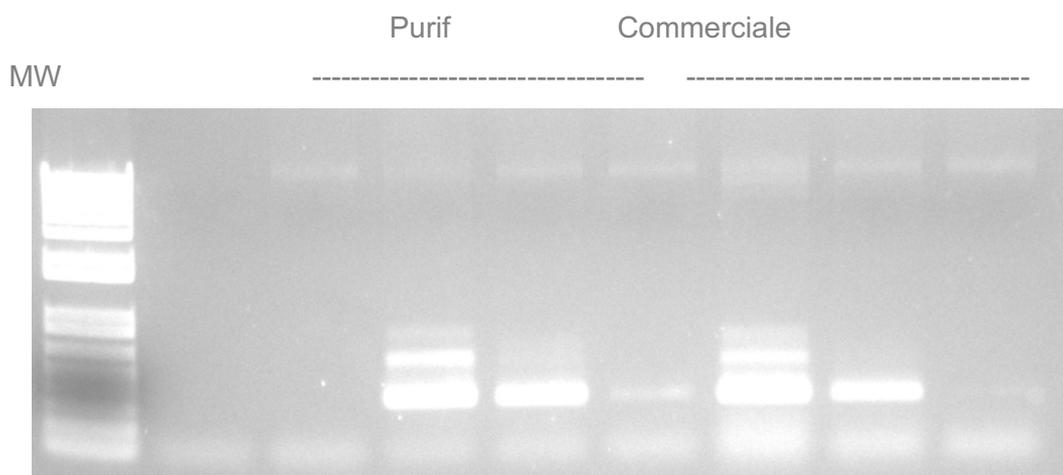
Le bromure d'éthidium est un intercalant de l'ADN et un mutagène cancérigène probable

Pas de toxicité décrite / toxicité moindre du « Sight DNA stain ».

Question III.9 : A partir de l'image obtenue après coloration de votre gel d'agarose, déterminer l'activité (en U/ μ L) de la Taq polymérase préparée dans les parties I et II. Sachant que l'enzyme commerciale vaut 0,12€/U, calculer le montant de Taq polymérase que vous avez purifié lors de cette épreuve. Prenez soin de coller la photo de votre gel dans le cadre ci-après pour évaluation par les examinateurs. En l'absence de gel à analyser, une image type pourra vous être apportée par l'examineur, à votre demande.

Réponses à la question III.9

Une image type pouvait être distribuée en l'absence de manipulation ou en la présence d'une manipulation ratée ; la plupart des candidats ont très bien réagi à cette consigne, s'assurant ainsi au moins les points de l'analyse du document.



Dilutions Taq maison et Taq commerciale très comparables

Sachant que Taq commerciale 5U/ μ L : Taq maison 5U/ μ L

Environ 800 μ L, donc 3200U à 12cts ; ie 384€

Des bandes d'amplification aspécifiques étaient présentes mais n'affectaient en rien la mesure de l'activité puisque présentes avec les deux polymérases.

Le potentiel d'amplification d'une PCR est défini par son efficacité (E) : E_{\max} est de 2, et permet le doublement de la quantité d'ADN entre deux cycles. Une efficacité de 1 ne permet plus d'amplifier l'ADN.

Question III.10 : Formaliser mathématiquement le taux d'amplification en fonction de l'efficacité (E) et du nombre de cycle n.

Réponse à la question III.10

Taux amplification = E^n

Sachant que :

- Il faut au minimum 100ng d'ADN pour pouvoir le visualiser sur un gel d'agarose coloré au *ClearSight DNA stain*.
- L'efficacité de la PCR est de 2.
- La masse moléculaire du fragment de 329pb est de 43385 kDa.
- 1 Dalton équivaut à 1g/mol.
- Le nombre d'Avogadro est de $6,02 \cdot 10^{23}$ /mol.

Question III.11 : Quelle quantité minimale d'ADN matrice faut-il initialement pour observer un produit PCR avec les oligonucléotides 261-262 suite à un programme possédant 25 cycles ?

Réponse à la question III.11

Quantité initiale du fragment de 329pb doit être au minimum de :

$$100\text{ng}/(2^{25})=10^{-7}\text{g}/3,35 \cdot 10^7=3 \cdot 10^{-15}\text{g}$$

Questions III.12 : A combien de molécules cela correspond-il environ ? Conclure sur les forces et les faiblesses de la détection d'ADN par PCR ?

Réponse à la question III.12

Le fragment correspond à $4,3 \cdot 10^7 \text{Da} = 4,3 \cdot 10^7 \text{g/mol}$

Nombre moles = $3 \cdot 10^{-15} \text{g} / 4,3 \cdot 10^7 \text{g/mol} = 7 \cdot 10^{-23} \text{mol}$

Sachant que Avogadro = $6,02 \cdot 10^{23}$ molécules/mol

Donc, environ une molécule !!!!

PCR = Extrêmement sensible, mais risque d'amplification de traces.

Problématique pour la médecine légale par exemple...

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

5.2.1 Présentation de l'épreuve

Le sujet de cette année permettait d'explorer quelques structures, processus et mécanismes associés à la vie en montagne. Les activités proposées étaient pour l'essentiel classiques et ne recelaient pas de grandes difficultés. Une grande place était laissée à la prise d'initiative des candidats quant aux choix à réaliser pour répondre à certaines questions. L'absence de « guidage » strict a été sélectif tant il s'est révélé déconcertant pour certains.

Les différentes parties qui composaient le sujet étaient indépendantes les unes des autres. Leur traitement a été très inégal, mais finalement ce sujet a bien différencié les candidats et a permis à un nombre significatif d'entre eux de faire valoir leurs qualités de manipulation et de réflexion.

5.2.2 Commentaires

5.2.2.1 Première partie

La première partie imposait d'abord aux candidats de réaliser un transect de végétation sur les flancs du pic de Morgon, situé dans le département des Hautes-Alpes en bordure du lac de Serre-Ponçon. Son tracé, judicieusement choisi, permettait d'établir un constat et d'engager une réflexion interprétative. Les différentes essences représentatives des séries de végétation apparaissant sur la carte de Gap étaient ensuite proposées à l'identification, accompagnées de quelques autres espèces. Enfin, la comparaison de photographies aériennes avait pour objectif de comparer et de quantifier les surfaces colonisées par la végétation arborescente pendant la période séparant les deux prises de vue.

Globalement, cette partie a plutôt été bien réussie même si on peut regretter que des espèces d'arbres très communes ne soient pas reconnues ou que des outils géométriques simples ne soient pas complètement maîtrisés par un nombre significatif de candidats du secteur B.

5.2.2.2 Deuxième partie

La deuxième partie proposait de réaliser un traitement graphique de données météorologiques à l'aide d'un tableur. Chaque candidat avait accès à un ordinateur pendant la moitié de l'épreuve et les productions étaient évaluées directement sur l'écran par le jury. Il s'agissait de construire un diagramme ombrothermique pour chacune des deux années correspondant aux prises de vue et ensuite de rechercher une éventuelle tendance à moyen terme par un suivi temporel d'une moyenne mobile des températures.

Cette partie a été, elle aussi, plutôt bien réussie par les candidats à une exception, notable, près : le choix du type de graphique utilisé pour le suivi des températures. La majorité des candidats a en effet opté pour une représentation de type « points reliés par des segments de droite » alors que le

choix « nuages de points » était plus judicieux puisque lui seul permettait l'insertion d'une courbe de tendance.

5.2.2.3 Troisième partie

La troisième partie s'est révélée plus problématique et n'a pas été correctement traitée. La phrygane et sa larve proposées à l'identification n'ont pratiquement pas été reconnues et l'analyse des données de récolte n'a que très rarement permis de mettre en évidence la variation de durée du cycle de reproduction de cette espèce en fonction de l'altitude. Pire, nombre de candidats ont conclu à une accélération du cycle en haute altitude confondant ainsi durée de période végétative et processus de développement. Cette méconnaissance de la dépendance des processus physiologiques à la température a surpris les correcteurs.

L'identification des quelques larves aquatiques s'est révélée très discriminante tant la culture naturaliste des candidats est hétérogène.

5.2.2.4 Quatrième partie

Cette quatrième partie était la plus étoffée du sujet et proposait manipulations pratiques, observations et exercices de réflexion.

La réalisation de coupes transversales colorées a donné lieu aux mêmes constats qu'à l'accoutumée pour ce type d'exercice : les coupes sont en général transversales mais trop épaisses et la coloration est perfectible. Il est surprenant de constater que les coupes ne sont pas réalisées sous loupe binoculaire et que les candidats ne prennent pas le soin de bien absorber les résidus de liquide entre les différents bains, ce qui amène à une dilution et/ou à un mélange de produits. Ceci est pénalisant au vu des volumes très faibles utilisés. Une remarque sur le protocole proposé : il constituera sans doute une alternative à la traditionnelle coloration carmino-vert, lorsque les stocks de produits seront épuisés.

Afin de ne pas pénaliser les candidats ayant raté leurs préparations, l'interprétation des structures de tige était à faire sur des coupes du commerce colorées au carmino-vert. Si les structures et leurs tissus constitutifs ont été globalement reconnus, la qualité des schémas d'interprétation n'est pas satisfaisante. Le jury rappelle, par exemple, que les proportions entre les surfaces occupées respectivement par les différents tissus doivent être respectées. De même, le tableau de comparaison de la structure des xylèmes secondaires a été très souvent réalisé de façon trop imprécise, sans réelle observation des coupes ou des photographies disponibles. Le calcul du diamètre moyen des éléments conducteurs n'a pas posé de problème particulier mais la significativité des résultats n'a jamais été questionnée par les candidats, aucune valeur d'écart-type n'a été proposée et le nombre de décimales était parfois injustifié au vu de la précision des mesures réalisées. Le lien à la circulation de la sève brute, facilité par l'équation de la loi de Poiseuille fournie à la page suivante, a été correctement effectué. En revanche l'interprétation de la courbe proposée a donné lieu à des réponses parfois surprenantes (cf. ci-dessous le sujet commenté).

Les coupes longitudinales de bois de conifère ont été très diversement reconnues, orientées et interprétées. Il s'agissait de coupes, radiale puis tangentielle, permettant l'observation des éléments conducteurs et de leurs jonctions. Les ponctuations aréolées pouvaient ainsi être observées en « plan » et en « coupe ». Leur rôle dans le contrôle de la circulation de la sève brute a trop rarement été relevé.

Le paragraphe D de cette quatrième partie s'est révélé très problématique pour nombre de candidats, pour l'essentiel du fait d'une mauvaise lecture des protocoles présentés. La technique de congélation rapide des rameaux, préalablement à leur préparation pour observation en microscopie électronique à balayage, permet de figer les liquides en place dans les tissus et donc de distinguer les vaisseaux remplis de sève de ceux qui ne le sont pas. C'est cela qui n'a pas été saisi et a donné lieu à des mésinterprétations fréquentes. Les vaisseaux remplis de sève se sont ainsi transformés en éléments obstrués par des thylles ou même par des bouchons de callose ! Avec cette erreur initiale, il était donc impossible d'interpréter correctement les observations.

La synthèse demandée permettait d'émettre l'hypothèse d'un lien entre la distribution des essences et la sensibilité de leurs éléments conducteurs au phénomène de cavitation. Bien évidemment, l'existence d'un lien de causalité reste à démontrer.

5.2.2.5 Cinquième partie

La cinquième partie demandait aux candidats de s'organiser puisqu'il fallait réaliser une coloration avant de passer à un poste d'identification. Certains candidats ne maîtrisent pas cette compétence ce qui leur a posé problème. Un grand nombre d'entre eux manipule de façon brouillonne, sans organiser leur paillasse ni anticiper les différentes étapes du protocole. Le jury a pu observer des candidats avec les mains couvertes de colorant, des paillasses très encombrées et sales, des colorants jetés directement dans les éviers (alors que des bacs de récupération étaient fournis).

La coloration initiale permettait de mettre en évidence la présence d'endomycorhizes dans les racines de plantain, ce qui a globalement été très bien réussi. En revanche, les dessins d'observation sont souvent décevants au regard de la qualité des préparations présentées au jury.

La suspension de la fraction fine du sol permettait d'observer des spores de glomérormycètes mais l'exercice a été globalement décevant d'une part pour des raisons manipulatoires et d'autre part parce que la plupart des candidats recherchait des filaments – rarement préservés par la technique d'extraction – cloisonnés de surcroît.

L'analyse des données fournies n'a pas posé de problème particulier.

5.2.2.6 Sixième partie

Cette dernière partie reposait sur un questionnement volontairement ouvert qui laissait aux candidats le choix, relativement restreint cependant, de leur production. Cela en a déconcerté certains, qui se sont limités à une présentation des structures en vue externe, sans investigation plus poussée. Sans doute parce que placé en fin d'énoncé, nombre de candidats pris par le temps n'ont pas accordé la réflexion et l'attention nécessaires à un traitement convenable de cette partie du sujet qui

pourtant ne présentait pas de difficulté. Pour les candidats qui ont traité cette partie, certains ont confondu cônes mâles et femelles. Très peu arrivent à replacer les éléments observés (ovule, graine) dans un cycle biologique.

5.2.3 Sujet commenté

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2018

TRAVAUX PRATIQUES DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR B

Durée totale : 6 heures

Quelques aspects de la vie en montagne

La vie en montagne présente un certain nombre de contraintes pour les organismes. La capacité à vivre et à se reproduire dans ces conditions repose sur diverses adaptations dont certaines seront examinées.

Les 6 parties sont indépendantes. Certaines nécessitent des manipulations, prévoyez votre organisation en conséquence.

Partie I : Végétation arborescente	page 2
Durée conseillée : 1h – barème : 20/120	
Partie II : Climat montagnard	page 12
Durée conseillée : 0h30 – barème : 10/120	
Partie III : Cycle biologique	page 15
Durée conseillée : 0h30 – barème : 10/120	
Partie IV : Tissus ligneux et circulation de la sève brute	page 22
Durée conseillée : 2h – barème : 40/120	
Partie V : Interactions biotiques	page 40
Durée conseillée : 1h30 – barème : 30/120	
Partie VI : Structures reproductrices	page 46
Durée conseillée : 0h30 – barème : 10/120	

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.

Partie I : Végétation arborescente

I-A- Distribution des espèces arborescentes :

Le document ci-dessous (figure 1) présente un extrait de la carte de végétation de Gap (1/200 000) et de sa légende ainsi que la carte topographique IGN de la même région (Figure 2).

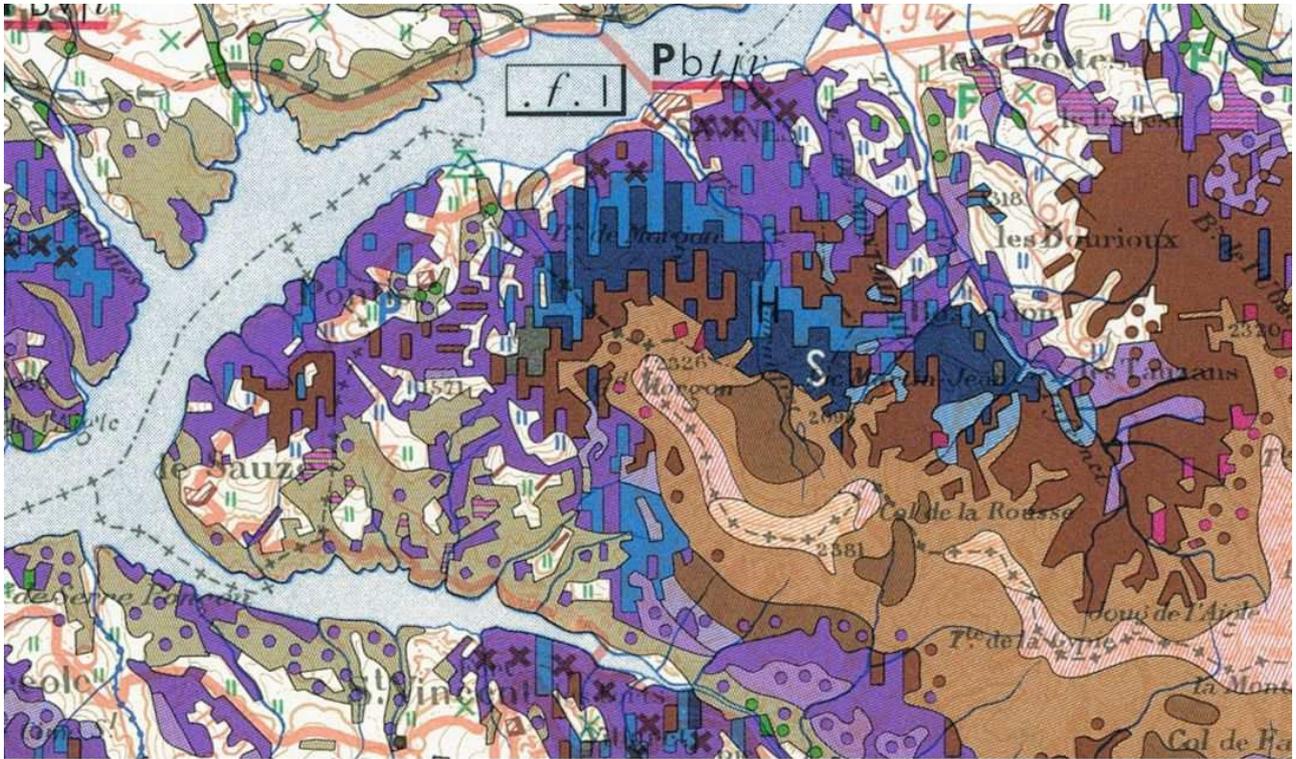


Figure 1. Extrait de la carte de végétation de Gap et légende simplifiée mentionnant les différentes séries de végétation

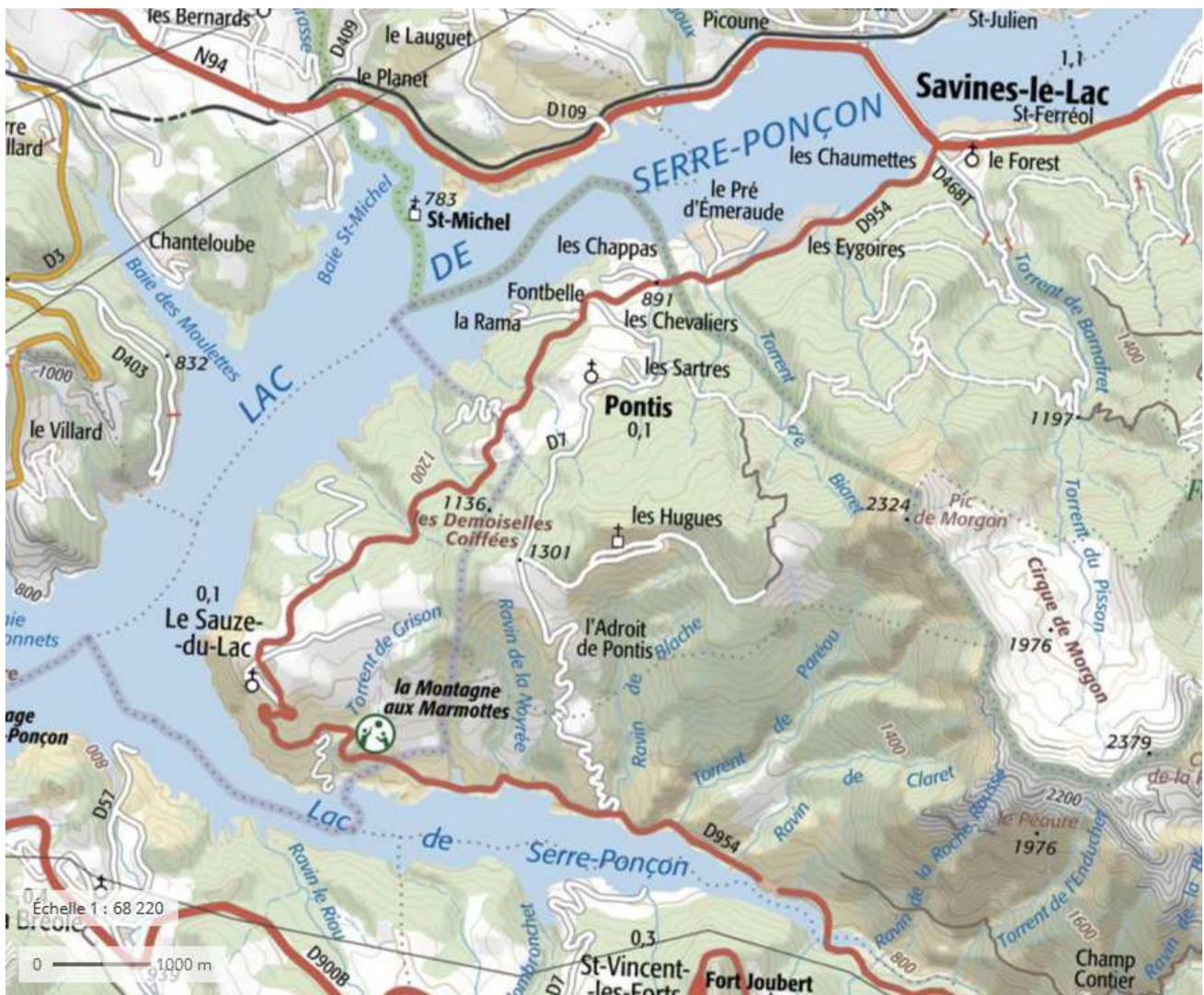
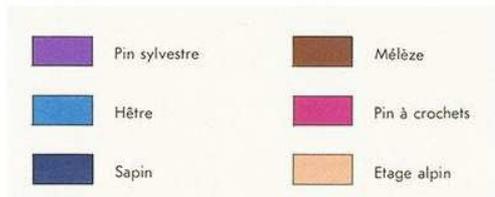
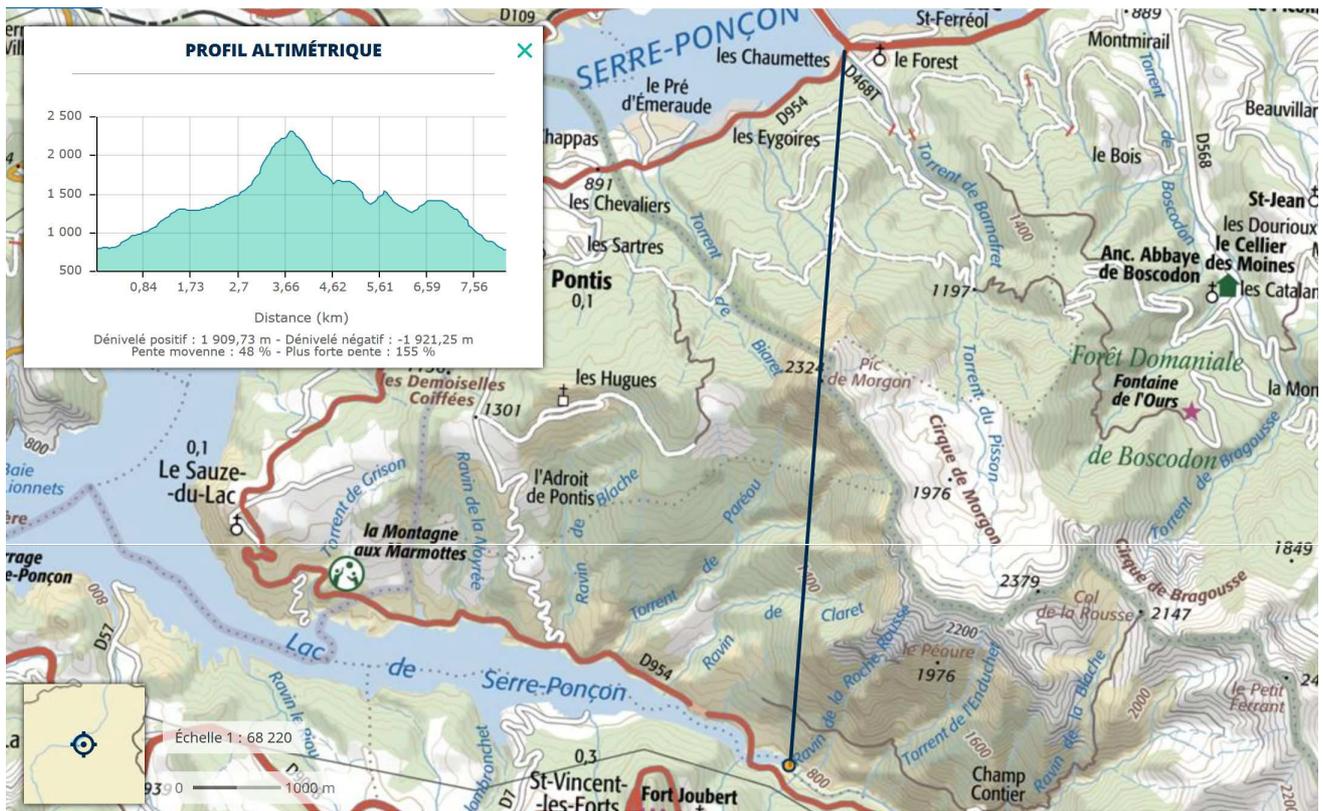


Figure 2. Extrait de la carte topographique (IGN ; pic de Morgon, rive sud du lac de Serre-Ponçon)

I-A-1- Transect de la végétation

I-A-1-a En assimilant série et espèce représentative, réalisez un transect de la végétation sur le papier millimétré page suivante.

Réponse à la question I-A-1-a



I-A-1-b **Justifiez le choix de son tracé.**

Réponse à la question I-A-1-b

Le tracé nord-sud montre la plus forte variation de pente et d'exposition, il est donc le plus approprié pour faire apparaître d'éventuelles variations du couvert végétal. Le passage par le sommet topographique permet de plus de couvrir le maximum d'amplitude altitudinale.

I-A-2- Répartition des espèces

Quelle distribution des différentes espèces arborescentes apparaît ici ?

Réponse à la question I-A-2

On remarque une répartition altitudinale des séries et une opposition de versant entre l'adret et l'ubac.

I-A-3- Interprétation

Quels facteurs explicatifs peut-on mettre en avant ?

Réponse à la question I-A-3

Les limites entre séries semblent parallèles aux courbes de niveau, on peut donc mettre en avant une corrélation entre altitude et distribution des essences.

I-A-4- Discussion

Quelles données supplémentaires pourrait-on collecter pour affiner cette explication ?

Réponse à la question I-A-4

On considère qu'à l'échelle observée, les paramètres climatiques et édaphiques sont homogènes, ce qui n'est pas forcément le cas quand on s'intéresse aux oppositions de versant. Il conviendrait de disposer de données météorologiques et d'informations sur la nature des sols et de la roche-mère.

I-B- Identification de quelques représentants de la végétation montagnarde :

Dix espèces collectées dans les différentes séries identifiées sur les cartes de végétation sont présentées au poste d'identification. **Vous vous rendrez à ce poste en fonction du planning indiqué au tableau.**

Pour chaque échantillon, vous indiquerez dans le tableau qui suit son nom vernaculaire, sa dénomination binominale ainsi que sa position systématique. Vous indiquerez également à quel(s) étage(s) de végétation on peut en réaliser la collecte.

Poste n°	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Position systématique	Etage
1	Mélèze	<i>Larix decidua</i>	Coniférophytes, Pinacées	Subalpin
2	Genévrier commun	<i>Juniperus communis</i>	Coniférophytes, Cupressacées	Collinéen et montagnard
3	Pin à crochets	<i>Pinus uncinata</i>	Coniférophytes, Pinacées	Subalpin
4	Pin sylvestre	<i>Pinus sylvestris</i> (ou <i>silvestris</i>)	Coniférophytes, Pinacées	Montagnard, adret
5	Epicéa	<i>Picea abies</i>	Coniférophytes, Pinacées	Montagnard et subalpin
6	Bouleau verruqueux	<i>Betula verrucosa</i>	Angiospermes, Bétulacées	Montagnard
7	Myrtille	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Angiospermes, Ericacées	Montagnard et subalpin
8	Prunier de Briançon, marmottier	<i>Prunus brigantina</i>	Angiospermes, Rosacées	Collinéen, montagnard et subalpin
9	Aulne vert	<i>Alnus viridis</i>	Angiospermes, Bétulacées	Subalpin
10	Hêtre commun	<i>Fagus sylvatica</i>	Angiospermes, Fagacées	Montagnard, ubac

I-C- Evolution du couvert végétal :

L'analyse de photographies aériennes réalisées à différentes dates permet un suivi de la végétation d'altitude. Les images qui suivent ont été réalisées en 1960 (figure 3) et 2009 (figure 4) dans un secteur proche du col du Lautaret dans les Alpes françaises. La carte topographique de la zone est également fournie (figure 5).

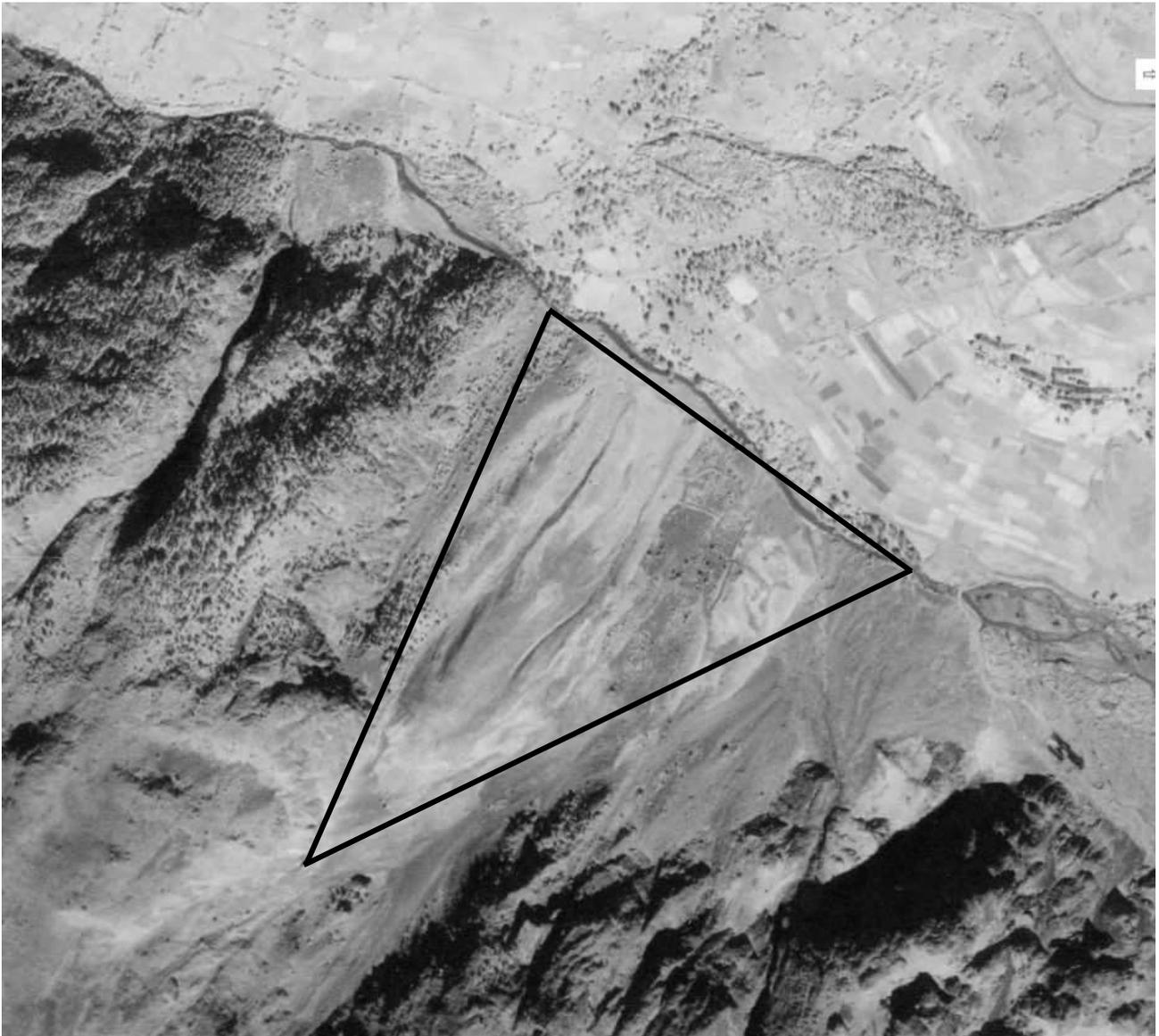


Figure 3. Photographie aérienne du secteur d'étude, réalisée en 1960 (Géoportail, IGN)

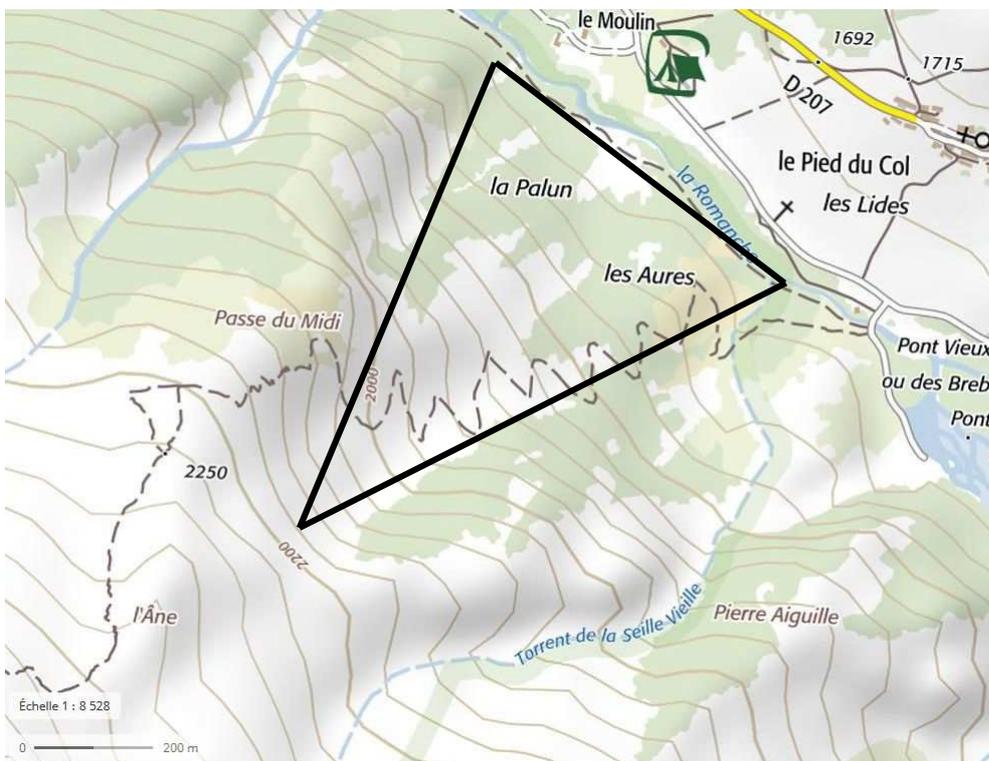


Figure 5. Extrait de la carte topographique (Géoportail, IGN) couvrant la zone photographiée



Figure 4. Photographie aérienne réalisée en 2009 sur le même secteur et ramenée à la même échelle que celle présentée sur la figure 3 (Géoportail, IGN)

I-C-1- Détermination des surfaces boisées

Dans la zone triangulaire délimitée sur les clichés, déterminez, par la méthode votre choix, la surface colonisée par la végétation arborescente entre les deux clichés, en précisant les étapes clés de votre démarche.

Réponse à la question I-C-1

La méthode la plus simple repose sur la délimitation de triangles et la mesure de leurs surfaces. Pour exemple, le triangle complet couvre une surface de 15 hectares.

Les principales difficultés rencontrées résident dans la conversion de l'échelle proposée. Il est également conseillé d'avoir un regard critique sur les valeurs numériques proposées à l'issue des calculs

Réponse à la question I-C-1 suite

I-C-2- Analyse critique

Précisez quelles sont les principales sources d'incertitude liées à votre méthode ?

Réponse à la question I-C-2

On considère que les arbres sont jointifs et on réalise des formes géométriques simples pour faire les calculs.

Toute hypothèse simplificatrice pour peu qu'elle ait été explicitée était acceptée et valorisée dans la notation.

I-C-3- Prise en compte de la topographie

I-C-3-a **En quoi la carte topographique fournie permet-elle d'affiner le calcul ?**

Réponse à la question I-C-3-a

Elle permet de tenir compte de la pente, la carte n'étant qu'une projection sur l'horizontale.

La vision tridimensionnelle et les problèmes de projection dans le plan ne sont pas vraiment bien perçus par les candidats. La réalisation d'un schéma permettait ici d'expliciter le lien entre pente et surface de projection.

I-C-3-b **Proposez une valeur ajustée en précisant votre modification tenant compte de la topographie.**

Réponse à la question I-C-3-b

La prise en compte de la pente globale, grâce à la lecture des courbes de niveau sur la carte topographique fournie, permet de corriger la surface de projection calculée précédemment pour revenir à une surface réelle. On passe à 18 hectares sur le triangle complet, soit une surface augmentée de 20 %.

On peut attendre que la maîtrise du théorème de Pythagore figure parmi les compétences d'un enseignant de sciences.

I-C-4- Interprétation

Quels facteurs peuvent d'après vous être à l'origine de cette évolution de la végétation ?

Réponse à la question I-C-4

Plusieurs facteurs peuvent être invoqués comme la colonisation d'un cône de déjection qui n'est plus alimenté en éboulis, un abandon de surfaces pâturées, voire une modification du climat. Cependant, l'examen des surfaces avoisinant le triangle matérialisé, dont l'aspect ne change pas au cours du temps, permettait d'exclure cette dernière situation

Partie II : Climat montagnard

L'utilisation de relevés météorologiques permet d'accéder à des informations climatiques. Les données fournies dans les tableaux qui suivent ont été obtenues à la station météorologique de Monetier-les-bains, située à 1500 m d'altitude, à proximité du site étudié en I-C.

Pour traiter cette partie, vous aurez accès à un ordinateur selon l'échéancier présenté au tableau de votre salle de composition. Vous appellerez l'examinateur présent dans la salle pour faire évaluer vos différentes productions, directement sur l'écran de votre ordinateur.

DATE	Précipitations (mm)	Moyennes des températures minimales (°C)	Moyennes des températures maximales (°C)
Janvier	156,1	-9,0	4,4
Février	200,4	-8,3	4,8
Mars	110,4	-4,0	6,8
Avril	5,0	-2,2	10,4
Mai	36,4	1,7	17,1
Juin	53,5	6,1	20,6
Juillet	81,4	6,0	20,2
Août	67,5	5,9	20,6
Septembre	226,3	4,0	16,6
Octobre	358,7	-0,2	8,8
Novembre	160,6	-4,6	7,2
Décembre	71,8	-9,1	3,7

Figure 6. Données météorologiques enregistrées en 1960 à la station de Monetier-les-Bains (Météo France)

DATE	Précipitations (mm)	Moyennes des températures minimales (°C)	Moyennes des températures maximales (°C)
Janvier	71,8	-12,2	2,1
Février	62,2	-9,1	3,8
Mars	33,1	-5,3	7,7
Avril	74,9	0,6	11,7
Mai	51,2	4,0	19,3
Juin	66,0	5,6	21,2
Juillet	11,6	7,6	25,7
Août	49,9	8,3	25,9
Septembre	39,8	4,9	20,6
Octobre	48,8	0,2	15,3
Novembre	67,7	-2,8	9,5
Décembre	161,9	-8,2	2,0

Figure 7. Données météorologiques enregistrées en 2009 à la station de Monetier-les-Bains (Météo France)

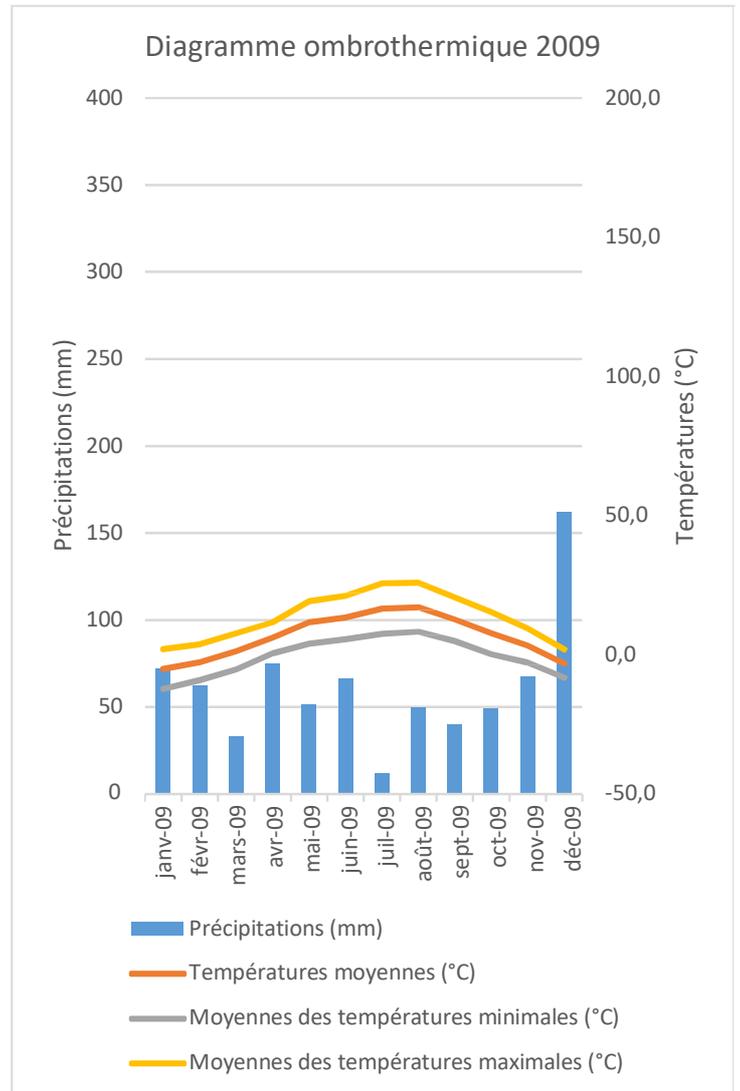
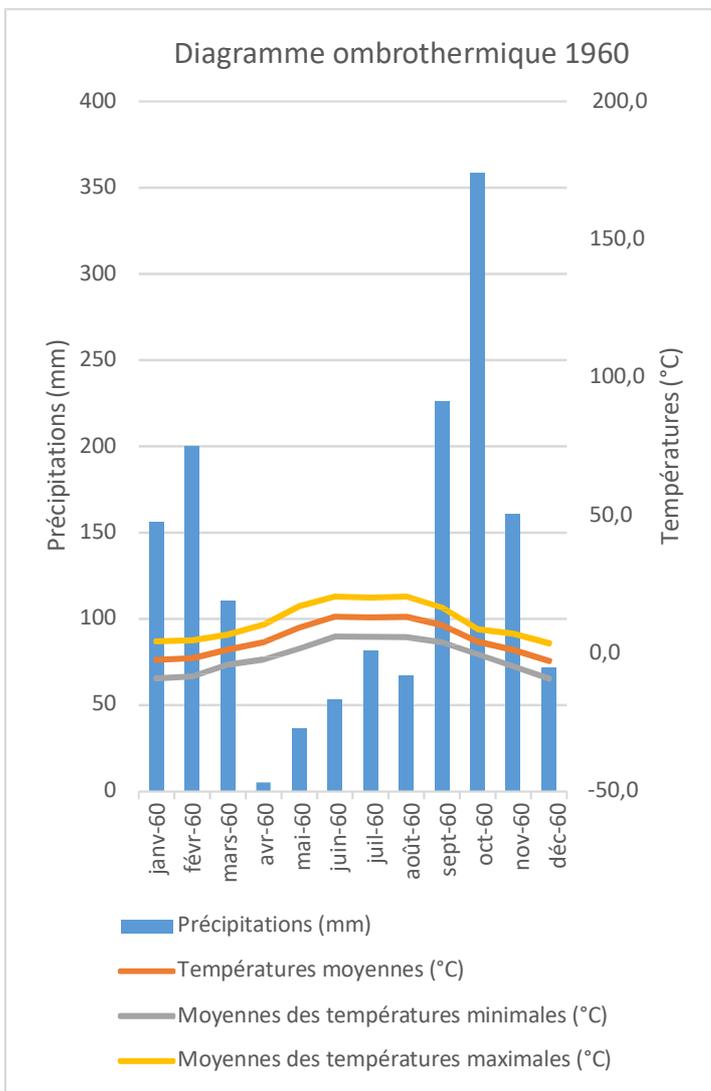
II-A- Représentation graphique de données climatiques :

En utilisant les tableaux de données des figures 6 et 7, représentez graphiquement sur un même diagramme l'évolution de la température moyenne et de la pluviométrie mensuelles pour les deux années correspondant aux photographies aériennes présentées dans la partie I.

Réponse à la question II-A

Appelez l'examineur pour faire évaluer votre production.

Si l'exercice a globalement été bien réalisé, le rapport entre les échelles des deux ordonnées n'est pas toujours respecté.



Années	Température moyenne (°C)	Température minimale (°C)	Années	Température moyenne (°C)	Température minimale (°C)
1955	5,9	-8,8	1985	5,8	-10,3
1956	5,3	-14,8	1986	6,8	-12,3
1957	6,2	-9,4	1987	5,6	-9,4
1958	6,2	-10,8	1988	6,0	-8,8
1959	6,2	-9,3	1989	6,5	-8,8
1960	5,3	-9,1	1990	6,2	-11,4
1961	6,8	-10,7	1991	5,5	-11,9
1962	5,4	-11,0	1992	6,0	-10,0
1963	5,1	-14,2	1993	6,0	-7,4
1964	6,9	-10,2	1994	7,1	-9,1
1965	5,3	-12,4	1995	6,3	-8,7
1966	6,1	-10,4	1996	5,7	-10,4
1967	6,7	-9,5	1997	6,9	-10,5
1968	6,1	-8,0	1998	6,7	-10,3
1969	5,5	-11,4	1999	6,5	-8,6
1970	5,7	-8,7	2000	6,9	-10,4
1971	6,2	-9,6	2001	7,0	-9,5
1972	5,5	-8,5	2002	6,9	-11,3
1973	5,9	-9,9	2003	6,9	-12,9
1974	6,0	-5,8	2004	6,5	-8,5
1975	6,1	-7,8	2005	6,0	-12,0
1976	6,0	-8,7	2006	6,6	-12,2
1977	5,6	-8,7	2007	6,9	-9,8
1978	5,6	-8,9	2008	6,1	-8,9
1979	6,1	-8,9	2009	6,6	-12,2
1980	5,9	-8,3	2010	5,2	-12,8
1981	6,0	-8,3	2011	7,3	-9,2
1982	6,6	-7,1	2012	6,8	-11,9
1983	7,4	-10,3	2013	5,9	-12,7
1984	5,2	-10,0	2014	6,9	-7,6

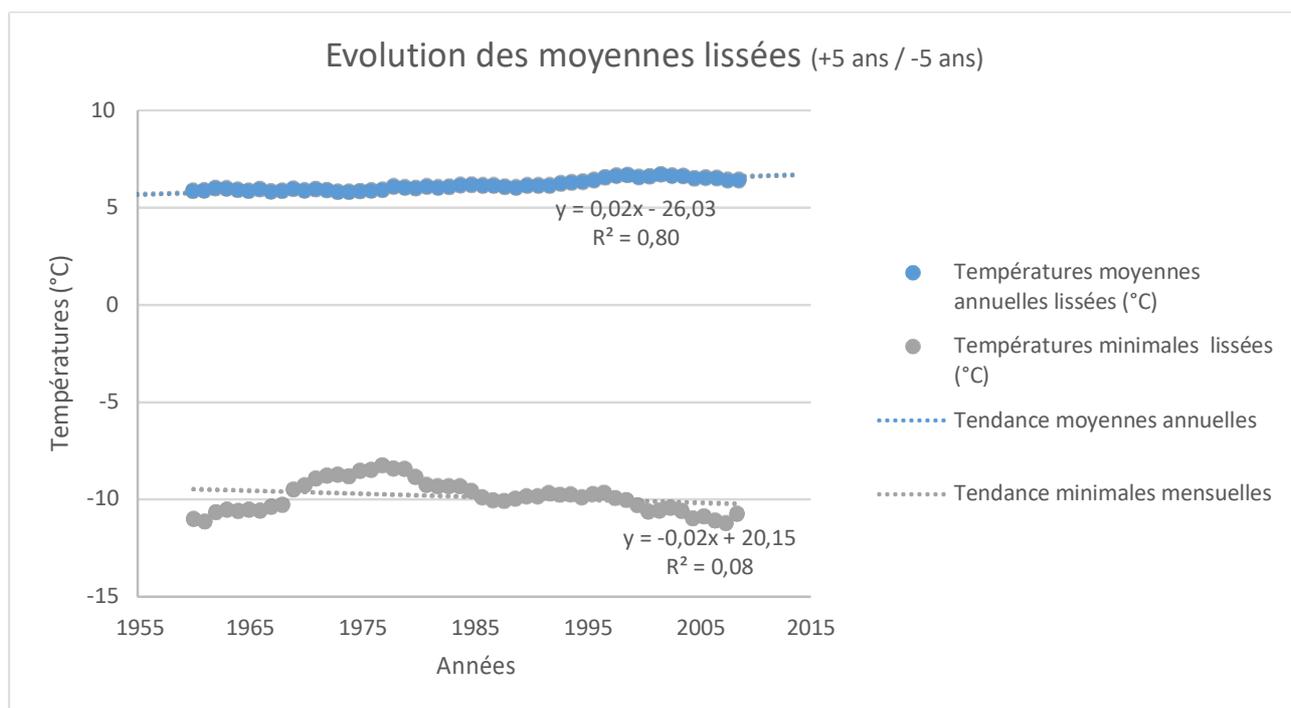
Figure 8. Moyennes annuelles des températures et températures minimales (moyennes des minimales du mois le plus froid) enregistrées entre 1955 et 2014 à la station de Monetier-les-Bains (d'après Météo France)

II-B- Suivi à moyen terme de données climatiques :

En utilisant la figure 8, vous représenterez également graphiquement l'évolution des températures moyennes et minimales annuelles sur la période séparant les deux prises de vue, en utilisant une moyenne mobile (+5 ans, -5ans).

Réponse à la question II-B

Appelez l'examineur pour faire évaluer votre production.



