



**MINISTÈRES
ÉDUCATION
JEUNESSE
SPORTS
ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR
RECHERCHE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction générale des ressources humaines

RAPPORT DU JURY

SESSION 2026

Concours : Agrégation externe

Section : Sciences de la vie – Sciences de la Terre et de l'univers

Rapport de jury présenté par :

Jean-Marc Moullet (Président, IGESR)

Cécile Robin (vice-présidente du jury professeure des universités)

Stéphane Lourdel (vice-président du jury maître de conférences)

Rapport de jury

Agrégation de SV-STU

Session 2026

Sommaire

1. PRESENTATION DU CONCOURS	4
1.1. ORGANISATION ET MODALITES DU CONCOURS	4
1.1.1. ÉPREUVES ECRITES D'ADMISSIBILITE.	4
1.1.2. ÉPREUVES D'ADMISSION.	4
1.2. LE DEROULEMENT DU CONCOURS 2026	5
1.2.1. LE CALENDRIER	5
1.2.2. LE DEROULEMENT PRATIQUE DES EPREUVES D'ADMISSION DU CONCOURS	6
2. QUELQUES ELEMENTS STATISTIQUES	6
2.1. DE LA CANDIDATURE A L'ADMISSION	6
2.1.1. LES CANDIDATS PAR SECTEURS	6
2.1.2. LES CANDIDATS PAR SEXE	8
2.1.3. ÂGES DES CANDIDATS	9
2.1.4. LES CANDIDATS PAR STATUTS ET/OU PROFESSIONS ET PARCOURS DE FORMATION INITIALE AUX DIFFERENTES ETAPES DU CONCOURS :	10
2.1.5. REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES CANDIDATS :	12
2.1.6. L'EVOLUTION DU CONCOURS SUR LE LONG TERME	14
2.2. QUELQUES DONNEES STATISTIQUES CONCERNANT L'ECRIT	15
ÉPREUVE ECRITE DE SECTEUR A	15
2.2.1. ÉPREUVE ECRITE DE SECTEUR B	15
2.2.2. ÉPREUVE ECRITE DE SECTEUR C	15
2.3. DONNEES STATISTIQUES CONCERNANT LES EPREUVES PRATIQUES	16
2.4. MOYENNES DES CANDIDATS ADMIS PAR SECTEURS	16
3. PROGRAMME DU CONCOURS	17
4. ÉPREUVES ECRITES	18
4.1. ÉPREUVE ECRITE DU SECTEUR A	18
4.1.1. SUJET ET ATTENDUS	18
4.1.2. ÉLÉMENTS D'ÉVALUATION	21
4.2. ÉPREUVE ECRITE DU SECTEUR B	24
4.2.1. LE SUJET PROPOSE	24
4.2.2. COMMENTAIRES GÉNÉRAUX SUR LA COMPRÉHENSION ET LE TRAITEMENT DU SUJET	24
4.2.3 ÉLÉMENTS D'ÉVALUATION	33
4.3. ÉPREUVE ECRITE DU SECTEUR C	34
4.3.1. LE SUJET PROPOSE	34
4.3.2. COMMENTAIRES GÉNÉRAUX SUR LA COMPRÉHENSION ET LE TRAITEMENT DU SUJET	34
4.3.3. UN EXEMPLE POSSIBLE DE SYNTHÈSE ARGUMENTÉE SUR LE SUJET	35
4.3.4. ÉLÉMENTS D'ÉVALUATION	49

5. LES EPREUVES PRATIQUES	51
5.1. EPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITE DU SECTEUR A : SUJET ET COMMENTAIRES	51
5.2. ÉPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITE DU SECTEUR B : SUJET ET COMMENTAIRES	83
5.3. ÉPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITE DU SECTEUR C : SUJET ET COMMENTAIRES	120
5.4. ÉPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DU SECTEUR A : SUJET ET COMMENTAIRES	173
5.5. ÉPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DU SECTEUR B : SUJET ET COMMENTAIRES	192
5.6. ÉPREUVE DE TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DU SECTEUR C : SUJET ET COMMENTAIRES	211
6. LES ÉPREUVES ORALES	233
6.1. DEROULEMENT DES EPREUVES	233
6.1.1. CONDITIONS DE PREPARATION	233
6.1.2. PRESENTATION ET ENTRETIENS DE LA LEÇON D'OPTION	234
6.1.3. PRESENTATION ET ENTRETIENS DE LA LEÇON DE CONTRE-OPTION	234
6.2. CONSTATS ET CONSEILS POUR LES EPREUVES ORALES	235
6.2.1. LA LEÇON D'OPTION : UNE EPREUVE DE HAUT NIVEAU SCIENTIFIQUE VISANT A REpondre A UNE PROBLEMATIQUE	235
6.2.2. LE REcul NECESSAIRE POUR TRAITER DES THEMES PLUS OU MOINS CLASSIQUES	236
6.2.3. L'EXPLOITATION DES DOCUMENTS IMPOSES DANS LA LEÇON D'OPTION	236
6.2.4. LE CHOIX ET L'EXPLOITATION DU MATERIEL AU SERVICE DE LA LEÇON (OPTION ET CONTRE-OPTION)	236
6.2.5. UNE DEMARCHE SCIENTIFIQUE INCONTOURNABLE	237
6.2.6. UN VERITABLE TRAVAIL DE SYNTHESE ET DE CHOIX	237
6.2.7. UNE COMMUNICATION D'UNE QUALITE SUFFISANTE	237
6.2.8. UNE INDISPENSABLE REACTIVITE	238
6.2.9. LES CRITERES D'ÉVALUATION DES LEÇONS	238
6.3. COMMENTAIRES PARTICULIERS CONCERNANT LES LEÇONS DE SECTEUR A	238
6.3.1. MAITRISER LES CONNAISSANCES	238
6.3.2. INTEGRER DE NOUVELLES CONNAISSANCES PENDANT LA PREPARATION DE LA LEÇON	239
6.3.3. ORGANISER L'EXPOSE	239
6.3.4. TRAVAILLER A TOUTES LES ECHELLES ET CONSTRUIRE LE SENS BIOLOGIQUE	240
6.3.5. S'APPUYER SUR LE REEL POUR ILLUSTRER SA LEÇON	240
6.3.6. ADOPTER UNE DEMARCHE SCIENTIFIQUE DANS L'EXPLOITATION DES DOCUMENTS	241
6.3.7. ADOPTER UNE DEMARCHE DIDACTIQUE	241
6.3.8. MAITRISER L'ORAL	241
6.3.9. RESTER MOBILISE POUR LES ENTRETIENS	242
6.4. COMMENTAIRES PARTICULIERS CONCERNANT LES LEÇONS DE SECTEUR B	242
6.4.1. DES CONNAISSANCES NATURALISTES A PRIVILEGIER SANS NEGLIGER LES CONNAISSANCES DE BASE	242
6.4.2. EXPLOITATION DU MATERIEL ET INTEGRATION DANS L'EXPOSE	243
6.4.3. L'EXPOSE	243
6.4.4. LES ENTRETIENS	244
6.5. COMMENTAIRES PARTICULIERS CONCERNANT LES LEÇONS D'OPTION C	245
6.5.1. CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES	245
6.5.2. ORGANISATION DE L'EXPOSE / DEMARCHE	246
6.5.3. EXPLOITATION DES DOCUMENTS FOURNIS ET DES DOCUMENTS COMPLEMENTAIRES	246
6.5.4. COMMUNICATION	247
6.6. LEÇON SUR PROGRAMME DE SPECIALITE	247
6.6.1. SECTEUR A	247
6.6.2. SECTEUR B	249
6.6.3. SECTEUR C	251
6.7. LEÇON SUR PROGRAMME DE CONNAISSANCES GENERALES	253
6.7.1. SECTEUR A ET B	253
6.7.2. SECTEUR C	255