Le défaut majeur et quasi systématique a résulté d'un mauvais choix du type de graphique, empêchant l'inclusion d'une courbe de tendance.

II-C- Interprétation :

Quel(s) intérêt(s) peuvent avoir de telles représentations sur le plan écologique ? Vous vous efforcerez d'établir un lien avec votre réponse à la question IV-D-4.

Réponse à la question II-C

Les diagrammes ombrothermiques permettent de mettre en évidence des périodes de déficit hydrique au cours de l'année. Leur comparaison montre une variabilité inter annuelle. Cet outil permet également de faire des comparaisons inter stations

Les séries temporelles visent à détecter des tendances à moyen terme.

Partie III : Cycle biologique

On s'intéresse dans cette partie au cycle biologique d'une espèce illustrée sur la figure 9. Chez les organismes de cette espèce, un certain nombre d'études biométriques ont montré que la longueur de la capsule céphalique est un bon indicateur du stade de développement. Quelles que soient les conditions environnementales, les limites des classes de tailles représentatives des différents stades de développement ne changent pas.



Figure 9. Individus représentatifs de l'espèce étudiée

III-A- Identification :

Identifiez aussi précisément que possible l'animal présenté sur la figure 9, en indiquant les critères utilisés.

Réponse à la question III-A

Rhyacophila evoluta, phrygane, larve et imago

Hexapode : 3 paires de pattes sur le thorax

Insecte : pièces buccales hors de la capsule céphalique

Trichoptère :

- Larve : trachéobranches filamenteuses abdominales, pattes anales

- Imago : ailes membraneuses repliées « en toit » au repos, longues antennes filamenteuses

L'identification aboutit assez généralement à « Insectes Ptérygotes » mais ne va guère au-delà.

III-B- Analyse des données :

Des mesures de longueur de capsules céphaliques ont été réalisées sur des individus récoltés dans l'eau à différentes dates dans quatre stations pyrénéennes situées à différentes altitudes.

Station	A	B	C	D
Altitude (m)	690	1920	2180	2380
Enneigement (mois)	0	4	4	8

Ces mesures ont permis, pour chaque relevé, de déterminer un effectif pour chacun des 6 stades aquatiques du développement. La station B a été l'objet d'une campagne d'échantillonnage sur deux années consécutives. Pour la station A, les relevés se sont arrêtés en février de la deuxième année.

Les résultats sont consignés dans le tableau figurant à la page 18 de ce dossier (figure 10).

En utilisant les données fournies (figure 10), comparez les modalités de bouclage du cycle biologique de cette espèce dans les différentes stations. Vous vous appuyerez sur une représentation graphique de votre choix. Quelle interprétation pouvez-vous proposer pour les variations observées ?

Réponse à la question III-B

La façon la plus simple de traiter cet exercice consistait à superposer les données à un calendrier annuel. Cela permettait de montrer que la durée du cycle varie selon l'altitude et qu'il peut être bouclé en 1, 2 ou 3 années.

Hormis l'absence de représentation graphique, il est surprenant de constater que nombre de candidats ont conclu au contraire à une accélération du cycle avec l'altitude « puisque la période végétative est plus courte

Station Date du prélèvement	A						B						C						D					
	Stade de développement						Stade de développement						Stade de développement						Stade de développement					
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI
mars			3	6																				
avril																								
mai																								
juin					3																			
juillet					3	62	62	5		5	25	4	62	30			8		10		2	10	2	10
août						2	25	65	5		3	5		35	55			10	68	5	2	15	2	10
septembre	20	16						30	45	4	5	15			20	60	5	15	10	70	5	4	2	5
octobre								5	45	40	8	8		5	5	60	5	25		40	50	5	10	3
novembre		4	2						30	40	10	20				7	7		2	85			11	
décembre																								
janvier																								
février			3	4	1																			
mars									10	65	25													
avril																								
mai									5	40	55													
juin										4	6													
juillet							56			5	40													

Figure 10. Effectifs des différents stades de développement de l'espèce étudiée collectés sur les quatre stations d'étude

III-C- Identifications :

Les photographies qui suivent montrent des individus récoltés dans différents milieux aquatiques montagnards.



1



2



3



4



5



6

Pour chacun, vous procéderez à l'identification la plus précise possible et vous indiquerez sa position systématique. Vous indiquerez également quel(s) caractère(s) vous avez utilisé(s) lors de cette identification.

	Identification	Position systématique	Caractère(s) utilisé(s)
1	Larve de perle	Insectes, Ptérygotes, Néoptères, Plécoptères	Cerques, tête large, segments thoraciques de même taille, trachéobranches thoraciques
2	Larve d'éphémère	Insectes, Ptérygotes, Ephéméroptères	Cerques et filament postérieur médian, trachéobranches lamelleuses abdominales, mésothorax développé
3	Larve de sialis	Insectes, Ptérygotes, Néoptères, Eumétaboles, Holométaboles, Névrotéroïdes, Mégaloptères	7 paires de trachéobranches abdominales filiformes
4	Larve d'agrion	Insectes, Ptérygotes, Odonates, Zygoptères	Masque labial, trachéobranches lamelleuses anales
5	Larve de moustique	Insectes, Ptérygotes, Néoptères, Eumétaboles, Holométaboles, Diptères	Mandibules crochues, tube respiratoire
6	Larve d'aesche	Insectes, Ptérygotes, Odonates, Anisoptères (= Epiproctes)	Masque labial, absence de trachéobranches externes

Partie IV : Tissus ligneux et circulation de la sève brute

IV-A- Comparaison de deux essences montagnardes communes :

Vous disposez de deux rameaux de l'année prélevés sur des individus de deux espèces différentes.

IV-A-1 Etude de deux échantillons

IV-A-1-a Identification des échantillons

Assignez chacun des échantillons à l'un de ceux présentés au poste d'identification (question I.B).

Réponse à la question IV-A-1-a

Les rameaux fournis provenaient des essences suivantes : mélèze (n°1) et hêtre (n°10). Le second a été moins bien reconnu que le premier.

IV-A-1-b Manipulations

Réalisez pour chaque échantillon, une coupe transversale de rameau, colorée selon le protocole suivant :

Colorer 7 minutes dans le bleu de méthylène aluné.

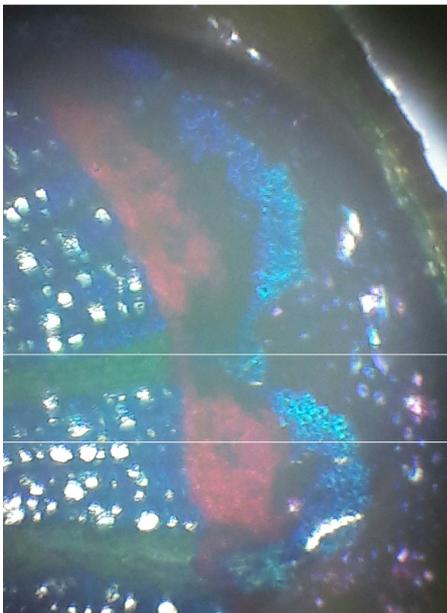
Rincer à l'eau distillée.

Colorer 7 minutes dans le rouge de ruthénium.

Rincer à l'eau et monter dans l'eau entre lame et lamelle.

Avec ce protocole, la subérine apparaît colorée en vert, la cellulose en rouge et la lignine en bleu ou en violet.

Réponse à la question IV-A-1-b



Coupe transversale de rameau de hêtre colorée au bleu de méthylène aluné et au rouge de ruthénium, réalisée dans les conditions de concours.

Les coupes sont en général correctement réalisées mais la coloration est souvent décevante du fait que les candidats ne pensent pas à « éponger » leurs préparations entre les bains, ce qui dilue ou provoque des mélanges.

IV-A-2 Anatomie

Les préparations microscopiques numérotées **A** et **B** correspondent chacune à l'un des échantillons que vous venez de manipuler. Elles ont été colorées par le carmin aluné et le vert d'iode.

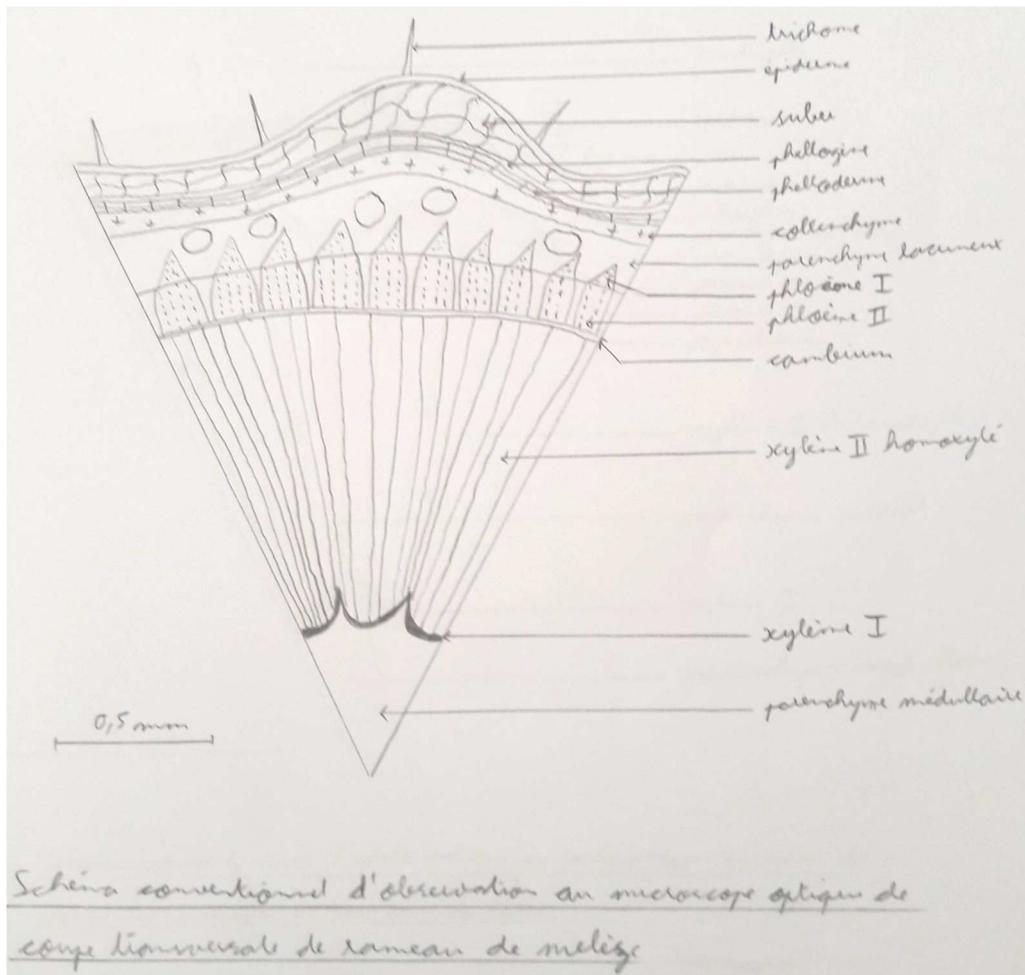
IV-A-2-a Approche analytique

Réalisez un schéma d'interprétation, précisément légendé, de chacune des préparations microscopiques, A et B, fournies.

Réponse à la question IV-A-2-a

Préparations A

La préparation proposée était une coupe transversale de tige de mélèze colorée au carmino-vert, ce qui permettait une interprétation même aux candidats n'ayant pas réussi leur propre préparation. La réalisation de l'exercice, extrêmement classique, a été décevante. Pour exemple, l'image qui suit a été réalisée sur l'une des réussites relatives obtenues.



Réponse à la question IV-A-2-a (suite)

Préparation B

De la même façon, il s'agissait ici d'une coupe transversale de tige de hêtre également colorée par le carmina-vert. Là encore, trop peu de candidats ont correctement réussi l'exercice.

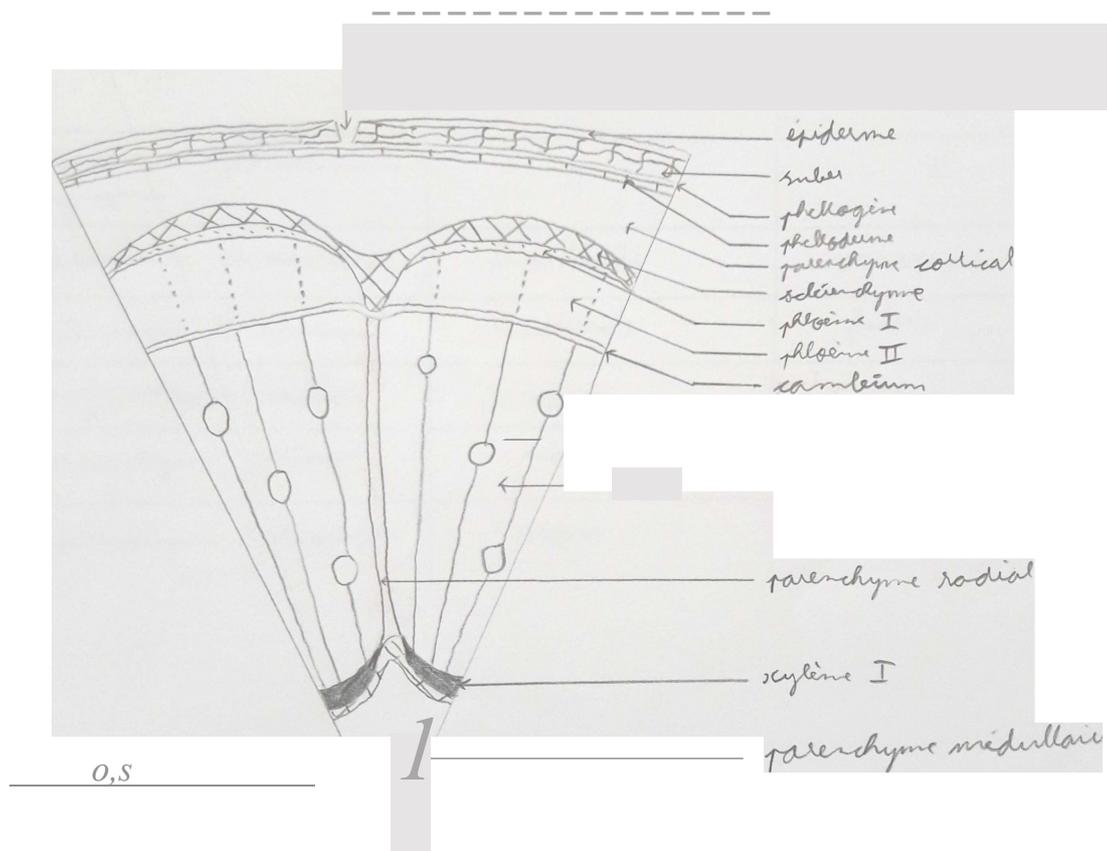


Schéma conventionnel d'observation au microscope
coupe transversale de rameau de hêtre.

IV-A-2-b Approche comparative

Présentez sous forme de tableau une comparaison des xylèmes secondaires de ces deux espèces.

Réponse à la question IV-A-2-b

Caractère	Mélèze	Hêtre
Éléments conducteurs	Trachéides	Vaisseaux
Structure du bois	Bois homoxylé	Bois hétéroxylé
Rayons ligneux	Unisériés	Plurisériés
Canaux résinifères	Présence	Absence

Le jury attendait une comparaison fondée sur l'observation des préparations fournies aux candidats mais il a plus souvent assisté à une « récitation » de réminiscences non maîtrisées.

IV-A-3 Diamètre des éléments conducteurs

Les images qui suivent (figure 11) montrent l'organisation du bois des deux espèces comparées précédemment.



Figure 11. Coupes transversales montrant l'organisation du bois des deux espèces comparées (d'après woodanatomy.ch)

IV-A-3-a **Pour chaque espèce, déterminer le diamètre moyen des éléments conducteurs du xylème secondaire.**

Réponse à la question IV-A-3-a

Une méthode possible était de mesurer le diamètre des éléments conducteurs rencontrés en plaçant une règle parallèlement à rayon.

Hêtre : $60 \pm 20 \mu\text{m}$ (n = 15)

Mélèze : $35 \pm 7 \mu\text{m}$ (n = 15)

Les mesures et les calculs ont été correctement réalisés mais aucun candidat n'a pensé à indiquer spontanément la variabilité du diamètre des éléments conducteurs, de quelque façon que ce soit.

IV-A-3-b **En quoi ce paramètre peut-il être déterminant pour la circulation de la sève brute ?**

Réponse à la question IV-A-3-b

Un diamètre plus grand facilite l'écoulement.

L'équation fournie permettait aisément de formuler cette conclusion. L'argumentation développée par les candidats est parfaite.

IV-B- Conductivité hydraulique des éléments conducteurs :

La figure 12 ci-dessous présente le résultat de mesures de diamètre des éléments conducteurs du bois, réalisées dans le cerne externe à différentes positions le long d'un pin cembro âgé d'une trentaine d'années, vivant à 2200 m d'altitude dans les Dolomites (Alpes orientales, Italie). Les résultats sont exprimés en fonction de la distance à l'apex caulinaire. Dh représente le diamètre hydraulique moyen, calculé de la façon suivante :

$$D_h = \frac{\sum_{n=1}^N d_n^S}{\sum_{n=1}^N d_n^4}$$

avec d_n le diamètre de l'élément n.

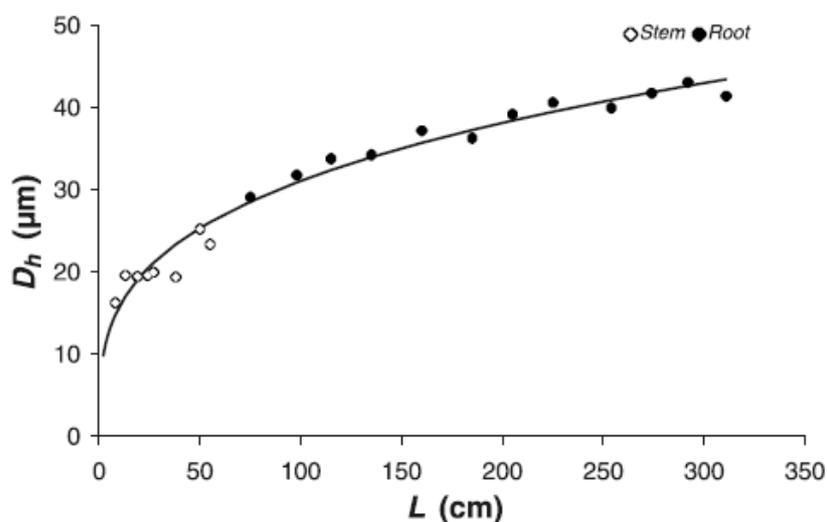


Figure 12. Variation du diamètre hydraulique moyen en fonction de la distance à l'apex caulinaire
 La courbe de tendance a pour équation $D_h = 7,976 \times L^{0,295}$ ($r^2 = 0,955$; $p < 0,0001$)
 (d'après Petit et al., 2009)

Analysez et interprétez la figure 12. Quelle relation pouvez-vous établir entre votre interprétation et la loi qui modélise l'écoulement laminaire d'un fluide dans un conduit, rappelée ci-dessous ?

$$Q = \frac{\Delta P \pi r^4}{8 \eta l}$$

Où Q représente le débit du fluide, η sa viscosité, ΔP la différence de pression entre les deux extrémités du conduit et r et l le rayon et la longueur, respectivement, du conduit.

Réponse à la question IV-B

On observe une augmentation du diamètre hydraulique au fur et à mesure de l'éloignement de l'apex, de la tige vers la racine. Autrement dit, le diamètre des vaisseaux diminue au fur et à mesure que la sève brute monte dans le xylème. Il existe donc un mécanisme de contrôle du grandissement cellulaire.

D'après la formule fournie, la résistance à l'écoulement augmente avec la distance parcourue par la sève brute et avec la diminution du rayon du conduit. C'est l'augmentation du nombre de conduits, due à la ramification, qu'il faut intégrer au raisonnement pour saisir l'existence d'un processus de compensation entre longueur et rayon des éléments conducteurs.

Le lien entre diamètre et longueur a été globalement perçu mais curieusement, le raisonnement proposé aboutissait à un paradoxe consistant à affirmer que la diminution du diamètre permettrait de diminuer la résistance alors que celle-ci augmente avec la longueur. La confusion vient du fait que les candidats ne raisonnent que sur un vaisseau isolé alors qu'il convenait d'intégrer une vision globale du réseau. Cette seule mention de l'ensemble des vaisseaux associée à l'analyse de la formule permettait d'obtenir le maximum de point à cette question.

IV-C- Organisation des éléments conducteurs :

Vous disposez de deux préparations microscopiques, **C** et **D**, réalisées dans du bois de résineux.

IV-C-1 Analyse structurale

Réalisez un schéma d'interprétation pour chacune de ces lames en précisant l'orientation de la coupe observée.

Réponse à la question IV-C-1

Préparation C :

Il s'agissait d'une coupe longitudinale radiale de bois de gymnosperme permettant une observation « à plat » des ponctuations aréolées.

Préparation D :

Il s'agissait d'une coupe longitudinale tangentielle de bois de gymnosperme permettant une observation « en coupe » des ponctuations aréolées

Les deux préparations permettaient également d'identifier des trachéides, éléments caractéristiques du bois homoxylé des gymnospermes.

IV-C-2 Interprétation fonctionnelle

Quelle structure propre au bois des pinophytes apparaît sur ces préparations ? Quel est son rôle ?

Réponse à la question IV-C-2

Ces préparations permettent d'observer des ponctuations aréolées, propres au bois des gymnospermes. Leur rôle essentiel est d'isoler les trachéides remplies de gaz, conséquence du processus d'embolie.

Là encore, le nombre de candidats ayant correctement traité cette partie du sujet est très/trop faible !

IV-D- Fonctionnement des éléments conducteurs :

Les images qui suivent (figures 13 et 14) ont été obtenues à l'aide d'une technique appelée cryo-SEM qui consiste à congeler rapidement, à très basse température, les échantillons puis à les préparer, toujours à basse température, pour une observation en microscopie électronique à balayage.

IV-D-1

Les coupes présentées ci-dessous (figure 13) ont été réalisées dans l'avant dernier cerne d'un rameau de bouleau de Mandchourie, *Betula platyphylla*, récolté au mois de mars sur l'île de Hokkaidō au nord du Japon. Ces images sont représentatives de l'ensemble des observations effectuées sur différents rameaux.

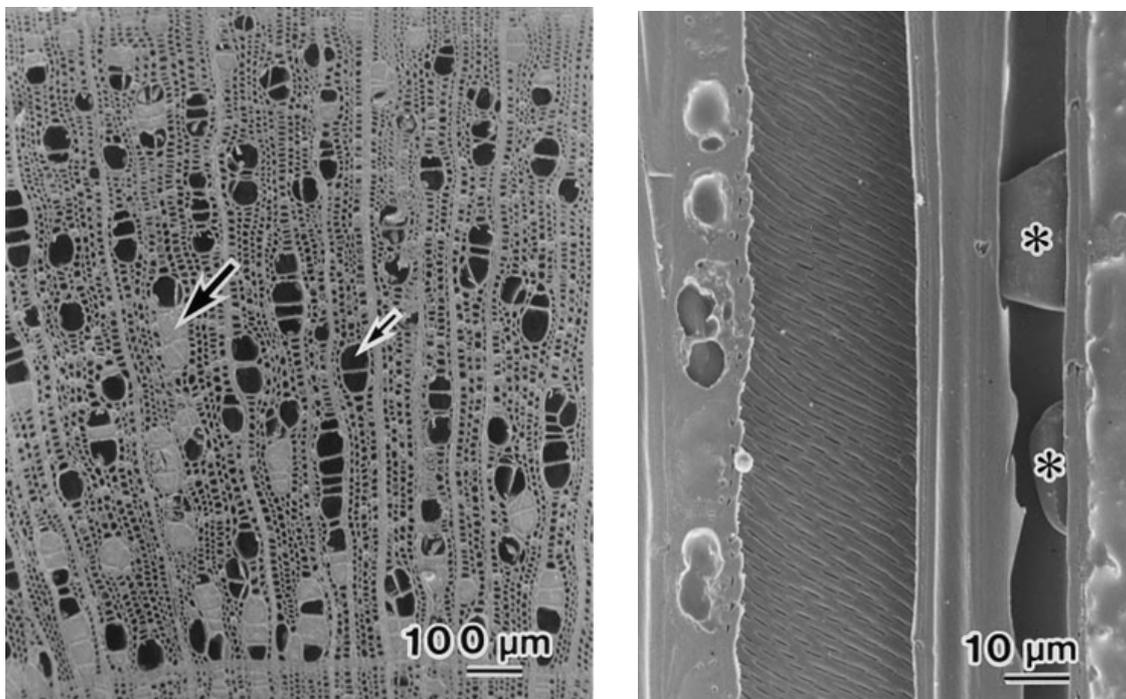


Figure 13. Coupes transversale (à gauche) et longitudinale tangentielle (à droite) obtenue par cryo-SEM à partir de bois de bouleau de Mandchourie (d'après Utsumi et al., 1998)

IV-D-1-a Analyse structurale

Réalisez un schéma d'interprétation aussi précis et complet que possible de ces images. Quelles structures sont identifiables sur ces images ? Vous apporterez une attention particulière à celles désignées par des flèches ou des astérisques.

Réponse à la question IV-D-1-a

Ces images permettent de visualiser, grâce à la technique de préparation utilisée, la présence ou l'absence de sève dans les éléments conducteurs et donc le processus d'embolie gazeuse ou cavitation. La coupe longitudinale permettait de plus d'observer des gouttes de sève adsorbées à la paroi d'un vaisseau.

Cet exercice a globalement été mal réussi, à cause d'une mauvaise lecture des conditions de réalisation des clichés. En effet, la majeure partie des candidats n'a pas réalisé que la congélation rapide fige la sève présente dans les tissus conducteurs, ce qui permet lors de l'observation des clichés de discriminer les vaisseaux fonctionnels des vaisseaux non fonctionnels ayant subi la cavitation.

IV-D-1-b Approche comparative

La coupe présentée ci-dessous (figure 14) a été réalisée dans l'avant dernier cerne d'un rameau de saule de Sakhaline, *Salix sachalinensis*, récolté au mois de mars sur l'île de Hokkaidō au nord du Japon. Cette image est représentative de l'ensemble des observations effectuées sur différents rameaux.

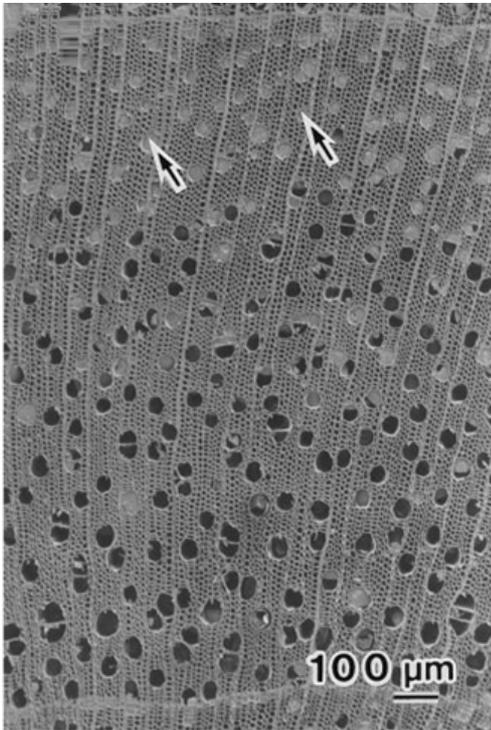


Figure 14. Coupe transversale obtenue par cryo-SEM à partir de bois de saule de Sakhaline (d'après Utsumi et al., 1998)

Quelles différences la comparaison entre les deux espèces présentées aux figures 13 et 14 fait elle apparaître ?

Réponse à la question IV-D-1-b

Une différence essentielle réside dans la distribution des éléments conducteurs. On distingue un bois précoce (de printemps) et un bois tardif (d'été) au sein d'un cerne chez le saule mais pas chez le bouleau.

L'autre différence observable est que l'on observe des vaisseaux vides dans tout le cerne chez le bouleau, alors qu'ils sont tous dans le bois de printemps chez le saule.

Les candidats ayant fait l'effort d'observer et de décrire les clichés ont été peu nombreux.

IV-D-1-c Interprétation fonctionnelle

Quel processus l'analyse de ces images met-elle en évidence ? Quel mécanisme physique en est responsable ? En quoi la circulation de la sève brute peut-elle être affectée ?

Réponse à la question IV-D-1-c

Ce qui était observable dans ces clichés, c'est le phénomène d'embolie provoquant la cavitation dans les éléments conducteurs de sève brute. Ce phénomène est dû à l'exsolution des gaz dissous sous l'effet d'une forte dépression (potentiel hydrique très négatif) ou d'une congélation (bulles

visibles dans les glaçons). Cela entraîne une rupture de la continuité de la colonne d'eau et donc arrêt de l'ascension de la sève brute.

Si le phénomène a été correctement identifié, son mécanisme a rarement été correctement explicité.

IV-D-1-d Prise en compte du contexte climatique

Le tableau ci-dessous (figure 15) fournit quelques données de température (moyennes des maximales et des minimales) enregistrées sur le site de collecte des échantillons observés aux figures 13 et 14.

	Units	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Average
High Temperature Mean Value	deg C	-1.1	- .5	3.5	11.1	17.3	21.2	24.8	26.1	21.8	15.7	8.2	2.0	12.51
Low Temperature Mean Value	deg C	-8.4	-8.0	-3.9	2.2	7.4	12.0	16.6	18.2	12.9	6.0	.5	-4.9	4.22

Figure 15. Moyennes des températures maximales et minimales mensuelles enregistrées à la station météorologique de l'université de Hokkaidō à Sapporo au Japon (source climate.charts.com).

En quoi ces données permettent-elles de préciser votre interprétation ?

Réponse à la question IV-D-1-d

Les températures très basses pendant l'hiver indiquent que la congélation peut-être à l'origine du phénomène observé.

IV-D-2 Sensibilité aux variations de température

Les images qui suivent (figures 16 et 17) ont été réalisées par la même technique de préparation et d'observation chez le frêne de Mandchourie (*Fraxinus mandshurica*).

L'expérience utilise 32 jeunes arbres, âgés de 4 ans, hauts d'environ 2 m et dont le diamètre de tronc mesuré à 80 cm au-dessus du sol est de 2 cm. Les arbres sont cultivés dans la station présentée à la question IV-D-1 et les échantillons sont récoltés entre octobre et novembre, lorsque les feuilles sont pratiquement toutes tombées.

Les 32 individus sont placés en chambre froide (-20°C) pendant 30 minutes, cette température est inférieure à celle provoquant le gel de la sève brute dans les vaisseaux. A l'issue des 30 minutes, on place pendant 5 minutes sur le tronc de quatre des 32 arbres, un manchon de 15 cm de longueur contenant de l'azote liquide. Au bout des 5 minutes, on sectionne le tronc de part et d'autre du manchon et on maintient le cylindre obtenu à très basse température. Les 28 autres arbres sont alors transférés dans une pièce à 20 °C et on répète successivement à 1h, 2h, 4h, 6h, 12h, 18h et 24h, la même procédure de prélèvement de cylindres de tronc. Les 32 cylindres obtenus sont transférés dans une pièce froide (-20 °C) où ils sont découpés en tronçons d'1 cm d'épaisseur, préparés ensuite pour une observation en microscopie électronique à balayage.

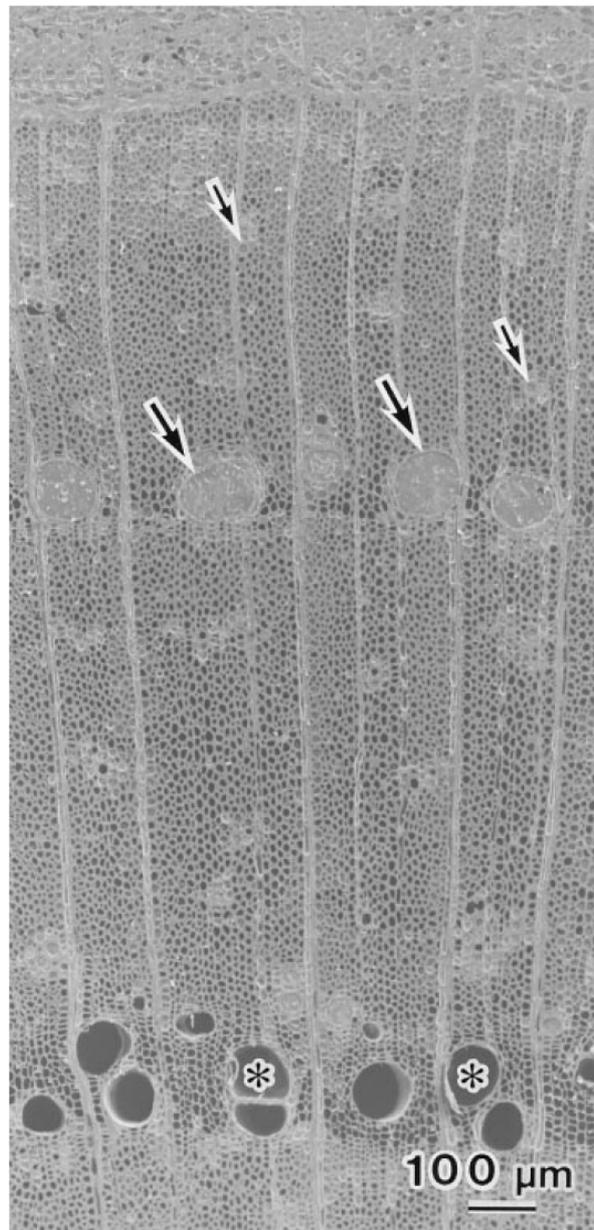


Figure 16. Coupe transversale observée par cryo-SEM montrant les deux cernes externes du bois de tronc de *Fraxinus mandshurica* échantillonné au bout de 2h à -20 °C (d'après Utsumi et al., 1999). Ces images sont représentatives de l'ensemble des observations effectuées.

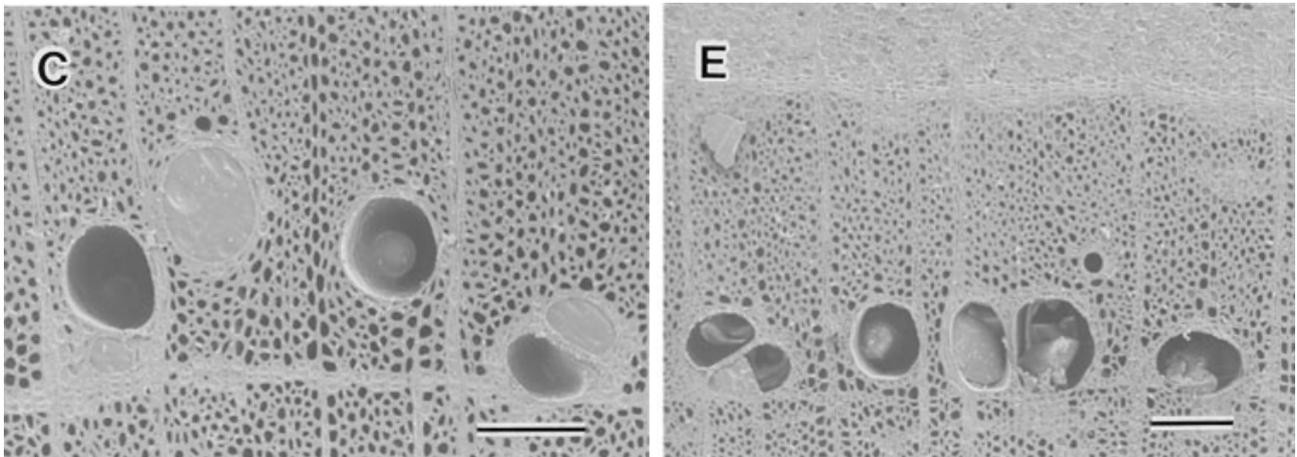
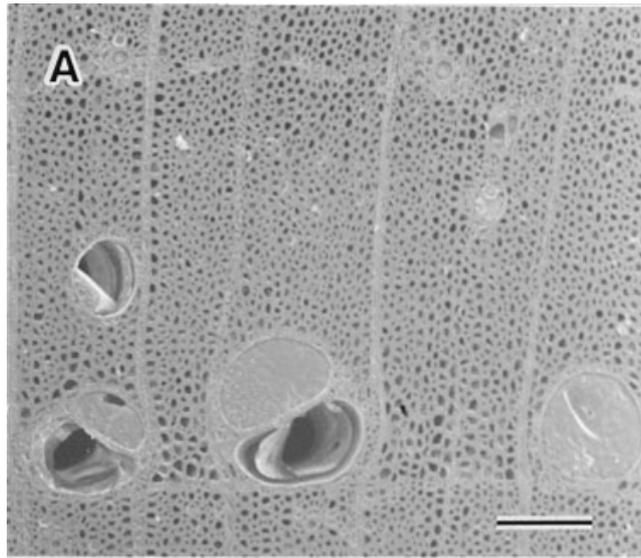


Figure 17. Coupe transversale observée par cryo-SEM montrant le cerne externe du bois de tronc de *Fraxinus mandshurica* ayant passé 2h à -20 °C puis 1h (A), 4h (C) ou 24h (E) à +20 °C (d'après Utsumi et al., 1999). Ces images sont représentatives de l'ensemble des observations effectuées (barres : 100 µm).

Analysez et interprétez cette série d'images (figures 16 et 17). Qu'apportent-elles quant au contexte d'apparition du processus mis en évidence en IV-D-1-c.

Réponse à la question IV-D-2

La succession d'images permettait de constater une progression de la cavitation au cours de l'épisode de dégel, montrant ainsi que ce phénomène est davantage dû au réchauffement suivant le refroidissement qu'au refroidissement lui-même.

Malheureusement, une mauvaise lecture ou une lecture trop rapide du protocole n'a pas permis de correctement traiter cette question.

IV-D-3 Comparaison angiosperme - pinophyte

Les courbes qui apparaissent sur le document suivant (figure 18) représentent la perte de conductivité hydraulique (% LOSS k_h) mesurée dans du bois de peuplier (*Populus tremuloides*) ou de sapin (*Abies lasiocarpa*). Les arbres poussent sur la même station, située en Utah (Etats-Unis) à 2835 m d'altitude.

Les mesures sont réalisées à l'aide d'un dispositif permettant de faire circuler une solution dans des segments de rameaux âgés de 1 à 3 ans. On mesure le débit de la solution pour différents gradients de pression, d'abord sous l'effet de la seule gravité puis en augmentant progressivement la pression à l'entrée dans le segment de rameau. La conductance est définie comme le rapport entre le débit et la différence de pression entre l'entrée et la sortie du segment de rameau. La perte de conductivité est estimée à partir de la différence entre la valeur obtenue à pression atmosphérique et la valeur maximale obtenue sous pression.

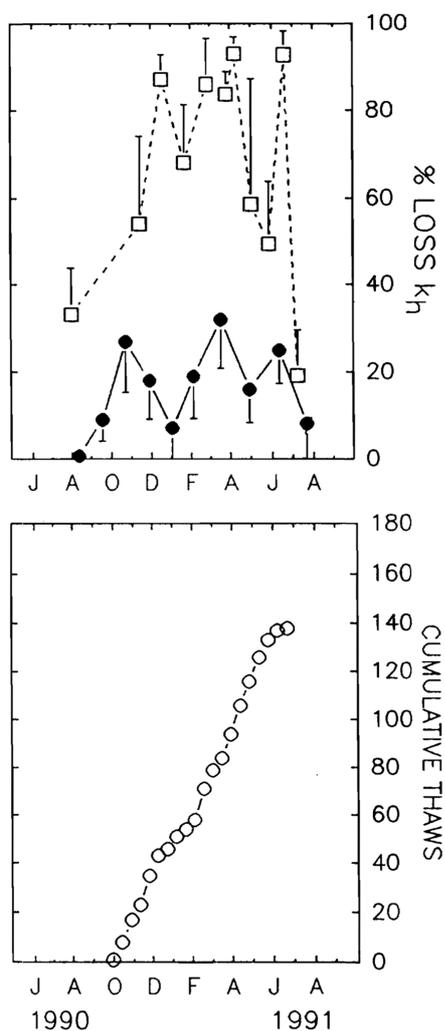


Figure 18. Haut : Suivi temporel de la perte de conductivité hydraulique (% LOSS k_h) du bois de peuplier (\square) ou de sapin (\bullet) sur la période août 1990 – août 1991. Les valeurs indiquent la moyenne des mesures et l'intervalle de confiance à 95 %.

Bas : Nombre cumulé d'épisodes de dégel par période de 2 semaines (CUMULATIVE THAWS) pour la même période (d'après Sperry et al., 1994)

Analysez et interprétez ces résultats. Quel intérêt y-a-t-il à réaliser des mesures pour différents gradients de pression ?

Réponse à la question IV-D-3

La perte de conductivité hydraulique est la conséquence de la cavitation dans les éléments conducteurs de sève brute. On observe ici que les deux espèces y sont sensibles pendant l'hiver mais pas avec la même intensité. La perte est beaucoup plus faible chez le sapin. D'autre part, cette perte de conductivité hydraulique semble corrélée, pour le peuplier, à l'augmentation du nombre d'épisodes de dégel au cours de la saison. La récupération d'une certaine conductivité en été montre l'existence de processus réparateurs.

La différence de sensibilité à l'embolie du bois à vaisseaux et du bois à trachéides est ainsi confirmée sur ces deux modèles.

L'utilisation d'un gradient de pression permet de forcer la circulation dans les vaisseaux cavités et ainsi d'accéder à une valeur de conductivité maximale. Ce qui permet ensuite de calculer la perte de conductivité.

IV-D-4 Synthèse

En intégrant vos observations et interprétations réalisées pour cette partie IV, expliquez en quoi le processus mis à jour en IV-D contribue à la répartition des espèces arborescentes montagnardes.

Réponse à la question IV-D-4

La sensibilité à la cavitation induite par les basses températures et par les alternances gel/dégel, plus nombreuses en altitude, semble une différence importante entre bois à vaisseaux et bois à trachéides. Ceci peut constituer un des facteurs explicatifs de la distribution des espèces avec l'altitude en plus de la compétition interspécifique et de la sensibilité aux pathogènes.

Partie V : Interactions biotiques

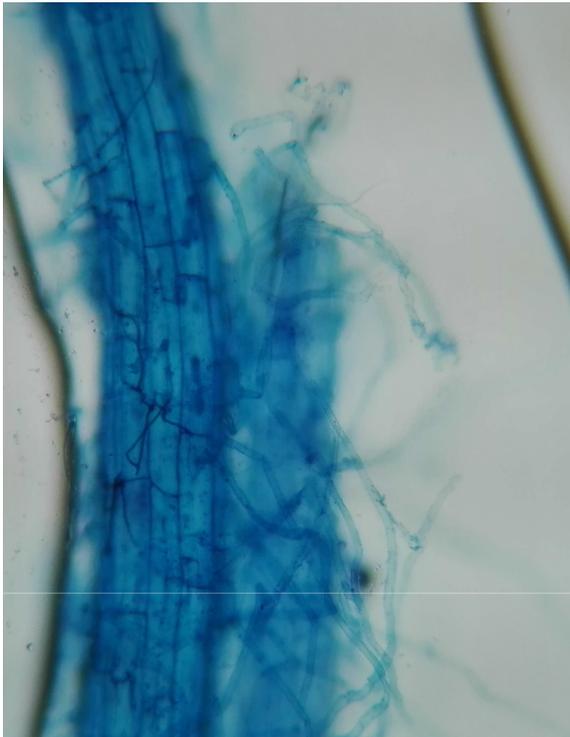
V-A- Etude anatomique :

Vous disposez d'un échantillon végétal que vous utiliserez de la façon suivante, **en respectant les conditions de sécurité vis-à-vis du risque chimique** :

1. Laver précautionneusement les racines et prendre les plus jeunes, les couper à une longueur de 1 cm à partir de l'apex ;
2. Mettre les fragments de racine dans un tube à essai avec 5 mL de potasse à 10 % et chauffer au bain-marie 90°C durant 20 min ;
3. Jeter la potasse et filtrer dans un tamis puis rincer avec l'eau acidifiée pour neutraliser ;
4. Remettre les fragments au bain-marie pendant 8 minutes dans un tube à essai avec 3 mL de bleu coton ;
5. Filtrer à nouveau dans un tamis et rincer abondamment à l'eau distillée ;
6. Monter à l'eau entre lame et lamelle.

V-A-1 Réalisez un dessin d'observation de votre préparation.

Réponse à la question V-A-1



Apex racinaire de plantain observé au microscope photonique après coloration au bleu coton. Image obtenue dans des conditions proches de celles du concours.

Pour le dessin d'observation, le jury attendait un titre (endomycorhize à arbuscules), des légendes (poils absorbants, cellules de la racine, paroi des cellules végétales, filaments mycéliens, arbuscule), un rappel de la coloration et une échelle.

Si la coloration a en général été bien réussie, l'interprétation de la préparation n'est pas toujours satisfaisante, tant dans la qualité du dessin que dans l'identification des structures révélées par la coloration.

Appelez l'examineur pour faire évaluer votre préparation et constater l'adéquation dessin/zone observée. En cas de difficulté importante pour la manipulation, appelez le responsable de salle.

V-A-2 Identification de l'interaction

Parmi les interactions biotiques que vous connaissez, lesquelles pourraient correspondre à celle identifiable sur votre préparation ? Pourquoi ? Qu'est-ce qui différencie ces interactions ?

Réponse à la question V-A-2

La préparation faisait apparaître une interaction, vraisemblablement durable, laissant penser à une symbiose, mutualiste ou parasitaire. La distinction réside pour l'essentiel dans les effets sur la valeur sélective des partenaires.

V-B- Analyse d'un échantillon de sol

Un échantillon de sol associé à l'appareil racinaire que vous venez de manipuler a été prélevé, homogénéisé puis passé sur une colonne de tamis. La fraction fine a été récoltée et préparée pour l'observation.

Selon le planning établi en salle, vous vous rendrez au poste permettant cette d'observation. Sur la préparation présentée, vous choisirez et pointerez à l'aide de l'oculaire à aiguille une structure que vous aurez identifiée comme intervenant dans la relation trophique mise en évidence précédemment.

Identifiez de manière argumentée la structure présentée à l'examineur.

Réponse à la question V-B

Le filtrat de sol à la disposition des candidats permettait d'observer des spores de Gloméromycètes, structures permettant la dispersion du champignon et l'infestation des racines en croissance dans le sol.

Cet exercice a globalement été mal réussi par les candidats, essentiellement par manque de méthode. Peu ont pensé à diluer les prélèvements de façon à espacer les objets en suspension pour faciliter leur observation.

Appelez l'examineur pour faire évaluer votre choix.

V-C- Analyse de données

Le tableau qui suit (figure 19) indique le résultat de mesures effectuées au mois de juillet le long d'un gradient altitudinal sur le Mont Mila, situé au Tibet dans l'Himalaya. La limite supérieure des arbres est située à 4100 m d'altitude et la couverture neigeuse disparaît complètement au début du mois de mai. Pour chaque station étudiée, dont l'altitude et la nature du couvert végétal sont précisées, on a délimité 5 quadrats de 1 m² chacun, distants de 10 m les uns des autres. Pour chaque quadrat, on a prélevé la pellicule superficielle du sol (15 cm d'épaisseur) qui a été ensuite été homogénéisée et dans laquelle on a identifié et quantifié différents taxons d'organismes correspondant aux structures que vous avez observé sur le tamisage de sol (question V-B).

Le tableau indique le nombre moyen d'individus présents, pour chaque taxon identifié, sur l'ensemble des relevés réalisés à une altitude donnée.

Altitude (m)	Flanc est					Sommet	Flanc ouest				
	4150	4358	4449	4599	4796	5033	4841	4675	4525	4344	4149
Végétation	Saule	Genévrier		Rhododendron	Pelouse alpine		Genévrier		Epine vinette	Saule	
Taxon n°											
1	102	104	96	334	220	249	171	150	70	190	14
2	154	23	160	2	0	63	2	31	2	45	0
3	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	7	0	0	1	0	0	0	19	0	30	0
5	51	243	59	21	108	3	173	133	296	104	232
6	2	1	62	29	0	8	0	6	18	7	1
7	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	7	33	49	0	1	1	2
9	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0
10	21	0	7	12	40	0	0	12	4	4	0
11	7	0	3	0	0	0	0	0	0	7	0
12	0	0	0	0	8	0	1	0	0	0	0

Figure 19. Résultats de comptages effectués à différentes altitudes sur les flancs est et ouest du Mont Mila (d'après Liu et al., 2015)

V-C-1 Méthodologie

Indiquez deux méthodes permettant d'assigner un échantillon à un taxon.

Réponse à la question V-C-1

Parmi les réponses possibles figurent la comparaison à une collection de référence ou encore la technique de barcoding.

V-C-2 Analyse des données

V-C-2-a Diversité spécifique

Calculez pour chaque site l'indice de Shannon (H'), reflétant la diversité spécifique.

$H' = - \sum [p_i \times \text{Log}_2 (p_i)]$, avec p_i la fréquence dans le relevé du $i^{\text{ème}}$ taxon.

$\text{Log}_2(x) = 3,33 \cdot \text{Log}_{10}(x)$

Réponse à la question V-C-2-a

Les calculs donnent les résultats suivants :

	Flanc ouest						Flanc est				
altitude	4149	4344	4525	4675	4841	5033	4796	4599	4449	4358	4150
H'	1,323	2,054	1,564	2,142	1,544	1,186	1,927	1,303	2,253	1,470	2,301

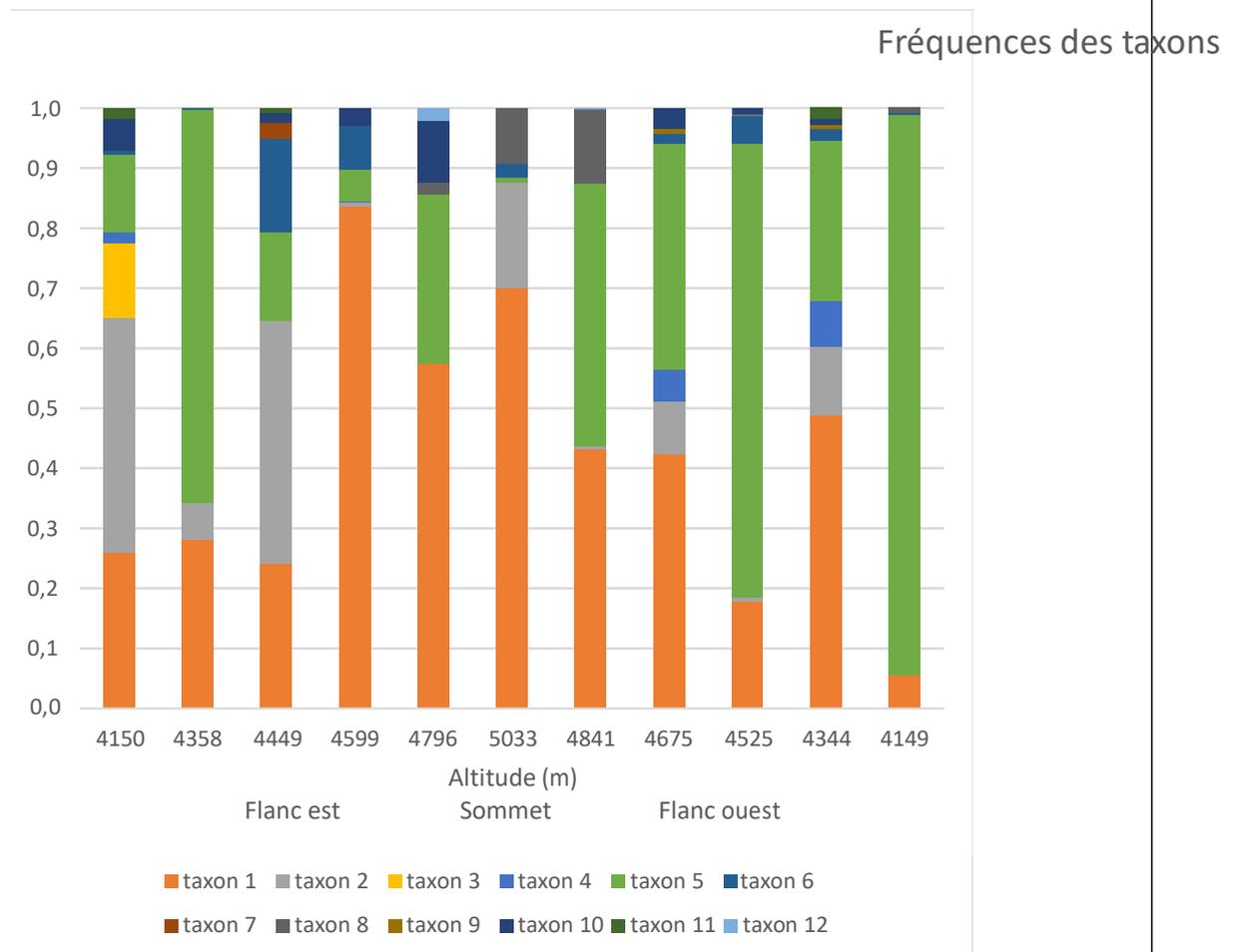
Pas de difficulté majeure ici, l'exercice a été bien réussi, mais l'utilisation du tableur aurait permis à nombre de candidats de gagner du temps.

V-C-2-b Représentation graphique des données

Représentez graphiquement l'importance relative de chacun des taxons pour les différentes stations, en organisant votre graphique de telle sorte qu'il fasse apparaître un éventuel lien à l'altitude.

Réponse à la question V-C-2-b

La présentation la plus simple et la plus expressive était sans doute la construction d'un histogramme « empilé », au moins pour les taxons les plus représentés et pour quelques stations.

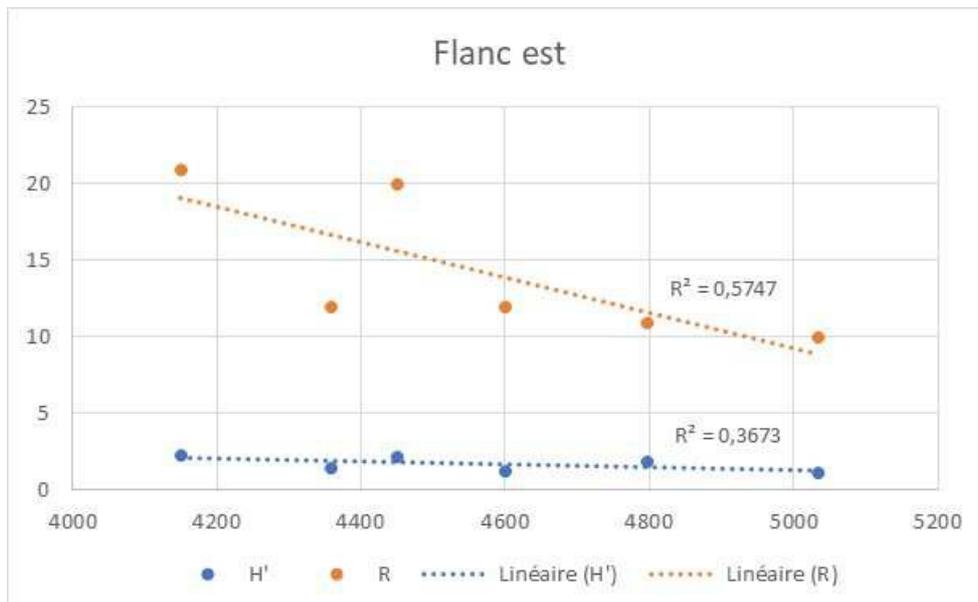
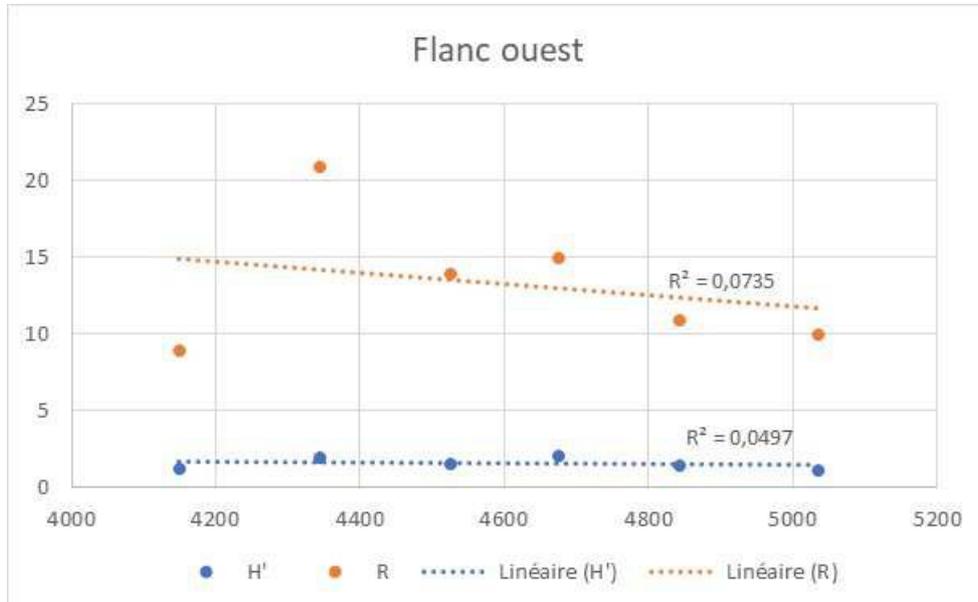


Là encore, le recours au tableur pendant la période de mise à disposition de l'ordinateur permettait de traiter plus rapidement les données.

V-C-2-c Exploitation des données

Comment procéderiez-vous pour mettre en évidence une relation entre richesse spécifique et altitude et entre diversité spécifique et altitude ? Cette relation existe-t-elle ? Justifiez votre réponse.

Réponse à la question V-C-2-c



Il n'y a donc pas de relation nette entre les indices et l'altitude même si on note une tendance à une diminution de la richesse spécifique sur le flanc est.

Partie VI : Structures reproductrices

Vous disposez de deux échantillons, **E & F**, récoltés sur un arbre qui a également fourni l'un des rameaux proposés dans la quatrième partie.

VI-A- Cycle biologique :

Par les moyens de votre choix, vous montrerez l'organisation de ces structures et leur implication dans la reproduction de l'organisme qui les produit. Vous mettrez également en évidence leur place dans le cycle biologique de l'espèce.

Réponse à la question VI-A

Appelez l'examineur pour faire constater vos choix et évaluer votre présentation.

Cette question volontairement « ouverte » donnait l'occasion aux candidats de faire valoir leur sens de l'initiative pédagogique, pour peu qu'elle soit soutenue par une bonne connaissance des structures présentées, en l'occurrence des cônes femelles de 1^{ère} et 2^{ème} années en place sur un fragment de rameau de mélèze.

Le jury attendait une ou plusieurs des présentations suivantes, la liste n'est pas limitative :

- Coupe longitudinale d'un cône de 1^{ère} année présentée et dessinée ;
- Montage sous loupe binoculaire ou microscope photonique d'une écaille de cône de 1^{ère} année accompagné d'un croquis explicatif ;
- Présentation d'un cône de 2^{ème} année avec étiquettes numérotées et tableau de correspondance ou dessin ;
- Montage sous loupe binoculaire d'une écaille isolée avec dessin d'interprétation ou croquis explicatif.

En dehors d'une certaine méconnaissance des structures reproductrices femelles des gymnospermes, le jury regrette l'absence d'imagination de nombre des candidats qui se sont trop souvent contentés d'une simple identification, ni argumentée ni explicitée, des cônes.

Il était ensuite attendu que le candidat replace les cônes et les structures observées (ovule, graine) dans un cycle global pluriannuel, mettant en jeu une reproduction sexuée. Cette étape n'a que très rarement été réalisée.

Des cônes mâles étaient aussi présents, sur le même rameau que le cône de première année, et ont été correctement identifiés et placés dans le cycle de développement par de très rares candidats.

VI-B- Microscopie

Réalisez un schéma d'interprétation de la préparation microscopique G qui accompagne ces échantillons.

Réponse à la question VI-B

La préparation fournie était une coupe transversale réalisée dans un cône mâle de pinophyte, permettant l'observation de nombreuses écailles portant chacune deux sacs polliniques dans lesquels des grains de pollen étaient visibles.

Sans doute par manque de temps, cet exercice a été rarement abordé, mais les structures ont été correctement identifiées par les candidats qui ont fait le schéma interprétatif (en revanche, ledit schéma a rarement été satisfaisant sur la forme).

5.3 Epreuve de travaux pratiques de spécialité du secteur C : Sujet et commentaires

5.3.1 Présentation de l'épreuve

Cette épreuve de travaux pratiques était délibérément quantitative et faisait appel au bon sens, à la culture générale et à la manipulation des ordres de grandeur de paramètres courants. Si la plupart des candidats ont tiré profit de l'épreuve de recherche de données en ligne, rares sont ceux qui se sont attelés aux exercices calculatoires, qui ne demandaient pourtant pas ou peu de connaissances, les équations étant systématiquement données dans les énoncés. C'est finalement sur ces exercices (de poids dans le barème) que s'est faite la sélection. Nombre de candidats se sont aussi privés des points pourtant accessibles de la dernière partie, par manque de temps ou par une mauvaise gestion de leur temps. Une lecture exhaustive du sujet au début de l'épreuve leur aurait révélé que cet exercice était plus simple que le précédent. Enfin, certains candidats, malgré une compréhension sans doute honnête des exercices, peinent à répondre en phrases courtes, construites et démonstratives ... les inversions des liens logiques, les approximations de langage les ont fortement pénalisés.

5.3.2 Sujet commenté

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2018

TRAVAUX PRATIQUES DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR C

Durée totale : 6 heures

Géodynamique de l'Arctique

Les 3 parties sont indépendantes. Certaines nécessitent des manipulations, prévoyez donc votre organisation en conséquence.-

Question préliminaire	page 2
<i>Durée conseillée : 0h10– barème : 5/130</i>	
Partie I : Dynamique actuelle de l'Arctique	page 3
<i>Durée conseillée : 2h30– barème : 65/130</i>	
Partie II : Tectonique de l'Arctique	page 16
<i>Durée conseillée : 1h20– barème : 25/130</i>	
Partie III : Géodynamique profonde sous l'Arctique : le point chaud de l'Islande	page 23
<i>Durée conseillée : 2h00– barème : 35/130</i>	

0. Question préliminaire

Le Conseil de l'Arctique regroupe les pays dont le territoire s'étend au-delà du cercle arctique à 66°33'N. La France en est membre observateur. D'après vos connaissances quels sont ces pays ? Quels enjeux écologiques, économiques ou politiques peuvent motiver la présence de la France dans ce conseil ?

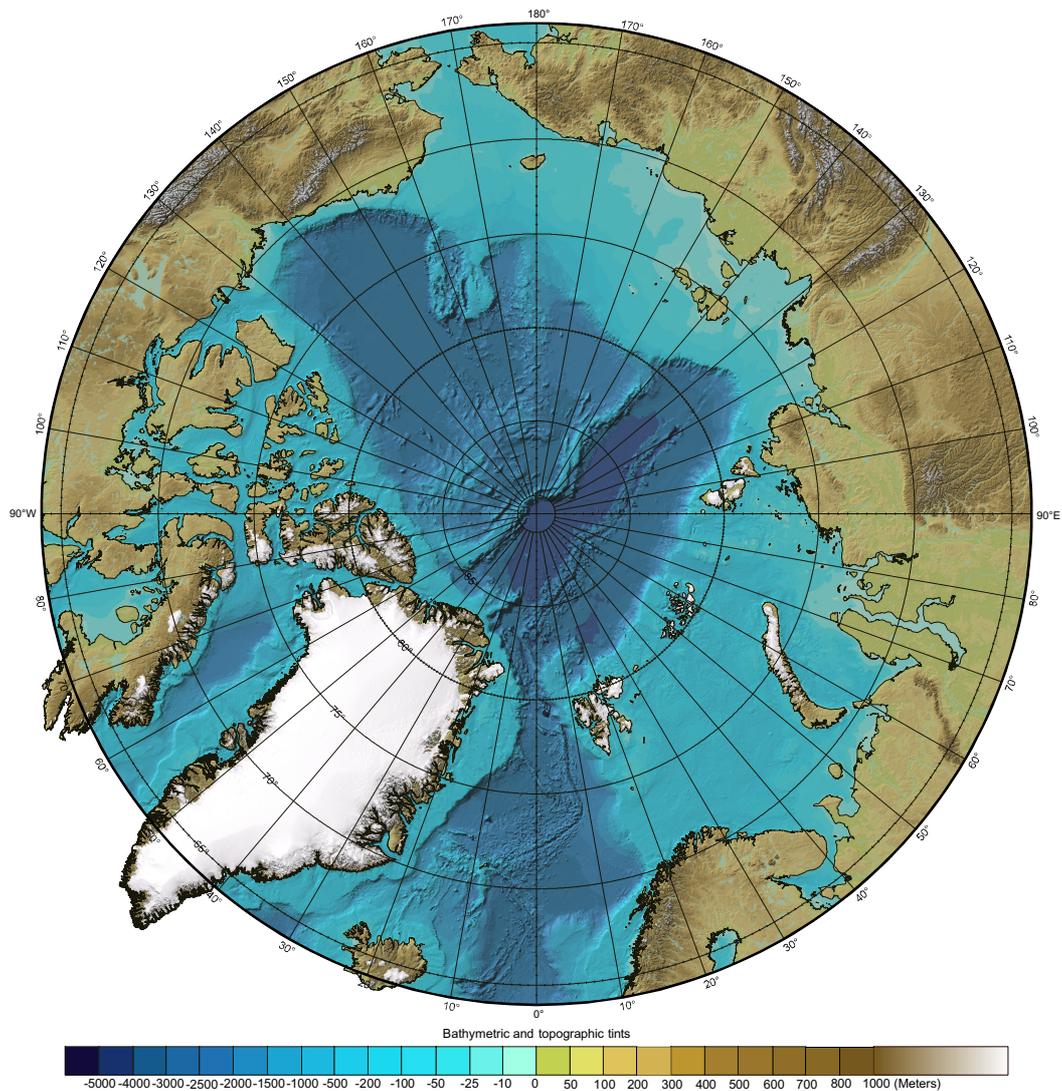


Figure I.0 : Carte bathymétrique et topographique de l'Arctique (compilation IBCAO)

Cadre réponse 0

Même si la plupart des candidats ont pu citer quelques-uns des pays riverains de l'Arctique, rares ont été ceux qui ont su donner leur liste exhaustive : USA (Alaska) Canada, Groenland, Islande, Norvège, Suède, Finlande, Russie. La France siège en tant que membre observateur du fait de ses zones de pêche au large de Saint-Pierre-et-Miquelon, de son implication dans les infrastructures de recherche au Spitzberg. Les enjeux sociétaux sont les ressources en hydrocarbures (Plateau de Barents et North Slope), l'ouverture des routes maritimes ...

Partie I : Dynamique actuelle de l'Arctique

I.A- Paysages aériens

Schématisez, légendez et nommez les 6 paysages arctiques représentés en figures I.A.1 à I.A.6 dans les cadres adjoints.

Il s'agissait de reconnaître : Figure I.A.1: Une langue glaciaire, ses moraines latérales et frontales, Figure I.A.2 : Un fjord avec un pack de banquise, Figure I.A.3 : Un glacier en régression avec ses bandes de Forbes, Figure I.A.4 : Une surface moutonnée striée par le passage d'un glacier, Figure I.A.5 : des Icebergs, Figure I.A.6 : un pingo et des sols polygonaux typiques du permafrost. Cet exercice a été bien réussi dans l'ensemble. Si pratiquement tous les candidats ont reconnu les fjords, seuls deux connaissaient les bandes de Forbes.

I.B- Morphologies sous-marines

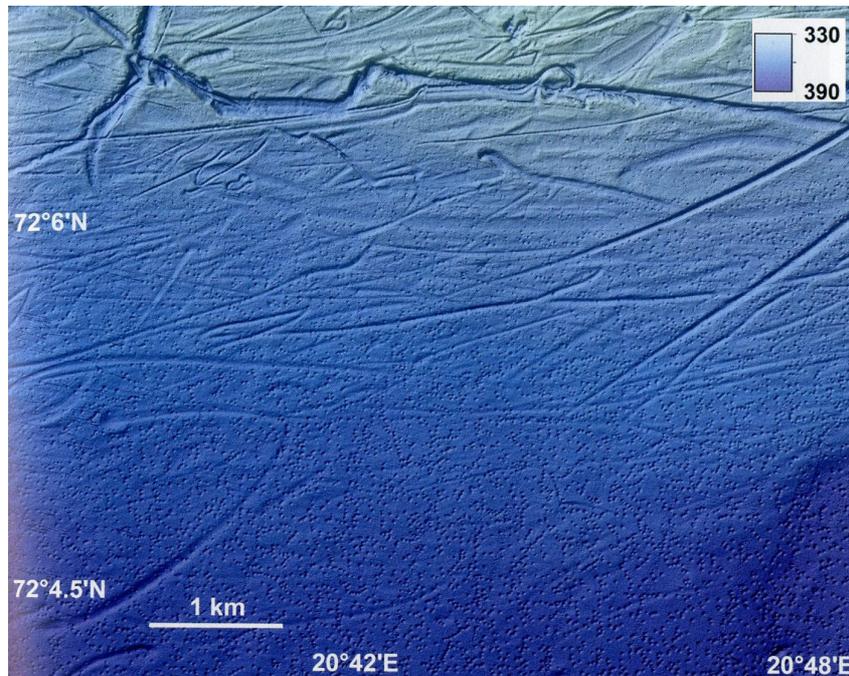


Figure I.B.1 : Image du fond marin en Mer de Barents (*Atlas of submarine glacial landforms*).

L'échelle de couleur renvoie à des profondeurs entre 390 et 330 m.

I.B.1 Quelle donnée est représentée sur le document de la figure I.B.1? Comment une telle image est-elle obtenue ?

Cadre réponse I.B.1

Les mots-clés attendus étaient ceux de bathymétrie, et de sonar multifaisceaux. De nombreux candidats ont mentionné la sismique-réflexion, qui ne donnerait pas une image à une telle résolution et représenterait un coût disproportionné.

I.B.2 A quelle portion de la marge cette image renvoie-t-elle ?

Cadre réponse I.B.2

D'après la valeur de bathymétrie et la pente, que certains ont judicieusement calculée, la zone se situe en bordure de plateau continentale.

I.B.3 Quelle peut-être l'origine des motifs observés ?

Cadre réponse I.B.3

Ce sont des traces de quille d'icebergs. Quelques candidats y ont pensé. On pouvait exclure une origine tectonique, les traces n'étant ni rectilignes ni accompagnées de décalage de la topographie.

I.C- Importance des glaces polaires arctiques

Glaces terrestres	% de la surface terrestre émergée	Hausse de niveau marin équivalente (m)
Inlandsis antarctique	8.3	58.3
Inlandsis groenlandais	1.2	7.36
Glaciers de montagne	0.5	0.41
Permafrost terrestre	9-12	0.02 - 0.1
Glaces de lacs et rivières	1.1	-
Glaces océaniques	% de la surface des océans	Volume (10³ km³)
Plateaux antarctiques	0.45	380
Banquise antarctique été - hiver	0.8 - 5.2	3.4 - 11.1
Banquise arctique été - hiver	1.7 - 3.9	13.0 - 16.5
Permafrost sous-marin	0.8	donnée inconnue

Tableau I.C.1 : Données statistiques représentatives de la cryosphère actuelle (5^{ème} rapport du GIEC, Vaughan et al., 2013)

I.C.1 A partir du tableau I.C.1 vous évalueriez le pourcentage de la surface du globe couverte par la cryosphère. Comparez cette surface à celle des deux régions polaires réunies, sachant que la surface A d'une calotte sphérique au-dessus de la latitude lat est donnée par la formule :

$$A = 2 \times \pi \times RT^2 \times [1 - \sin(\text{lat})],$$

avec RT le rayon de la Terre.

Cadre réponse I.C.1

Il fallait additionner les pourcentages du tableau I.C.1, ce que beaucoup ont su faire (sic) puis les multiplier par les surfaces relatives des océans et des terres émergées (0.7 et 0.3 respectivement ou toute autre valeur approximative). On trouvait 11.5 % en prenant des valeurs moyennes pour la cryosphère à comparer à 16% pour les deux calottes polaires réunies.

I.C.2 Pourquoi les volumes de glace océanique ne sont-ils pas convertis en hausse de niveau marin équivalente ?

Cadre réponse I.C.2

La plupart des candidats ont su expliquer le principe d'Archimède. La glace océanique occupe déjà son volume d'eau.

I.C.3 Pour comparer les données des domaines émergés et océaniques, recalculez le volume représenté par l'inlandsis groenlandais à partir de sa surface et de la hausse de niveau marin que sa fonte induirait. Vous prendrez une valeur approchée de la proportion de terres émergées, et considérerez la Terre comme une sphère de surface $4 \times \pi \times RT^2$.

Cadre réponse I.C.3

On pouvait par exemple multiplier la hauteur d'eau équivalente par la surface des océans, ou la surface de l'inlandsis par une hauteur approximative. On trouvait $2.6 \times 10^6 \text{ km}^3$. Rares ont été ceux qui sont allés au bout de ce calcul.

I.C.4 D'après vos observations, quel est le plus gros réservoir de glace de l'Arctique ?

Cadre réponse I.C.4

L'inlandsis groenlandais est donc et de loin le plus gros réservoir d'eau de l'Arctique.

I.D- Diagramme de phase de l'eau salée et formation de la glace de Mer

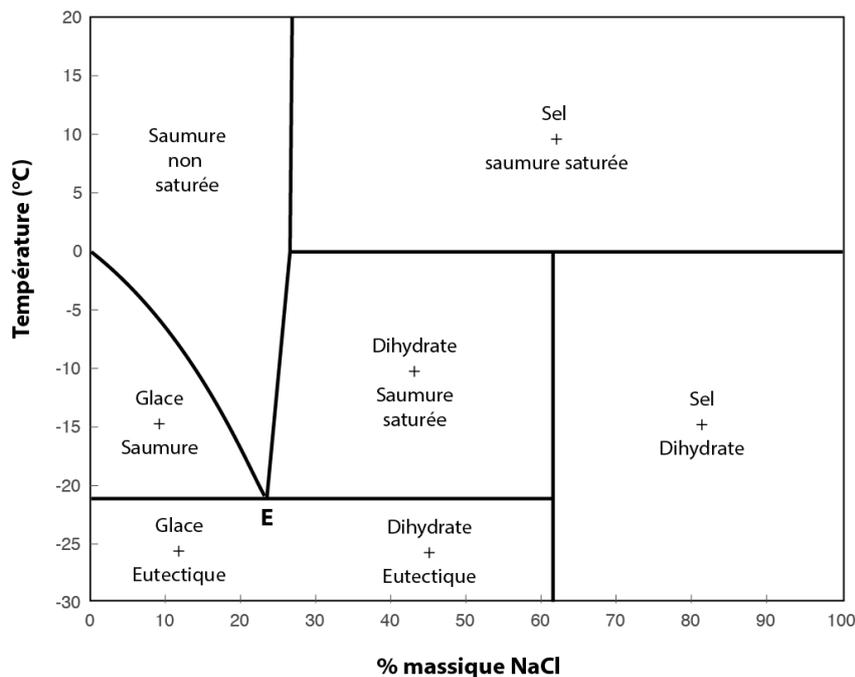


Figure I.D.1 Diagramme de phase des saumures

1-I.D.1 D'après le diagramme de la figure I.D.1, à quelle température l'eau de mer "moyenne" cristallise-t-elle en surface ? Quels sont les produits de cette transformation ?

Cadre réponse I.D.1

La seule difficulté de l'exercice était de convertir les 35 g.L^{-1} de salinité de l'eau de mer en 3.5% massique NaCl. Une fois cet écueil passé, on trouvait que l'eau de mer gèle à -2 ou -3°C pour former de la glace et de la saumure. Seuls quelques candidats ayant malencontreusement converti 35 g.L^{-1} en 35% massique ont su critiquer leur résultat en arrivant à la conclusion que l'eau de mer cristallisait du dihydrate.

1-I.D.2 D'après la figure I.D.2, quelle est la densité de l'eau de mer "moyenne" à son point de congélation à la surface de l'océan ? Vous représenterez sur ce diagramme l'évolution d'une masse d'eau de mer en équilibre avec la glace au cours de son refroidissement de 0 à -5°C ?

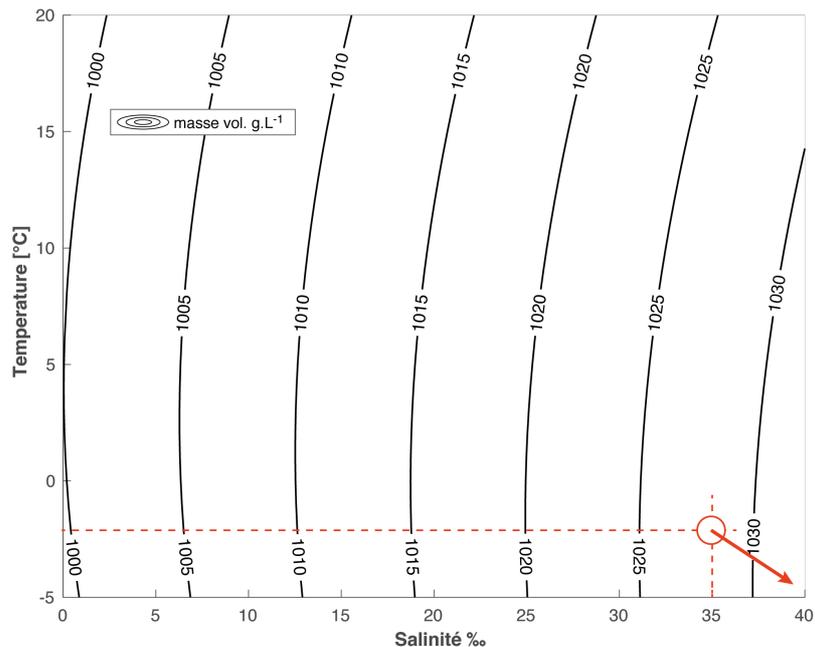


Figure I.D.2 Diagramme de densité des eaux salées calculée à 1 atm.
(International Standard Equation of Sea Water)

Cadre réponse I.D.2

La densité de l'eau augmente ... la réponse attendue était purement qualitative. L'évolution de l'eau le long du liquidus de la figure I.D.1 impliquait une augmentation de la salinité au cours de refroidissement et donc une augmentation de la densité.

I.D.3 Quel phénomène de premier ordre dans la circulation de l'océan global s'explique par cette évolution ?

Cadre réponse I.D.3

La quasi-totalité des candidats ont su faire appel à leur connaissance et ont mentionné la circulation thermohaline, mais peu ont su revenir à la question précédente pour reconstruire le raisonnement.

I.E- Evolution récente de la glace de mer *Exercice en temps limité. Accès à un ordinateur connecté à internet et le logiciel Google Earth*

I.E.1 A partir du site : https://nsidc.org/data/bist/bist.pl?config=seaice_index, vous relèverez les valeurs de superficie de banquise en Arctique sur une année complète récente. Quels sont les mois de couverture maximale et minimale ?

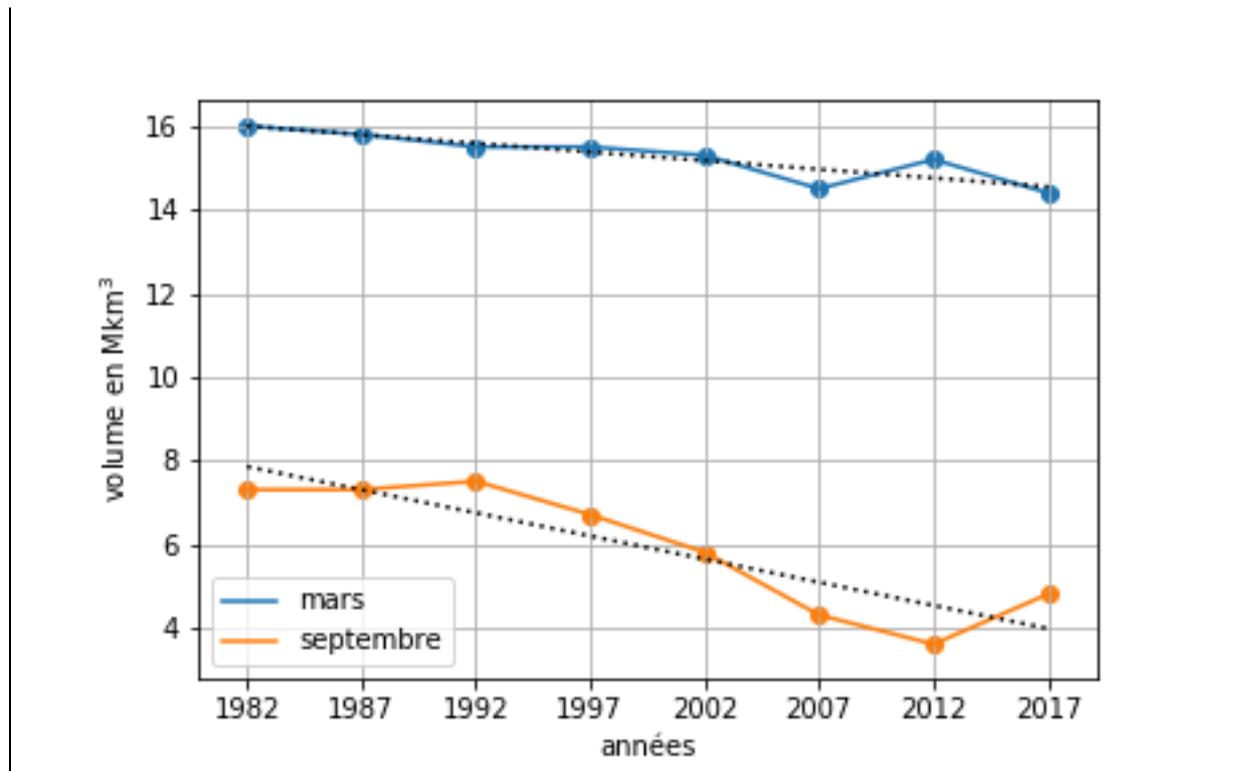
Cadre réponse I.E.1

Selon l'année prise pour exemple, on trouvait que les mois de février ou mars correspondaient au maximum de couverture, et que le mois de septembre représentait le minimum. Cette question a été réussie à presque 100 %.

I.E.2 Vous établirez les courbes d'évolution pour ces mois de couverture maximale et minimale depuis 1980, avec un nombre significatif de points de mesure sur la période. Justifiez votre choix

Cadre réponse I.E.2

Un point tous les 4 ou 5 ans suffisait pour donner une estimation raisonnable des tendances. Tous les échantillonnages étaient bienvenus pourvu qu'ils soient discutés.



I.E.3 A quelle vitesse la banquise arctique fond-elle ? A quelle échéance l'océan arctique sera-t-il complètement déglacé toute l'année ?

Cadre réponse I.E.3

On trouvait $-0.04 \text{ Mkm}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ et $-0.11 \text{ Mkm}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ pour les courbes de mars et septembre respectivement. Il fallait utiliser la courbe de mars, et diviser la quantité de glace actuelle par sa décroissance annuelle pour obtenir un désenglaçage permanent en 350 ans ... des valeurs de 250 à 350 ont été trouvées par les candidats ayant moyenné les tendances graphiquement.



I.E.4 En utilisant l'outil "trajet" de Google Earth* vous évaluez et comparez les distances du trajet Shanghai-Le Havre pour un porte-conteneur qui passerait par l'Arctique et pour un autre qui passerait par la route maritime actuelle c'est-à-dire par les détroits de Taiwan et de Malacca au large de Singapour, puis le Canal de Suez et le Détroit de Gibraltar. Quels seraient les avantages et inconvénients économiques et environnementaux de l'ouverture de cette nouvelle route ?

Cadre réponse I.E.4

La plupart des candidats ont trouvé des trajets de l'ordre de 20 000 et 15 000 km pour la route actuelle et la route arctique respectivement. Les avantages (diminution des coûts, des émissions, diminution des droits de passage) et les inconvénients (pollution accrue de l'océan arctique, nécessité d'infrastructure, passage dans les eaux territoriales russes ou américaines) ont été souvent bien exposés.

**définir le trajet puis ouvrir l'onglet Lieux et cliquer droit sur le trajet et "Obtenir des infos", choisir l'onglet "Mesures"*

I.F- Variations long terme du volume de glace polaire : étude de la carotte NorthGRIP

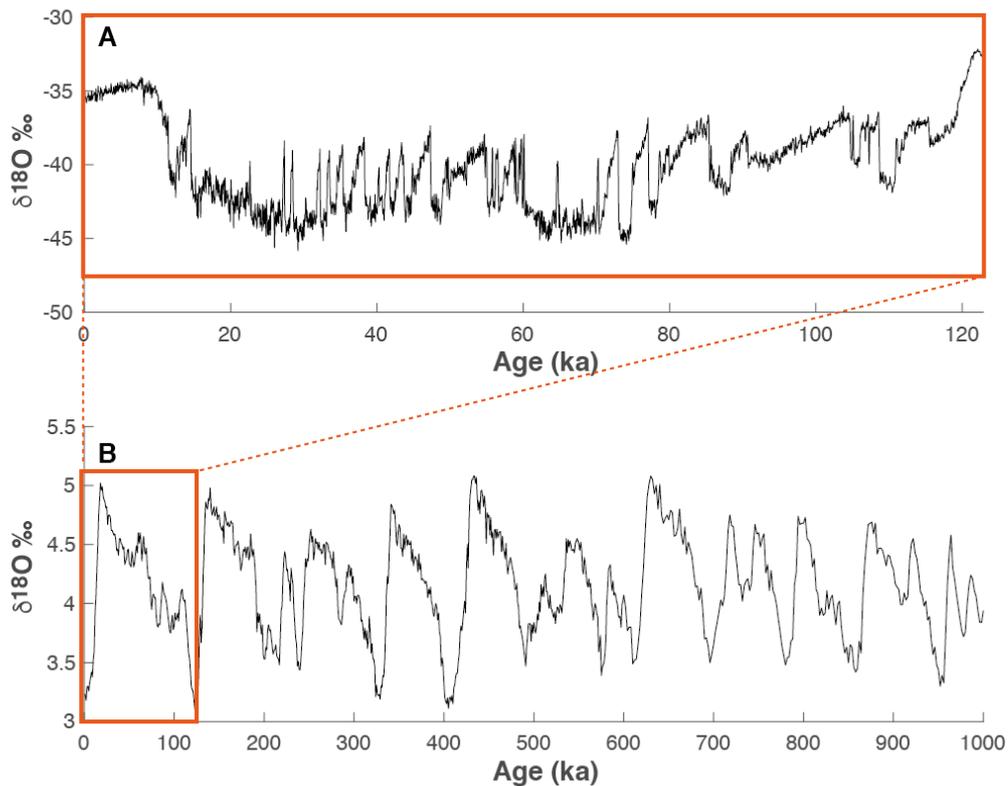


Figure I.F.1 : courbes du $\delta^{18}\text{O}$ obtenues à partir de la carotte de glace NGRIP (A) et des foraminifères benthiques sur le dernier millions d'années (B). Données NGRIP et Lisiecki & Raymo, 2005

III.F.1 Reportez l'intervalle représenté par la figure I.F.1.A sur le diagramme I.F.1.B. Comment évoluent les deux signaux sur cet intervalle. Pourquoi ?

Cadre réponse I.F.1

La plupart des candidats ont su dire que les deux signaux étaient anti-corrélés. Mais rares sont ceux qui ont précisé que le signal des foraminifères était dominé par l'effet de bilan de masse entre périodes englacées et déglacées, alors que le signal de NGRIP était dominé par les variations de température au pôle.

III.F.2 En moyenne sur le dernier million d'année, quelle est la période moyenne de variation du signal isotopique enregistré par les foraminifères benthiques ? Qu'enregistre l'épaisseur de glace traversée par le forage NGRIP en terme de cycle?

Cadre réponse I.F.2

La Courbe IF1B montrait 10 cycles en 960 000 ans donc une période moyenne de 96 000 ans. Le forage NGRIP ne montre en fait qu'un de ces cycles. La question n' a pas été comprise par beaucoup de candidats.

III.F.3 On se propose d'évaluer la quantité d'eau stockée sous forme de glace aux pôles, assimilée à la variation eustatique globale due à leur fonte. On se donne les abréviations suivantes :

S_{oc} : surface des océans

[¹⁸O]_{oc/i} : teneur en ¹⁸O des océans à l'interglaciaire

[¹⁸O]_{oc/g} : teneur en ¹⁸O des océans au glaciaire

[¹⁸O]_p : teneur en ¹⁸O moyenne des glaces polaires

H : profondeur moyenne des océans

h : variation de hauteur des eaux entre les stades glaciaires et interglaciaires

On considère que la quantité de ^{18}O stockée en période interglaciaire dans les océans hauts est égale à la somme des quantités de ^{18}O dans les glaces polaires et les océans en période glaciaire. Traduisez ce bilan de masse en utilisant les grandeurs listées ci-dessus.

En réinjectant l'égalité trouvée dans la définition du $\delta^{18}\text{O}$, et en précisant les valeurs que vous attribuez aux autres grandeurs, donnez une estimation de h, variation de hauteur des eaux entre les stades glaciaires et interglaciaires. On prendra une valeur constante réaliste pour le $\delta^{18}\text{O}$ des glaces polaires.

Cadre réponse I.F.3

L'équation bilan de départ était :

$$S_{\text{oc}} \times (H + h) \times [^{18}\text{O}]_{\text{oc/i}} = S_{\text{oc}} \times (H) \times [^{18}\text{O}]_{\text{oc/g}} + S_{\text{oc}} \times h \times [^{18}\text{O}]_{\text{p}} \quad (1)$$

il en découlait que :

$$h = H \times ([^{18}\text{O}]_{\text{oc/g}} - [^{18}\text{O}]_{\text{oc/i}}) / ([^{18}\text{O}]_{\text{oc/i}} - [^{18}\text{O}]_{\text{p}}),$$

et en utilisant la formulation du $\delta^{18}\text{O}$:

$$\delta^{18}\text{O} = ([^{18}\text{O}] / ([^{16}\text{O}]_{\text{éch}} - ([^{18}\text{O}] / ([^{16}\text{O}]_{\text{std}})) / [^{18}\text{O}] / ([^{16}\text{O}]_{\text{std}}) \times 1000,$$

on obtenait

$$h = H \times (\delta^{18}\text{O}_{\text{oc/g}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{oc/i}}) / (\delta^{18}\text{O}_{\text{oc/i}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{p}}).$$

En prenant une valeur de -40 ‰ pour le $\delta^{18}\text{O}_{\text{p}}$ et 3000 m pour H, on obtenait 140 m pour h. Seuls deux candidats ont mené ce calcul jusqu'au bout, ceux qui ont su poser le bilan de l'équation (1) ont été rétribués, mais rares sont ceux qui même déroutés par la question ont pensé à donner la définition du $\delta^{18}\text{O}$.

I.F.4 Cet ordre de grandeur est-il pertinent ? Comparez-le aux valeurs données au tableau I.C.1

Cadre réponse I.F.4

Certains savaient qu'une valeur de l'ordre de 120 à 150 m était attendue, Si on la compare aux 65 m que donne la somme des valeurs de hausse de niveau marin équivalente du tableau I.C.1, on en conclut que seule la moitié des calottes a fondu depuis leur maximum.

I.F.5 Quels autres phénomènes, négligés ici, expliquent les variations de niveau marin entre stades glaciaires et interglaciaires ?

Cadre réponse I.F.5

Beaucoup ont mentionné la dilatation thermique de l'eau, quelques-uns l'effet géométrique des plateaux continentaux, qui changent la surface sur laquelle est accommodée la hausse de volume. Les effets de tectono-eustatisme, même si sensibles sur les ordres supérieurs de variation du niveau marin ne sont sans doute pas assez rapides pour avoir une influence significative sur des cycles de 100 ka.

Partie II : Tectonique de l'Arctique

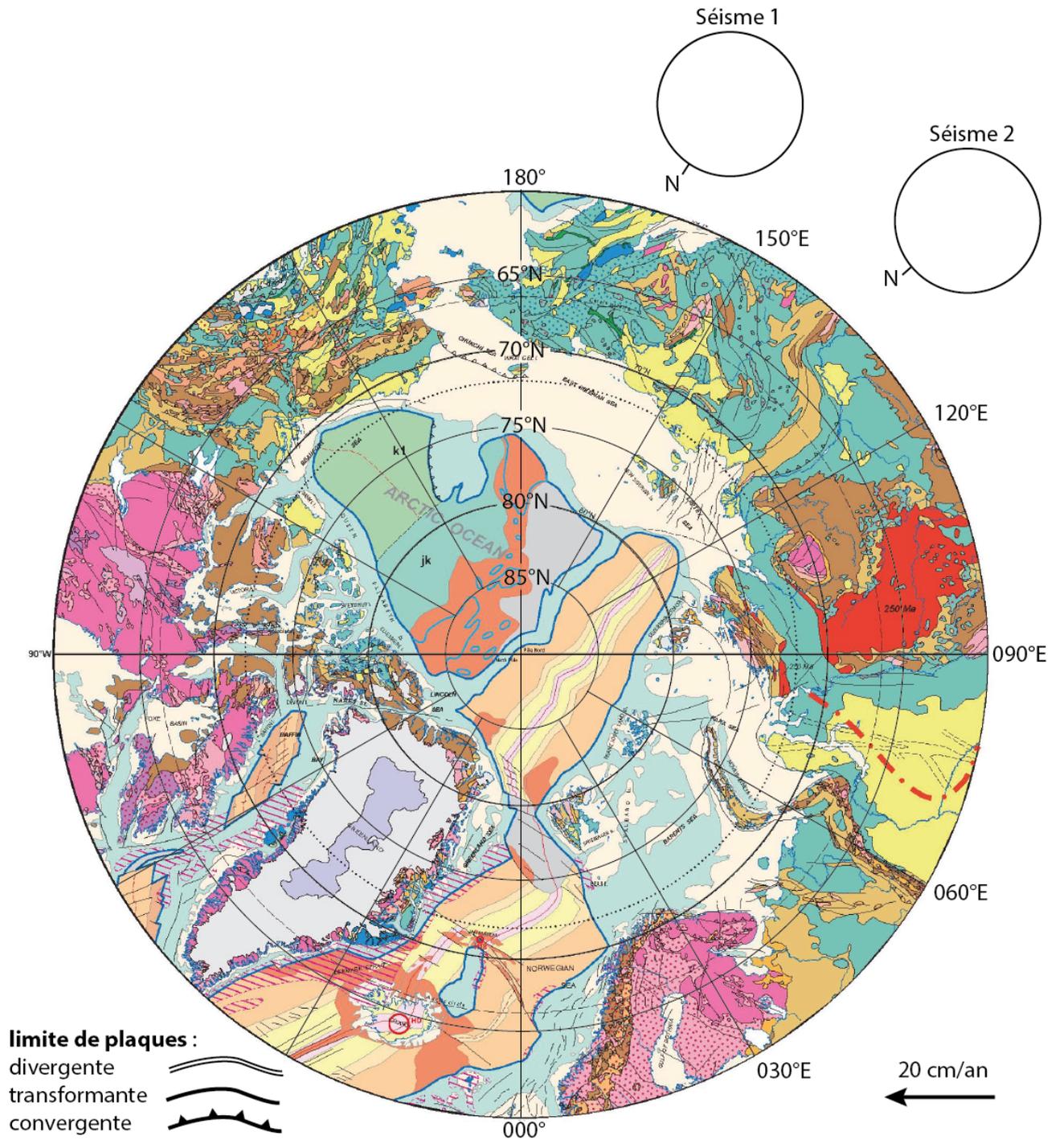


Figure II.0 : Extrait de la carte géologique mondiale (CCGM)

II.A- Dynamique de la ride de Gakkel

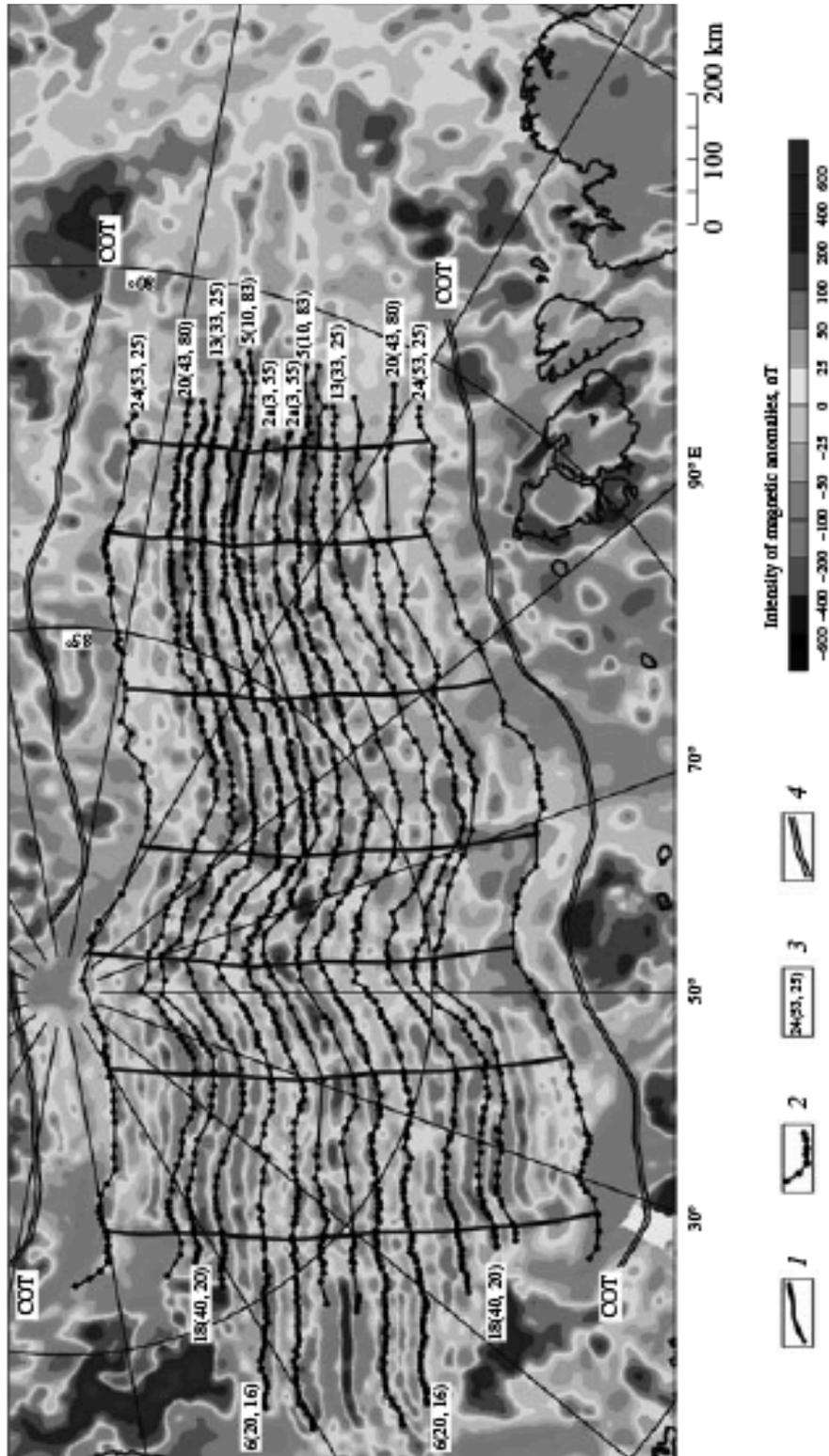


Figure II.A.1 : Anomalies magnétiques du bassin Eurasien (Glebovsky *et al.*, 2006). 1 : Trace de dérive des plaques, 2 : Tracé des anomalies, 3 Numéro d'anomalie (Age en Ma), 4 : COT : Continent/Ocean Transition.

- II.A.1 A partir de la figure 2.1, calculez le demi-taux d'expansion de la ride de Gakkel à la hauteur de 85°N - 90°E sur différentes périodes de temps :
- a- en moyenne depuis l'anomalie 2A
 - b- en moyenne depuis l'anomalie 24
 - c- entre les anomalies 20 et 24

Cadre réponse II.A.1

Cette réponse a été bien traitée dans l'ensemble, encore fallait-il diviser par deux la valeur obtenue si on mesurait les distances entre deux anomalies de même âge ...
 On trouvait des valeurs de l'ordre de 5 mm/a pour les moyennes depuis 2A et 24, mais une valeur de l'ordre de 9 mm/a pour l'intervalle entre les anomalies 20 et 24. Rares sont les candidats qui ont pris la peine d'en déduire que même si les valeurs moyennes étaient les mêmes sur les deux périodes considérées, le taux d'accrétion initial était plus grand, marquant donc un ralentissement récent de la divergence.

II.B- Mécanismes au foyer des séismes

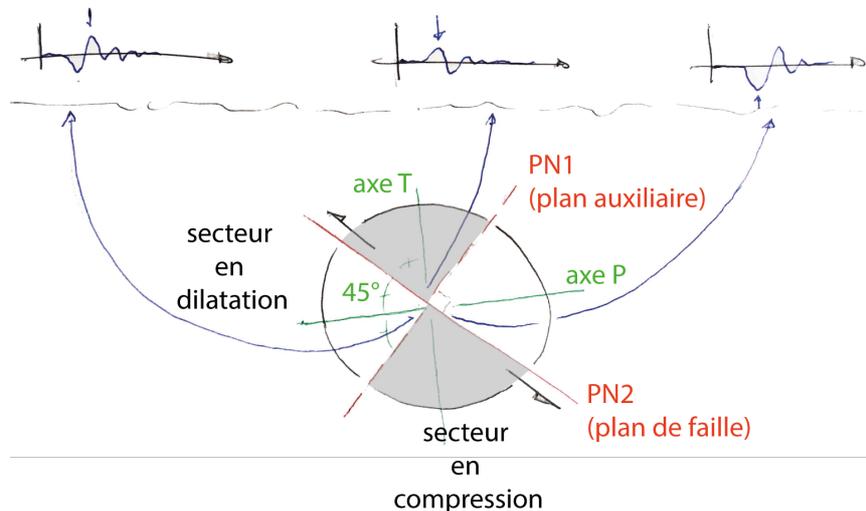
Le tableau II.B.1 montre les données extraites de la base de données sismologiques de l'USGS.

		Séisme 1	Séisme 2
date	UTM	2013-02-14 - 13:13:53	2008-07-04 - 04:55:05
latitude	degrés	67°N	75°N
longitude	degrés	142°E	134°E
profondeur	km	11	10
magnitude		6,6	5
plan nodal 1	direction	147	10
	pendage	53 NE	54 E
plan nodal 2	direction	115	135
	pendage	42 SW	52 SW
axe T	direction	114	073
	plongement	73 W	01 E
axe P	direction	042	161
	plongement	06 NE	58 NW

Tableau II.B.1 : Extrait de la base de données sismologique USGS

II.B.1 A l'aide d'un schéma, expliquez ce que sont les plans nodaux et les axes T, et P d'un séisme.

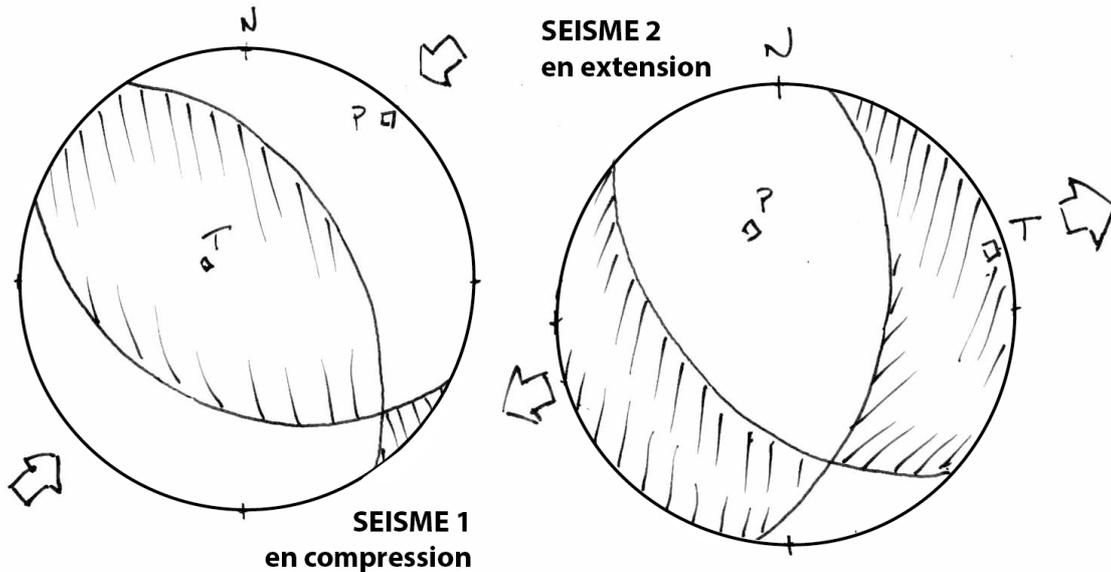
Cadre réponse II.B.1



Cette question de cours, redondante de l'épreuve d'écrit, était censée aider les candidats à repartir de notions connues. Peu savent représenter simplement un mécanisme au foyer. L'axe P est dans le secteur en dilatation, subtilité de nomenclature à connaître ... Les axes P et T ne représentent pas directement les contraintes principales, mais les directions bissectrices des quadrants. Dans le modèle d'Anderson la contrainte principale maximale est à 30° de la faille et donc d'un des plans nodaux.

II.B.2 A l'aide du canevas stéréographique fourni en annexe dessinez les mécanismes au foyer de ces deux séismes et donnez leurs significations en terme d'état de contrainte.

L'exercice a départagé les candidats de façon binaire : ceux qui connaissent la technique de représentation stéréographique sont allés au bout de la question, les autres n'ont pas pu l'aborder.



II.B.3 Schématisez ces deux mécanismes au foyer sur les deux cercles orientés de la figure II.0 et flêchez-les vers leurs épicentres sur la carte.

II.C- Détermination du pôle de rotation eulerienne NAM/ASIA

II.C.1 A partir d'un schéma expliquez les relations suivantes :

$$V_{\text{linéaire}} = RT \cdot w \cdot \sin(\text{colat}_E),$$

$$\text{et } V_{\text{linéaire}} = V_{\text{max}} \cdot \sin(\text{colat}_E)$$

avec :

colat_E la colatitude eulérienne d'un point sur une ride, ou encore la distance angulaire entre ce point et le pôle de rotation eulerienne,

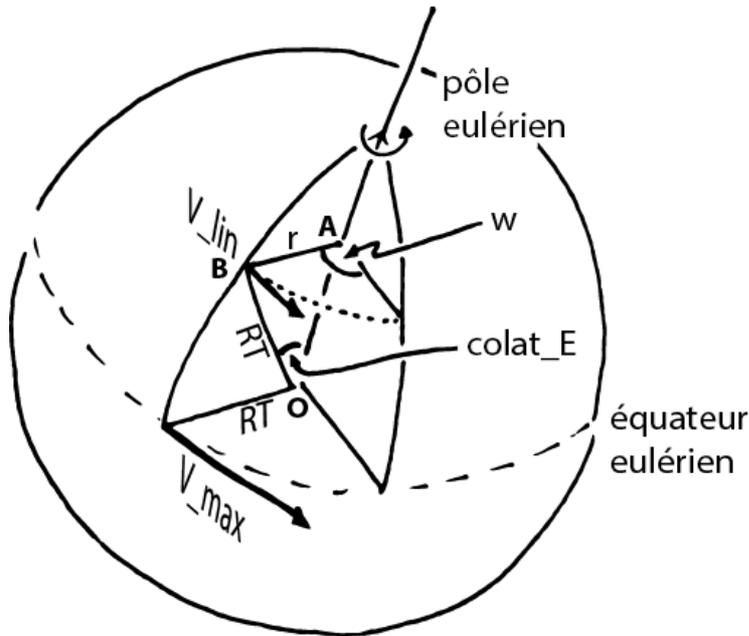
$V_{\text{linéaire}}$ la vitesse d'expansion en mm/a ,

w la vitesse de rotation eulérienne en rad/a,

RT le rayon terrestre

et V_{max} la vitesse d'expansion maximale à l'équateur eulérien.

Cadre réponse II.C.1



Par définition :

$$V_{lin} = r \cdot w,$$

dans ABO :

$$r = RT \cdot \sin(\text{colat}_E).$$

Pour $\text{colat}_E = 90^\circ$,

$$V_{lin} = V_{max}$$

$$r = RT$$

donc

$$V_{max} = RT \cdot w$$

donc

$$V_{lin} = RT \cdot w \cdot \sin(\text{colat}_E)$$

ou

$$V_{lin} = V_{max} \cdot \sin(\text{colat}_E)$$

Rares ont été les candidats à tenté de répondre à cette question. L'esquisse du schéma, qui montrait déjà une connaissance de la géométrie eulérienne a valu quelques dixièmes de points à ceux qui l'avait faite.

II.C.2 D'après les résultats de la section II.B et le tableau II.B.1, quel est le domaine de latitude/longitude qu'il vous semble pertinent d'explorer ? Hachurez-le sur la figure II.0. D'après le tableau II.C.1, quelle est la valeur minimale de V_{max} ?

Cadre réponse II.C.2

Les deux mécanismes au foyer trahissant des états de contraintes antagonistes se trouvent nécessairement de part et d'autre du pôle eulérien. Le domaine de latitude est donc limité par les valeurs 67 et 75°N. En longitude le secteur dans le prolongement de la ride de Gakkel est moins bien contraint, l'intervalle 120-140 était considéré comme raisonnable.

Les valeurs de V_{lin} sont toutes inférieurs à V_{max} , donc V_{max} est supérieure à 28 mm/a valeurs maximale mesurée d'après le tableau II.C.1.

Cette question n'a été traitée que par quelques candidats, alors qu'une grande partie était purement graphique.

Point de mesure	latitude	longitude	1/2 vitesse observée	colatitude eulérienne / pôle A	colatitude eulérienne / pôle B
1	72°N	001°E	16	36	32
2	70°N	015°W	18	40	36
3	60°N	030°W	20	51	47
4	46°N	028°W	27	64	60
5	40°N	030°W	28	71	66
6	85°N	095°E	6.5	18	14

Tableau II.C.1: Valeurs de vitesses d'expansion mesurées en mm/a le long de la dorsale médio-Atlantique Nord depuis l'anomalie 2A et de la ride de Gakkel. Les cases en gris sont à compléter.

II.C.3 On se propose finalement d'explorer la gamme de V_{max} de 20 à 60 mm/a. et deux positions possibles du pôle de rotation eulérienne NAM/ASIA : pôle A: 69N 140E et pôle B: 73N 136E, en reportant les vitesses estimées depuis l'anomalie 2A sur le diagramme des courbes théoriques d'évolution des vitesses linéaires le long de la ride fourni en Figure II.C.1.

En ajoutant à la liste de demi-vitesses mesurées du tableau II.C.1, la valeur calculée en section II.A.1.a pour le point 6, vous calculerez les colatitudes eulériennes des points pour les trois pôles A, B et C. En reportant ces valeurs dans le tableau II.C.1 et sur la figure II.C.1, déterminez le couple V_{max} - pôle Eulérien qui rend le mieux compte des données naturelles.

On rappelle que la distance angulaire D entre 2 points A et B de latitudes $latA$ et $latB$ et de longitudes $lonA$ et $lonB$ se calcule selon la formule :

$$\cos(D) = \sin(latA) \cdot \sin(latB) + \cos(latA) \cdot \cos(latB) \cdot \cos(lonA - lonB)$$

Vous rendrez compte de cette analyse en représentant sur le document II.0 les vitesses relatives NAM/ASIA aux points de mesures du tableau II.C.1, visibles en faisant une hypothèse sur le fonctionnement des rides médio-océaniques, en localisant le pôle eulérien le plus pertinent et en matérialisant la limite de plaque sur toute sa longueur en utilisant les données de légende du document.

Commentez le résultat obtenu et précisez l'hypothèse faite pour passer des valeurs d'expansion à la ride aux vecteurs vitesses de mouvement relatifs des plaques.

Cadre réponse II.C.3

Les données sont mieux reproduites par le couple pôle B et $V_{max} = 30$ mm/an.

L'hypothèse faite pour passer des vecteurs vitesses la ride au mouvement relatif est la rigidité des plaques hors zones d'expansion. Il est aussi nécessaire de postuler que l'expansion de la ride se fait perpendiculairement à celle-ci et de façon symétrique.

Seul un candidat a tenté de répondre à cette question ...

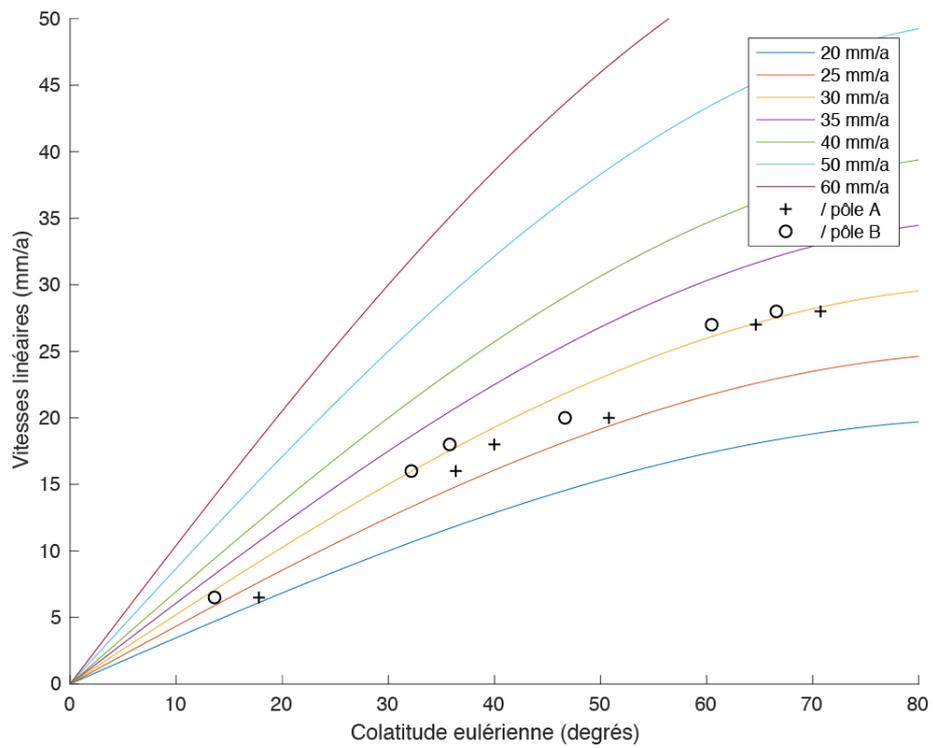


Figure II.C.1: Relation théorique entre vitesse d'expansion et colatitude eulérienne pour des valeurs de V_{max} de 20 à 60 mm/a.

Partie III : Géodynamique profonde sous l'Arctique : le point chaud de l'Islande

III.A- Données de tomographie sismologique

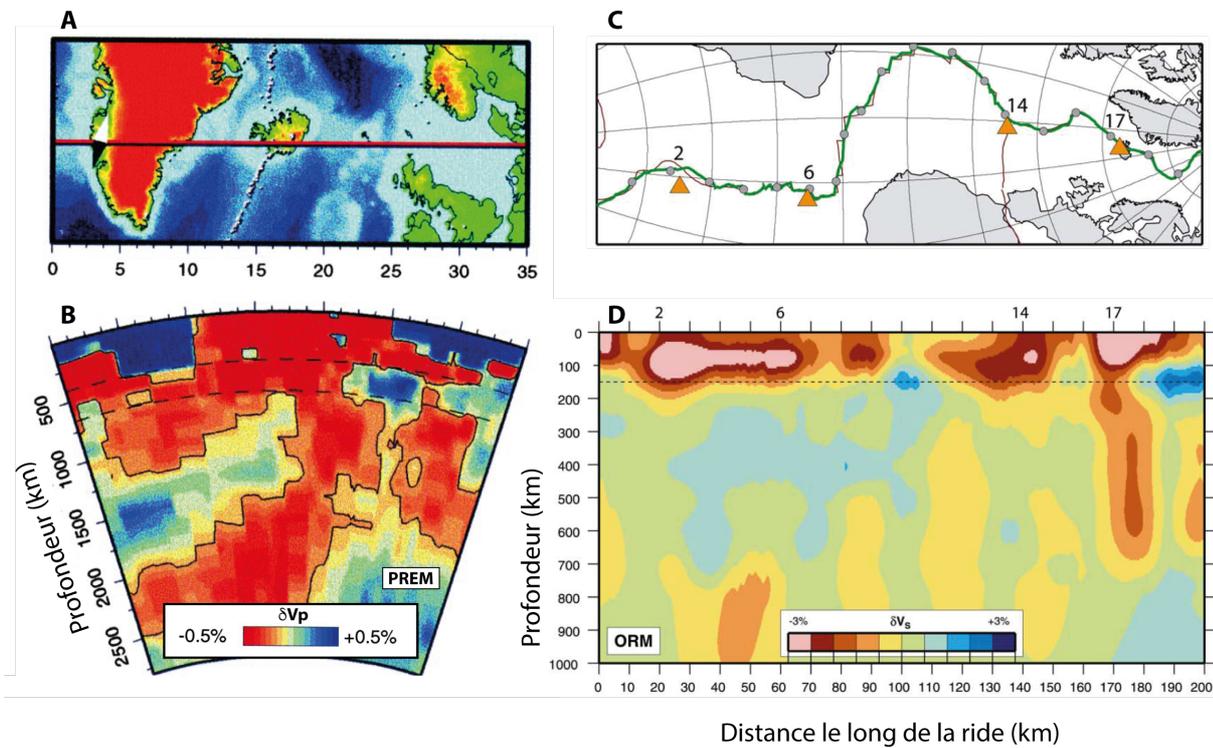


Figure III.A.1 Anomalies de vitesses à l'aplomb de l'Islande. A Localisation de profil B (trait rouge), B Anomalie de vitesses des ondes P par rapport au modèles PREM (*modifié d'après Bijwaard & Spakman, 1999*), C Localisation du profil D (courbe verte), D Anomalies de vitesses des ondes S par rapport au modèle ORM (*modifié de Ritsema & Allen, 2003*)

III.A.1 Donnez les caractéristiques principales du modèle PREM et interprétez le profil tomographique de la figure III.A.1.B

Cadre réponse III.A.1

Le modèle PREM est un modèle de vitesses (V_P et V_S) et de densité en enveloppes concentriques. Il est donc radial et n'inclut pas de variations latérales de vitesse. Il comporte les principales transitions de phases du manteau et les changements de vitesse aux interfaces manteau/noyau, et noyau/graine. Nombreux sont les candidats à connaître PREM, mais beaucoup peinent à en donner une définition simple. Certains le qualifient d'homogène, ou d'isotrope ...

La figure III.A.1.B montre une anomalie de vitesse négative de l'ordre de -0.5 %, enracinée à 2500 km de profondeur, soit à la base du manteau et atteignant la surface à l'aplomb de l'Islande. Elle montre aussi des anomalies du même ordre de grandeur entre 500 et 1500 km de profondeur, mais ne s'enracinant pas à la base du manteau. La première anomalie est considérée comme la trace d'un point chaud. Ce commentaire a été complété correctement par la plupart des candidats.

III.A.2 Le modèle ORM représente le manteau sub-océanique (Oceanic Reference Model), tel que détaillé en figure III.A.2. Il représente les profils de vitesse des lithosphères océaniques d'âges thermiques entre 40 et 80 Ma (en gris foncé sur la figure III.A.2.B). A quels paramètres la propagation des ondes S est-elle sensible ? En quoi la tomographie des ondes S peut-elle différer de la tomographie des ondes P ?

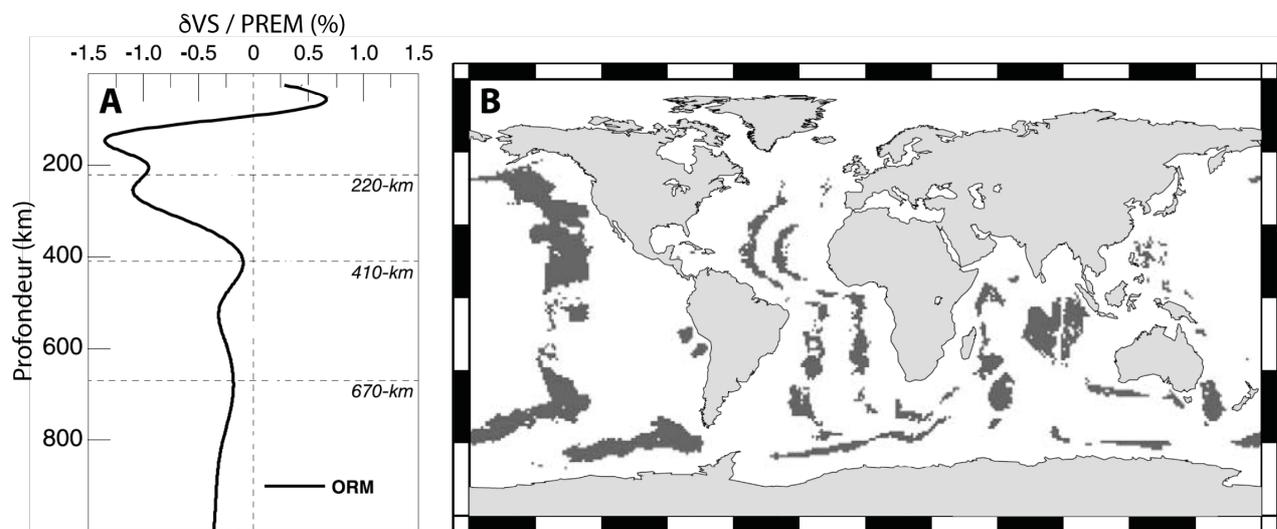


Figure III.A.2.: A Modèle ORM comparé au modèle PREM pour les ondes S, B domaines océaniques utilisés pour définir le profil de référence ORM (*modifié de Ritsema & Allen, 2003*).

Cadre réponse III.A.2

La propagation des ondes S est sensible au module de cisaillement des roches et à leur masse volumique. Le module de cisaillement est particulièrement sensible à la teneur en fluide des roches, la vitesse des ondes S est donc révélatrice de la présence de phase fluide, possiblement de fusion partielle des roches du manteau alors que la tomographie des ondes P révèle d'abord les variations latérales de température au sein du manteau.

Cette réponse était le plus souvent bien traitée.

III.A.3 Les auteurs du profil de tomographie de la figure III.A.2 remettent en cause l'existence d'un panache mantellique sous l'Islande sur la base de cette figure. Pourquoi ? Quels objets géologiques sont en fait illustrés par leur tomographie ?

Cadre réponse III.A.3

La tomographie des ondes S ne montre pas d'anomalie ancrée à la base du manteau, l'anomalie sous l'Islande s'estompe en effet dès 700 km de profondeur c'est-à-dire dans le manteau supérieur. Les anomalies révélées, par rapport au manteau de part et d'autre de la dorsale, suivent en fait l'axe et la dorsale et se limitent à des profondeurs lithosphériques. Ces anomalies représentent vraisemblablement les chambres magmatiques sous la ride. Plusieurs candidats ont correctement commenté cette figure.

III.A.4 Les deux profils sont orthogonaux (Figures III.A.1.A et C), en quoi cette différence doit-elle être prise en compte dans leurs interprétations ?

Cadre réponse III.A.4

Cette réponse et la suivante ont été peu souvent abordées. Il s'agissait ici de noter que la trajectoire du profil de tomographie des ondes S était sans doute plus judicieux puisqu'il permettait de comparer le manteau à l'aplomb de l'Islande avec d'autres portions du manteau à l'aplomb de la dorsale. Le profil orthogonal compare le manteau sous l'Islande avec des portions de manteau éloignées de l'axe, les effets d'un panache ou de la dorsale ne sont pas dissociables.

III.A.5 Quelle est la principale différence entre le modèle ORM et le modèle PREM ? En quoi cette différence peut-elle expliquer les différents résultats de ces deux études.

Cadre réponse III.A.5

Il s'agissait ici de commenter la figure III.A.2.A, ce que peu de candidats ont compris. Elle compare les vitesses de références des ondes S pour les deux tomographies. Le profil de référence du modèle ORM inclut une baisse de vitesse importante des ondes S sous la lithosphère et comprend des vitesses globalement plus faibles que la référence PREM. Cette différence est de l'ordre de grandeur de l'anomalie détectée par la tomographie des ondes P. Cette valeur de référence faible peut éventuellement cacher un signal relativement ténu. De plus les ondes S étant sensibles à la température et à la fusion partielle, le signal des chambres magmatiques peut cacher le signal du panache mantellique, qui n'est pas une colonne de matériau fondu mais une colonne de matériau anormalement chaud. L'anomalie ténue sous l'Islande pourrait être la tête de panache montrant un début de fusion profonde dans le manteau supérieur.

III.A.6 **Exercice en temps limité** Un des arguments des détracteurs de l'hypothèse du point chaud sous l'Islande est que le point chaud islandais n'aurait pas laissé sa trace sur les plaques mobiles comme l'ont fait les points chauds du Pacifique par exemple. A partir de la carte géologique du monde, trouvez les éventuels marqueurs des déplacements des plaques NAM et ASIA par rapport au point chaud islandais. Vous en déduirez le sens de déplacement de la ride de Reykjanes dans le référentiel des points chauds.

Cadre réponse III.A.6

Un candidat a vu les étendues de roches volcaniques de surface récentes (en rouge sur la carte fournie, et en bleu dans l'extrait de la figure II.0) de part et d'autre de l'inlandsis groenlandais, qui peuvent être interprétées comme la trace du point chaud sous la plaque NAM. Ce qui signifierait que la ride de Reykjanes s'est déplacée vers le NW dans le référentiel du point chaud. Beaucoup ont mentionné les épanchements sous-marins symétriques et en ont déduit un mouvement nul, ce qui leur a valu une partie des points.

III.B- Données de pétrologie: un exemple de roche d'Islande. (*entretien en temps limité hors de la salle*)

Les questions posées aux candidats étaient les suivantes :

1. Qualifiez la texture de la roche microlitique porphyrique

2. Montrez un phénocrystal et donnez les éléments qui permettent de le reconnaître

olivine: fort relief, pas de clivage, incolore en LPNA, 2e ordre en LPA

3. Déterminez le cristal à la croisée du réticule (un plagioclase)

automorphe, incolore, premier ordre, macle polysynthétique

4. Donnez un nom à cette roche. océanite ou picrite

5. En quoi est-elle représentative de l'activité géologique en Islande ? point chaud

6. Nommez les différentes parties du microscope. On attendait : lampe - polariseur - platine - objectif - analyseur - oculaire.

7. Donnez les différentes modifications de la lumière de sa source à l'observateur dans le cas d'une observation en LPA:

- **d'un minéral isotrope ?** On attendait : pas de biréfringence, minéral toujours éteint

- **d'un minéral biréfringent ?** On attendait : biréfringence, teinte de polarisation

8. Qu'est-ce que le pléochroïsme ? changement de couleur en LPNA

Donnez un exemple de minéral pléochroïque Biotite, Amphibole, Staurotide ...

9. Qu'est-ce que la teinte de polarisation ? la couleur apparente en LPA

Donnez un exemple d'ordre de teinte de polarisation pour un minéral

10. Comment évaluez-vous le grossissement ? grossissement obj x grossissement oculaire ou utiliser un échelle

Deux candidats ont reconnu une océanite, la plupart des candidats ont abouti à "basalte à olivine" ce qui valait la moitié des points. La proportion d'olivine est en effet telle que cette roche est in-fine ultrabasique, ce n'est donc pas un basalte. Les termes de description du microscope sont connus, les nuances entre pléochroïsme et biréfringence nettement moins. Cet exercice a été particulièrement discriminant.

III.C- Données de géochimie

La géochimie des laves produites à la ride est aussi un argument important dans la reconnaissance des points chauds. Le lanthane est considéré en figure III.C.1 comme représentatif des terres rares légères et le samarium comme représentatif des terres rares intermédiaires et lourdes.

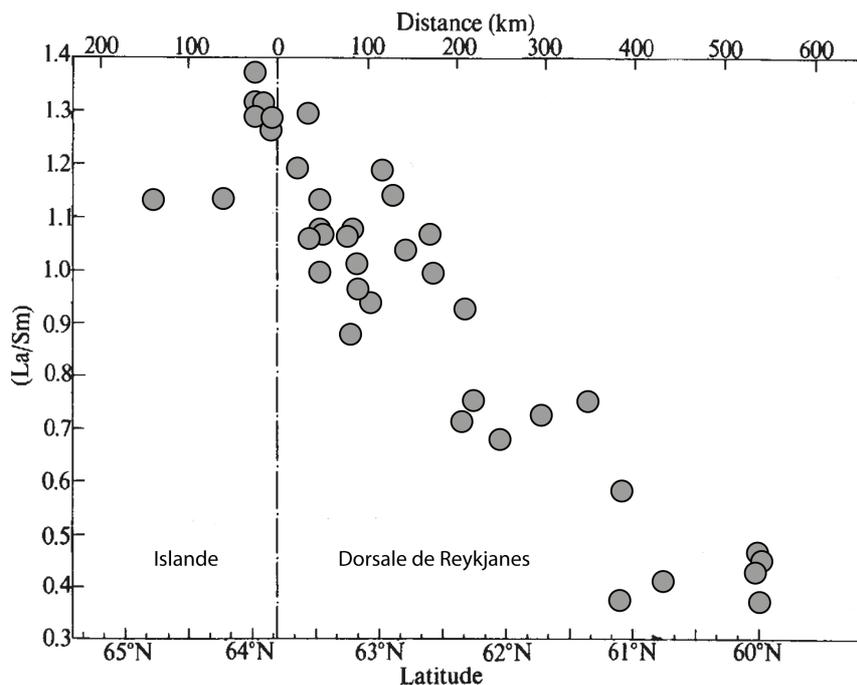


Figure III.C.1 Données géochimiques des tholéïtes de la dorsale de Reykjanes et d'Islande. Le rapport (La/Sm) est le rapport entre les teneurs en lanthane et en samarium toutes deux normalisées au chondrites (*modifié d'après Schilling, 1973*)

III.C.1 Comment les teneurs en éléments traces tels que les terres rares sont-elles mesurées dans les roches ?

Cadre réponse III.C.1

La mesure des teneurs en éléments traces nécessite l'utilisation d'un spectromètre de masse. La plupart des candidats ont su répondre.

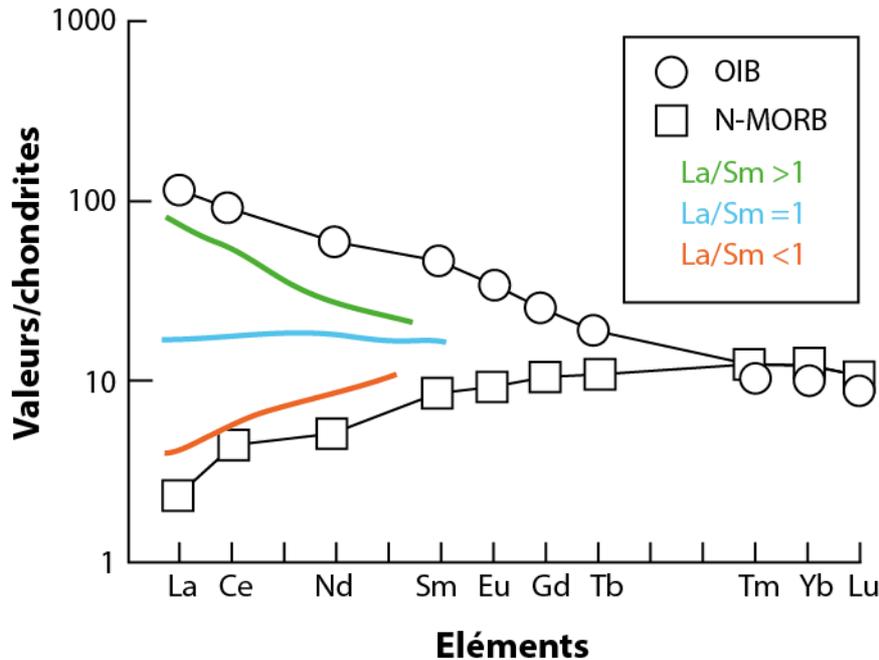


Figure III.C.2 Diagramme de Terres Rares représentatif des pôles N-Morb et OIB des magmas primaires océaniques (*modifié de Sun et McDonough, 1989*).

Les pointillés de la légende renvoient aux 3 cas de la question III.C.2.

III.C.2 Sachant que les teneurs nominales en terres rares intermédiaires et lourdes sont à peu près constantes dans les basaltes primaires, esquissez la forme du profil de terres rares sur le diagramme de la figure III.C.2 pour une tholéïte montrant un rapport (La/Sm)=1 dans le graphique de la figure III.C.1. Recommencez pour (La/Sm)>1, et pour (La/Sm)<1.

III.C.3 En rappelant le modèle classiquement admis pour expliquer les différences de profils de terres rares entre les MORB et les OIB, expliquez en quoi le graphique de la figure III.C.2 étaye l'hypothèse d'un point chaud sous l'Islande ?

Cadre réponse III.C.3

L'enrichissement relatif des OIB en TR légères et l'appauvrissement relatif des MORB sont interprétés comme la signature de leur réservoir d'origine : le manteau profond non-appauvri pour les OIB, le manteau superficiel appauvri par l'extraction des magmas crustaux pour les MORB. L'augmentation progressive du rapport La/Sm de la ride de Reykjanes vers l'Islande pourrait marquer la contribution progressive d'un manteau profond à la source des MORB atlantiques et donc la présence d'un panache mantellique sous l'Islande.

Cette question a été bien traitée par les candidats qui ont pris la peine de lire le sujet jusqu'au bout !

5.4 Epreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur A : Sujet et commentaires

5.4.1 Présentation de l'épreuve

L'épreuve pratique de contre-option du secteur A s'intéressait aux bactériophages et à leur utilisation en biologie moléculaire et médicale. Le sujet comportait trois parties indépendantes de poids inégal : une première partie, la plus longue, permettait d'évaluer **les compétences d'observation, de mise en place d'un protocole expérimental et de manipulations expérimentales** ; une deuxième partie permettait d'évaluer **les compétences mathématiques** ; et une troisième partie permettait d'évaluer **les compétences d'analyse de données**. Cette épreuve requérait une bonne gestion du temps incluant le respect de deux plannings de passage. Il était nécessaire de mettre en place une stratégie de résolution du TP, en particulier pour la première partie, qui demandait une bonne vue d'ensemble pour être traitée de façon pertinente. La lecture rapide de l'ensemble de l'énoncé en début d'épreuve devait permettre de repérer la philosophie générale du sujet et ainsi d'adapter la stratégie de résolution.

- **Observations.** Les compétences d'observation étaient évaluées à l'échelle microscopique (analyse de cliché de tomographie cryo-électronique, observation des colorations de Gram) et à l'échelle macroscopique (observation des résultats d'un ensemencement bactérien en présence ou en absence de phage). Cette compétence d'observation était évaluée de pair avec la compétence de **réalisation d'un dessin d'observation** ou de **schématisation**. Ici, l'adéquation entre l'objet à observer et la représentation graphique était évaluée, ainsi que le respect des conventions (titre, légendes, échelle si pertinent). Lorsque cela était pertinent, la mise en valeur de la **comparaison** au sein de la représentation graphique a été valorisée (objets à comparer placés côte à côte, légende commune pour les points communs et mise en valeur des spécificités).
- **Manipulations expérimentales.** Les **manipulations** à réaliser étaient pour partie des manipulations classiques (coloration de Gram), et pour partie des manipulations plus exotiques (titrage d'une suspension de phages exposée ou non à la chaleur) pour lesquelles on n'attendait pas de maîtrise préalable par les candidats mais bien une attitude de raisonnement, guidé par l'énoncé.

Coloration de Gram. L'enjeu de la coloration de Gram n'était pas tant l'identification des souches bactériennes, dont la nature était une donnée de l'énoncé, que la qualité de la préparation et le choix du champ observé, qui devait être judicieusement sélectionné pour permettre la reconnaissance comparée des deux types de bactéries Gram - et Gram +. L'utilisation adéquate du microscope faisait partie intégrante des attendus du jury : il est regrettable que certains candidats aient produit des préparations de grande qualité mais n'aient pas su les présenter de façon convaincante au jury faute de réglages corrects du microscope. Le jury conseille aux candidats des prochaines sessions de s'approprier la méthode de réglage des microscopes afin d'être capables de la mettre en œuvre sereinement, y compris en situation d'évaluation.

Titration d'une suspension de phages. La deuxième manipulation imposée consistait à déterminer le titre d'une suspension de phages, avant et après dénaturation thermique, afin d'évaluer la résistance thermique du phage. Cette manipulation n'exigeait aucun prérequis de la part des candidats, aussi l'énoncé était-il construit pour guider pas à pas les candidats dans la compréhension du principe de la manipulation, dans la formulation d'hypothèses et dans la **construction raisonnée de leur plan d'expérience**, en fonction de ces hypothèses. Les candidats pouvaient se familiariser avec le principe du titrage par l'analyse des résultats d'une expérience réalisée préalablement. Ensuite, on proposait aux candidats de mettre en œuvre un protocole similaire, en définissant dans un premier temps les points expérimentaux à inclure

dans l'expérience en fonction de trois cas de figure possibles quant à la résistance du phage à la température. Le jury est conscient de la longueur des énoncés, conçus pour permettre aux candidats les plus rapides d'être valorisés. Toutefois, il est regrettable que de nombreux candidats n'aient pas suivi le fil du raisonnement proposé par l'énoncé, qui imposait une **réflexion préalable à la réalisation de l'expérience elle-même**. En termes de réalisation technique, le travail en conditions stériles, imposé par les cultures bactériennes sur 24h, a été évalué. Dans ce contexte, l'utilisation judicieuse des becs électriques et la mise en œuvre des gestes adéquats aux manipulations de microbiologie étaient des attendus du jury. La qualité des préparations, directement en lien avec le respect des consignes (rapidité de réalisation du dépôt en agar mou, précaution lors du dépôt des gouttes de phage) a été valorisée, indépendamment du résultat de la manipulation, qui a lui fait l'objet d'une évaluation le lendemain de l'épreuve.

- **Compétences mathématiques.** Les compétences mathématiques des candidats ont été évaluées à travers l'analyse d'un profil de migration d'ADN de phage digéré à l'aide d'une enzyme de restriction, outil classiquement utilisé en biologie moléculaire comme marqueur de taille. On demandait aux candidats de construire un tableau présentant les distances de migration et les tailles des fragments, auxquelles on appliquait une transformation logarithmique. Les candidats ayant traité cette partie n'ont pas rencontré de difficultés particulières sur cette étape. Ensuite, on demandait aux candidats de construire le graphique correspondant sur papier millimétré. Le principal écueil ici a résidé dans le choix des échelles qui n'étaient pas toujours judicieuses, ayant pour conséquence une perte de précision graphique. Le respect des conventions graphiques (titre, titre des axes précisant les unités, le cas échéant et échelles) a été évalué. La dernière étape consistait en la détermination graphique de l'équation de la droite. Bien que ne présentant pas de difficulté majeure (équation du type $y = ax + b$), cette question a presque systématiquement été ignorée des candidats ayant traité cette partie. Les candidats des prochaines sessions ne devraient pas prendre peur devant ce type de questions, qui bien que d'aspect mathématique, sont toutefois d'un niveau de compétence correspondant à celui de l'enseignement secondaire.
- **Compétences d'analyse de données.** Ces compétences étaient évaluées dans la dernière partie du sujet qui n'a été abordée que par un nombre limité de candidats, faute de temps. Les écueils suivants ont été repérés. D'une part, la stratégie des études est très peu explicitée par les candidats, ce qui permet pourtant de poser une question biologique à laquelle les données doivent répondre. D'autre part, la description des résultats n'est pas toujours quantifiée. Quand c'est le cas, il s'agit souvent d'une lecture brute des chiffres (par exemple « 800 cfu contre 8000 cfu avec phagothérapie ou antibiothérapie au bout de 24h »), alors qu'un minimum de traitement de ces données est attendu (« division par 10 de la charge bactérienne avec la phagothérapie par rapport à l'antibiothérapie »). La significativité des résultats n'est pas toujours signalée. Enfin, les conclusions demandées n'ont pas toujours été dégagées suffisamment clairement.

Des points d'évaluation plus spécifiques sont apportés question par question dans la partie suivante, qui présente les éléments principaux attendus lors de la correction de l'épreuve.

5.4.2 Sujet commenté

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2018

**TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DU SECTEUR A
CANDIDATS DES SECTEURS B ET C**

Durée totale : 2 heures

**Les bactériophages,
des outils de la biologie moléculaire et médicale**

Les bactériophages représentent les entités biologiques les plus abondantes en nombre sur Terre. Au-delà de leur impact écologique et biogéochimique dont l'importance commence à être révélée, ces entités constituent des organismes d'intérêt en biologie moléculaire et médicale. Si les bactériophages ont contribué aux immenses avancées qu'a connues la biologie moléculaire à partir des années 1940, ils reviennent aujourd'hui sur le devant de la scène face au défi que pose l'antibiorésistance.

Les 3 parties du sujet, qui visent à illustrer certains de ces différents aspects, sont indépendantes. Certaines nécessitent des manipulations, prévoyez donc votre organisation en conséquence.

Partie I : Quelques caractéristiques biologiques et physico-chimiques du bactériophage λ

Durée conseillée : 1 h 20 min – barème : 80/120 page 2

Partie II : Le bactériophage λ , un outil en biologie moléculaire

Durée conseillée : 20 min – barème : 20/120 page 17

Partie III : La phagothérapie, une alternative aux antibiotiques ?

Durée conseillée : 20 min – barème : 20/120 page 19

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

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

Certaines observations nécessitent que vous respectiez un planning de passage qui sera indiqué au tableau.

Vous disposez 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.

Partie I : Quelques caractéristiques biologiques et physico-chimiques du bactériophage λ

On travaillera dans cette partie et la suivante sur le bactériophage λ , un phage appartenant à l'ordre des Caudovirales ou phages dits "à queue". Il comporte un génome sous forme d'ADN double-brin encapsidé dans une tête icosaédrique prolongée par une longue queue portant des fibrilles. Ce phage est très largement employé comme organisme modèle. Il infecte la bactérie Gram-négative *Escherichia coli*, dans laquelle il peut mettre en place un cycle lytique.

I-A Détermination du pouvoir infectieux du phage λ sur différentes souches d'*Escherichia coli*

I.A.1- Observation des premières étapes de l'interaction phage-bactérie

On cherche tout d'abord à visualiser les premières étapes de l'interaction entre le phage et la bactérie (Figure 1). Pour des raisons pratiques, un autre phage "à queue" est utilisé dans cette expérience, le phage T7, qui infecte également *E. coli*. Les premières étapes de l'infection sont similaires chez les phages λ et T7.

On utilise une technique de tomographie cryo-électronique. Cette technique permet d'obtenir des images d'objets biologiques à une résolution d'environ 4 nm tout en maintenant les structures sous une forme quasi-native. Afin de maximiser la résolution, on travaille sur une souche d'*E. coli* formant naturellement des cellules de petite taille (<0,3 μm de diamètre). Les bactéries sont mises en présence du phage puis analysées par tomographie cryo-électronique. Après reconstruction tri-dimensionnelle, les images sont ordonnées selon leur séquence chronologique. Les deux premières étapes de l'interaction entre le phage et la bactérie sont représentées dans la figure 1.

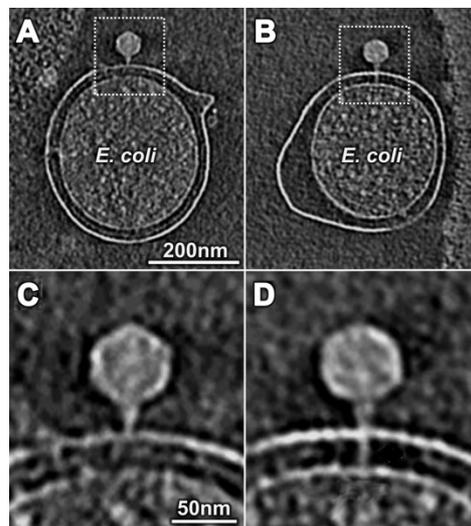


Figure 1. Premières étapes de l'interaction phage-bactérie observées par tomographie cryo-électronique. Les panels C et D sont des agrandissements des panels A et B, respectivement. Adapté de Hu et al., *Science*, 2013.

Question I-A-1. Proposez un schéma d'interprétation comparé et légendé des panels C et D. Vous indiquerez la nature des étapes de l'interaction phage-bactérie ainsi illustrées.

Réponse à la question I-A-1.

Panel C

Panel D

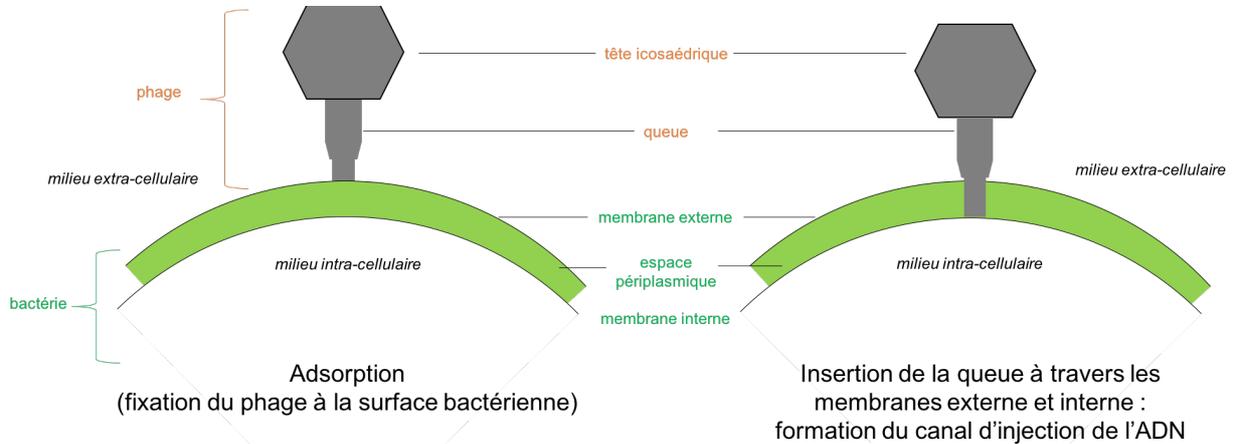


Schéma d'interprétation de la figure 1 : étapes précoces de l'interaction phage-bactérie (adsorption = attachement).

La nature de la paroi bactérienne a souvent été mal interprétée (la nature Gram-négative de la bactérie était une donnée de l'énoncé).

I.A.2- Détermination par *cross-streaking* du pouvoir infectieux du phage λ sur deux souches d'*E. coli*

Un poste d'observation est disponible dans la salle. Vous devez vous y rendre selon le planning de passage indiqué ; vous disposez de 5 minutes à ce poste de travail.

Attention, les questions I-A-2, I-A-3-a, I-A-3-b et I-B-2-a dépendent de ces observations.

Vous disposez d'une boîte de Petri sur laquelle a été réalisée une expérience dite de *cross-streaking* : une solution contenant des bactériophages λ concentrés a été déposée sur un milieu gélosé riche (milieu LB-agar), sous forme de trait. Les souches bactériennes à tester, préalablement cultivées dans un milieu liquide riche (LB) supplémenté en maltose, ont été déposées perpendiculairement, sous forme de trait également (Figure 2). Les boîtes ont été incubées une nuit à 37°C.

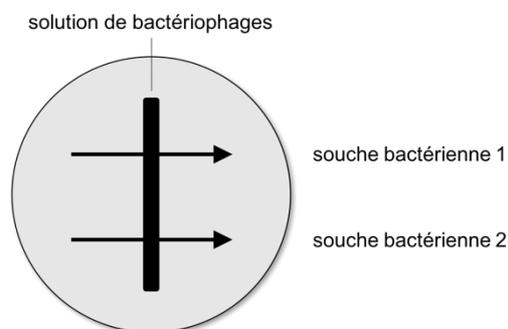
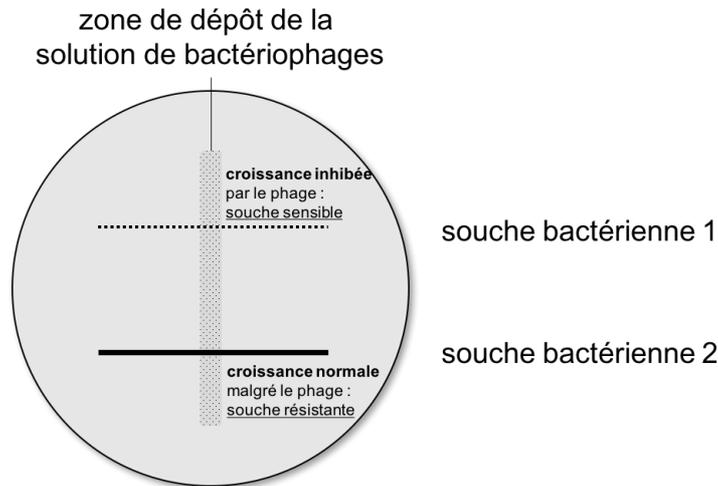


Figure 2. Schéma de l'expérience de *cross-streaking*. Les flèches indiquent le sens dans lequel le dépôt des souches bactériennes a été réalisé.

Question I-A-2. Représentez sous forme schématique les résultats observés ainsi que l'interprétation que vous en faites.

Réponse à la question I-A-2.



Observation et interprétation de l'expérience de *cross-streaking* : identification d'une souche bactérienne sensible et d'une souche bactérienne résistante au phage

Il manque souvent l'étape qui transforme l'observation en une interprétation. La démarche suivante : observations > interprétations > hypothèses doit être respectée.

I.A.3- Origine génétique du phénotype des souches d'*E. coli* vis-à-vis du phage λ

La souche bactérienne 2 porte une mutation dans *LamB*, un gène du système maltose / maltodextrine chez *E. coli*. Ce système contrôle l'entrée et l'utilisation du maltose et des maltodextrines dans la bactérie. *LamB* en particulier code une maltoporine située dans la membrane externe de la bactérie et permettant la diffusion spécifique du maltose et des maltodextrines. L'expression des gènes de ce système est sous le contrôle de l'opérateur MalT, qui est activé entre autres par le maltose.

Question I-A-3-a. D'après ces informations et les questions I-A-1 et I-A-2, à quelle étape du cycle viral le produit du gène *LamB* est-il susceptible d'intervenir ? Justifiez succinctement.

Réponse à la question I-A-3-a.

Le produit du gène *LamB* est une porine située dans la membrane externe de la bactérie, dont la mutation confère la résistance à l'infection par le phage. On peut donc proposer que la porine est nécessaire à l'infection, et plus spécifiquement aux étapes précoces, d'adsorption du phage ou d'injection de l'ADN de phage (étapes nécessitant des interactions avec la membrane externe de la bactérie). La porine pourrait par exemple se comporter comme un récepteur pour le phage.

La réponse est trop souvent implicite : il faut relier de façon explicite la localisation membranaire à la fonction possible. Le lien avec les observations précédentes était également attendu.

Question I-A-3-b. Proposez au moins deux hypothèses quant à la nature de la mutation dans *LamB* permettant d'expliquer le phénotype de la souche bactérienne 2 vis-à-vis du phage.

Réponse à la question I-A-3-b.

La mutation de *LamB* pourrait conférer la résistance à l'infection par le phage en :

- induisant un changement conformationnel de la protéine codée, limitant l'interaction avec le phage (mutation ponctuelle faux-sens, insertion ou délétion d'un multiple de 3 nucléotides dans la séquence codante) ;
- en induisant la production d'une protéine tronquée n'interagissant plus avec le phage (mutation ponctuelle non-sens, insertion ou délétion d'un nombre de nucléotides non multiple de 3 dans la séquence codante) ;
- ou en limitant l'expression de la protéine codée (mutation dans les séquences régulatrices).

Attention à ne pas confondre nature et origine.

Question I-A-3-c. Quel peut être l'intérêt de cultiver les souches d'*E. coli* en présence de maltose préalablement à l'expérience de détermination du pouvoir infectieux du phage λ ?

Réponse à la question I-A-3-c.

L'expression de *LamB* étant sous le contrôle de l'opérateur MalT activé par la fixation de maltotriose, elle est accrue lorsque les bactéries sont cultivées en présence de maltose. Du fait du rôle positif de *LamB* dans l'infection par le phage, cela permet d'accentuer la sensibilité des souches sensibles et donc de mieux distinguer souches sensibles et souches résistantes.

Une interprétation cohérente avec l'expérience a rarement été proposée. Le maltose ici n'est ni un système de sélection, ni un nutriment (le milieu de culture est déjà riche). S'il peut être judicieux de faire appel à ses connaissances préalables, une réflexion spécifique, en cohérence avec le sujet proposé, est nécessaire.

I-B Détermination de la résistance du phage λ à haute température

Vous allez concevoir et mettre en œuvre un plan expérimental permettant de déterminer la résistance du phage λ à haute température. Pour cela, vous allez caractériser la souche bactérienne à utiliser dans l'expérience (partie I.B.1). Vous allez vous familiariser avec le principe de titrage d'une suspension de phage (partie I.B.2) et élaborer et mettre en œuvre un plan expérimental (partie I.B.3). Ces trois parties peuvent être traitées dans l'ordre de votre choix mais il est conseillé de lire l'énoncé de la partie I.B.2 avant d'aborder la partie I.B.3. **Les résultats ne seront lisibles que le lendemain de l'expérience. Aussi, il vous est demandé de réfléchir aux résultats attendus, et le jury évaluera la qualité de vos résultats réels le lendemain de l'épreuve.**

I.B.1- Caractérisation de la souche bactérienne à utiliser

Vous allez réaliser une infection par le phage λ d'une souche d'*E. coli*, un bacille Gram-négatif. Pour vérifier que vous disposez bien d'une telle souche, vous allez réaliser une coloration de Gram sur cette bactérie. Afin de faciliter la lecture de la coloration, vous allez la réaliser sur un mélange entre *E. coli* et *Staphylococcus epidermidis*, un coque Gram-positif. Ainsi, vous devez présenter au jury une préparation mettant en évidence de façon convaincante ces deux types de bactéries.

En cas de contact des souches bactériennes avec la peau, se laver les mains à l'aide de savon.

Matériel à disposition :

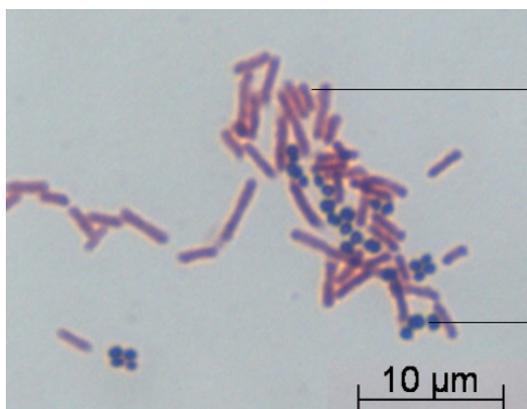
- Tube n°1 contenant 150 μ L de suspension d'*E. coli* cultivée dans du milieu LB supplémenté en maltose (**attention, ce tube est également utilisé pour le titrage de la partie I.B.3**)
- Tube n°2 contenant 50 μ L de suspension de *S. epidermidis* cultivée dans du milieu LB
- Lame de verre
- Pipetman de 20 μ l et cônes adaptés stériles (cônes jaunes)
- Bec électrique (**manipuler avec précaution**) et pince en bois
- Bac de coloration et porte-lame
- Solution de violet cristal
- Solution de lugol
- Solution de décoloration (alcool à 95°)
- Solution de safranine
- Pissette d'eau
- Pissette d'alcool
- Microscope équipé d'un objectif x100, huile à immersion

Protocole :

- A l'aide du pipetman, mélanger de façon stérile au centre de la lame 10 μL de chacune des suspensions bactériennes. A l'aide du cône, étaler le mélange sur la surface de la lame.
- Laisser sécher la lame quelques minutes à l'air libre.
- Passer la lame (bactéries orientées vers le haut) 3 à 4 fois au-dessus du bec électrique, lentement.
- Laisser refroidir quelques minutes à l'air libre. Vous pouvez désormais travailler en zone non stérile.
- Poser la lame sur le porte-lame au-dessus du bac de coloration et recouvrir la surface à colorer de violet cristal. Laisser agir 1 minute.
- Ajouter, sur le violet cristal, la solution de lugol et laisser agir 20 secondes.
- Egoutter et recouvrir de nouveau de lugol pendant 20 secondes.
- Répéter cette étape pendant encore 20 secondes.
- En tenant la lame inclinée, faire couler **délicatement** la solution de décoloration, jusqu'à la disparition complète du colorant, **mais pas plus longtemps** (quelques secondes).
- Toujours en tenant la lame inclinée, laver **immédiatement** à l'eau distillée et égoutter.
- Toujours en tenant la lame inclinée, laver délicatement à l'aide de safranine.
- Poser la lame sur le porte-lame et recouvrir de safranine. Incuber pendant 1 minute.
- Laver délicatement à l'eau distillée et égoutter.
- Laisser sécher complètement la lame à l'air libre. Nettoyer le dos de la lame à l'aide d'un sopalin imbibé d'alcool.
- Observer la lame au microscope, en utilisant l'objectif x100 et l'huile à immersion. Choisissez un champ mettant en évidence de façon convaincante les deux types de bactéries.

Question I-B-1-a. Réalisez un dessin d'observation légendé permettant l'identification des deux types de bactéries. Appelez un examinateur pour qu'il évalue la qualité de votre préparation et l'adéquation entre votre préparation et votre dessin d'observation.

Réponse à la question I-B-1-a.



Bactéries en forme de bâtonnet, colorées en rose
⇒ Bacilles Gram-négatif
⇒ *E. coli*

Bactéries sphériques, colorées en violet
⇒ Coques Gram-positif
⇒ *S. epidermidis*

Observation de la coloration Gram.

Ne pas confondre grossissement (d'observation au microscope) et échelle (de représentation).

Question I-B-1-b. D'après vos connaissances sur la structure des bactéries Gram-positives et Gram-négatives, indiquez le principe de la coloration différentielle de Gram.

Réponse à la question I-B-1-b.

Lors de la coloration de Gram, toutes les bactéries sont dans un premier temps marquées par le violet cristal. Les bactéries Gram-négatives possédant une paroi de peptidoglycanes de faible épaisseur, cette coloration violette est perdue lors de l'étape de décoloration, contrairement aux bactéries Gram-positives qui possèdent une paroi de peptidoglycanes épaisse, empêchant l'action de la solution de décoloration. Toutes les bactéries sont ensuite colorées par la safranine (en rose). Ainsi, les bactéries Gram-négatives sont colorées en rose, et les Gram-positives en violet.

Ces aspects sont bien connus des candidats.

I.B.2- Principe du titrage d'une suspension de phage

Un poste d'observation est disponible dans la salle. Vous devez vous y rendre selon le planning de passage indiqué ; vous disposez de 5 minutes à ce poste de travail.

Attention, les questions I-B-2-d et I-B-2-e dépendent de ces observations.

Le titre infectieux d'une suspension virale correspond au nombre de phages infectieux présents par unité de volume. Nous allons ici utiliser une méthode de titrage par plages de lyse.

La veille de l'expérience, la suspension virale à titrer a été diluée en milieu LB. Les facteurs de dilution suivants ont été utilisés : 10^6 , 10^7 et 10^8 . Ensuite, une souche bactérienne adaptée (volume : 0,1 mL, concentration bactérienne permettant l'obtention d'un tapis confluent le lendemain) a été mise en contact de chacune des suspensions virales diluées (volume : 0,1 mL). Après 10 minutes d'incubation à 37°C sans agitation, chacun des mélanges a été ajouté à une solution d'agar "mou" (agar peu concentré limitant la diffusion des bactéries et des phages) et étalé sur une boîte de Pétri contenant un milieu gélosé solide. Les boîtes ont été incubées sur la nuit à 37°C. Le jour de l'expérience, on observe des plages de lyse dans les tapis bactériens.

Vous allez dénombrer les plages de lyse sur les trois boîtes obtenues. Pour cela, vous disposez d'un transparent sur lequel vous allez décalquer le contour des 3 boîtes, indiquer leur orientation (une flèche est inscrite sur les boîtes) et pointer les plages de lyse au marqueur pour les dénombrer. Si le nombre de plage de lyse est trop important, vous pouvez limiter le comptage à une portion de la boîte. **Aucune inscription ne doit être portée directement sur les boîtes.**

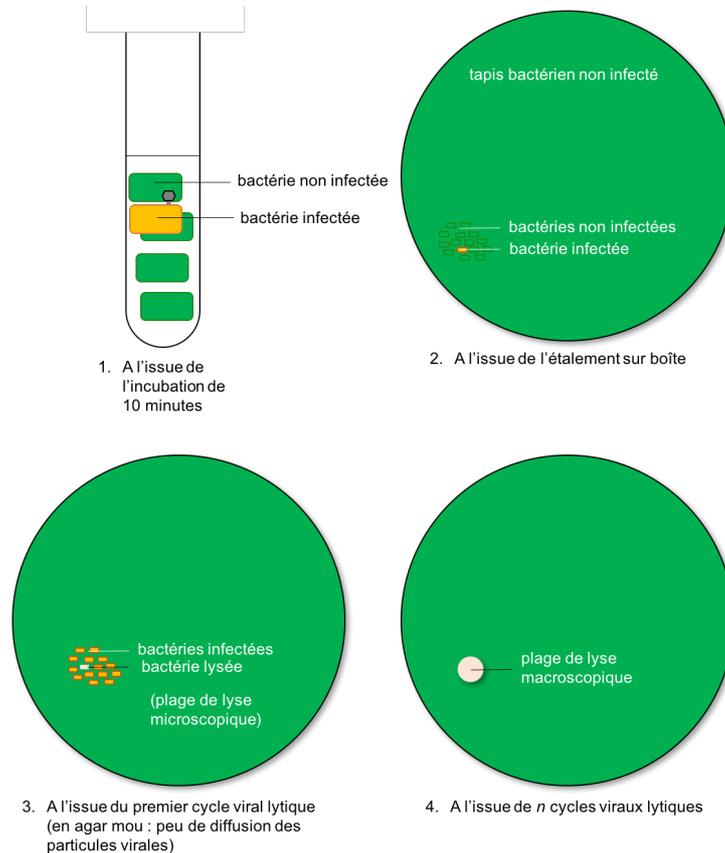
Question I-B-2-a. Parmi les deux souches bactériennes utilisées dans le test de *cross-streaking*, quelle souche utilise-t-on pour réaliser ces expériences de titrage ? Justifiez brièvement.

Réponse à la question I-B-2-a.

Le titrage est basé sur la lyse des bactéries par le phage. On utilise donc la souche sensible à l'infection, soit la souche 1.

Question I-B-2-b. Expliquez à l'aide de schémas l'apparition de plages de lyse dans les tapis bactériens après une nuit d'incubation des boîtes.

Réponse à la question I-B-2-b.



Schématisation de l'apparition de plages de lyse.

Les échelles ne sont pas respectées, ni le nombre de bactéries infectées à l'issue du premier cycle viral.

La question a souvent été mal comprise : de nombreux candidats ont représenté le cycle lytique du phage (avec quelques erreurs récurrentes comme l'intégration obligatoire dans le génome bactérien) sans faire le lien avec les observations macroscopiques sous forme de plage de lyse.

Question I-B-2-c. Quel résultat obtiendrait-on si on répétait l'expérience avec une suspension virale non diluée ?

Réponse à la question I-B-2-c.

On obtiendrait un tapis bactérien entièrement lysé : on ne pourrait donc pas dénombrer les plages de lyse.

Question I-B-2-d. Sur chacune des trois boîtes, comptez les plages de lyse à l'aide du transparent fourni, que vous joindrez à votre copie. Reportez vos comptages dans le tableau ci-dessous que vous complèterez.

	Surface de la boîte utilisée	Nombre de plages de lyse	Nombre total de plages

	pour le comptage	compté sur cette surface	de lyse sur la boîte
Dilution 10^6	50%	25	50
Dilution 10^7	100%	5	5
Dilution 10^8	100%	0	0

Certains candidats ont cherché à calculer la surface non pas relative mais absolue, en cm^2 , utilisée pour le comptage. Ceci n'était pas judicieux par rapport à la suite du raisonnement.

Question I-B-2-e. Calculez alors le titre de la suspension virale initiale, que vous exprimerez en pfu.mL^{-1} (pfu : plaque-forming unit). Le calcul sera justifié.

Réponse à la question I-B-2-e.

5 plages de lyse sur la boîte " 10^7 ", obtenue à partir de 0,1mL de suspension de phage.

Donc 50 unités infectieuses (pfu) / mL dans la dilution " 10^7 "

Donc $5 \cdot 10^8 \text{ pfu.mL}^{-1}$ dans la suspension initiale.

Par ailleurs, 50 plages de lyse sur la boîte " 10^6 ", obtenue à partir de 0,1mL de suspension de phage.

Donc 500 unités infectieuses (pfu) / mL dans la dilution " 10^6 "

Donc $5 \cdot 10^8 \text{ pfu.mL}^{-1}$ dans la suspension initiale.

Les résultats obtenus avec les deux dilutions sont concordants.

I.B.3- Elaboration du plan expérimental de détermination de la résistance du phage à haute température

I.B.3.a- *Présentation de la procédure d'infection*

Vous allez déterminer la résistance du phage λ à haute température, à savoir à une incubation de 5 minutes à la température de 95°C . Pour ce faire, vous allez utiliser une variante du titrage par plages de lyse, plus simple à mettre en œuvre.

Matériel à disposition :

- Tube n°1 contenant 150 μL de suspension d'*E. coli* préalablement cultivée dans du milieu LB supplémenté en maltose (**attention, ce tube est également utilisé pour la coloration Gram**)
- Tube n°3 contenant une solution d'agar "mou" maintenu en surfusion dans un bain-marie à 50°C
- Tube n°4 contenant 30 μL de solution de phage à $5 \cdot 10^8 \text{ pfu.mL}^{-1}$, à maintenir sur glace
- Bloc chauffant à 95°C
- 1 boîte de Petri contenant un milieu solide (**à identifier par le nom et la salle du candidat**)
- Pipetman de 20 μL et de 200 μL et cônes adaptés stériles (cônes jaunes)
- Bec électrique (**manipuler avec précaution**)
- Tube n°5 contenant du milieu LB liquide (2 mL)

- Tubes eppendorfs

Procédure expérimentale de l'infection (à réaliser après avoir conçu le plan expérimental, voir partie suivante):

- Sortir le tube d'agar "mou" du bain-marie. *Vous disposez de quelques minutes pour réaliser l'expérience avant qu'il ne solidifie.*
- Prélever **rapidement** 100 μL de la suspension bactérienne (tube n°1) et transférer dans le tube d'agar "mou" juste sorti du bain-marie.
- Mélanger **immédiatement** et vigoureusement par inversion pendant quelques secondes.
- Verser **rapidement** le contenu du tube sur boîte, en faisant tourner celle-ci de sorte que l'agar "mou" recouvre toute la surface de la boîte.
- Laisser la boîte **immobile** pendant au moins 15 minutes, afin que l'agar "mou" solidifie.
- A l'aide du plan fourni que vous placerez sous la boîte (aperçu en Figure 3), déposez sur chacun des 8 emplacements une goutte (10 μL) de suspension de phage **ayant subi les traitements appropriés (voir ci-dessous)** et **préparée aux dilutions appropriées (voir ci-dessous, dilutions en milieu LB, tube n°5, à partir de la suspension de phage pure, tube n°4).**

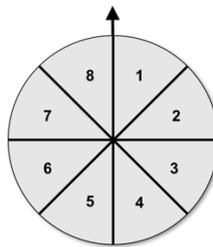
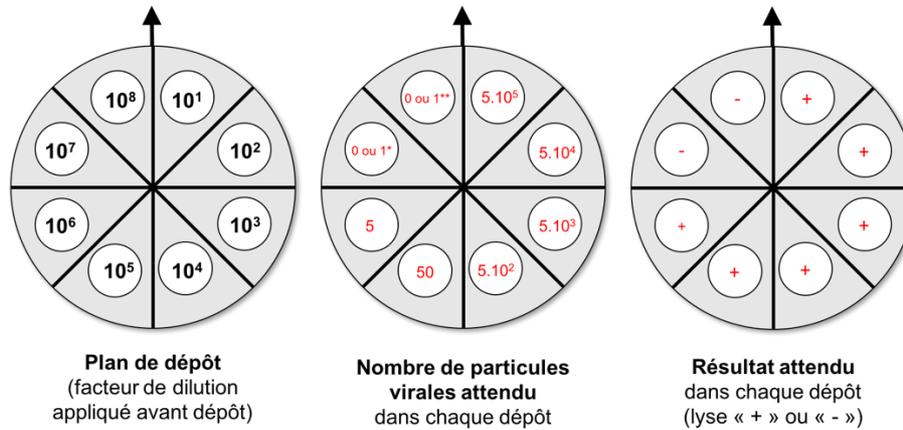


Figure 3. Aperçu du plan de dépôt. Une version "grandeur réelle" à utiliser vous est fournie sur la paillasse.

- Laisser sécher au moins 15 minutes à température ambiante. Les boîtes seront placées à 37°C sans être retournées à l'issue de l'épreuve pour une lecture le lendemain.
- Pour chaque emplacement de dépôt de suspension de phage, la lyse bactérienne sera évaluée de façon qualitative (+ ou -) par un examinateur.

Question I-B-3-a-1. Si on réalisait cette procédure avec une série de 8 dilutions en cascade de la suspension virale initiale (tube n°4), déposée selon le plan ci-dessous, quel résultat attendriez-vous pour la lecture de demain ? Vous répondrez en notant le nombre de particules virales ainsi que la lyse que vous attendriez ("+" ou "-") à chaque emplacement de dépôt.

Réponse à la question I-B-3-a-1.



Commentaires éventuels :

* 1 particule dans 50% des cas ; ** 1 particule dans 5% des cas : on attend une plage de lyse isolée avec cette même fréquence.

Dans la condition 10^6 , on attend des plages dénombrables isolées plutôt qu'une lyse totale de la surface.

Rares ont été les candidats à correctement prendre en compte la dilution et le volume de la suspension de phages déposé.

Question I-B-3-a-2. Parmi les 8 dépôts de la question précédente, lesquels seraient alors utiles pour vérifier le titre de la suspension virale initiale (tube n°4) ? Critiquez la procédure mise en œuvre ici par rapport à celle mise en œuvre en partie I.B.2 en termes de calcul du titre viral. Quel est alors l'avantage de la présente procédure ?

Réponse à la question I-B-3-a-2.

Les dilutions 10^5 (grosse plage de lyse), 10^6 (petite plage de lyse) et 10^7 (pas de plage de lyse) sont utiles pour vérifier le titre de la suspension virale.

Cette procédure de titrage est moins précise que celle effectuée en I-B-2 car elle permet uniquement d'estimer une fourchette dans laquelle est compris le titre viral. En revanche, elle est plus économe en matériel puisqu'avec une seule boîte, huit conditions peuvent être testées.

I.B.3.b- Elaboration et mise en œuvre du plan expérimental

On considère trois cas de figure possibles quant à la résistance du phage à la température :

- cas n°1 : le phage perd tout pouvoir infectieux après un traitement de 5 minutes à 95°C ;
- cas n°2 : le phage perd son pouvoir infectieux de façon partielle après un traitement de 5 minutes à 95°C ;
- cas n°3 : le phage conserve tout son pouvoir infectieux après un traitement de 5 minutes à 95°C ;

Question I-B-3-b-1. Pour chacun de ces cas de figure, discutez des dilutions virales qu'il serait judicieux d'inclure dans le plan expérimental.

Réponse à la question I-B-3-b-1.

Cas n°1 : on n'attend aucune lyse, y compris avec la suspension virale pure. Il faut alors inclure cette condition (virus pur).

Cas n°2 : on attend une absence de lyse pour quelques dilutions auxquelles le virus non traité induisait une lyse. Il faut alors inclure des dilutions de facteur inférieur à 10^5 .

Cas n°3 : on attend un patron similaire au virus non traité. Il faut donc inclure les dilutions 10^5 à 10^7 .

(suite du cadre page suivante)

Pour couvrir tous ces cas de figure, il faudrait inclure les points expérimentaux suivants pour le virus traité : virus pur, dilutions 10^5 , 10^6 et 10^7 et une ou plusieurs dilution(s) de facteur inférieur à 10^5 .

Le sens de cette question, qui vise à préparer le plan expérimental de la question suivante, n'a pas été compris de nombreux candidats. Cela reflète probablement le manque de vision d'ensemble du sujet, qui est compréhensible du fait de la longueur des énoncés. Cette vision d'ensemble peut cependant apporter un réel avantage aux candidats dans le traitement cohérent des questions successives.

Question I-B-3-b-2. Détaillez alors l'ensemble des étapes expérimentales que vous allez suivre (jusqu'aux dépôts et en complément de la procédure présentée plus haut) pour déterminer la résistance du phage λ à une incubation de 5 minutes à la température de 95°C . Vous préciserez la nature des dépôts que vous allez réaliser sur les emplacements 1 à 8 (voir plan de dépôt). Vous devez prendre en considération les contraintes matérielles présentées dans la partie I.B.3-a.

Réponse à la question I-B-3-b-2.

Plan de dépôt (c'est un exemple)

1. Phage non traité dilution 10^5 (témoin)
2. Phage non traité dilution 10^6 (témoin)
3. Phage non traité dilution 10^7 (témoin)
4. Phage traité pur
5. Phage traité dilution 10^2
6. Phage traité dilution 10^5
7. Phage traité dilution 10^6
8. Phage traité dilution 10^7

Il n'y a pas besoin d'inclure un témoin négatif (pas de dépôt) car il est en fait présent sur toute la surface de la boîte autour des dépôts. Un dépôt "LB" seul peut être envisagé pour tester l'absence de contamination du LB.

Procédure

Phage non traité (témoin) :

- Réaliser des dilutions en cascade (en conditions stériles) :

dilution 10^2 : 2 μ l de phage + 198 μ L LB (*dilution intermédiaire, non utilisée pour les dépôts*)

dilution 10^4 : 2 μ l de la dilution précédente + 198 μ L LB (*dilution intermédiaire*)

(suite du cadre page suivante)

dilution 10^5 : 2 μ l de la dilution précédente + 18 μ L LB

dilution 10^6 : 2 μ l de la dilution précédente + 18 μ L LB

dilution 10^7 : 2 μ l de la dilution précédente + 18 μ l de LB

Déposer 10 μ l de phage dilué sur la boîte (en conditions stériles).

Phage traité :

- Prélever 20 μ l de phage (tube n°4) dans un nouveau tube (en conditions stériles) et le placer 5 min à 95°C.

- Réaliser des dilutions en cascade (en conditions stériles) :

dilution 10^2 : 2 μ l de phage traité + 198 μ L LB

dilution 10^4 : 2 μ l de la dilution précédente + 198 μ L LB (*dilution intermédiaire*)

dilution 10^5 : 2 μ l de la dilution précédente + 18 μ L LB

dilution 10^6 : 2 μ l de la dilution précédente + 18 μ L LB

dilution 10^7 : 2 μ l de la dilution précédente + 18 μ L de LB

Déposer 10 μ L de phage traité pur ou dilué sur la boîte (en conditions stériles).

Question I-B-3-b-3. Mettez en œuvre ce plan expérimental. A l'issue de la manipulation, appelez un examinateur pour qu'il en évalue la qualité. Notez ci-dessous les éventuelles précisions que vous souhaitez apporter à l'examineur à l'issue de votre manipulation, ou les conditions expérimentales que vous auriez aimé inclure si vous n'aviez pas été limité par le matériel.

Réponse à la question I-B-3-b-3.

Si on n'avait pas été limité par le matériel, il aurait été intéressant d'inclure plus de dilutions du phage traité pour avoir une meilleure précision dans l'estimation du titre, par exemple toutes les dilutions de facteur 10 entre la suspension pure et la dilution 10^7 (soit 8 conditions au total).

On aurait également pu inclure un témoin "LB seul" pour tester l'absence de contamination du LB.

Il aurait également été intéressant de réaliser l'expérience en triplicat.

I.B.4- Intérêt de la démarche

Question I-B-4-a. Certaines industries agroalimentaires sont particulièrement vulnérables à l'action des bactériophages. Proposez-en un exemple en justifiant succinctement.

Réponse à la question I-B-4-a.

Toutes les industries basées sur l'utilisation de bactéries pour la fermentation sont vulnérables à l'action des bactériophages. En effet, en cas d'infection par un bactériophage lytique, l'ensemble de la production peut être mise en péril. C'est par exemple le cas de l'industrie laitière qui utilise les bactéries lactiques telles que les lactobacilles ou lactocoques.

Attention à ne pas confondre les industries basées sur le métabolisme bactérien et celles basées sur le métabolisme des levures.

Question I-B-4-b. En quoi l'analyse de la résistance des phages à haute température peut-elle être utile dans ce contexte ?

Réponse à la question I-B-4-b.

Cela peut permettre d'élaborer des procédés de stérilisation pour éliminer les phages et ainsi limiter le risque de contamination de la chaîne de production.

Il convient de rester vigilant à ne pas proposer de procédures aberrantes, comme réaliser les réactions de transformation à la température de 95°C, température qui même si elle permettrait d'inactiver le phage, n'est pas compatible avec la viabilité des bactéries.

Partie II : Le bactériophage λ , un outil en biologie moléculaire

Du fait de leur facilité de manipulation, les bactériophages ont largement contribué à l'essor de la biologie moléculaire à partir des 1940. Ici, nous illustrerons un exemple de l'utilisation du phage λ en biologie moléculaire.

Le génome du phage λ est constitué d'une molécule d'ADN double-brin linéaire d'environ 48 000 paires de bases de longueur. Dans l'expérience qui suit, l'ADN a été extrait du phage λ et digéré par l'enzyme de restriction *EcoRI*. Les fragments de restriction ont été déposés sur gel d'agarose, séparés par électrophorèse en présence d'un agent intercalant puis visualisés sous UV. Un profil de migration pouvant être exploité comme marqueur de taille est obtenu (Figure 4).

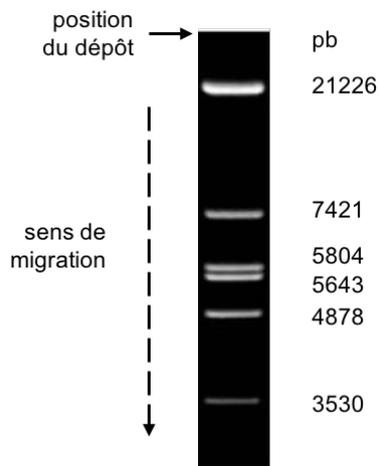


Figure 4. Profil de migration obtenu après digestion de l'ADN de phage λ par *EcoRI* et analyse par électrophorèse. La position du dépôt et le sens de migration sont indiqués à gauche. La longueur des fragments de restriction est indiquée à droite. pb : paires de bases.

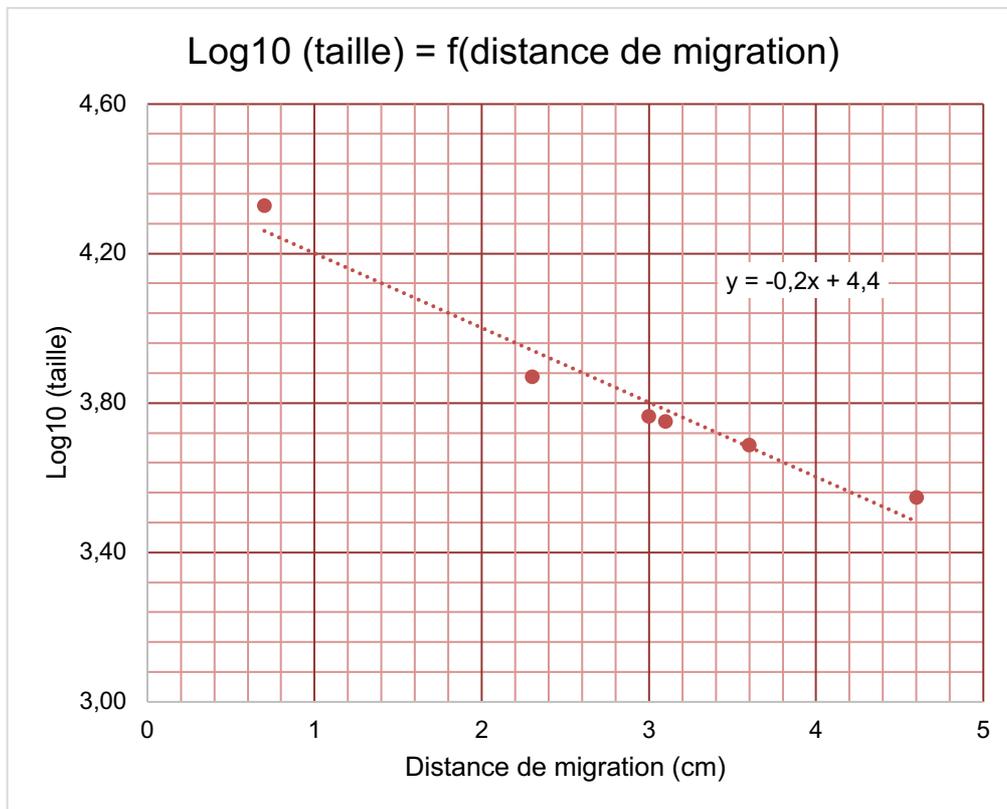
Question II-1. Vous allez tracer la courbe représentant le logarithme en base 10 de la taille des fragments d'ADN en fonction de leur distance de migration. Préparez dans un premier temps votre tableau de valeurs.

Réponse à la question II-1.

Distance (en cm)	Taille (en pb)	Log10 (taille)
0,7	21266	4,33
2,3	7421	3,87
3	5804	3,76
3,1	5643	3,75
3,6	4878	3,69
4,6	3530	3,55

Question II-2. Tracez sur le papier millimétré la courbe représentant le logarithme en base 10 de la taille des fragments d'ADN en fonction de leur distance de migration.

Réponse à la question II-2.



Question II-3. Déterminer alors l'équation permettant de calculer la taille d'un fragment d'ADN en fonction de sa distance de migration dans ces conditions expérimentales.

Réponse à la question II-3.

$$\text{Log}_{10}(\text{Taille}) = 4,4 - 0,2 * (\text{distance en cm})$$

$$\text{Donc Taille} = 10^{(4,4 - 0,2 * (\text{distance en cm}))}$$

Partie III : La phagothérapie, une alternative aux antibiotiques ?

Connus depuis plus d'un siècle pour leurs propriétés anti-bactériennes, les phages connaissent aujourd'hui un regain d'intérêt médical dans le contexte de l'émergence et de la dissémination de souches bactériennes multi-résistantes aux antibiotiques. Nous analyserons ici deux aspects de la phagothérapie qui en font une alternative intéressante à l'antibiothérapie.

III.A- Impact comparé de la phagothérapie et de l'antibiothérapie sur le microbiote intestinal

On compare l'impact de la phagothérapie et de l'antibiothérapie sur le microbiote intestinal dans le contexte de l'infection par *Shigella*, une entérobactérie à l'origine de maladies gastro-intestinales chez l'homme. Chez l'homme, les infections à *Shigella* sont habituellement traitées par antibiothérapie. Cependant, des souches multi-résistantes émergent actuellement pour les antibiotiques recommandés, limitant l'efficacité de ces traitements.

Dans cette étude, des souris sont infectées expérimentalement par *Shigella* et traitées par antibiothérapie (ampicilline) ou par phagothérapie (ShigActive™, préparation de phages spécifiques de *Shigella*). On compare d'abord la charge bactérienne dans les déjections de souris (*stool*) 24 h et 48 h après traitement par antibiothérapie ou phagothérapie (Figure 5A). En parallèle, on procède à une analyse de microbiote intestinal avant traitement (*before*) et 48 h après traitement (*after*, Figure 5B).

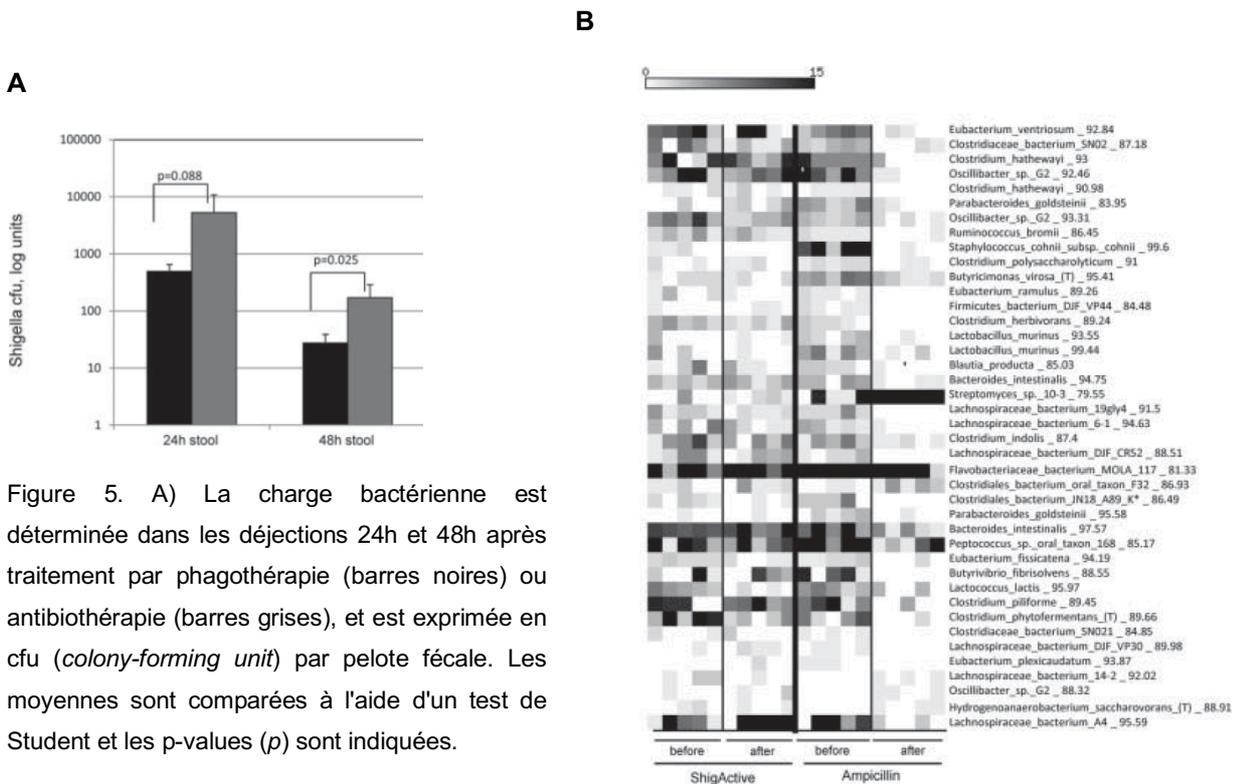


Figure 5. A) La charge bactérienne est déterminée dans les déjections 24h et 48h après traitement par phagothérapie (barres noires) ou antibiothérapie (barres grises), et est exprimée en cfu (*colony-forming unit*) par pelote fécale. Les moyennes sont comparées à l'aide d'un test de Student et les p-values (p) sont indiquées.

B) Composition du microbiote intestinal avant (*before*) et 48 h après (*after*) traitement. Chaque ligne correspond à une unité taxonomique opérationnelle (OTU, *operational taxonomic unit*) du microbiote intestinal. Chaque colonne correspond à une souris analysée. L'échelle de gris indique le nombre de séquences de chaque OTU détectées dans l'échantillon. Adapté de Mai et al., *Bacteriophage*, 2015.

Question III-A-1. Par quelle méthode peut-on étudier la composition du microbiote intestinal ?

Réponse à la question III-A-1.

On peut utiliser des approches de métagénomique, c'est-à-dire de séquençage massif des acides nucléiques (ADN ici) présents dans un échantillon, appliquées sur des échantillons de selles. En effet, les méthodes classiques utilisées en microbiologie (culture sur milieux sélectifs) ne sont pas efficaces pour la majorité des espèces bactériennes du microbiote intestinal, qui sont difficiles à cultiver (en particulier du fait de leur nature anaérobie stricte, car il est difficile de maintenir des conditions d'anaérobiose stricte en laboratoire).

Les approches métagénomiques sont trop peu souvent proposées comme méthode d'étude du microbiote intestinal. Trop de candidats proposent des cultures (peu réalisables pour des organismes anaérobies) ou une coloration de Gram, bien trop peu discriminante.

Question III-A-2. Analysez et interprétez la figure 5. Concluez sur l'intérêt de la phagothérapie mis en évidence ici.

Réponse à la question III-A-2.

Le panel A présente la comparaison de l'efficacité du traitement par antibiothérapie et par phagothérapie sur la charge bactérienne intestinale de *Shigella* chez la souris. A 24h et 48h, la charge bactérienne des souris traitées par phagothérapie est inférieure en moyenne à celle des souris traitées par antibiothérapie (d'environ 10 fois). Cette différence est significative à 48h (p-value < 0,05). Ceci indique que la phagothérapie est plus efficace que l'antibiothérapie dans ces conditions.

Le panel B présente la comparaison de l'impact du traitement par antibiothérapie et par phagothérapie sur la composition du microbiote intestinal chez la souris. Tandis que le traitement par antibiothérapie induit une baisse importante de l'abondance de la plupart des espèces du microbiote (cases claires après traitement), le traitement par phagothérapie ne semble pas impacter la composition du microbiote (patron similaire avant et après traitement).

Ainsi, la phagothérapie combine ici l'avantage d'être efficace pour lutter contre la bactérie pathogène *Shigella*, tout en ayant une action spécifique permettant la conservation d'une composition de microbiote normale, contrairement aux antibiotiques qui éliminent de façon non spécifique les espèces pathogènes (*Shigella* ici) et commensales.

La figure 5B a trop souvent été ignorée, l'action spécifique de la phagothérapie n'a ainsi pas été dégagée. A l'inverse, quelques candidats ont fait une lecture trop détaillée de cette figure 5B en inventoriant inutilement les espèces alors qu'une lecture plus globale aurait suffi.

III.B- Phagothérapie et médecine personnalisée

On étudie le cas clinique d'un patient souffrant d'une pancréatite nécrosante compliquée d'une infection par une souche multi-résistante d'*Acinetobacter baumannii*, une bactérie pathogène au cœur de la crise actuelle de l'antibiorésistance.

L'état du patient se dégradant rapidement, et le traitement antibiotique étant inefficace, l'équipe médicale obtient l'autorisation de lui administrer un cocktail de phages. Pour ce faire, la souche bactérienne est isolée à partir d'un prélèvement du patient et la sensibilité de cette souche est évaluée *in vitro* contre une banque de 98 phages. En moins de 10 jours, un cocktail de 5 phages appropriés est choisi, préparé et administré au patient. L'état du patient se stabilise dès 48 h après le début du traitement. Après plusieurs semaines de traitement, l'infection à *A. baumannii* est éliminée et le patient est déclaré guéri.

Question III-B-1. Expliquez en quoi ce cas clinique illustre le concept de médecine personnalisée et en quoi une telle médecine peut s'avérer utile dans le contexte actuel de l'antibiorésistance.

Réponse à la question III-B-1.

Dans cet exemple, le cocktail de phages a été conçu spécifiquement pour ce patient : ce cocktail est efficace contre la souche bactérienne pathogène de ce patient, qui peut être différente d'une souche isolée chez un autre patient présentant le même type d'infection. On est donc bien dans une démarche de médecine personnalisée où le traitement est ajusté à chaque cas clinique.

Dans le contexte de l'antibiorésistance, il est nécessaire de développer des traitements alternatifs aux antibiotiques et efficaces. L'évolution bactérienne étant très rapide, il est possible que plusieurs souches cliniques différentes circulent, qu'il peut être intéressant de cibler à l'aide de traitements spécifiques.

La réponse a trop souvent été une paraphrase des indications de l'énoncé. L'existence possible de différentes souches chez des patients montrant le même type d'infection a été très rarement mentionnée dans les réponses, alors que cela constituait l'argument principal attendu.

Question III-B-2. En quoi les bactériophages sont-ils de particulièrement bons outils pour ce type d'approche ?

Réponse à la question III-B-2.

La diversité des phages étant immense, ils constituent un "réservoir" d'options thérapeutiques antibactériennes très large, au sein duquel la probabilité d'identifier un phage ou un cocktail de phages efficace contre une souche bactérienne donnée est élevée.

Cette question a été mal comprise, les candidats répétant alors des réponses déjà données aux questions précédentes.

Cas clinique adapté de Schooley et al., *Antimicrob Agents Chemother*, 2017.

5.5 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur B : Sujet et commentaires

5.5.1 Présentation de l'épreuve

L'épreuve de travaux pratiques de contre-option b avait pour thème l'étude de quelques aspects de la respiration aérienne chez les animaux. Elle comportait trois parties indépendantes.

La première partie portait sur l'anatomie, l'évolution et le fonctionnement de l'organe respiratoire des Gastéropodes Pulmonés, à partir de l'étude de l'escargot et de documents en lien avec le contrôle de la ventilation chez la limnée. La seconde partie du sujet s'intéressait aux adaptations de la fonction respiratoire de deux espèces remarquables, l'oie à tête barrée à haute altitude et le phoque de Weddell en plongée. Enfin, la troisième partie correspondait à un exercice de reconnaissance de divers échantillons animaux associée à l'identification de leur appareil respiratoire.

Comme les années précédentes, le jury a constaté un manque de lecture et de compréhension de l'énoncé des questions de la part des candidats. Les consignes sont trop souvent non ou partiellement respectées. Les réponses des candidats révèlent également un manque d'intégration, les questions étant traitées indépendamment les unes des autres sans prendre en compte leur logique et le contexte général (par exemple pour la question IC1a). Le sujet de cette année a donc valorisé les candidats efficaces qui ont su répondre de manière concise et précise aux questions posées tout en ayant une vision générale du sujet.

5.5.2 Présentation de l'épreuve

5.5.2.1 Première partie : La première partie portait sur l'étude de l'appareil respiratoire de l'escargot, une espèce reconnue par tous les candidats. Ils ont été ainsi capables de déterminer son appartenance aux Mollusques et d'en préciser quelques synapomorphies visibles. On peut regretter cependant que plusieurs candidats aient perdu du temps à replacer les Mollusques dans l'arbre du vivant en repartant des Eucaryotes, alors que le sujet stipulait explicitement de partir du phylum. Concernant l'organe respiratoire ancestral de ce phylum, la grande majorité des candidats a su identifier les cténidies mais très peu les ont caractérisées comme des branchies ciliées.

La dissection de la cavité respiratoire d'un escargot suivie d'un marquage de la circulation hémolympatique a donné des résultats contrastés. La dissection demandée a été généralement effectuée par les candidats ayant répondu à la question mais le résultat de l'injection du colorant a été variable. Une injection à la base de la veine branchiale permettait pourtant de visualiser l'ensemble des vaisseaux de la cavité palléale ainsi que le cœur de l'escargot. On peut regretter la dissection trop fréquente de structures non respiratoires, des injections de colorant dans la cavité respiratoire non ouverte, et surtout, la présentation de dissections à sec. Cette partie du sujet a donc été discriminante car les candidats ayant négligé d'affûter leurs compétences dans ce domaine ont été pénalisés. Le jury recommande donc aux candidats de s'exercer à manipuler du matériel vivant, compétence évidente pour tout biologiste.

Une étude histologique de la surface d'échanges complétait la dissection de la cavité palléale avec une photographie à orienter et légèrer. Des vaisseaux et lacunes hémolympatiques ainsi qu'un fin épithélium du côté de la cavité palléale pouvaient être identifiés à condition de ne pas oublier le taxon concerné. De nombreux candidats n'ont pas su annoter correctement la photographie proposée ou l'ont fait comme si elle appartenait à un Mammifère.

Le dernier aspect de cette étude de l'appareil respiratoire de l'escargot portait sur son évolution. Si les candidats ont bien compris que la présence d'un poumon rend possible la respiration terrestre, pratiquement aucun n'a eu l'idée de discuter de cet aspect sous un angle

évolutif. En effet, l'absence de cténidie chez l'escargot est une synapomorphie des Hétérobranchés. Ce trait existait donc avant l'apparition des Pulmonés. Comme indiqué dans le corrigé, plusieurs raisonnements étaient possibles en fonction du caractère retenu et ont été validés. Le jury encourage donc les candidats à réfléchir en termes de processus évolutifs.

Une étude de la ventilation chez la limnée à partir de données expérimentales prolongeait l'étude de l'appareil respiratoire de l'escargot. Elle avait pour objectif de comprendre le rôle et le contrôle du pneumostome en fonction des conditions environnementales. Beaucoup de candidats sont parvenus à exploiter les documents proposés. Les calculs et leur interprétation ont souvent été bien faits. Toutefois, on peut regretter une lecture trop rapide de l'énoncé qui a conduit à des réponses incomplètes. Par exemple, la proportion de temps passée à respirer n'est pas la durée totale de la respiration.

L'interprétation des expériences de section du nerf osphradial n'a pas non plus posé de problème aux candidats. Cependant, presque aucune copie n'a mentionné que les animaux pseudo-opérés et les animaux opérés n'avaient plus les mêmes performances en situation contrôlée par rapport à l'expérience initiale (animaux intacts). On attend pourtant d'une personne scientifique qu'elle soit capable de prendre du recul sur les données qu'on lui présente.

5.5.2.2 Deuxième partie

La seconde partie du sujet portait sur l'étude de la fonction respiratoire chez deux espèces animales à respiration aérienne dans des conditions contraignantes : l'oie à tête barrée capable de voler à haute altitude et le phoque de Weddell adapté à la plongée en profondeur. Les candidats ont en général traité cette partie, même si certains ont eu visiblement du mal à terminer les dernières questions par manque de temps. Étonnamment, les questions introductives portant sur des définitions ou des notions générales ont révélé des lacunes voire un manque de culture générale. Ainsi, la définition de la P50 de l'hémoglobine ou de la ventilation, comme l'énoncé des contraintes de la haute altitude ou des eaux profondes, ont été des questions discriminantes.

L'oie à tête barrée migrant au-dessus de l'Himalaya est confrontée à de multiples contraintes environnementales liées à l'altitude. La plupart des copies évoque la chute de la pression partielle de dioxygène, en lien avec celle de la pression atmosphérique, et parfois celle des températures. De très rares copies ont évoqué les contraintes liées au vent ou celle de l'intensité des rayonnements solaires et cosmiques.

Le comportement respiratoire de l'oie à tête barrée était ensuite comparé avec ceux d'une autre oie non migratrice et d'un canard à partir de deux documents. Si tous les candidats n'ont pas su différencier la ventilation de la respiration, ils ont presque tous su analyser les deux graphes proposés et mettre en évidence l'originalité de l'oie à tête barrée. On regrette toutefois que les candidats aient souvent oublié le contexte du sujet et de la question. Ainsi, il était plus judicieux de lire le document dans la perspective d'une adaptation ventilatoire à l'altitude, c'est-à-dire en fonction de la diminution de la fraction de dioxygène inspirée. De plus, la question demandant de commenter tout le document, il était aussi important de commencer l'analyse par la description du comportement général des animaux lors d'une diminution de la fraction d'O₂ inspirée, avant de se focaliser sur celui de l'oie à tête barrée.

Concernant les courbes de saturation de l'hémoglobine des oiseaux, tous les candidats ont vu que la P50 de l'hémoglobine de l'oie à tête barrée est plus faible, ce qui témoigne d'une affinité pour le dioxygène supérieure à celle de l'hémoglobine de l'oie bernache ou du canard de Pékin. La fixation du dioxygène par l'hémoglobine de l'oie à tête barrée est donc meilleure que celles d'autres oiseaux pour de faibles pressions partielles d'O₂ en altitude. Cependant, pour de très faibles pressions partielles d'O₂, on observe que la désaturation de l'hémoglobine de

l'oie à tête barrée se rapproche de celle des hémoglobines des autres oiseaux, permettant un approvisionnement des tissus en dioxygène. Très peu de candidats ont mentionné cette dernière propriété.

La partie sur l'adaptation respiratoire du phoque de Weddell débutait par une caractérisation des contraintes rencontrées par le phoque en plongée. Cette question préliminaire a révélé un manque de discernement évident de presque 50% des candidats. Le comportement d'expiration du phoque n'est pas lié à la poussée d'Archimède, au rôle de ballast des poumons ou au risque d'explosion des poumons mais au risque d'embolie provoquée par l'augmentation de la pression. En effet, l'augmentation des pressions partielles des gaz et de la quantité dissoute de N₂ lors de la plongée augmente le risque d'un dégazage lors de la remontée.

Les autres questions n'ont pas posé de problème majeur. La plongée a été associée à une diminution de la fréquence cardiaque et une vasoconstriction des artères abdominales. Cependant, les interprétations présentées dans certaines copies ont été parfois farfelues, ce qui révèle une incompréhension de la problématique physiologique de la partie. Ainsi, relativement peu de candidats ont évoqué une redistribution du sang vers les organes vitaux (cœur, cerveau, muscles) au détriment des viscères.

La fin de la partie concernait l'évolution de la lactatémie pendant la plongée chez le phoque et le manchot empereur. Bien que les candidats relient sans problème la production de lactate avec des conditions anaérobies, très peu de copies ont discuté de l'augmentation de lactatémie en lien avec le passage à un régime anaérobie pendant la plongée. La conclusion sur le maintien du phoque en plongée a été formulée mais peu de copies évoquent comment.

5.5.2.3 Troisième partie : Cet exercice de reconnaissances se déroulait selon un planning affiché en salle, sur un temps imposé de 10 minutes maximum, à partir d'échantillons et de photographies. Les candidats devaient renseigner une grille en indiquant pour chaque organisme animal le nom vernaculaire, la position systématique et la nature de l'appareil respiratoire.

Les résultats de cet exercice sont relativement contrastés entre les candidats dont les connaissances biologiques naturalistes s'avèrent extrêmement faibles et ceux possédant un bagage suffisant pour l'identification des organismes proposés. Des échantillons aussi simples que la sangsue ont été trop fréquemment mal identifiés, certains reconnaissant un concombre de mer ou une lamproie ; même la photo de dauphin, pourtant immanquable, a été mal classée par deux candidats. On déplorera également les confusions récurrentes entre Plathelminthes, Nématodes et Annélides ainsi qu'entre les différents ordres d'Insectes.

Pour conclure, le sujet de contre-option b de cette année était un sujet ne présentant aucune grande difficulté et pouvant être traité dans le temps imparti. Il a été discriminant, favorable pour des candidats dotés de connaissances naturalistes, de compétences dans l'analyse de données expérimentales et d'une démarche méthodologique rigoureuse.

Le dessin interprétatif de la lame 1, une anthère de *Lys* jeune, devait faire apparaître les structures anatomiques et histologiques de l'anthère intervenant dans la formation du pollen. Était attendu le dessin d'une coupe d'au moins une demi-anthère avec une représentation du connectif et du faisceau cribrovasculaire assurant les relations trophiques, de l'assise mécanique nécessaire à la déhiscence, des tissus nourriciers et du tissu sporogène en cours de division. Les lames avaient été observées auparavant pour contrôler qu'au moins deux stades de division étaient reconnaissables, deux dessins de détail de ces stades étaient donc requis.

Le dessin de détail de la lame 2 devait faire apparaître la déhiscence de l'anthère après fonctionnement de l'assise mécanique, la résorption des tissus nourriciers et l'organisation

d'un grain de pollen mur, bien visible puisqu'avec un bon réglage les deux cellules étaient discernables à l'intérieur.

Les candidats ont en très grande majorité réalisé l'exercice. Le jury déplore cependant que beaucoup de dessins ne soient pas fidèles à l'observation alors que ce point était explicitement demandé et soumis à notation. La fidélité était une condition essentielle à l'illustration des relations structures-fonctions. Par ailleurs, beaucoup trop de dessins sont brouillons et mal disposés sur la page et certains candidats négligent même l'usage de la règle. Moins de 20% des candidats ont représenté les figures de division qui étaient visibles alors que ce point est crucial pour la formation du pollen ainsi qu'une représentation correcte d'un grain de pollen mur. Le dessin doit mettre l'accent sur ce qui est fonctionnellement significatif dans un objet biologique et c'est de ce fait, un outil qui ne doit pas être négligé.

5.5.3 Sujet commenté

Voir le PDF de ce corrigé en document annexe

5.6 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur C : Sujet et commentaires

5.6.1 Présentation de l'épreuve

L'épreuve de TP de secteur C en contre-option était constituée de quatre parties distinctes mais complémentaires ayant pour objet le bassin d'Autun. Dans une première partie, ce bassin était à resituer dans son contexte géologique et structural à partir des informations de la carte au 1/1.000.000^e et d'une coupe interprétative fournie. Dans une deuxième partie, l'analyse de la série sédimentaire du bassin d'Autun était à mener à partir de l'observation de deux sections polies, d'un échantillon macroscopique et d'une lame mince, complétée par l'interprétation de diffractogrammes des rayons X de la fraction argileuse de deux couches. Une troisième partie concernait la datation radiochronologique de zircons provenant de niveaux de cendres volcaniques. Enfin une quatrième et dernière partie abordait la nature de la matière organique et le potentiel pétrolier de schistes bitumineux présents dans la série autunienne.

5.6.2 Sujet commenté

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2018

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE OPTION DU SECTEUR C

Durée totale : 2 heures

Environnements de dépôt, âge et potentiel pétrolier de la série continentale permienne du bassin d'Autun

Les 4 parties sont indépendantes. Certaines nécessitent des manipulations, prévoyez donc votre organisation en conséquence

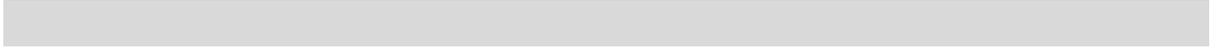
Partie I : Etude cartographique	page 2
<i>Durée conseillée : 20 min – barème : 25/120</i>	
Partie II : Etude sédimentologique	page 8
<i>Durée conseillée : 50 min – barème : 45/120</i>	
Partie III : Etude géochronologique	page 17
<i>Durée conseillée : 25 min – barème : 25/120</i>	
Partie IV : Géochimie pétrolière	page 19
<i>Durée conseillée : 25 min – barème : 25/120</i>	

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



Partie I : Etude cartographique

Le bassin d'Autun, situé dans la partie sud du Morvan, est une dépression synclinale E-O de 30 km de long sur 12 km de large au maximum (Fig. 1), dont le remplissage permo-carbonifère est dissymétrique (Fig. 2). Principalement datée de l'Autunien (fin Carbonifère-Permien inférieur), la série sédimentaire puissante de 1300 m environ est découpée en quatre formations et comprend plusieurs couches riches en matière organique (Fig. 3). Selon les formations considérées, ces couches organiques sont des charbons, des schistes bitumineux ou un boghead, c'est-à-dire un charbon d'algues ; lequel présente une extension spatiale et une épaisseur limitée.

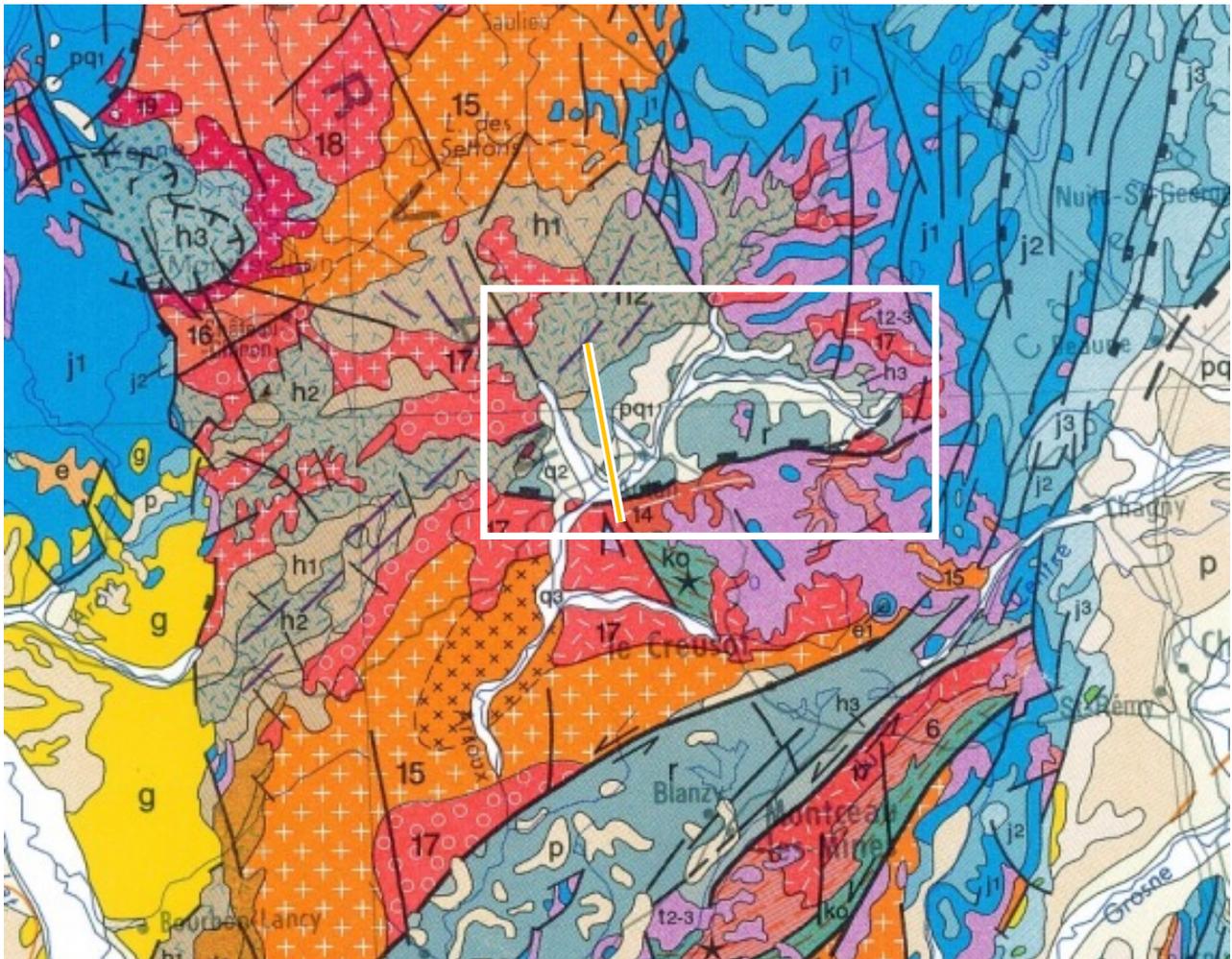


Figure 1a - Extrait de la carte géologique au 1/1000 000^{ème} de la France sur lequel le bassin d'Autun est encadré avec l'orientation du trait de coupe de la figure 2.

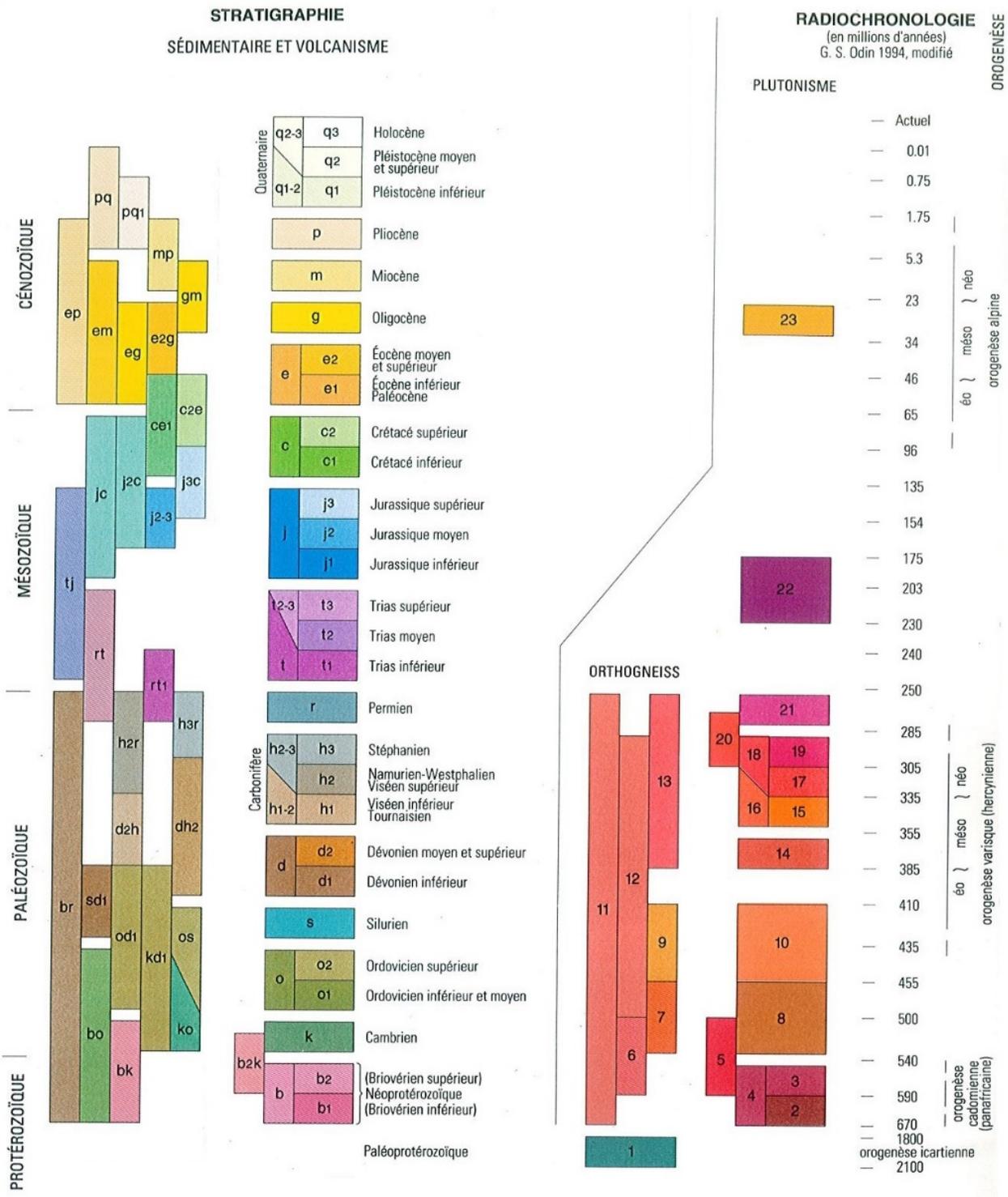


Figure 1b – Extraits de la légende de la carte au 1/1 000 000^{ème}

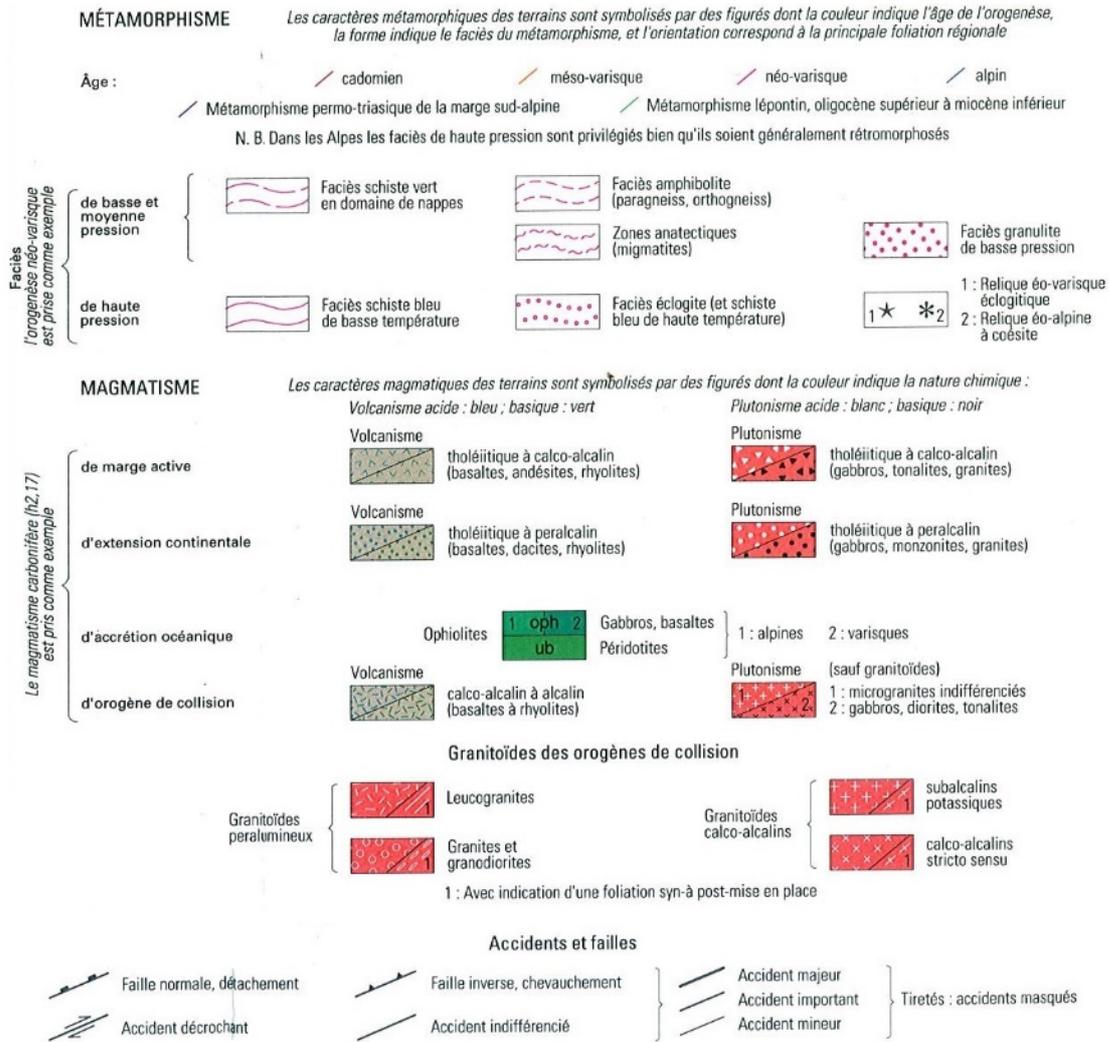


Figure 1b (suite et fin) – Extraits de la légende de la carte au 1/1 000 000^{ème}

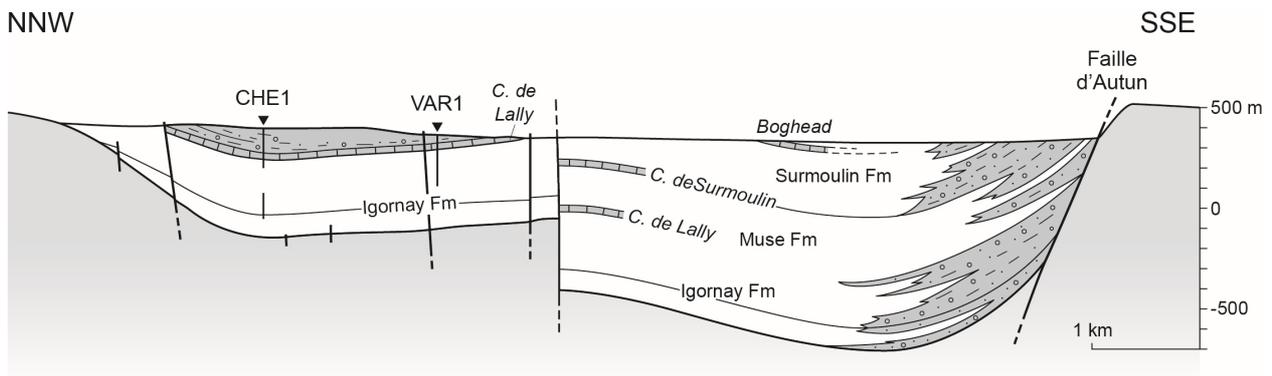


Figure 2 - Coupe schématique du bassin d'Autun dans sa partie occidentale (position sur la Fig. 1 ; d'après Marteau, 1983). L'extension des couches de schistes bitumineux de Lally et de Surmoulin, ainsi que du boghead, est reportée avec le figuré de brique. Les échantillons à analyser (macroscopique et lame mince) ainsi que les photos des figures 4 et 5 proviennent du forage de Chevrey (CHE 1).

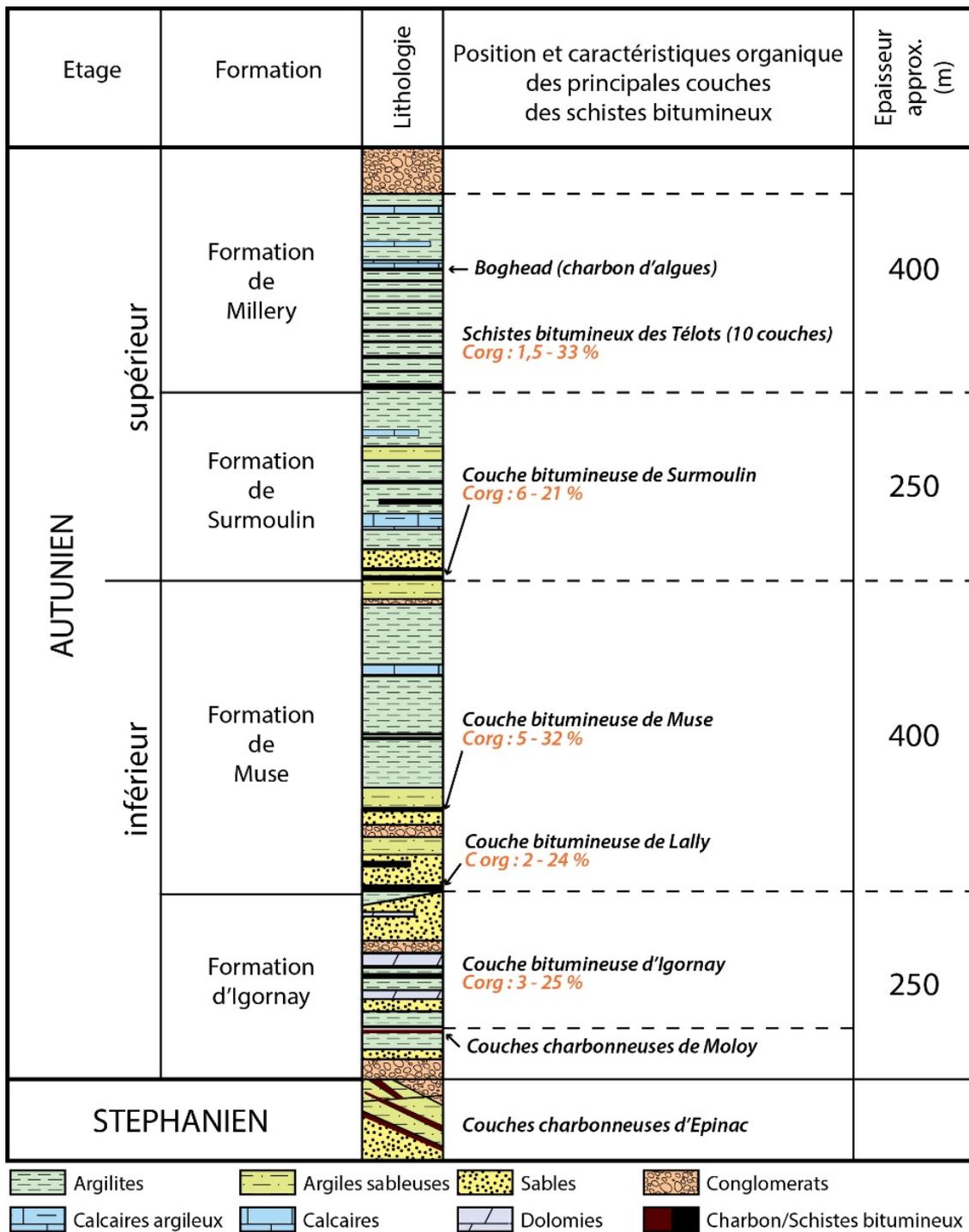
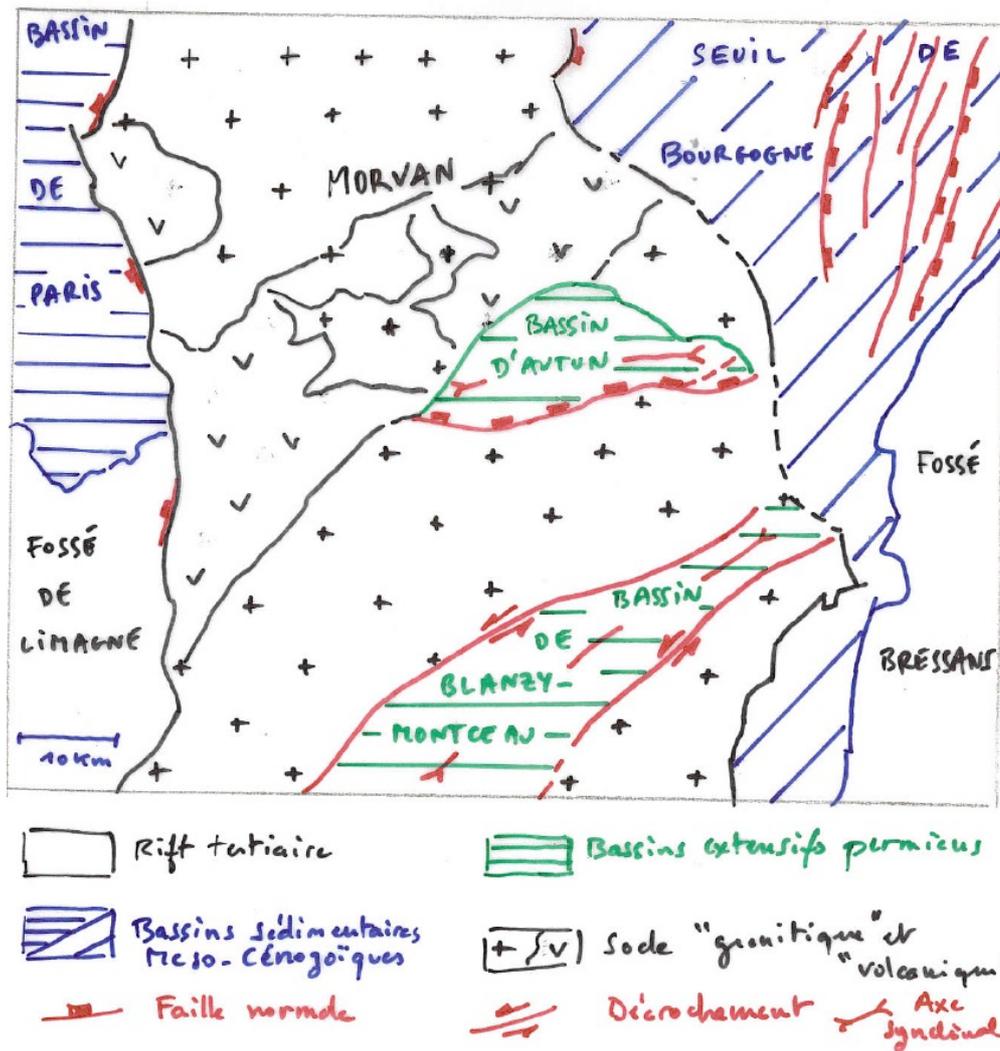


Figure 3 - Colonne lithostratigraphique synthétique du bassin d'Autun (d'après Marteau, 1983), position stratigraphique et teneur en carbone organique des différentes couches de schistes bitumineux (d'après Garel et al., 2017).

I-A-1 Schéma structural et contexte géologique du bassin d'Autun

Réalisez, sur le papier calque fourni, un schéma structural de l'extrait de la carte au 1/1 000 000^{ème} en faisant ressortir les grands ensembles géologiques de ce secteur de la France. Vous collerez ce document dans le cadre ci-dessous.

Réponse à la question I-A-1



I-A-2 Comparaison avec un bassin voisin

Comparez le bassin d'Autun à son voisin méridional de Blanzey-Montceau-les-Mines. Soulignez-en les ressemblances et les différences. Dans quel contexte géodynamique ces deux bassins se sont-ils formés ? Argumentez votre réponse à partir des éléments présents sur l'extrait de la carte au 1/1 000 000ème.

Réponse à la question I-A-2

Les bassins d'Autun et de Blanzey-Montceau sont tous deux insérés dans le socle varisque du Morvan (partie septentrionale du Massif central) et renferment des séries datées du Carbonifère supérieur (h3) et du Permien (r). Ces séries sont recouvertes (en discordance, visible sur la carte au 1M) par des dépôts du Trias supérieur (t3) et du Jurassique inférieur (ou Lias, J1). L'axe d'allongement du bassin d'Autun est E-W alors que celui de Blanzey-Montceau est NNE-SSW. Le bassin d'Autun est nettement plus petit que celui de Blanzey-Montceau, dont la terminaison méridionale n'est d'ailleurs pas visible sur l'extrait de la carte au 1M. Le bassin d'Autun est limité au Sud par une faille normale/détachement alors que celui de Blanzey-Montceau est limité au Sud et au Nord par des failles décrochantes (senestres). Ces deux bassins se sont formés à la fin de l'orogène varisque lors d'une phase de distension ou de transtension, probablement en lien avec l'étalement gravitaire de la chaîne hercynienne.

Partie II : Etude sédimentologique

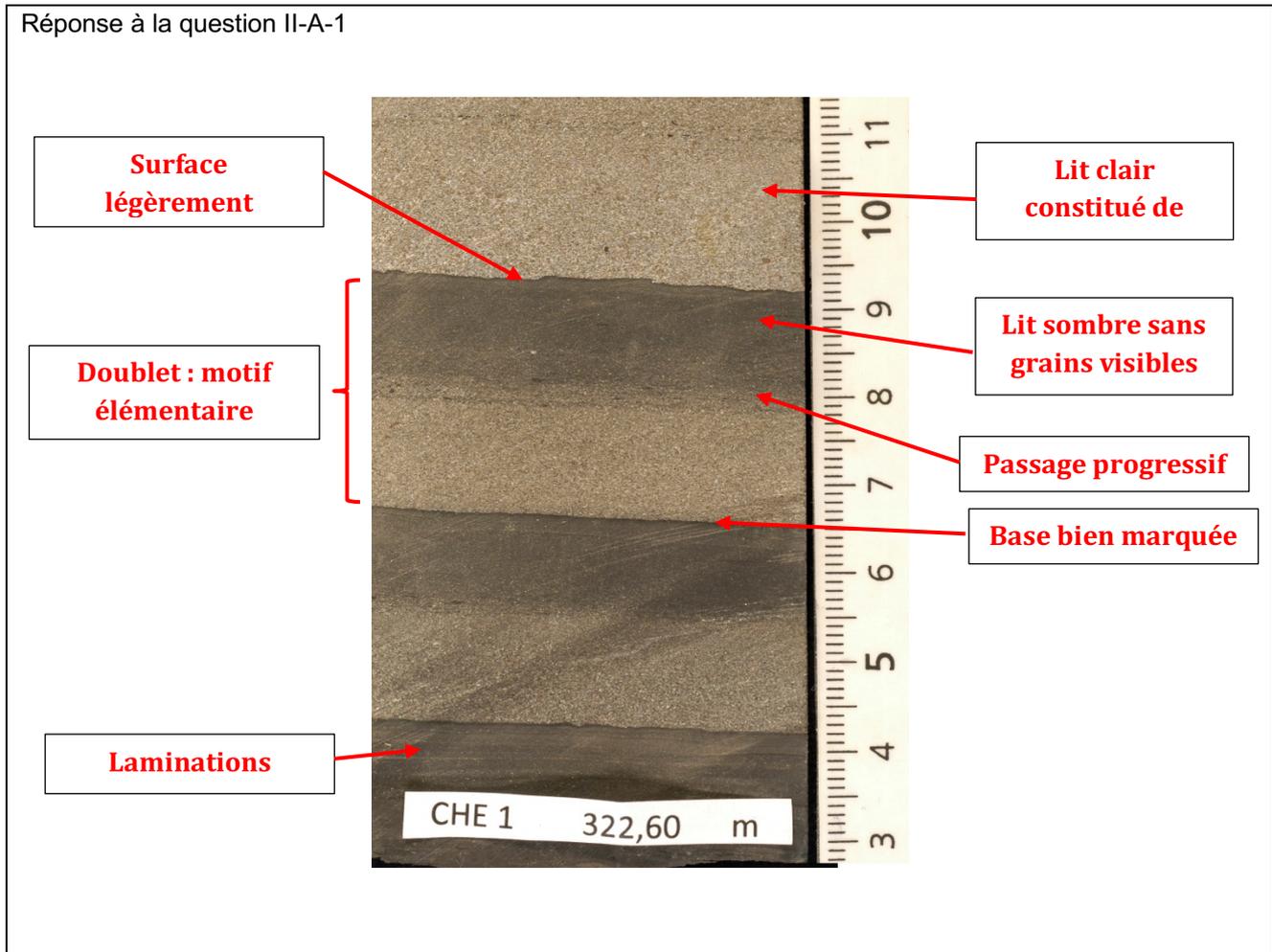
Des échantillons de roches sédimentaires détritiques ont été prélevés dans le forage CHE 1 (Fig. 2) et à l'affleurement dans la région. Leur étude aura pour but de déterminer les environnements de dépôt de l'Autunien.

II-A – Observation, analyse et interprétation faciologique (Fig.)

II-A-1 – Observation et analyse d'une surface polie

Légendez la photo ci-dessous correspondant à une surface polie des faciès silicoclastiques présents à ~322,6 m de profondeur dans la carotte CHE 1.

Réponse à la question II-A-1



II-A-2 – Mode et environnement de dépôt

Proposez un mode de dépôt et un environnement de dépôt pour expliquer les alternances de faciès de l'échantillon CHE 1 – 322,60 m. Un schéma est attendu.

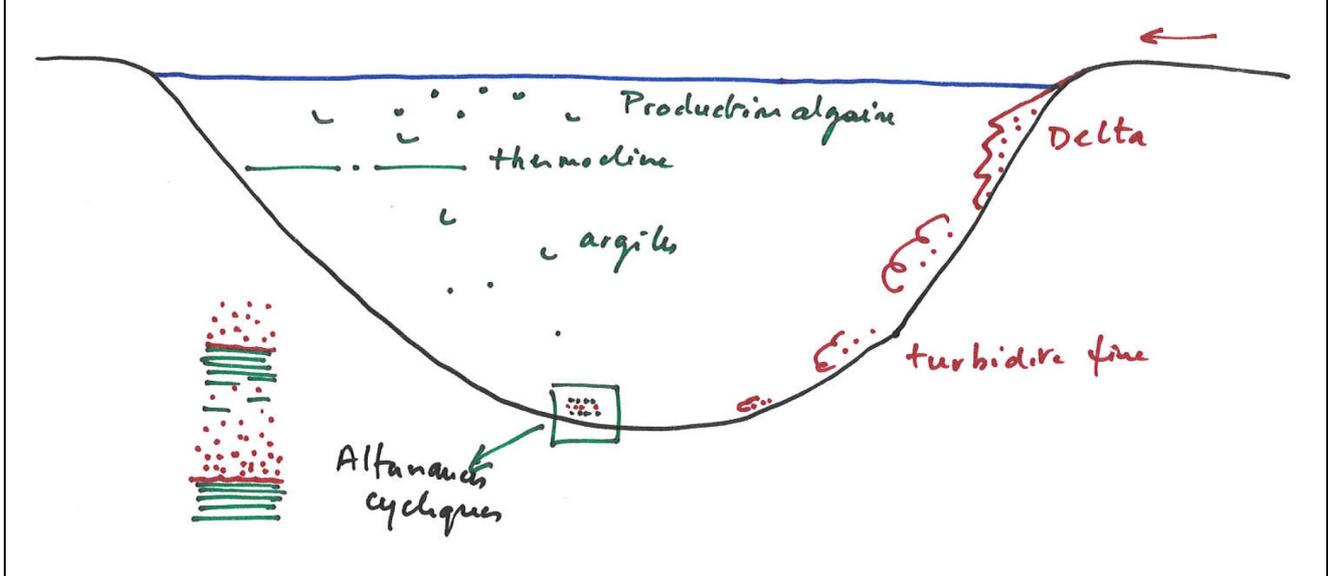
Réponse à la question II-A-2

Le faciès de l'échantillon CHE 1 – 322,60 m montre une alternance de lits clairs et de lits sombres, ayant chacun une épaisseur d'environ 1 à 1,5 cm. Les lits clairs sont visiblement faits de l'accumulation de petits grains de la taille d'un sable fin alors que l'on ne distingue pas (ou très peu) de grains dans les lits sombres mais un litage plan parallèle assez discret (par ex. au-dessus de l'étiquette). Il pourrait s'agir de particules de la taille des silts ou plus fines (argiles ?). La couleur sombre est probablement liée à de la matière organique.

La transition entre un lit sombre et un lit clair est nette (c'est-à-dire bien marquée) mais parfois irrégulière alors que la transition entre clair/sombre est plus diffuse (limite progressive). On soupçonne une

granodécroissance du sable depuis la base du lit qui pourrait alors correspondre à une arrivée brutale de matériel détritique dans un environnement calme où sédimentent les argiles et la matière organique.

La répétition des lits (au moins trois doublets visibles sur cet échantillon) conduit à envisager une sédimentation rythmique ou cyclique de type varve (si la périodicité saisonnière pouvait être prouvée) ou de type turbidite fine.



II-B – Observation, analyse et interprétation (Fig.)

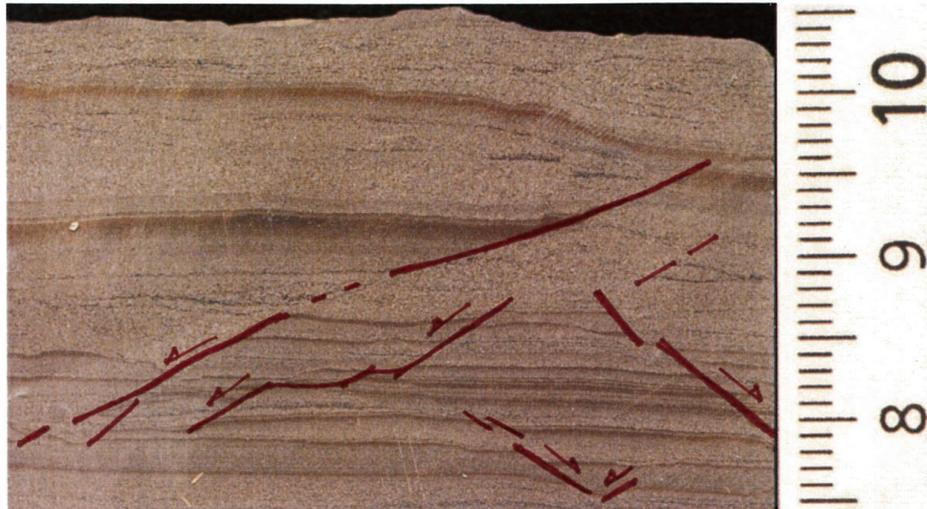
II-B-1 – Observation et analyse d’une surface polie

La photographie ci-dessous est une surface polie d’un autre intervalle silicoclastique dans la carotte CHE 1.



Réalisez ci-dessous (ou sur du papier calque que vous collerez dans le cadre) un schéma d’interprétation de l’organisation des couches et des structures à ce niveau de la carotte.

Réponse à la question II-B-1



II-B-2 – Mode de formation

Proposez une origine à cette organisation, compatible avec ce que vous avez décrit au point I comme contexte géodynamique de formation du bassin d'Autun.

Réponse à la question II-B-2

L'alternance de lits clairs et sombres de l'échantillon est perturbée/décalée selon deux directions conjuguées (visibles ici en 2D), ce qui indique une tectonique extensive syn-sédimentaire.

Cette observation à petite échelle est en accord avec le contexte géodynamique du bassin d'Autun qui est limité au Sud par une faille normale et qui montre (sur la coupe de la figure 2) une compartimentation et des changements d'épaisseur de la sédimentation en relation avec les failles affectant le bassin.

II-C – Atelier (10 min maximum)

II-C-1 – Observation macroscopique d'un échantillon de roche

Déterminez, en justifiant vos réponses, la nature de l'échantillon et les conditions de sa formation.

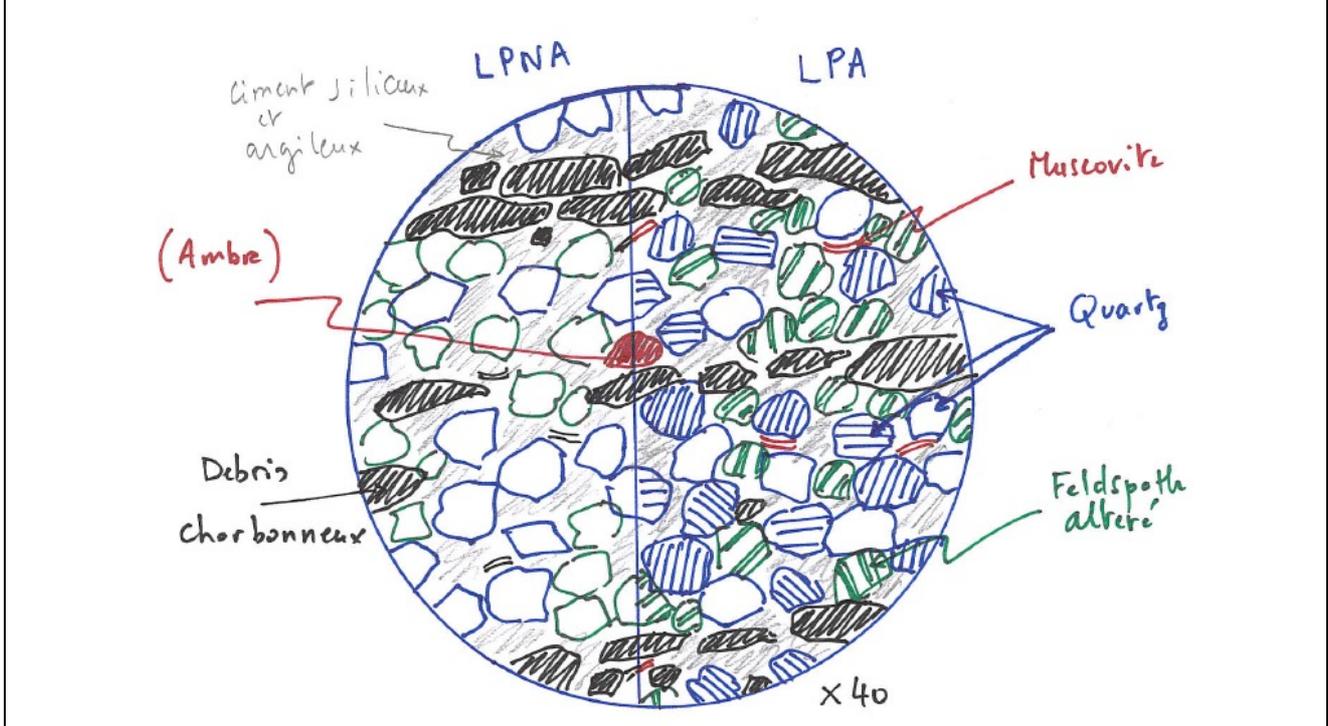
Réponse à la question II-C-1

Il s'agit d'un grès feldspathique (ou arkose) à ciment non carbonaté (pas de réaction à HCl) donc très probablement siliceux. On distingue à la loupe des grains de quartz assez anguleux (= transport limité) et des grains de feldspath plus ou moins altérés. Ces deux types de grains représentent plus de 90% des particules. Quelques grains d'autre nature, dont des lithoclastes gris foncé, sont aussi présents, mais en faible proportion.

II-C-2 – Observation et analyse d'une lame mince de roche

II-C-2- a – Réalisez dans le cadre ci-dessous un dessin légendé d'une partie de cette lame mince.

Réponse à la question II-C-2-a



II-C-2-b Proposez, en justifiant vos réponses, des conditions de formation et de dépôt pour le faciès de cette lame mince.

Réponse à la question II-C-2-b

Faciès grés-charbonneux dans lequel un litage horizontal est bien exprimé. Il s'agit d'un dépôt généré par un courant unidirectionnel qui voit s'accumuler des grains minéraux détritiques lorsque le courant est fort et où s'accumulent les particules organiques, moins denses, lorsque la vitesse du courant diminue. Ce phénomène est répétitif et peut se produire lors d'une crue ou dans un événement turbiditique. Ici l'événement de crue semble plus probable.

II-D – Analyse de couches argileuses

II-D-1 – Observation d'un affleurement

La photographie ci-dessous présente une partie de la couche bitumineuse de Muse. Dans les schistes bitumineux très compacts s'intercale un lit argileux volcano-sédimentaire ocre de 4-5 centimètres d'épaisseur, très continu sur l'ensemble du bassin.



Le crayon est fiché dans la base du lit argileux ocre, les schistes bitumineux apparaissent noirs avec une patine marron foncé ou verdâtre.

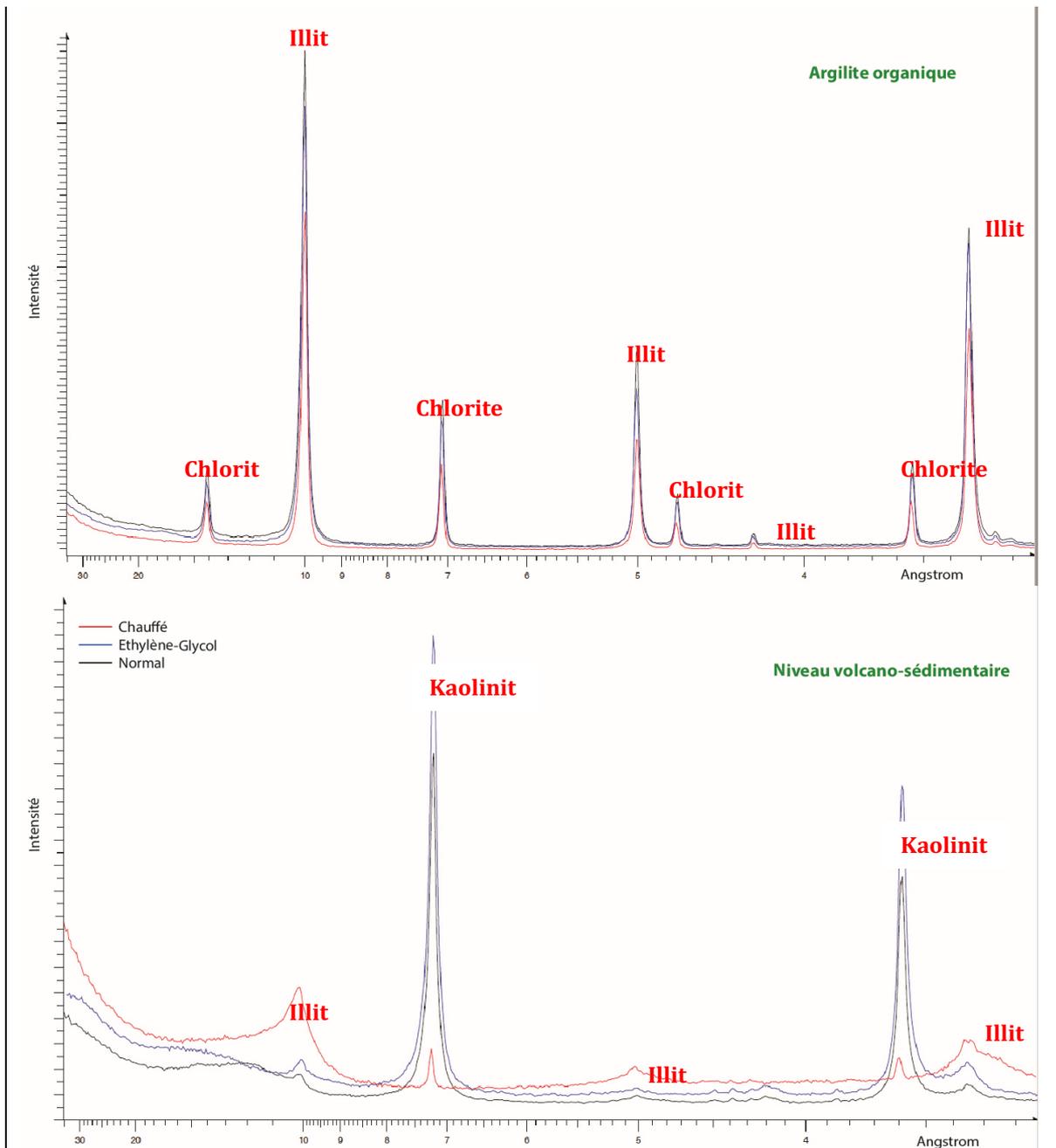
Des analyses de la fraction argileuse des schistes bitumineux et de ce lit ocre ont été réalisées par diffractions des rayons X. Les diffractogrammes sont présentés page suivante. **II-D-1-a** – A l'aide des tables ci-dessous, annotez les différents pics et déterminez les principaux minéraux argileux dans chacun de deux échantillons. I correspond aux intensités théoriques relatives calculées sur 100%.

Kaolinite		Sépiolite		Attapulgite		Illite		Vermiculite		Chlorite	
Å	I	Å	I	Å	I	Å	I	Å	I	Å	I
7.16	100	12.05	100	10.44	100	9.9	**	14.34	100	14-15	80
4.46	40	4.498	25	6.36	13	4.9	*	7.18	10	7.05	100
4.36	50	4.306	40	5.395	9	4.45	***	4.776	15	4.72	60
4.18	50	3.75	30	4.466	20	3.87	*	4.604	40	4.01	5
3.845	40	3.366	30	4.262	22	3.35	***	3.582	30	3.54	100
3.573	100	3.196	35	3.679	15	2.85	*	2.866	40	2.83	40
3.372	40	2.691	20	3.348	7	2.56	***	2.649	18	2.54	80
2.558	60	2.617	30	3.179	12	2.39	*	2.592	30		
2.526	40	2.586	?	3.096	16	2.14	*	2.552	30		
2.491	80	2.56	55	2.679	8	1.988	*	2.392	50		
2.379	60	2.449	25	2.589	10	1.497	**	2.205	10		
2.338	90	2.263	30	2.567	12			2.075	15		
2.288	80	2.069	20	2.539	20			2.015	15		

Nom	Structure	d (Å)	Ethyl-Glycol	Chauffage
Kaolinite	T-O	7	7	0
Illite	T-O-T	10	10	10
Vermiculite	T-O-T	14	14	10
Smectite	T-O-T	14	18	10
Chlorite	T-O-T-O	14	14	14

Réponse à la question II-D-1-a

La fraction argileuse du niveau volcano-sédimentaire est constituée presque exclusivement de kaolinite (avec des traces d'illite), alors que l'argilite organique contient un assemblage argileux constitué d'illite et de chlorite.



II-D-1-b – Proportion relative

Déterminez la proportion relative des différents minéraux argileux dans chacun des échantillons en expliquant la méthode employée.

Réponse à la question II-D-1-b

La proportion des différents minéraux argileux est habituellement déterminée sur la base de la surface du pic principal ($I=100$) d'un minéral donné relativement à la somme des surfaces de pics principaux de tous les minéraux argileux présents dans l'assemblage. Ici on utilisera la hauteur des pics (et non leur aire) sur le diffractogramme de l'échantillon normal après avoir dessiné la ligne de base. Les % ainsi déterminés sont donc les suivants :

Argilite organique : 76% illite et 24% chlorite

Niveau volcano-sédimentaire : 97 % kaolinite et 3% illite

II-E – Synthèse

A partir des éléments précédents et en argumentant, proposez un environnement de dépôt général et un mode de formation pour la série autunienne du bassin d'Autun.

Réponse à la question II-E

La série sédimentaire du bassin d'Autun correspond très probablement à des dépôts fluviodeltaïques à lacustres. La sédimentation terrigène domine avec des faciès argileux, gréseux voire conglomératiques. On note la présence de niveaux volcano-sédimentaires (retombées de cendres) quelques faciès carbonatés (calcaires et dolomies) et des faciès riches en matière organique (= couches bitumineuses).

Le contexte général est tectoniquement actif avec des failles dont le jeu syn-sédimentaire détermine des variations latérales d'épaisseur (à toutes les échelles) et probablement des glissements/resédimentations.

Pour autant, il devait exister des parties plus profondes du bassin (dans le temps et/ou l'espace) où la sédimentation argileuse dominait et dans laquelle des turbidites fines ou des varves se déposaient.

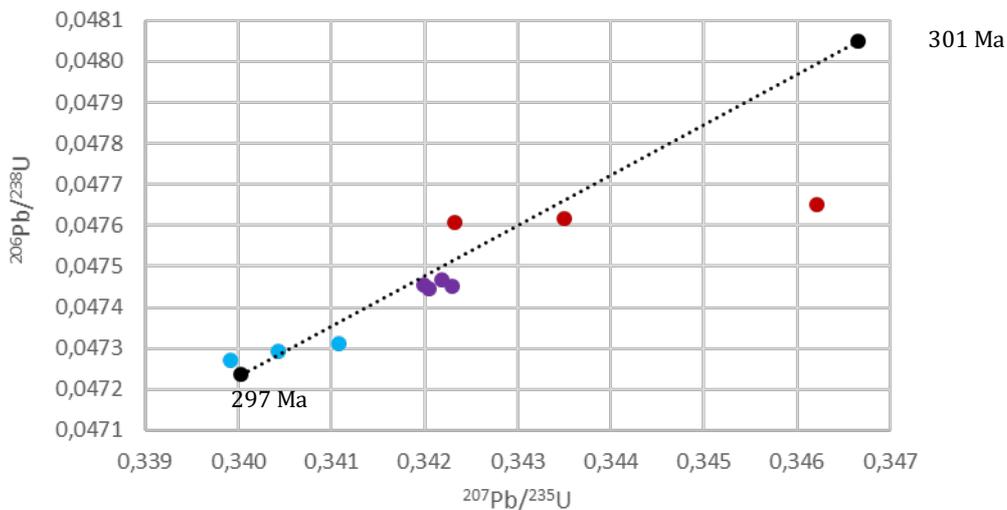
Partie III : Etude géochronologique

Différents niveaux volcano-sédimentaires, similaires à celui présenté en II.D, ont été échantillonnés à travers le bassin et les zircons qu'ils contiennent ont été analysés afin de déterminer les rapports isotopiques $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ et $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$. Les principaux résultats de ces analyses sont reportés dans le tableau ci-dessous (extrait et modifié de Pellenard et al., 2017).

Echantillon	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$
Muse		
M1	0,33992	0,047270
M2	0,34109	0,047310
M3	0,34043	0,047290
Lally		
L1	0,34220	0,047464
L2	0,34200	0,047453
L3	0,34231	0,047451
L4	0,34206	0,047444
Igornay		
I1	0,34622	0,047649
I2	0,34350	0,047616
I3	0,34233	0,047606

III-A-1 – En géochronologie, pour les systèmes riches en uranium et pauvres en plomb initial, les données U-Pb sont traitées à l'aide du diagramme Concordia dans lequel le rapport $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ est en abscisse. Tracez un tel diagramme sur le papier millimétré et replacez-y les données du bassin d'Autun.

Réponse à la question III-A-1 et III-A-2



III-A-2 – La courbe Concordia est le lieu de tous les points pour lesquels un temps t (en millions d'années) est la solution des deux systèmes isotopiques, c'est-à-dire la solution pour laquelle les âges indiqués par les deux méthodes sont concordants : $t(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}) = t(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})$.
 Connaissant la constante de désintégration de ^{238}U ($\lambda = 1,554 \cdot 10^{-10}$) et de ^{235}U ($\lambda = 9,855 \cdot 10^{-10}$) et l'équation suivante :

$$t = \frac{1}{\lambda_{238}} \ln \left(\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}} + 1 \right) = \frac{1}{\lambda_{235}} \ln \left(\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{235}\text{U}} + 1 \right)$$

Remplacez les âges absolus de 297 et 301 Ma sur le diagramme que vous avez dessiné et tracez la courbe Concordia qui correspond pour ces âges à un segment de droite.

III-B – Déterminez alors l'âge des différents schistes bitumineux du bassin d'Autun (Igornay, Lally et Muse) et commentez vos résultats.

Réponse à la question III-B

Si on prend comme valeur des rapports isotopiques la moyenne des échantillons de chaque niveau, les âges calculés sont les suivants :

ech	207Pb/235U	206Pb/238U	âge formation 206Pb/238U	âge formation 207Pb/235U
m1	0,33992	0,04727		
m2	0,34019	0,04731		
m3	0,34043	0,04729		
moyenne m	0,34018	0,04729	297 335 105	297 112 058
l1	0,3422	0,047464		
l2	0,342	0,047453		
l3	0,34231	0,047451		
l4	0,34206	0,047444		
moyenne l	0,3421425	0,047453	298 336 571	298 596 872
i1	0,34622	0,047649		
i2	0,3435	0,047616		
i3	0,34233	0,047606		
moyenne i	0,34401667	0,04762367	299 384 972	300 012 829

Soit 299,5 Ma pour le niveau d'Igornay, 298,5 Ma pour Lally et 297,2 pour Muse. Age très proches et plutôt Carbonifère que Permien selon l'échelle de la carte au 1M pour les deux plus anciens.

Partie IV : Géochimie pétrolière

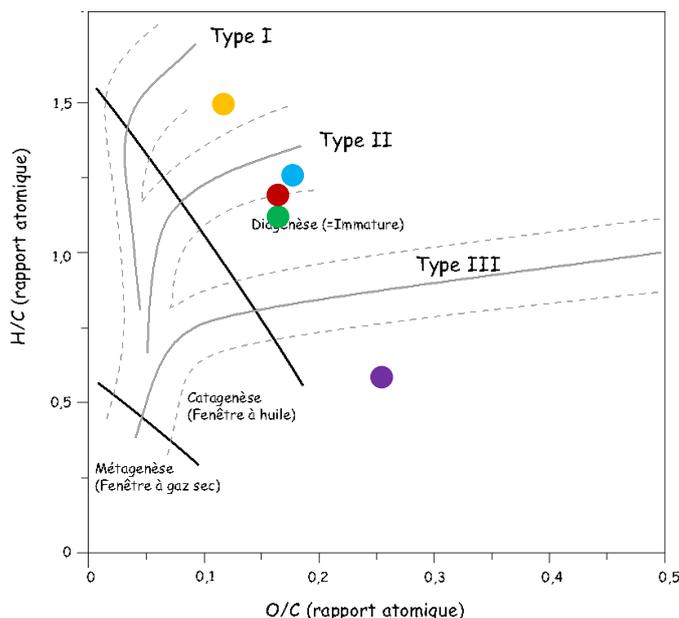
Plusieurs couches bitumineuses du bassin d'Autun furent exploitées entre le milieu du XIXe et le milieu du XXe siècle pour produire des hydrocarbures par des techniques de craquage en haut-fourneaux. Toutes ces couches n'ont pas le même potentiel à générer des hydrocarbures ce qui tient principalement au type de matière organique qu'elles renferment. On se propose ici d'estimer l'origine de la matière organique de ces schistes et leur potentiel pétrolier pour l'ensemble du bassin.

IV-A – Type de kérogène dans les schistes bitumineux

IV-A-1-a – L'analyse élémentaire (C, H, O, N et S) des kérogènes (= *matière organique insoluble*) de différentes couches de schistes bitumineux est reportée dans le tableau ci-dessous. A partir de ces données, calculez le rapport atomique H/C et O/C des différents kérogènes et reportez ces points dans le diagramme de van Krevelen ci-dessous. Masse atomique de H : 1, C : 12 et O : 16.

Couche	%C	%H	%O	%N	%S	H/C	O/C
Boghead	75	9,5	11	1	1	1,52	0,11
Surmoulin	70	7	14	0,75	2	1,20	0,15
Muse	72	8	15	1	0,5	1,33	0,16
Lally	75	5	20	0,5	0	0,80	0,20
Igornay	70	7,5	14	1	1	1,29	0,15

Réponse à la question IV-A-1-a



IV-A-1-b – Commentez le résultat obtenu

Réponse à la question IV-A-1-b

Les différents niveaux bitumineux du bassin d'Autun ne renferment pas tous le même type de kérogène. Le boghead contient un kérogène de Type I, la couche de Lally un kérogène de Type III et les trois autres couches (Igornay, Muse et Surmoulin) renferment un kérogène de Type II.

Tous ces kérogènes se situent dans le domaine d'immaturité sur le diagramme de van Krevelen, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas encore subi de craquage thermique permettant leur transformation en hydrocarbures.

IV-B – Estimation du potentiel pétrolier

Le potentiel pétrolier (en kg d'hydrocarbures par tonne de schistes bitumineux) a été déterminé pour les différentes couches présentes dans le bassin d'Autun. L'épaisseur de ces couches a été mesurée et leur extension spatiale (ici exprimée sous forme longueur-largeur) déduite des études cartographiques. Le tableau ci-dessous regroupe ces différentes informations.

IV-B-1-a – A partir de ces données, déterminez le volume (en m³), le poids (en tonnes) et le potentiel pétrolier de chaque couche individuellement ainsi que le potentiel cumulé pour l'ensemble du bassin d'Autun. On prendra une masse volumique de 2,5 g.cm⁻³ pour les schistes bitumineux.

Réponse à la question IV-B-1							
Niveau oil shales	Epaisseur moy. (en m)	Potentiel moyen (kg/t)	Longueur (m)	Largeur (m)	Volume (m3)	Tonnage (t)	Production totale (kg)
Boghead	0,3	300	4000	500	6,00E+05	1,50E+06	4,50E+08
Les Télôts	7	50	4000	1000	2,80E+07	7,00E+07	3,50E+09
Surmoulin	2	90	15000	3000	9,00E+07	2,25E+08	2,03E+10
Muse	2,5	90	15000	2500	9,38E+07	2,34E+08	2,11E+10
Lally	2	80	20000	3000	1,20E+08	3,00E+08	2,40E+10
Igornay	3	80	15000	3000	1,35E+08	3,38E+08	2,70E+10
					4,67E+08	1,17E+09	9,63E+10

IV-A-1-b – Commentez les résultats obtenus

Réponse à la question IV-B-1-b
<p>Le potentiel pétrolier de l'ensemble des couches bitumineuses du bassin d'Autun atteint 100 millions de tonnes. Bien qu'ayant un rendement exceptionnel de 300 kg d'hydrocarbures par tonne de roche, le boghead a un potentiel limité du fait de sa faible extension et très faible épaisseur. Les couches des Télôts arrivent ensuite puis les quatre autres couches bitumineuses qui présentent chacune approximativement le même potentiel (entre 20 et 25 millions de tonnes).</p>

6 Épreuves orales

6.1 La leçon d'option

6.1.1 Déroulement de l'épreuve de spécialité

Conditions de préparation

Après avoir pris connaissance du sujet, 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 bien 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. Durant son temps de préparation, le candidat doit construire sa leçon, réaliser les transparents (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. Chaque titre de leçon de spécialité est accompagné d'un nombre limité de documents (classiquement 4 ou 5) qui peuvent correspondre à des documents fournis sur transparent, des documents numériques (vidéos notamment), ou à des échantillons concrets. Le jeu de documents est conçu de façon à ce que leur analyse/exploitation par le candidat ne dépasse pas 45 minutes.

Présentation et entretiens

À l'issue des 4 heures de préparation, le candidat dispose de 50 minutes pour présenter sa leçon 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 premier 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 jury peut revenir sur des aspects traités durant l'exposé, sur la façon qu'a eu le candidat de l'exposer devant une classe / 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 ces thématiques. 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.

6.1.2 Constats et conseils

Une épreuve de haut niveau scientifique visant à répondre à une problématique

L'épreuve orale de spécialité est une épreuve pour laquelle le jury se montre exigeant, et attend des candidats une réelle démarche et rigueur scientifique dans leur démonstration. Cette épreuve porte sur les différentes rubriques du programme de connaissances générales relevant du domaine de spécialité du candidat ainsi que sur les 15 thèmes de spécialité associés. 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. Le jury rappelle qu'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. Le déroulement de son exposé doit ensuite être articulé de manière à répondre à cette problématique. 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. Ainsi, la stratégie d'apprendre par cœur des plans préconçus n'est pas une façon pertinente de 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. Et ce, d'autant que les documents fournis par le jury, risquent fort de ne pas cadrer avec cette organisation préétablie.

Le recul nécessaire pour traiter des thèmes plus ou moins classiques

Le titre de la leçon renvoie le plus souvent à des thèmes classiques connus de la majorité des candidats, il peut cependant 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 en effet 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 mettant en avant les qualités scientifiques et pédagogiques du candidat. Les membres du jury insistent sur le fait que la leçon 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.

L'exploitation des documents imposés

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 fournis doivent, bien sûr, être exploités 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 lors de l'évaluation de l'exploitation du matériel fourni. 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.

Il est rappelé à l'attention des futurs candidats qu'à partir de la session 2016, 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 premier et second degrés relevant du ministre chargé de l'éducation nationale).

Le choix et l'exploitation du matériel complémentaire

Comme déjà souligné, les documents proposés par le jury ne couvrent pas tous les aspects du sujet. Le concepteur du sujet peut notamment 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. L'exposé ne peut donc pas être construit seulement autour des thèmes que les documents permettent d'aborder. Il revient donc au candidat de compléter l'illustration de sa leçon par des documents (y compris de courtes séquences vidéo), du matériel ou des expérimentations 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. 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 aussi 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, etc.), et rappelle à cette occasion que l'observation et l'analyse du réel sont fondamentales en Sciences de la Vie et de la Terre. Toutefois, le matériel sorti doit être utilisé de façon pertinente, et 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 serait préjudiciable.

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 description des objets, spécimens et faits expérimentaux, suivie d'une interprétation raisonnée qui pourra soit conclure un paragraphe et donc répondre à une question, soit donner lieu à une nouvelle question, et servir alors de transition avec la suite de l'exposé. L'exploitation des documents est 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 ne se construise une vraie démarche scientifique fondée sur la confrontation entre les faits et les idées.

Un véritable travail de synthèse et de choix

Le jury est tout à fait conscient que 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 puissent être justifiés par le candidat. 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.

Une communication d'une qualité suffisante

L'épreuve de leçon de spécialité 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 déplore que certains candidats lisent de manière excessive leurs notes durant leur exposé ou qu'ils oublient totalement de regarder leur auditoire. Ces pratiques sont naturellement inadaptées aux exigences du métier d'enseignant et se voient pénalisées. De même, une mauvaise gestion du temps, une expression orale confuse et une utilisation trop imprécise du vocabulaire se voient sanctionnées.

Cette année, un relâchement certain dans les tenues vestimentaires et l'attitude des candidats a pu être remarqué, et dessert évidemment les candidats. Le jury tient à rappeler que ces épreuves orales font partie d'un concours de recrutement et que la présentation, la posture et le vocabulaire choisis relèvent des qualités attendues pour un futur enseignant.

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 deux autres domaines de la spécialité – elle peut revêtir des formes très variables qui visent à évaluer les connaissances du candidat et ses aptitudes à construire un raisonnement logique suite à 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 dans son secteur de prédilection.

6.1.3 Commentaires particuliers concernant les leçons d'option A

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons d'option par des commentaires spécifiques propres aux leçons d'option A.

Maîtriser les connaissances

Au cours de cette épreuve de spécialité, le candidat doit montrer ses connaissances dans des domaines pointus de la spécialité. Cependant, il ne doit pas oublier ses « fondamentaux » en biologie. Le jury a encore rencontré des erreurs récurrentes sur des connaissances simples de biologie et physiologie cellulaires, moléculaire, de biochimie, de génétique, de virologie, d'immunologie ou de neurobiologie pour ne citer que les domaines dans lesquels les manques sont flagrants. Par exemple, peu de candidats sont capables de décrire correctement les mécanismes énergétiques cellulaires, la structure de base d'une cellule musculaire striée, la diversité du monde viral, les différents récepteurs impliqués dans la réaction immunitaire, l'organisation des parois végétales, ou encore de réaliser une analyse génétique ou de démontrer les relations entre structure, propriétés et fonctions des molécules biologiques fondamentales. Il est inacceptable pour un candidat d'option A de ne pas être capable d'identifier un noyau sur une électrographie, de proposer l'amidon comme molécule de réserve animale ou de légèrer « cellulose » une matrice extracellulaire située sous une cellule épithéliale d'intestin...

Le jury a écouté cette année des candidats de niveau très hétérogène. Certains ont des connaissances très étendues et précises, associées à une grande qualité de réflexion et d'analyse. A l'inverse, d'autres candidats ont un niveau de connaissances dans le secteur A proche de celui du lycée. On rappelle ici que le niveau requis pour cette leçon d'option est un niveau master. Il n'est pas possible d'acquérir des connaissances et de les mobiliser sans un travail intellectuel d'appropriation, d'organisation, de recherche de sens et de curiosité scientifique.

Indépendamment du niveau des connaissances, le jury a souvent observé une difficulté des candidats à hiérarchiser les connaissances en plaçant au même niveau des mécanismes fondamentaux et des détails de mécanismes biologiques ; par exemple, décrire les « flipases » inhibées lors du mécanisme d'apoptose mais ne pas savoir dans quels mécanismes physiologiques est impliquée l'apoptose. Il est préférable pour un enseignant scientifique de comprendre et manipuler les notions de bases et d'être capable de les compléter par des détails recherchés dans des ouvrages ou sites internet que l'enseignant a l'habitude de consulter. A cet égard, la

maîtrise de la bibliographie mise à la disposition des candidats, dont le contenu est en adéquation avec les attendus du jury, permettrait 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.

Enfin, le jury s'inquiète d'un manque de curiosité scientifique et de capacité à expliciter scientifiquement des notions véhiculées par les médias généralistes comme les thérapies géniques ou cellulaires, les OGM, les cellules souches...

Organiser l'exposé

Dans l'introduction, la contextualisation a souvent été artificielle et ne permettait pas de savoir vers quelles démonstrations l'orateur voulait emmener son auditoire. Il vaut mieux privilégier une introduction classique exposant les définitions des différents mots du sujet pour ensuite les associer, ce qui amène à proposer une démarche construite pour traiter le sujet. Il faut apporter un soin particulier à la problématique, qui n'est pas toujours pertinente et souvent très artificielle.

La recherche d'un plan original peut être contre-productive quand elle aboutit à l'oubli d'un pan majeur du sujet. Mieux vaut faire la démonstration de sa maîtrise des concepts de base de la biologie dans un plan classique d'exposé, en particulier quand le sujet n'est pas parfaitement maîtrisé par le candidat. En outre, le plan ne peut pas être construit comme une simple succession de présentations des documents proposés par le jury sans que ceux-ci ne soient intégrés dans une réflexion d'ensemble.

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... 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

Il n'y a aucun formalisme imposé pour la leçon. Ainsi, un schéma bilan n'est pas exigé, surtout si celui-ci n'apporte rien. Cependant, certains schémas, souvent construits progressivement, sont très intéressants car ils synthétisent la notion.

La conclusion se borne trop souvent à une répétition des grandes lignes du plan, sans qu'une mise en perspective ou une ouverture pertinente ne soient proposées.

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 la seconde partie de l'intitulé et se concentrent sur les mécanismes moléculaires précis sans resituer le mécanisme 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, chose dont la plupart des candidats se révèle incapable. L'utilisation de programme 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).

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 ! C'est ici l'occasion de rappeler qu'un échantillon ou un document ne doit pas être fourni au jury dans « son jus », il doit être accompagné de tous les éléments permettant de rendre sa compréhension aisée. En particulier, les lames histologiques (qui ne sont pas des « lames minces ») présentées sous microscope doivent être accompagnées d'un dessin d'observation légendé. Les électronographies 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.

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. Le matériel complémentaire présenté par le candidat doit apporter un plus au traitement du sujet et il doit s'intégrer dans la démarche proposée. On a parfois l'impression que certains candidats souhaitent placer à tout prix une expérience ou une manipulation qu'ils connaissent, mais qui n'est pas en lien direct avec le sujet.

Adopter une démarche scientifique

Même si cela a déjà été fait, le jury tient à réaffirmer ici que, quel que soit le sujet posé, le candidat doit adopter pour y répondre une démarche scientifique basée sur l'observation de faits ou d'objets scientifiques. Les documents imposés par le jury proposent fréquemment des supports pour cette démarche. On rappelle que celle-ci ne saurait en aucun cas se réduire à la seule succession des analyses de ces documents, que certains candidats proposent comme succédané de plan.

Il est important de passer du temps sur les documents fournis dans le sujet. Ils sont trop souvent survolés. Ils doivent être décrits (protocole expérimental par exemple), analysés et interprétés avec précision. 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. Trop souvent, l'analyse proposée par le candidat manque de rigueur : elle se borne à la paraphrase des résultats et conduit le candidat à plaquer des connaissances inappropriées sur les documents. L'analyse doit se poursuivre par une conclusion clairement explicitée et une interprétation des résultats, c'est-à-dire une mise en perspective vis-à-vis de la démarche globale de la leçon, et lorsque cela s'y prête, la formulation d'hypothèses pour expliquer les observations. De même l'intégration des documents dans la leçon, laissée à l'initiative du candidat, est très souvent maladroite, voire inexistante. 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. Par ailleurs, certains documents sont proposés pour attirer l'attention du candidat sur un aspect du sujet qui mérite d'être développé au-delà de ce qui est montré dans le document : le jury attend alors du

candidat qu'il prolonge l'approche en apportant d'autres données. A l'inverse, certains aspects du sujet, souvent classiques, peuvent ne pas être abordés dans les documents proposés par le jury mais sont néanmoins attendus.

Adopter une démarche didactique et pédagogique

La démarche didactique n'est souvent pas assez mise en avant par les candidats. Le haut niveau des connaissances demandées au cours de la leçon de spécialité ne doit pas faire oublier au candidat que le jury teste aussi 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 sur leur capacité à transmettre des concepts complexes à leurs futurs élèves.

Maîtriser l'oral

Les candidats ont globalement des qualités de communications satisfaisantes (positionnement de la voix, occupation de l'espace, etc.) et la gestion du temps d'exposé est correcte. Le jury attire néanmoins l'attention sur des formulations inappropriées qui faussent la compréhension par l'auditoire et peuvent dénoter un problème de logique du candidat : l'usage du futur qui suggère faussement des successions d'évènements, le finalisme qui doit être absolument banni. La précision du vocabulaire est indispensable. Ainsi, le verbe « permettre » ne doit pas être employé à la place d' « induire ». L'expression vague « A est important pour B » est trop souvent énoncée comme seule interprétation des documents, alors que ceux-ci démontrent que A contrôle, stimule, inhibe ou potentialise B.

Rester mobilisé pour les entretiens

Le jury est conscient que la durée totale de l'examen, 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, par le jury, 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. Le jury rappelle que les deux entretiens qui permettent d'explorer les connaissances dans des domaines différents de celui de la leçon 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 sinon justes au moins pertinentes. En revanche, il apprécie les candidats qui construisent une réponse réfléchie et argumentée lorsqu'ils ne connaissent pas une réponse et qui savent interagir avec le jury pour élaborer cette réponse.

6.1.4 Commentaires particuliers concernant les leçons d'option B

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons d'option par des commentaires spécifiques propres aux leçons d'option B.

Utilisation des ouvrages de la bibliothèque

La liste des ouvrages demandés par le candidat est consultée par le jury durant la leçon. L'adéquation et la pertinence de la bibliographie par rapport au sujet sont alors appréciées. Il s'avère que pour une partie des candidats, cette liste est beaucoup trop longue et s'avère contre productive pour la construction de la leçon. Le jury invite les candidats à mieux s'appropriier les ouvrages de la liste durant leur préparation. Il est demandé aux candidats de renseigner avec soin la fiche de matériel en indiquant le titre des ouvrages utilisés plutôt que leur code.

Contextualisation et approche du sujet

Le jury a noté une tendance à la construction de l'introduction avec des situations « déclenchantes ». Cette méthode amène à concevoir des manipulations et/ou développements très maladroits, souvent éloignés du sujet. En général, une mise en perspective et une contextualisation permettraient de dégager l'intérêt scientifique du sujet et d'élaborer le questionnement qui en découle.

De même, le jury est très attentif à la construction des notions à travers la démarche scientifique adoptée par le candidat. Ainsi, il est attendu que ce dernier construise les développements en partant des faits observables des supports imposés et complémentaires et des données expérimentales issues de la bibliographie ou des documents du jury.

Elaboration des traces écrites au tableau

Les titres des parties et sous-parties sont en général bien conçus et constituent des éléments de réponse aux problématiques, mais il est à noter que le soin porté à la présentation et aux schémas réalisés reste souvent insuffisant. Les schémas fonctionnels sont souvent non finalisés et n'envisagent que trop peu d'aspects relatifs au sujet, tandis que le schéma-bilan est squelettique et ne relate pas le niveau et les attendus du sujet. La construction d'un schéma-bilan doit être une réelle plus-value dans un exposé et non, une obligation ou (pire) un subterfuge pour gagner du temps.

Exploitation des documents et du matériel imposés

Le dossier proposé par le jury est composé de documents imprimés sur des transparents pour la rétroprojection (ainsi qu'une version papier pour faciliter la lecture). S'y rajoute du matériel frais ou conservé.

Le jury attend que les documents soient analysés et interprétés et non pas simplement paraphrasés. L'ordre des documents dans le dossier ne constitue en rien une séquence d'intégration dans la leçon. Ces données servent à illustrer des notions précises que le jury souhaite voir intégrées dans la démarche sans pour autant être surdéveloppées. Le matériel imposé doit être intégré à la progression afin d'illustrer les notions de la leçon. Mais pour cela le jury attend que les candidats exploitent efficacement les supports proposés en réalisant des préparations de qualité (dissections, coupes histologiques, colorations, etc.), des montages soignés (microscopiques, sous loupe, éclairés, etc.), et en accompagnant les observations de dessins légendés et/ou de fléchages des structures d'intérêt pour le sujet (pointeur du microscope, étiquette-légende pour les dissections).

Le choix et l'exploitation du matériel complémentaire

Le jury est attentif au matériel complémentaire demandé par le candidat ; il apprécie la pertinence des demandes (diversité des échelles, richesse du contenu, etc.), la diversité des supports complémentaires (matériel frais, vidéos, bandes sonores, cartes, etc.) et surtout l'exploitation qui en est faite. Trop souvent ces supports sont simplement intégrés au déroulé de la leçon, sans qu'une réelle démarche scientifique soit adoptée. Cette dernière doit s'appuyer sur des faits qui permettent d'envisager des hypothèses dont les plus raisonnables sont testées et validées/invalidées afin de dégager les notions qui peuvent alors être généralisées. Il est encore à noter que les dissections doivent être présentées sous l'eau avec une observation à la loupe si nécessaire. Une exploitation correcte de ce travail impose un schéma/dessin, une légende, éventuellement un fléchage. Les zones d'observation en microscopie doivent être au préalable repérées afin d'illustrer efficacement la leçon.

Le niveau scientifique sur le programme de spécialité

Cette année encore, le jury constate des lacunes et confusions sur l'identification des échantillons classiques végétaux et animaux. Cette méconnaissance mérite d'être comblée pour le naturaliste que doit être l'enseignant des Sciences de la Vie. Le jury veillera à évaluer encore ces connaissances lors de la prochaine session. Le jury a souvent constaté que les processus physiologiques étaient sommairement explicités et parfois même limités aux seules informations tirées des lectures lors de la préparation de la leçon. L'attention du jury se porte d'une part sur la connaissance des principes biologiques et physiologiques et d'autre part sur la maîtrise du fonctionnement cellulaire et histologique. Il est à noter que les approches physiques des processus ne sont pas maîtrisées et que les candidats n'ont pas de regard critique quant à leurs applications. Concernant les notions relatives à l'évolution, trop de candidats sont encore très finalistes et ne semblent pas y voir de problèmes. Les méthodes de reconstruction phylogénétique sont largement inconnues de nombreux candidats, les mécanismes évolutifs sont souvent mal maîtrisés et mal formulés.

6.1.5 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 d'option C.

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.

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.

- L'analyse de roches et ou d'échantillons macroscopiques et de lames minces (confusion entre péridotite-gabbro ; plagioclase-pyroxène ; organismes fossiles ; ciment-matrice).
- La notion d'anomalie en géophysique, les candidats ne mentionnant souvent pas l'existence d'un modèle de référence.
- La différence entre géoïde et ellipsoïde.
- L'exploitation de diagrammes de phase lors de l'étude de processus magmatiques.
- Les relations contraintes-déformations
- La définition du $\delta^{18}\text{O}$, de même que la signification de ses variations dans la glace ou dans les tests de foraminifères.
- La signification des roches sédimentaires en termes de faciès, qui demeure souvent très approximative.
- Le principe et le fonctionnement des outils expérimentaux les plus classiques (GPS, radar, sonde électronique, spectromètre).

L'utilisation des cartes géologiques par les candidats n'est pas adaptée : la carte au millionième est souvent mal employée et les cartes au 1/50000 et 1/250000 ne sont que trop rarement utilisées et exploitées correctement. L'utilisation des modèles analogiques est utilisée mécaniquement et trop souvent sans compréhension des lois d'échelle, des limites et des biais. De solides connaissances géographiques sont exigées en particulier pour situer certaines structures ou régions géologiques remarquables (la position des différents océans, par exemple) Enfin, les membres du jury de l'option C souhaitent rappeler qu'une solide formation naturaliste est attendue des candidats à l'Agrégation externe de SV-STU.

Organisation de l'exposé / Démarche

Les plans proposés par les candidats sont souvent scolaires et présentent des titres peu démonstratifs ou non homogènes. Le manque de problématique définie, posée en introduction empêche souvent la construction d'une leçon suivant un fil directeur bien identifié : les candidats se contentent d'un empilement de résultats, données ou modèles, sans hiérarchie claire. De façon générale, il semble que les candidats s'interdisent l'utilisation de documents d'appel ou d'accroche dans leur introduction contrairement aux leçons de contre-option.

Rares sont les candidats qui partent de l'observation pour construire une démarche scientifique intégrée, permettant d'aboutir à une interprétation et des modèles. Toutefois la démarche scientifique n'interdit pas de partir d'un modèle pour en comprendre la construction, ou pour tester ledit modèle et montrer comment les connaissances permettent de l'améliorer : exemple de l'utilisation du modèle PREM dans la connaissance de la structure interne de la Terre.

Trop souvent, lorsqu'ils ne maîtrisent pas bien le sujet de la leçon, les candidats ont tendance à se plonger dans les ouvrages les plus spécialisés sur le sujet et à présenter devant le jury des concepts et des dispositifs expérimentaux qu'ils ne maîtrisent pas du tout, alors que les notions de base sur le sujet sont à peine abordées. Lorsqu'un

sujet n'est pas du tout maîtrisé, il est recommandé de consulter les ouvrages généralistes. Il faut alors privilégier la présentation des concepts de base sur le sujet, afin de prendre le temps pendant la préparation de la leçon, de s'approprier ces concepts et de les maîtriser au mieux.

Exploitation des documents fournis et des documents complémentaires

Les documents proposés par le jury sont souvent des transparents rapportant 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.

L'exercice de présentation et d'exploitation des documents permet ainsi d'évaluer conjointement les capacités d'analyse scientifique et les qualités pédagogiques.

- L'utilisation des documents sur transparents (ou au format pdf) doit être personnalisée et produire une interprétation. Pour être efficace dans la présentation et l'exploitation de ces documents, il faut à la fois penser à décrire de façon précise et compréhensible le document et en tirer rapidement les résultats principaux. Les candidats doivent donner les informations essentielles (et/ou utiles à leur leçon) précisées sur le document (orientation, localisation, échelles, unités, etc.). Il ne s'agit pas non plus pour le candidat de passer trop de temps à relire toutes les légendes et à essayer de retrouver ses conclusions. Il faut faire ressortir l'apport du document à la compréhension du sujet et non se limiter à une simple description, en intégrant pleinement le document dans la construction de l'exposé.
- Les échantillons et 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 le nom des minéraux, la texture, la caractérisation morphologique des objets.
- 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, débit, durées, concentrations ... sont rarement présentés.

Communication

Les candidats maîtrisent de mieux en mieux les différents moyens de communication (vidéoprojecteur et rétroprojecteur) mais au détriment de l'utilisation du tableau. L'occupation du tableau est souvent mal gérée et ce dernier est accaparé par le plan. 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, en tous cas une représentation graphique des points forts de la leçon. Tous les sujets de secteur C ne se prêtent pas à un "schéma bilan", néanmoins, le tableau doit contenir le message essentiel que le candidat a décidé de faire passer.

Lorsqu'un « schéma-bilan » est réalisé il faut faire attention à sa pertinence. Le 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 pali pas au manque de connaissances approfondies sur le sujet !

6.1.6 Liste des leçons d'option de la session 2018 :

Leçons d'option du secteur A

Apports d'Agrobacterium tumefaciens à la biotechnologie végétale
Carboxylations et décarboxylations
Détermination et différenciation sexuelle dans l'espèce humaine
Dynamique du cytosquelette des cellules eucaryotes
Immunité et cancer
Immunité innée chez les plantes
L'eau et les biomolécules
L'obésité
L'utilisation des virus par l'Homme
La coopération entre l'immunité innée et adaptative
La culture de cellules animales : apports et limites
La détermination cellulaire
La fécondation et les aides à la procréation dans l'espèce humaine
La génétique des organites
La glande thyroïde et ses hormones
La maladie de Parkinson
La mitochondrie des cellules animales
La perméabilité membranaire à l'eau
La plaque motrice
La réception du signal hormonal chez les végétaux
La relation structure fonction à l'échelle moléculaire
La réplication de l'ADN des cellules
La réponse à une hémorragie
La somesthésie
Le baroréflexe
Le complexe hypothalamo-hypophysaire
Le contrôle de l'activité des protéines lors du cycle cellulaire
Le contrôle de l'activité enzymatique
Le diabète insipide
Le maintien de l'intégrité des génomes
Le message nerveux
Le signal lumière chez les plantes
Le spermatozoïde : une cellule spécialisée
Le vin
Les ARN et leur coopération fonctionnelle
Les cellules de l'épithélium intestinal
Les cellules des crêtes neurales
Les cellules du tissu nerveux
Les cellules souches
Les déplacements des cellules eucaryotes
Les interactions non covalentes et les biomolécules
Les levures, organismes modèles en génétique

Les méthodes d'étude des neurones
Les modifications post-traductionnelles des protéines
Les organismes modèles en biologie du développement
Les pigments des angiospermes
Les potentiels d'action
Les protéines du globule rouge
Les réactions du muscle à l'activité sportive
Les recombinaisons génétiques
Les synapses
Les systèmes-portes
Les thérapies géniques et cellulaires applicables aux maladies dégénératives
Les transferts génétiques chez les procaryotes
Les transporteurs membranaires
Les virus, des parasites intracellulaires obligatoires
Mise en place et adaptation du répertoire immunitaire au cours de la vie
Paroi cellulaire et développement végétatif des Angiospermes
Résistance des bactéries aux antibiotiques
Séquençage des génomes : principes et apports
Stratégies infectieuses des bactéries pathogènes
Unité et diversité des mécanismes de l'immunité chez les Métazoaires

Leçons d'option du secteur B

Acclimatation et adaptation à l'altitude chez les vertébrés
Adaptation des végétaux aux milieux humides
Adaptation des végétaux aux milieux humides
Apprentissages : aspects comportementaux, neurobiologiques et évolutifs
Autofécondation et allofécondation
Bilan hydrique chez les animaux terrestres
Biologie et écologie des algues de la zone intertidale
Biologie et physiologie des végétaux en milieu sec
De l'induction florale à la fleur
Espèce et spéciation
Gestation, parturition et allaitement
Gestation, parturition et allaitement
L'activité cardiaque chez l'Homme
L'adaptation dans le cadre de l'évolution
L'autotrophie pour l'azote chez les angiospermes

L'édification de l'appareil végétatif des angiospermes

L'excrétion azotée et les milieux de vie des animaux

L'importance des microorganismes dans le cycle de l'azote

La biologie des graines

La biologie des orchidées

La coévolution

La compétition interspécifique

La dépense énergétique et ses variations chez l'Homme

La dépense énergétique et ses variations saisonnières chez les animaux

La dispersion chez les animaux

La diversité des algues

La domestication

La dynamique des écosystèmes

La feuille, organe des Angiospermes impliqué dans la fonction de nutrition

La fonction de transport du sang chez les mammifères

La fonction ovarienne chez les mammifères

La gamétogenèse chez les mammifères

La masse corporelle et ses relations avec la morphologie, le métabolisme et la physiologie des vertébrés

La microphagie

La réduction du carbone et de l'azote lors de la nutrition des angiospermes de type C3

La reproduction sexuée en milieu aérien

La sélection naturelle

La vie dans la zone intertidale

La vie ralentie chez les végétaux

Le contrôle hormonal de la différenciation sexuelle

Le poumon des vertébrés : évolution et adaptation

Les ajustements physiologiques accompagnant un exercice physique

Les fonctions hépatiques

Les insectes : des animaux aériens

Les mécanismes photosynthétiques de type C4 et CAM et leur importance biologique

Les organismes épiphytes

Les peuplements pionniers

Les phylogénies et leurs utilisations

Les pigments respiratoires des métazoaires

Les populations, objets d'étude

Les relations anatomiques et fonctionnelles entre les échangeurs respiratoires et les systèmes de convection interne des métazoaires

Les relations plantes-insectes

Les rythmes saisonniers chez les animaux

Les sèves et leur circulation

Les signaux sonores

Les solutions circulantes des angiospermes aériennes

Les stomates

Les symbioses chez les végétaux

Les vaisseaux sanguins chez les mammifères

Les végétaux de l'écosystème forestier

Locomotion et milieu de vie chez les vertébrés : aspects biomécaniques et énergétiques

Oviparité et viviparité

Pollen et pollinisation

Unité et diversité des arthropodes

Unité et diversité des mollusques

Unité et diversité des mammifères

Leçons d'option du secteur C

Ages et durées en géologie

Bassins sédimentaires et tectonique des plaques

Bioconstructions et plateformes carbonatées

Du rift continental à la dorsale

Du sédiment à la roche

Impacts de la géodynamique interne sur le climat

L'enregistrement sédimentaire des variations du niveau marin

L'orogénèse hercynienne

La collision continentale

La conquête du milieu terrestre

La déformation des roches à toutes les échelles

La lithosphère océanique

La reconstitution des paléoenvironnements continentaux

Le magmatisme du Massif Central

Le magnétisme terrestre à différentes échelles
Le manteau terrestre
Le noyau terrestre
Les couplages océan-atmosphère
Les cycles du carbone à différentes échelles de temps
Les fossiles : outils pour le géologue
Les marges passives
Les matériaux géologiques dans l'industrie
Les météorites
Les ressources hydrogéologiques en France
Les risques géologiques majeurs
Les variations climatiques au Quaternaire
Métamorphisme et contextes géodynamiques
Organismes marins et genèse des sédiments
Originalité de la Terre dans le système solaire
Origine et évolution de la matière organique
Origine et évolution des Hominidés dans leur contexte environnemental
Origine et genèse des granites
Ressources minérales et processus endogènes
Rhéologie et déformations, de la roche à la lithosphère

6.2 La leçon de contre-option

Cette épreuve 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).

6.2.1. Le déroulement de l'épreuve

Conditions de préparation :

Après avoir pris connaissance du sujet, le candidat dispose de 4h pour préparer sa leçon. Aucun document ne lui est imposé, contrairement à l'épreuve de spécialité. Après une réflexion de 15 minutes, l'accès à la bibliothèque est autorisé. Le candidat remplit une fiche lui permettant d'obtenir les ouvrages, les documents et les matériels dont il estime avoir besoin. Le jury rappelle qu'il est impératif que le candidat indique bien sur la fiche prévue à cet effet les ouvrages et le matériel demandé. Aucun matériel d'expérimentation n'est fourni dans les 30 dernières minutes de la préparation. Il en est de même pour les documents et autres supports dans les 15 dernières minutes. Durant son temps de préparation, l'étudiant doit construire sa leçon, réaliser les transparents qui lui semblent indispensables et, si possible un ou plusieurs montages expérimentaux.

Conditions de présentation et d'entretien :

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.

Dès 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 deuxième contre option.

L'oral de contre option est donc une épreuve qui nécessite une concentration permanente, une bonne réactivité et de solides connaissances générales.

6.2.2 Constats et conseils

Le jury a assisté à quelques leçons dogmatiques, très théoriques et sans démarche démonstrative. Ce type d'exposé, qui ne constitue heureusement pas la majorité, doit être proscrit. Les connaissances actuelles en sciences de Vie, de la Terre et de l'Univers reposent sur des faits d'observation, des relevés de mesures, des expériences. Il est donc important que le futur enseignant intègre cette démarche dans la conception de ses leçons. Ainsi, des expériences, des montages, des schémas explicatifs ou des manipulations, même simples, sont toujours très appréciés par le jury.

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.

Au-delà des connaissances pures, le jury attache aussi une grande importance à la perception du sujet par le candidat. Le libellé du titre, l'identification des mots clés, la recherche d'une problématique biologique ou géologique claire doivent conduire les candidats à proposer une progression qui donne du sens.

D'autre part, le format de l'épreuve impose un rythme soutenu dans le questionnement qui suit l'exposé. Ainsi, le jury observe souvent une baisse de réactivité très nette au cours des entretiens. Il est donc impératif de garder de l'énergie pour ces derniers. Il est ainsi important de profiter du temps proposé par le jury pour se désaltérer afin de se réhydrater mais aussi de bien « souffler » avant de démarrer l'entretien.

6.2.3 Quelques particularités propres à chaque secteur

Secteur A

Le titre des leçons proposées recouvre généralement une ou plusieurs problématique(s) que le candidat doit énoncer de façon claire. Il s'agit d'une étape importante et difficile car elle requiert, de la part du candidat, un minimum de connaissances sur le sujet proposé et le recul nécessaire pour les mettre en perspective. Cette problématisation va souvent de pair avec une bonne maîtrise, par le candidat, du sens biologique des phénomènes concernés. Par exemple, une leçon sur la différenciation cellulaire nécessitera une mise en perspective de ce phénomène dans le cadre des processus de développement et de régénération tissulaire. C'est aussi sur la base de cette problématique claire que le candidat pourra bâtir la progression de sa leçon. Il est donc indispensable de mettre en avant les idées essentielles à traiter dans la leçon et cela permettra au candidat, lorsque c'est pertinent, d'élaborer un schéma bilan au tableau. Le jury tient à rappeler, encore une fois, qu'un schéma bilan n'est pas une simple juxtaposition de mots clés reliés par des flèches.

Trop souvent, les candidats fondent leur progression sur un modèle théorique préexistant et présenté d'emblée en début de leçon. Les observations sont ensuite utilisées pour être plaquées sur le modèle et le justifier *a posteriori*. Cette démarche est à l'opposé d'une démarche scientifique qui, sur la base d'un certain nombre d'observations, d'arguments, d'expériences, d'investigations, aboutit à la construction progressive d'une théorie plus tard enrichie ou modifiée par de futurs apports. L'observation du réel et l'expérimentation jouent, dans cette perspective, un rôle prépondérant. Pour les candidats, elles devraient être un passage quasiment obligatoire pour amorcer puis accompagner la démarche explicative. Ainsi, le candidat doit s'appuyer sur du matériel en assurant une réelle exploitation de ce matériel, il ne faut pas se limiter à une simple illustration. Par exemple, la présentation d'une molécule

grâce au logiciel RasTop nécessite un minimum de traitement du fichier afin de mettre en exergue des éléments utiles à la démonstration.

Le secteur A couvre les champs de la : « biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire ; leur intégration au niveau des organismes ». Trop de candidats oublient la deuxième partie de cet intitulé en passant sous silence l'intégration des mécanismes moléculaires et cellulaires à l'échelle des organismes : ils se précipitent ainsi sur la description des mécanismes moléculaires en laissant de côté la signification biologique de ces mécanismes et phénomènes dans le cadre des cellules, des tissus et des organismes. Le jury est, certes, sensible au fait que le candidat maîtrise les aspects moléculaires mais l'intégration biologique nécessite que ces aspects puissent être mis en perspective dans le cadre d'un balayage de toutes les échelles de la molécule à l'organisme.

L'ensemble des conseils précédents ne peut être suivi efficacement qu'à la condition que les candidats aient une maîtrise suffisante des connaissances dans le secteur A et qu'ils sachent, surtout, hiérarchiser ces connaissances. Inutile par exemple de maîtriser tous les aspects de la transduction via les récepteurs liés aux protéines G si, par ailleurs, la notion d'hormone ne peut pas être définie de façon simple. Le jury a été très étonné cette année par l'absence quasi totale de connaissances de base dans le secteur A de certains candidats. De nombreux candidats ne maîtrisaient pas la structure de base de la cellule et son fonctionnement ainsi que la structure des macromolécules biologiques !

En revanche, quelques candidats dont les connaissances dans le domaine sont plus faibles montrent pour autant ces capacités de réflexion et d'analyse. Ils seront, à n'en pas douter, de bons enseignants car ils sauront aller chercher les informations et les comprendre pour construire une séquence d'enseignement.

Secteur B

Malgré une hétérogénéité réelle, de nombreux candidats présentent des leçons de bon niveau scientifique, bien illustrées et fondées sur une démarche démonstrative. Cependant une constante persiste : la rareté d'utilisation de matériel frais ou de petits montages utilisant du matériel frais. Quand des dissections sont réalisées, elles sont assez souvent présentées à sec et ne sont absolument pas démonstratives. Le jury insiste sur la nécessité d'appuyer ses constats quand cela est possible sur des expériences et manipulations simples utilisant du matériel frais ! De futurs professeurs de biologie ne sauraient se contenter de montrer des schémas de livres ou de simplement illustrer leurs cours de photographies. Certains candidats témoignent d'une bonne réactivité au cours des entretiens dans la contre-option b. Leur culture naturaliste est correcte, les bases de la physiologie des organismes et les adaptations aux milieux de vie sont maîtrisées et pour certains les concepts en écologie et évolution sont connus et relativement compris. Mais ce n'est pas le cas général, loin s'en faut, et il y a donc lieu de renforcer les acquis des futurs candidats en biologie des organismes et des populations pour réussir correctement cette première partie de l'épreuve de contre-option. Notamment, les apports de Darwin, la construction de la théorie de l'Évolution ainsi que les bases du fonctionnement des écosystèmes sont en général peu maîtrisés et il est donc important de développer le fond scientifique des candidats dans ces domaines de connaissance.

Secteur C

La liste des sujets posés permet de couvrir le programme de façon homogène. Cette épreuve ne demande que des connaissances classiques et assez générales, permettant de

voir si le candidat est capable de soutenir un discours géologique de niveau lycée. Certains candidats ont parfaitement maîtrisé cette épreuve. Il faut cependant bien lire le titre du sujet : "la sédimentation océanique" n'est pas le même sujet que "les sédiments océaniques". Dans le premier cas, on s'intéresse aux processus sédimentaires et non à l'évolution des sédiments.

L'utilisation du vidéoprojecteur et du rétroprojecteur est en revanche correctement intégrée par la plupart des candidats. Les candidats ont la possibilité de projeter des documents à l'écran, ou d'obtenir des transparents d'images issues des livres consultés. Le jury n'estime donc pas très utile de recopier des images à la main (comme la carte de répartition des sédiments océaniques!). Comme dans toute discipline naturaliste, le jury est sensible à une démarche fondée sur l'observation et l'analyse d'objets réels en priorité. Une introduction posant un problème de sciences de la Terre en montrant un « objet » (une photo de volcan, une carte du monde, un film etc.) est souvent une bonne démarche. Trop de présentations commencent par des platitudes et ne posent pas vraiment une problématique qui est alors introduite par un « on peut donc se demander » totalement péremptoire. L'utilisation d'observations d'objets réels ou de phénomènes actifs est un excellent moyen d'introduire de nombreux sujets et fait une très bonne accroche. Nous avons noté cette année un effort réel dans la présentation d'échantillons, de cartes ou de photographies présentées en accompagnement. Cependant les documents sont souvent mal maîtrisés (en particulier les échantillons pétrologiques). Si la démarche de multiplier les supports est louable, ceux-ci doivent être les données ou informations nécessaires à l'illustration du propos. De ce point de vue, l'exploitation des échantillons est souvent trop sommaire, limitée au nom de l'échantillon que l'on a demandé sans expliquer les critères qui ont permis de le reconnaître. Trop peu de candidats s'appuient sur la carte géologique de France au millionième, pourtant utilisable avec la majorité des leçons posées. Les échantillons classiques et leur minéralogie sont pourtant largement utilisés dans les programmes d'enseignement secondaire. Le microscope polarisant installé dans chaque salle n'est utilisé qu'exceptionnellement. Une nouvelle dérive visant à demander beaucoup de matériel est également préjudiciable si c'est derniers sont peu ou mal exploités. Il est important de rappeler que la quantité ne fait pas la qualité.

Souvent les candidats présentent des modèles analogiques, mais leur utilisation est très fréquemment maladroite. En effet, il ne faut pas confondre modèle et réalité : un modèle ne démontre pas qu'un phénomène naturel de grande échelle existe dans la nature), et le problème du transfert entre les deux échelles doit être évoqué. Le modèle permet en revanche de mesurer l'effet de certains paramètres. Egalement, l'utilisation d'un modèle doit découler d'un certain cheminement, qui pose préalablement une hypothèse, et malheureusement, les modèles sont souvent "sortis du chapeau" sans aucune discussion préalable.

L'utilisation du tableau est trop souvent limitée à la présentation d'un schéma bilan ou un tableau. Trop peu de candidats l'ont utilisé pour réaliser des coupes ou schémas structuraux construits progressivement au cours de la leçon. Il est inconcevable qu'à la fin d'une leçon sur les alpes, il ne reste pas une coupe synthétique de la chaîne.

Un certain nombre de points du programme sont souvent imparfaitement traités. Les questions sur le principe de l'utilisation de la méthode isochrone pour la datation de roches donnent de très mauvais résultats dans plus de 70% des cas. La définition même d'isotope est rarement satisfaisante. Il en est de même pour les notions concernant les paramètres orbitaux et de façon plus général de la Terre dans son système solaire.

Les entretiens révèlent souvent des lacunes des candidats sur des notions de base : reconnaissance des structures tectoniques sur les cartes, formules chimiques et structures des minéraux essentiels. Un minimum de connaissances de la géographie est également requise. De même, quelques structures et régions géologiques « classiques » doivent être connues des candidats (faille de San Andreas, plateau d'Ontong Java, ...) et replacées géographiquement. Certains exemples de géologie régionale doivent être connus sous forme de schéma structural, logs stratigraphiques ou coupes (Jura, Pyrénées, Alpes, ...).

En fin de leçon, il est judicieux de laisser au tableau un schéma bilan ou une synthèse, construit si possible au fur et à mesure de l'exposé. Il faut cependant éviter les synthèses qui n'illustrent rien. Le tableau devrait faire ressortir les principales observations et paramètres de contrôle d'un phénomène géologique. La conclusion devrait servir non pas à lister à nouveau les parties du sujet, mais à prendre du recul sur ce qui a été fait, sur les débats scientifiques en cours et proposer un prolongement ou de replacer le sujet dans un contexte plus général en guise d'ouverture.

6.2.4 Sujets des leçons de contre-option

Leçons de contre option : épreuve de physiologie cellulaire et des organismes - Biologie moléculaire et des populations

Cycles de vie chez les insectes
Équilibre hydro-électrique chez les métazoaires
Gamètes et fécondation chez les vertébrés
Homéostasie et régulation chez les Mammifères
Homologie et liens de parenté
L'ADN, support de l'information génétique
L'apport des champignons à la génétique
L'homéostasie glucidique
La communication hormonale chez l'Homme
La dynamique du cytosquelette
La floraison
La gastrulation
La membrane plasmique et les ions
La notion de boucle de régulation
La plaque motrice
La racine des angiospermes
La reproduction des embryophytes
La vaccination
Le contrôle de l'expression des gènes
Le développement floral
Le glucose dans les cellules végétales : origine et devenir
Le polymorphisme
Le réflexe myotatique
Les animaux et la température
Les cellules souches et l'homéostasie tissulaire
Les échanges de matière minérale chez les Angiospermes
Les forces évolutives

Les hormones thyroïdiennes
Les neurones
Les phagocytes dans la réponse immunitaire
Les plantes transgéniques
Pollen et pollinisation
Relation structure / fonction des protéines

Leçons de contre option : épreuve de Sciences de la Terre et de l'Univers

Accumulation sédimentaire et géodynamique
Apport des données paléontologiques à l'étude de l'Evolution
Apports de la géophysique à la connaissance de la structure interne de la Terre
Cadres géodynamiques et évolution des bassins sédimentaires
Chronologie relative : principes et applications
Cinématique des plaques lithosphériques
Circulations atmosphérique et océanique
Comportement rhéologique des matériaux géologiques et structures associées
Convection et dynamique du globe
Croûte océanique et croûte continentale
Du plancton à la roche
Dynamismes éruptifs et risques associés
Elaboration d'un modèle de la structure interne de la Terre
Énergie solaire et bilan énergétique de la Terre
Érosion et altération des continents
Exploitation et protection des ressources en eau
Formation et évolution d'une chaîne de collision
Genèse et évolution de la lithosphère océanique
Genèse et évolution des magmas
Géoïde et reliefs de la Terre
Géologie de l'Europe à partir de supports cartographiques au choix du candidat
Géologie de l'Océan Atlantique
Influence de la lithologie et du climat sur le modelé des paysages
L'apparition de la vie
L'apport des données satellitaires à la compréhension des enveloppes fluides
L'effet de serre
L'énergie solaire reçue par la Terre : devenir et effets
La biostratigraphie
La circulation thermohaline : mise en évidence, fonctionnement et effets climatiques
La collision continentale à partir de l'exemple de l'Himalaya
La conquête du milieu continental dans l'histoire de la Terre
La construction de l'échelle chronostratigraphique
La convection interne
La crise Crétacé-Paléocène
La datation des phénomènes géologiques
La datation des roches sédimentaires: méthodes et limites
La déformation à toutes les échelles en contexte de convergence
La déformation cassante
La déformation ductile

La destruction des reliefs continentaux
La diagenèse
La différenciation de la Terre
La distribution d'énergie solaire à la surface de la Terre et ses conséquences
La formation des roches par les êtres vivants
La formation et la dislocation de la Pangée et ses conséquences climatiques
La fusion partielle de la croûte continentale
La lithosphère océanique
La mesure du temps en géologie
La modélisation de la convection: principes et limites
La Pangée
La radiochronologie : principes et applications
La reconstitution d'un paléoenvironnement au choix du candidat
La reconstitution des chemins Pression - Température des roches métamorphiques
La reconstitution des paléoenvironnements continentaux
La rythmicité dans les processus sédimentaires
La sédimentation en domaine océanique
La sédimentation sur les marges passives
La structure et dynamique interne des planètes telluriques
La subduction océanique
La tectonique en décrochements et les grandes structures associées
La Terre au Précambrien
La Terre comparée aux autres planètes telluriques
L'apport des données paléontologiques à la reconstitution paléoenvironnementale
Le champ magnétique terrestre : origine et évolution
Le contrôle astronomique des climats
Le cycle de l'eau
Le cycle du Carbone et ses variations au cours des temps géologiques
Le cycle externe de l'eau
Le fossé Rhéan
Le magmatisme d'origine mantellique
Le magmatisme de points chauds
Le magmatisme lié à la formation et à l'évolution des chaînes de montagnes
Le manteau terrestre
Le métamorphisme : marqueur géodynamique
Le modèle PREM : origine et applications
Le noyau terrestre
Le paléomagnétisme : marqueur de la géodynamique océanique et continentale
Le phénomène d'altération : du minéral au paysage
Le rôle de l'océan sur le climat terrestre
Le volcanisme outre-mer et sa signification géodynamique
L'émergence de la vie
Les anomalies géophysiques
Les bassins houillers en France
Les bassins sédimentaires observés sur la carte de France au millionième dans leur cadre géodynamique
Les bioconstructions carbonatées les marges passives
Les courants océaniques
Les cycles glaciaires et interglaciaires : mise en évidence et origine

Les différents types de métamorphisme et leur signification géodynamique à partir de la carte de France au millionième
 Les dorsales océaniques
 Les échanges océan – atmosphère
 Les enregistrements des paléoclimats
 Les évaporites
 Les fondements de la tectonique des plaques
 Les gisements métallifères dans leur contexte géodynamique
 Les glaciations
 Les grandes accumulations sédimentaires détritiques
 Les grandes lignes de l'orogénèse hercynienne à partir de cartes géologiques au choix du candidat
 Les grandes lignes de l'histoire géologique des Alpes à partir de cartes géologiques au choix du candidat
 Les grandes lignes de l'histoire géologique du Massif Armoricaïn à partir de cartes géologiques au choix du candidat
 Les grandes lignes de la géologie de la Corse à partir de cartes géologiques au choix du candidat
 Les grandes lignes de la géologie de la Méditerranée
 Les grandes lignes de la géologie des Pyrénées à partir de cartes géologiques au choix du candidat
 Les grands cycles orogéniques à partir de la carte de France au millionième
 Les grands ensembles lithologiques et structuraux de l'Europe
 Les magmas dans leur contexte géodynamique
 Les marges continentales de la France métropolitaine
 Les marqueurs de la collision continentale
 Les marqueurs géologiques et géochimiques des glaciations
 Les métamorphismes liés au cycle alpin en France
 Les météorites
 Les modifications anthropiques des enveloppes externes
 Les mouvements verticaux de la lithosphère
 Les ophiolites
 Les planètes du Système Solaire
 Les provinces magmatiques géantes
 Les ressources énergétiques du sous-sol
 Les ressources énergétiques fossiles
 Les transferts de chaleur à l'intérieur de la Terre
 Les variations climatiques à différentes échelles de temps
 Les variations du niveau marin
 L'oxygénation de la Terre
 Mobilité horizontale et verticale de la lithosphère océanique
 Modélisation analogique d'un processus géologique au choix du candidat
 Origine et évolution des Hominidés
 Origine et genèse des granites
 Origine et genèse des séquences de dépôt
 Origine et histoire de la matière organique des roches
 Origines des roches métamorphiques
 Récif et sédimentation périrécifale
 Relief et géodynamique externe
 Relief et géodynamique interne
 Rifting et ouverture océanique
 Risque et aléa sismique
 Risques et aléas liés à la géodynamique interne

Roches et paysage
Sédimentation et ressources énergétiques
Sismologie et structure du globe
Tectonique et reliefs continentaux
Transferts de matières du continent à l'océan
Un cycle biogéochimique au choix
Utilisation des roches dans la construction
Utilisation du $\delta^{18}\text{O}$ dans les sciences du climat

6.3. Évaluation des capacités des candidats à agir en fonctionnaire de l'État et de façon éthique et responsable

Depuis la session 2015, une épreuve d'admission (l'interrogation portant sur la compétence « Agir en fonctionnaire de l'État de façon éthique et responsable ») a été supprimée du concours externe de l'agrégation par un arrêté modificatif de l'arrêté du 28 décembre 2009 publié au Journal officiel du 12 août 2014. Comme indiqué dans l'arrêté, la suppression de cette interrogation spécifique s'accompagne cependant de l'introduction par les jurys, lors des épreuves d'admission, d'éléments d'interrogation permettant de repérer certaines compétences en lien avec l'exercice du métier d'enseignant, en prenant appui sur le nouveau référentiel des compétences professionnelles fixées par l'arrêté du 1^{er} juillet 2013.

Le jury de l'agrégation externe de SV-STU a donc souhaité introduire dans les entretiens qui suivent les exposés des questions qui s'intéressent aux connaissances, aux capacités et aux attitudes attendues dans l'exercice du métier de professeur et définies par le Bulletin officiel n° 29 du 22 juillet 2010 (plus particulièrement, mais pas exclusivement les points 1 et 3).

Les questions portent sur des registres variés : épistémologie, histoire des sciences, place de la science dans la société à partir de thèmes socialement vifs (alimentation, santé, dopage, génétique, évolution, environnement et développement durable, risques naturels, gestion des ressources, enjeux de l'exploration minière, pétrolière, ou spatiale, expertise scientifique et prise de décision).

Le jury apprécie alors la capacité du candidat à prendre un certain recul critique par rapport aux connaissances scientifiques, en évoquant par exemple, leurs caractéristiques, leur mode de construction, leurs relations avec des problématiques éthiques, leur lien avec l'exercice de la responsabilité individuelle et collective du citoyen (en matière de santé et environnement notamment), ainsi que certaines ouvertures interdisciplinaires (importance de la pensée statistique, relation avec les progrès techniques, rapport de l'homme à la nature et aux croyances, prise en compte des enjeux économiques, sociaux, politiques, médiatiques, culturels,...).

Le jury a valorisé les candidats capables par exemple :

- d'identifier l'ancrage social et éventuellement historique d'un thème scientifique, d'en appréhender la complexité et d'évoquer des argumentaires parfois contradictoires portés par différents acteurs sociaux liés à des intérêts, des valeurs et des idéologies divergents ;
- de proposer une vision non dogmatique et dynamique du fonctionnement des sciences prenant en compte quelques aspects épistémologiques : comme les relations entre modèles, faits, théories et observations. Une réflexion sur la place dans la démarche du chercheur, de l'inventivité, du hasard et de l'erreur ;
- de présenter des éléments et faits mettant en lumière les relations entre la construction du savoir scientifique et l'environnement socio-économique ;
- d'identifier comment ces différentes facettes peuvent être prises en charge dans l'enseignement scientifique, notamment dans le cadre des « éducations à » et en quoi elles contribuent à la construction d'une image des sciences;

- d'identifier les enjeux et les différents objectifs de l'éducation scientifique citoyenne (en termes de savoir, savoir faire, savoir être) ;
- de caractériser le rôle et la place de l'enseignant de sciences dans le cadre plus général des missions de l'Ecole ;
- de prendre un recul critique et argumenté face aux différentes formes de médias traitant un contenu scientifique.

NOM :

Prénom :

Salle :

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2018

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DU SECTEUR B

CANDIDATS DES SECTEURS A ET C

Durée totale : 2 heures

Quelques adaptations de la respiration chez les animaux

- Les trois parties sont indépendantes.
- Certaines nécessitent des manipulations, prévoyez donc l'organisation de votre travail en conséquence.
- Dans la partie I, vous devrez appeler un examinateur afin qu'il puisse évaluer votre préparation.
Cette précision vous sera rappelée en rouge dans le texte.
- La durée conseillée des différentes parties de l'épreuve est indiquée ci-dessous.

Partie I - L'appareil respiratoire d'un animal

page 2

Durée conseillée : 75 minutes – barème : 35 points

Partie II - Adaptation de la respiration à des milieux contraignants

page 12

Durée conseillée : 35 minutes – barème : 25 points

Partie III - Reconnaissances raisonnées de quelques organismes

page 22

Durée imposée : 10 minutes – barème : 20 points

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.

NOM :

Prénom :

Salle :

Partie I - L'appareil respiratoire d'un animal

I-A Identification et classement de l'animal proposé

I-A-1 Identifiez l'animal et indiquez à quels taxons il appartient en indiquant le phylum puis les subdivisions suivantes.

Réponse à la question I-A-1

L'animal est un escargot.

Mollusques, (Eumollusques, Conchifères, Ganglioneures / Viscéroconques), Gastéropodes, Hétérobranches, (Pulmonés)

Les noms hors des parenthèses étaient notamment attendus.

I-A-2 Pour deux des taxons mentionnés ci-dessus (au choix), indiquez les caractères morphologiques observables sur votre échantillon, avant ou après la dissection.

Réponse à la question I-A-2

Mollusques : manteau délimitant une cavité palléale, présence d'un pied

Conchifères : coquille organisée en une seule pièce

Gastéropodes : tentacules céphaliques, présence d'une flexion, torsion et spiralisation de la masse viscérale, présence d'un rein unique

Hétérobranches : perte des cténidies

Pulmonés : respiration par une cavité semblable à un poumon.

I-A-3 Quel est l'organe respiratoire ancestral du phylum de l'animal étudié ? Vous en préciserez les caractéristiques principales.

Réponse à la question I-A-3

- Il s'agit de la cténidie.

- La cténidie est une branchie spécifique des mollusques caractérisée par la présence de cils.

I-B Mise en évidence du système respiratoire de l'animal proposé

I-B-1 Dissection de l'animal

I-B-1-a Réalisez une dissection mettant en évidence l'organe respiratoire de l'animal ainsi que les organes circulatoires associés.

I-B-1-b Après avoir effectué la dissection, mettez en évidence la partie la plus visible des organes circulatoires de l'animal.

Vous utiliserez la seringue et le colorant mis à votre disposition.

I-B-1-c Après avoir effectué la dissection et le marquage, vous réaliserez un dessin titré, légendé et orienté de l'appareil respiratoire et du système cardiovasculaire de l'animal étudié.

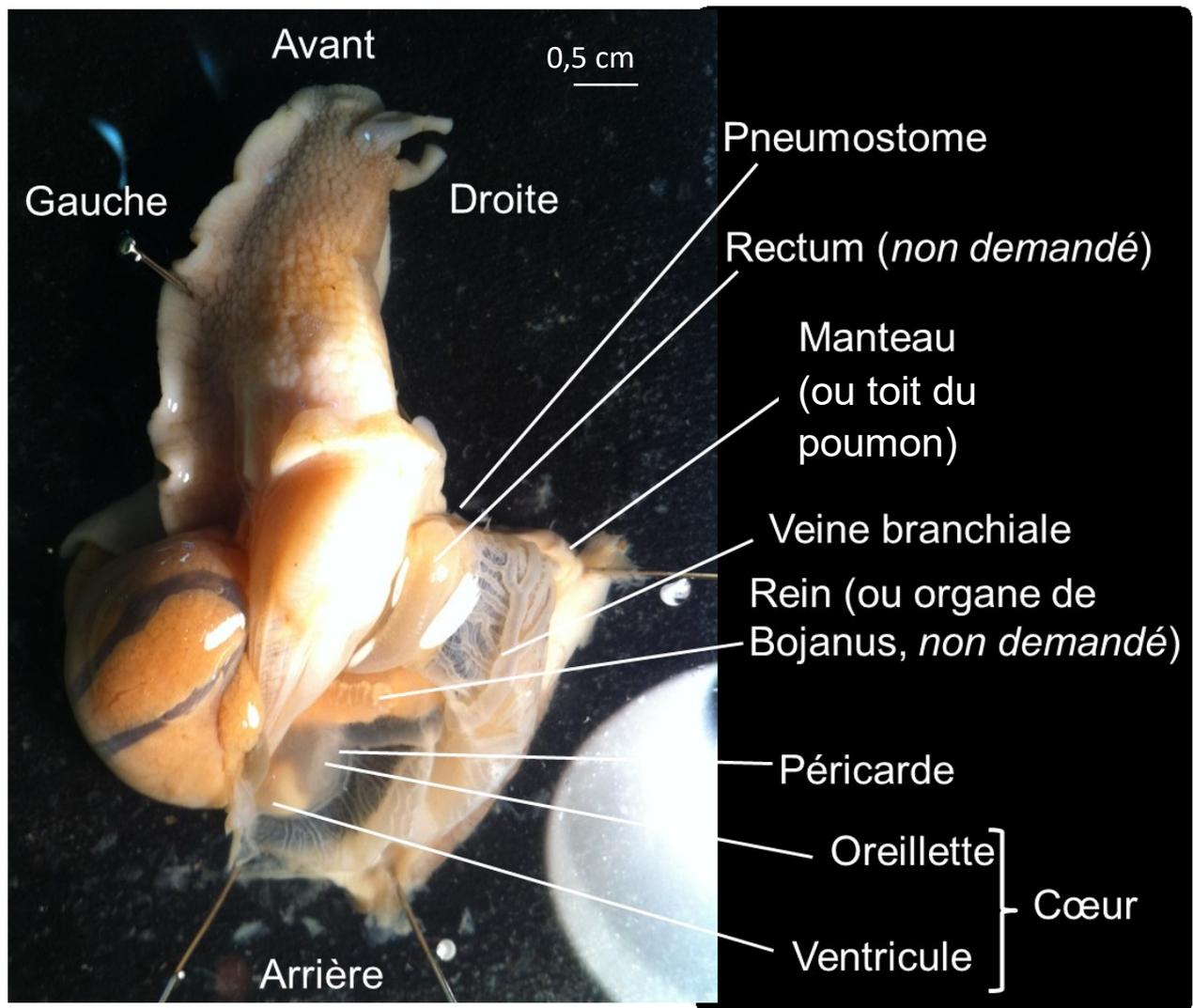
NOM :

Prénom :

Salle :

Vous appellerez un examinateur à la fin de la réalisation de votre dessin pour qu'il note la dissection et le marquage et vérifie l'adéquation avec votre dessin.

Réponse à la question I-B-1-c



Dessin de la dissection de l'escargot en vue dorsale montrant l'organe respiratoire et les organes circulatoires associés

Le dessin et les légendes concernant l'organe respiratoire de l'escargot et les organes associés étaient attendus. Le dessin de la tête et de l'hépatopancréas n'étaient pas attendus.

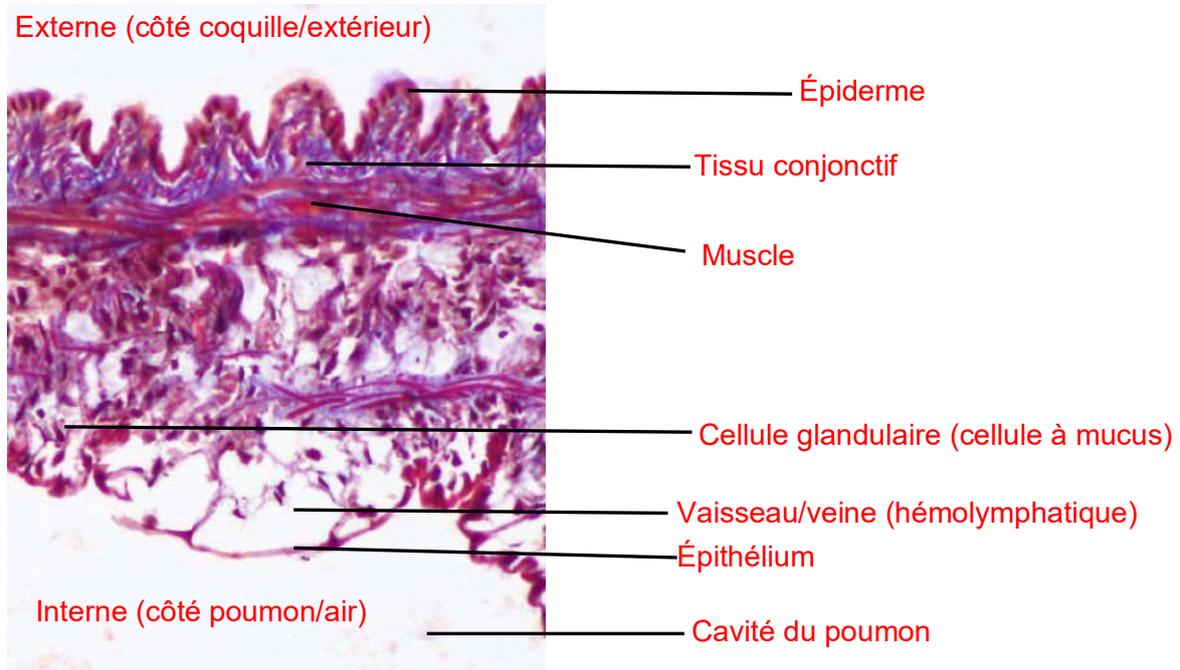
NOM :

Prénom :

Salle :

I-B-2 La coupe ci-dessous (d'après Heusser et Dupuy, 2011) a été faite dans le tissu où s'effectuent les échanges respiratoires. Orientez et légendez cette coupe.

Réponse à la question I-B-2



I-B-3 Commentaires sur l'évolution de l'appareil respiratoire de l'animal étudié

I-B-3-a Quelle est la différence principale entre le système respiratoire de cet animal et celui de la plupart des animaux du phylum ? Modifie-t-elle l'interaction entre le système circulatoire et le système respiratoire ?

Réponse à la question I-B-3-a

A la différence des autres Mollusques, l'escargot comme tous les Hétérobranches ne possède pas de cténidie. L'interaction respiration / circulation n'est cependant pas modifiée : les échanges gazeux se font toujours au niveau d'une cavité et l'hémolymphe oxygénée est collectée dans une veine branchiale qui rejoint le cœur.

I-B-3-b Cette différence est-elle une adaptation à son milieu de vie ? Justifiez votre réponse.

Réponse à la question I-B-3-b

Plusieurs raisonnements étaient acceptés, selon le caractère considéré.

- La perte des cténidies dans la cavité palléale est une synapomorphie des Hétérobranches et non pas des pulmonés. D'ailleurs, plusieurs Hétérobranches aquatiques sont dépourvus de cténidie (exemple des branchies secondaires de l'aplysie). Ce caractère étant plésiomorphe chez les Pulmonés, il n'est pas apparu sous la forme d'une adaptation au milieu terrestre.
- L'acquisition d'un poumon avec apparition du pneumostome a permis une internalisation de la respiration, évitant le dessèchement de la surface respiratoire ; ce caractère est donc bien une adaptation au milieu terrestre.

NOM :

Prénom :

Salle :

I-C Fonctionnement de l'appareil respiratoire

I-C-1 Le pneumostome

La limnée *Lymnaea stagnalis* est une espèce voisine de l'animal étudié. Elle possède le même appareil respiratoire et une respiration aérienne bien que son mode de vie soit aquatique ; elle vient respirer en surface.

Janes et al. (2015) ont étudié le comportement de l'ouverture du pneumostome en surface chez un groupe de limnées contenues dans des récipients placés successivement dans une atmosphère à 18,80 kPa de dioxygène (condition contrôle), puis une atmosphère hypoxique (0,89 kPa de dioxygène), puis de nouveau dans l'atmosphère initiale. La mesure est faite après avoir équilibré les gaz dissouts avec les gaz atmosphériques. Chacune des trois périodes durait 20 minutes.

Nombre moyen d'ouvertures du pneumostome sur une période de 20 minutes	Condition contrôle	Atmosphère hypoxique	Condition contrôle
	1,6	22,0	1,4

Durée moyenne de l'ouverture du pneumostome sur une période de 20 minutes (en secondes)	Condition contrôle	Atmosphère hypoxique	Condition contrôle
	34,5	20,2	33,0

I-C-1-a Indiquez le rôle du pneumostome dans la fonction respiratoire chez la limnée.

Réponse à la question I-C-1-a

Rôle dans la ventilation par une alternance d'ouvertures et de fermetures coordonnées avec les mouvements de la cavité palléale.

I-C-1-b A partir des données expérimentales fournies, calculez la proportion de temps consacrée à respirer en moyenne pour chacune des trois périodes, puis commentez ces données expérimentales.

Réponse à la question I-C-1-b

Condition contrôle : $1,6 * 34,5 = 55,2$ sec pour 20 minutes (1200 secondes) d'où $55,2 / 1200 = 4,6\%$ du temps.

Condition hypoxique : 37%

Condition contrôle finale : 3,85%

Il existe donc une régulation de la ventilation chez la limnée. Dans des conditions hypoxiques, l'ouverture du pneumostome est plus fréquente mais plus courte. Globalement, l'animal passe beaucoup plus de temps à ventiler.

NOM :	Prénom :	Salle :
-------	----------	---------

I-C-2 Régulation du fonctionnement du pneumostome

L'osphradium est un organe chimiosensoriel situé au niveau de l'organe respiratoire de la limnée et connecté via le ganglion osphradial au système nerveux central.

Les résultats suivants comparent 13 animaux pour lesquels le nerf reliant le ganglion osphradial au système nerveux central a été sectionné chirurgicalement tandis que, chez 12 animaux témoins, la même chirurgie est réalisée sans sectionner le nerf. Cette opération s'effectue près du pneumostome. Après récupération, les animaux sont placés dans des récipients exposés, pendant 20 minutes, à une atmosphère de 18,80 kPa de dioxygène (condition contrôle) puis de 4,47 kPa de dioxygène (condition hypoxique). Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous.

		Condition contrôle	Condition hypoxique
Nombre moyen d'ouvertures du pneumostome sur une période de 20 minutes	Animaux témoins	1,0	25,0
	Animaux ayant le nerf osphradial sectionné	1,7	11,5

I-C-2-a Commentez et interprétez les résultats obtenus.

Réponse à la question I-C-2-a

Quel que soit le traitement des animaux, l'hypoxie entraîne une hausse du nombre des ouvertures de l'osphradium, suggérant que, même si celui-ci ne communique plus avec le système nerveux central, les animaux demeurent capables de réguler leur respiration. Cependant, cette régulation se fait moins bien chez les animaux ayant le nerf coupé, tandis que les animaux contrôles conservent les mêmes performances. Ceci indique que l'osphradium contribue tout de même à la régulation de la respiration.

I-C-2-b Chez les mêmes animaux, on mesure la durée moyenne d'ouverture du pneumostome dans les mêmes conditions expérimentales.

		Condition contrôle	Condition hypoxique
Durée moyenne de l'ouverture du pneumostome sur une période de 20 minutes (en secondes)	Animaux témoins	5,6	12,0
	Animaux ayant le nerf osphradial sectionné	4,7	11,1

- Commentez et interprétez ces résultats.

NOM :

Prénom :

Salle :

- Formulez une hypothèse permettant d'expliquer la différence des résultats obtenus en condition contrôle entre le nombre et la durée moyenne d'ouverture du pneumostome.

Réponse à la question I-C-2-b

- On observe que la section du nerf n'a pas d'effet sur les animaux, qui se comportent comme les animaux contrôles. Ceci suggère que l'osphradium n'est pas impliqué dans la régulation de la durée d'ouverture du pneumostome.

- Cependant, en comparant les deux expériences (animaux témoins opérés sans section du nerf osphradial en I-C-2 et animaux de la question I-C-1), on remarque que les résultats sont très différents (5,6 contre 34,5). On peut expliquer ce résultat par l'impact de l'opération car elle a été effectuée à proximité du pneumostome.

NOM :

Prénom :

Salle :

Partie II - Adaptation de la respiration à des milieux contraignants

II-A La migration à très haute altitude chez l'oie à tête barrée

L'oie à tête barrée *Anser indicus* migre au-dessus de l'Himalaya en volant à plusieurs milliers de mètres d'altitude. Il semblerait qu'il lui soit possible de survoler le mont Everest.

II-A-1 Quelles sont les contraintes environnementales rencontrées par les oies volant à haute altitude ?

Réponse à la question II-A-1

Ces contraintes rencontrées par les oies à haute altitude sont :

- la faible pression atmosphérique et les faibles pressions partielles des gaz dont le dioxygène, moins disponible, d'où une hypoxie ;
- les basses températures ;
- les vents ;
- les rayonnements solaire et cosmique.

II-A-2 La respiration de l'oie à tête barrée

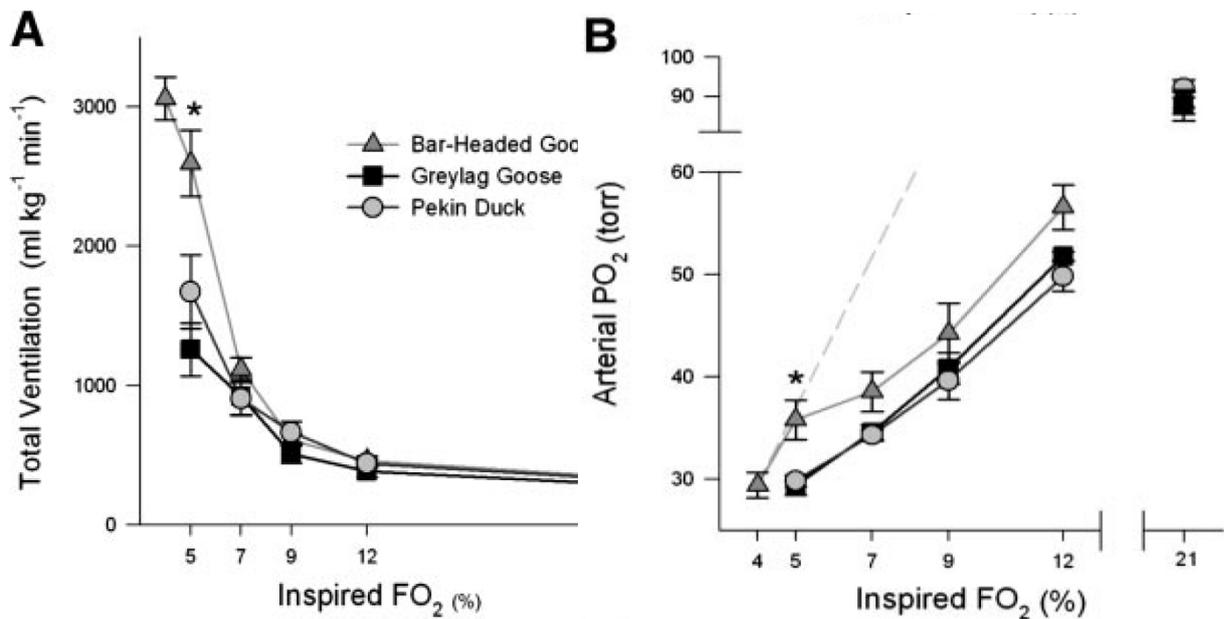
II-A-2-a Quelle est la différence entre la ventilation et la respiration pour un animal ?

Réponse à la question II-A-2-a

- La respiration est le fait pour un organisme de consommer de l'oxygène et de produire du dioxyde de carbone dans le cadre de son métabolisme énergétique.
- La ventilation est le fait pour un animal terrestre de faire circuler de l'air dans ses poumons de sorte que les échanges gazeux nécessaires à la respiration soient effectués.

Les deux documents ci-dessous (Scott et Misom, 2007) présentent les relations entre la fraction de dioxygène dans l'air inspiré par l'animal ($I_{\text{InspiredFO}_2}$, de 7% au sommet de l'Everest et 21% au niveau de la mer), la ventilation (Total Ventilation) et la pression partielle d'O₂ dans les artères ($A_{\text{ArterialPO}_2}$) chez l'oie à tête barrée (bar-headed goose), une oie apparentée mais non migratrice (Greylag goose) et un canard (Pekin duck).

La ligne en tirets de la figure B correspond à la pression partielle d'O₂ maximale théorique dans les artères compte-tenu de la fraction de dioxygène dans l'air. Ces données ont été obtenues en plaçant les animaux dans un dispositif permettant de contrôler la pression et la composition de l'atmosphère.



II-A-2-b Commentez le graphique A.

Réponse à la question II-A-2-b

Ce graphique présente l'amplitude de la ventilation en fonction de la proportion en dioxygène dans l'atmosphère. À chaque espèce d'oiseau, correspond une courbe.

- On constate que la baisse de la proportion de dioxygène entraîne un accroissement de la ventilation. Les trois espèces présentent une ventilation environ doublée au niveau de l'Everest ce qui leur permet de compenser le manque d' O_2 .
- Pour des altitudes plus élevées (pressions en O_2 encore plus faibles), le volume d'air ventilé est plus important chez l'oise à tête barrée que chez les autres oiseaux. Cela traduit une adaptation respiratoire de l'oise à tête barrée aux conditions hypoxiques.

II-A-2-c Commentez le graphique B.

Réponse à la question II-A-2-c

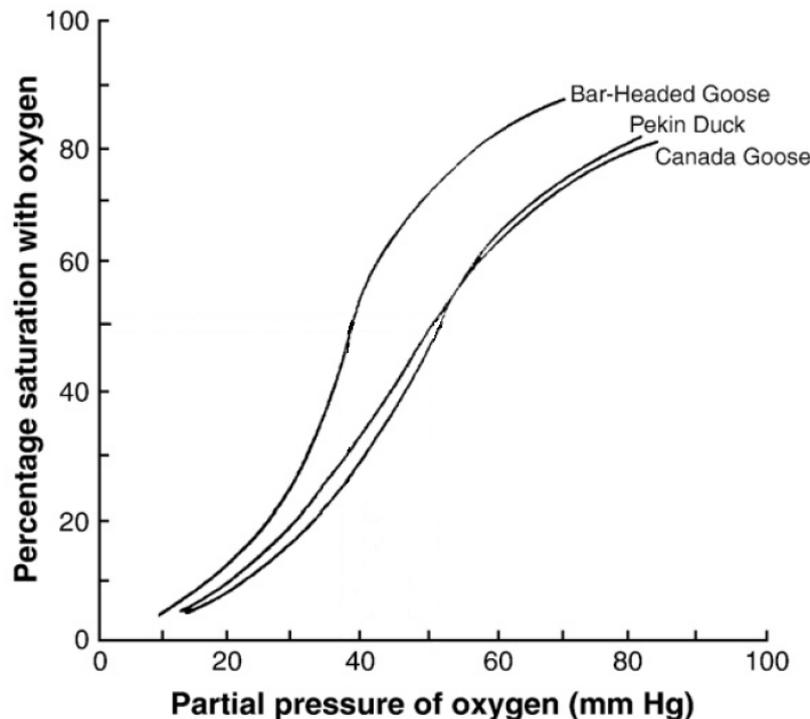
Le graphique B compare la pression partielle en dioxygène dans les artères (PaO_2) des 3 espèces d'oiseaux en fonction de la proportion de dioxygène de l'air. On constate que la PaO_2 dans les artères diminue lorsque la proportion d'oxygène disponible diminue ; elle est divisée par 3 lorsqu'on passe de 21% (niveau de la mer) à 7% (altitude de l'Everest).

Chez les oies à tête barrée, la PaO_2 reste toujours plus élevée. De plus, pour de très faibles proportions de dioxygène, la PaO_2 atteint le maximum théorique.

Cette observation permet de supposer que les oies à tête barrée parviennent à extraire beaucoup plus de dioxygène dans l'air que les autres espèces lorsque celui-ci est rare.

II-A-3 L'hémoglobine et ses propriétés

Le document ci-dessous présente les courbes de dissociation de l'oxyhémoglobine chez 3 espèces d'oiseaux, dont le canard de Pékin (Pekin Duck), l'oie bernache (Canada Goose, espèce ne migrant pas à haute altitude), et l'oie à tête barrée étudiée précédemment (Bar-headed goose). (D'après Butler et al., 2010)



II-A-3-a Donnez la définition de la P50 de l'hémoglobine et précisez l'intérêt de sa détermination.

Réponse à la question II-A-3-a

- La P50 représente la pression partielle de dioxygène suffisante pour saturer 50% de l'hémoglobine. Plus la P50 est faible, plus l'affinité de l'hémoglobine pour le dioxygène est importante.
- Ce paramètre permet de comparer différentes formes d'hémoglobine: ici, d'un organisme à l'autre.

II-A-3-b Analysez ce document.

En déduire les spécificités de l'hémoglobine de cet oiseau en lien avec la partie II-A-2.

Réponse à la question II-A-3-b

- La P50 de l'hémoglobine de l'oie à tête barrée est plus faible (40 mmHg) par rapport à celle des 2 autres espèces (P50 autour de 50 mmHg). Cela indique que l'affinité de son hémoglobine pour le dioxygène est plus importante que celle des autres oiseaux.
- Ce phénomène est également observé pour de fortes pressions partielles d'O₂. La saturation maximale de l'hémoglobine de l'oie à tête barrée est plus élevée : 95% de saturation à 80 mmHg contre 80% chez les autres espèces. Cette propriété lui permet de fixer davantage d'O₂ même quand les conditions sont défavorables.
- Cependant, à de très faibles pressions partielles en O₂, l'hémoglobine de l'oie à tête barrée se désature beaucoup comme celles des autres espèces, ce qui lui permet d'approvisionner les tissus.

NOM :

Prénom :

Salle :

II-B L'apnée chez le phoque de Weddell

Le phoque de Weddell *Leptonychotes weddelli* effectue des plongées profondes pour se nourrir. Bien qu'il soit en apnée, on constate qu'il expire juste avant ces plongées.

II-B-1 Quelle contrainte liée à la plongée profonde explique ce comportement d'expiration ?

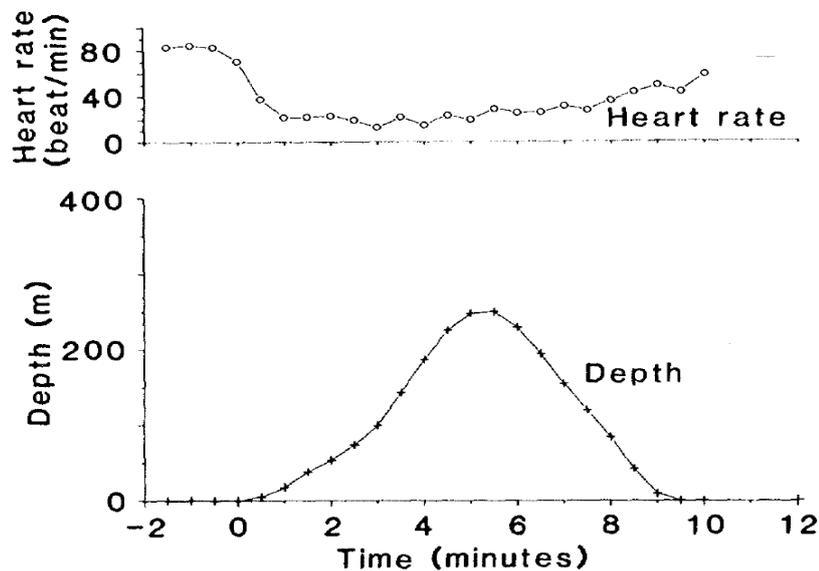
Réponse à la question II-B-1

En plongée profonde, la pression hydrostatique augmente ; le milieu est donc hyperbare. En conséquence, il y a une augmentation des pressions partielles et donc des quantités dissoutes d'O₂ et de N₂ dans le sang de l'animal. Lorsque l'animal remonte, ces gaz dissouts repassent en phase gazeuse, ce qui risque de créer une embolie.

L'expiration avant la plongée diminue la quantité d'air dans les poumons du phoque et limite les quantités de dioxygène ou d'azote dissouts. Elle permet donc de réduire le risque d'embolie.

II-B-2 Quelques données physiologiques sur le système cardiovasculaire du phoque de Weddell en plongée

Le document ci-dessous illustre l'évolution de la profondeur en mètres (Depth) et de la fréquence cardiaque en battements par minute (Heart rate) lors d'une plongée chez un phoque, en fonction du temps (Time, en minute). Le temps 0 correspond au début de la plongée. (D'après Falke et al., 1985)



NOM :

Prénom :

Salle :

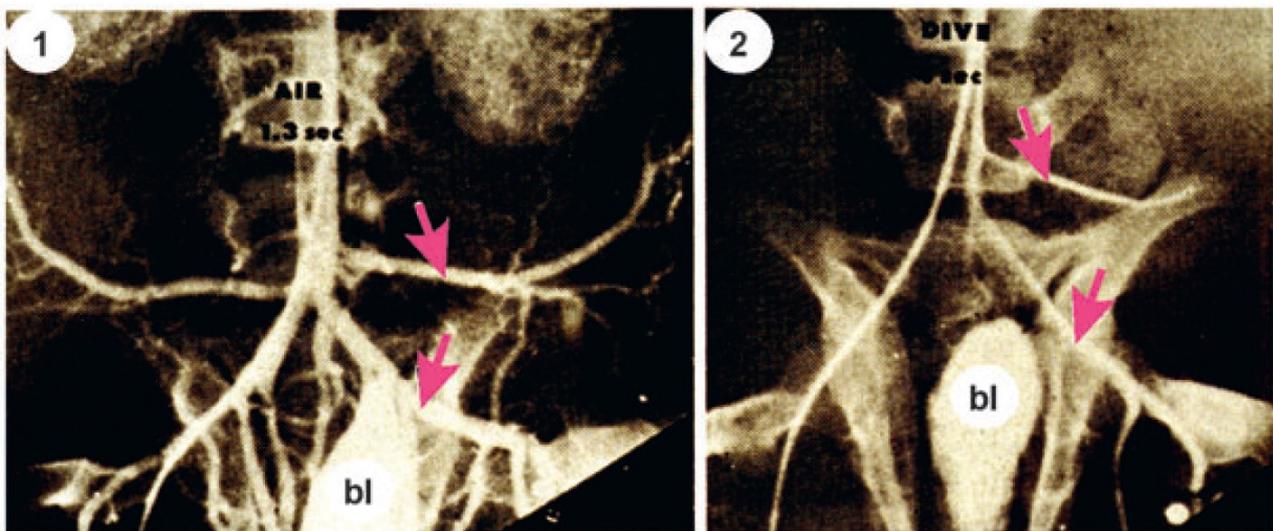
II-B-2-a Décrivez la plongée effectuée par le phoque étudié et analysez son activité cardiaque.

Réponse à la question II-B-2-a

- L'animal effectue une plongée profonde de 10 minutes : descente pendant 5 minutes jusqu'à 250 m, puis remontée en 5 minutes.
- En une minute après le début de la plongée, le rythme cardiaque du phoque diminue fortement, passant de 80 à 20 pulsations par minute. Il ne remonte qu'un peu avant la fin de la plongée, sans retrouver la valeur initiale.

II-B-2-b Étude de la vascularisation des animaux

Ramirez et collaborateurs (2017) ont effectué un angiogramme des artères abdominales avant (photographie 1) et pendant (photographie 2) la plongée. Les artères abdominales sont indiquées par les flèches rouges (bl indique la vessie).



Après avoir présenté les différences observées au niveau du système artériel de l'animal en plongée, donnez quelques conséquences possibles.

Réponse à la question II-B-2-b

Les artères abdominales de l'animal se contractent fortement pendant la plongée. Cette vasoconstriction limite donc l'apport du sang aux viscères, comme le système digestif, les gonades ou les reins. Cela permet une économie de dioxygène sans dommage pour ces structures, tout en maintenant l'apport de sang vers les organes nécessaires à la plongée (muscles, cerveau ...).

NOM :

Prénom :

Salle :

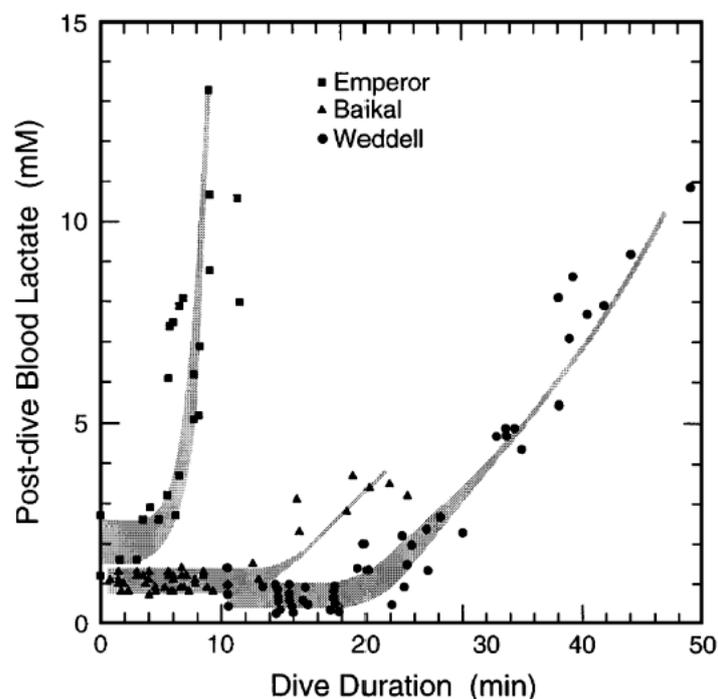
II-B-3 Évolution de la concentration sanguine de lactate pendant la plongée

II-B-3-a Indiquez l'origine du lactate trouvé dans le sang.

Réponse à la question II-B-3-a

Le lactate est produit lors de la fermentation lactique effectuée dans les muscles squelettiques. Cette réaction transforme le pyruvate, produit par la glycolyse, en acide lactique. Le lactate est ensuite rejeté dans le sang.

Le graphique ci-dessous compare la concentration sanguine de lactate après une plongée (Post-dive Blood Lactate) chez le manchot empereur, le phoque de Baïkal et le phoque de Weddell, selon la durée de la plongée (Dive duration). (D'après Kooyman et Ponganis, 1998)



II-B-3-b. Comparez l'évolution de la lactatémie chez le phoque de Weddell et du manchot empereur pendant leur plongée et précisez les conséquences.

Réponse à la question II-B-3-b

- La concentration en lactate augmente après des plongées d'environ 5, 12 et 20 minutes chez le manchot empereur, le phoque de Baïkal et le phoque de Weddell, respectivement. Comme la production de lactate correspond à un mécanisme anaérobie, l'augmentation de sa concentration témoigne du moment où les muscles se retrouvent en condition hypoxique. De plus, la concentration plasmatique en lactate chez le manchot s'accroît très rapidement, tandis que celles des phoques croît de façon beaucoup plus progressive.
- Le manchot cesse sa plongée dans les cinq minutes qui suivent le passage à la situation anaérobie, tandis que les phoques restent dans l'eau plus longtemps (environ jusqu'à 12 minutes supplémentaires pour le phoque de Baïkal et jusqu'à 40 minutes supplémentaires pour le phoque de Weddell). Contrairement au manchot empereur,

NOM :

Prénom :

Salle :

le phoque de Weddell conserve donc beaucoup plus longtemps un régime aérobie pendant sa plongée, ce qui lui permet d'avoir une durée de plongée supérieure.

Ces données seraient cependant à relativiser compte tenu de l'importante différence de taille de ces animaux (quelques dizaines de kg pour le manchot empereur, 10 fois plus pour le phoque de Weddell)

NOM :	Prénom :	Salle :
-------	----------	---------

Partie III- Reconnaissances raisonnées de quelques organismes aquatiques

Cette question sera traitée au poste "exercice de reconnaissances" selon un planning affiché dans la salle. Durée maximale: 10 minutes.

Identifiez dans le tableau ci-dessous les échantillons numérotés de 1 à 10. Vous préciserez, pour chaque organisme, le nom vernaculaire, la position systématique en citant au moins un taxon pertinent (deux s'il y a lieu) et la nature de son/ses organe/s respiratoire/s.

	Nom	Taxon	Organe respiratoire
1	Gammaré / crevette	Pancrustacé, amphipode	Branchies
2	Larve de trichoptère	Insecte trichoptère	Trachéobranches
3	Larve de diptère (chironome)	Insecte diptère	Tégument / trachéobranches
4	Punaise	Insecte hémiptère (ou hétéroptère)	Trachées
5	Sangsue	Annélide hirudiné (ou achète)	Tégument
6	Bivalve	Mollusque bivalve (ou lamellibranche)	Branchie (ou cténidie)
7	Dytique	Insecte coléoptère	Trachées
8	Perche	Téléostéen	Branchies
9	Dauphin	Mammifère cétacé	Poumons
10	Têtard	Amphibien (ou batracien)	Branchies