1. Présentation du concours

1.1. Organisation et modalités du concours

Le concours comporte des épreuves écrites d'admissibilité constituées de trois compositions argumentées 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 d'admissibilité. Trois secteurs (A, B ou C) sont ouverts au choix des candidats et détaillés ci-dessous.

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

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

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

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

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

1.1.1. Épreuves écrites d'admissibilité.

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

Elles peuvent comporter ou non une analyse de documents :

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

1.1.2. Épreuves d'admission.

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

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

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

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

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

Le sujet porte :

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

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

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

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

Ces modalités sont résumées dans le tableau ci-dessous

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

1.2. Le déroulement du concours 2026

1.2.1. Le calendrier

Admissibilité : épreuves écrites

- 10 février 2026 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales - secteur A,
- 11 février 2026 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales - secteur B,
- 12 février 2026 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C.

Les résultats de l'admissibilité ont été publiés le 22 avril 2026 à 09 h 15

Admission : épreuves pratiques

- vendredi 5 juin 2026 : accueil des candidats des secteurs A, B et C,
- samedi 6 juin 2026 : travaux pratiques portant sur le programme de spécialité (secteur A, B, ou C),
- dimanche 7 juin 2026 : travaux pratiques portant sur le programme général des deux autres secteurs.

Admission : épreuves orales

du mercredi 17 juin 2026 au dimanche 28 juin 2026.

Les résultats de l'admission ont été publiés le lundi 29 juin 2026 à 14 h 30.

1.2.2. Le déroulement pratique des épreuves d'admission du concours

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

Les épreuves pratiques se sont déroulées au Centre de Formation Pratique en Biologie (CFPB) de la Faculté des Sciences et Ingénierie de Sorbonne Université (4 place de 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 du responsable du CFPB.

Il en fut de même au Lycée Saint-Louis grâce au soutien de Madame la Proviseure, de Madame l'Intendante et de toute l'équipe d'intendance et d'administration.

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 ci-dessus. Le bon fonctionnement des épreuves orales a été permis grâce à l'aide de personnels techniques de loge et d'entretien. Le Lycée Henri IV a prêté une partie du matériel utilisé par les candidats pendant leurs épreuves orales. Des équipements EXAO ont été fournis par les établissements Jeulin et Sordalab. Pour le bon fonctionnement des épreuves d'admission, le bureau du concours a pu s'appuyer sur une équipe technique de grande qualité, qui comportait des personnels de Sorbonne Université, équipe à laquelle se sont joints un professeur de CPGE du Lycée St Louis, deux professeurs agrégés et 16 personnels de laboratoires travaillant dans le secteur des Sciences de la Vie et de la Terre dans différents lycées de la France métropolitaine.

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

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

Des mesures ont été prises pour faire face aux conditions météorologiques liées à une période longue de canicule durant les oraux. De nombreux ventilateurs ont été installés dans les salles de préparation, de l'eau fraîche était disponible et des informations sur le site du concours informaient les candidats sur la possibilité de passer les oraux avec des vêtements légers.

2. Quelques éléments statistiques

2.1. De la candidature à l'admission

2.1.1. Les candidats par secteurs

Candidats inscrits : 904

300 candidats se sont inscrits en secteur A

357 candidats se sont inscrits en secteur B

247 candidats se sont inscrits en secteur C

Candidats présents aux 3 écrits : 499 soit 51,8 % des inscrits.

Candidats présents pour chaque épreuve écrite :

Écrit secteur A	511
Écrit secteur B	511
Écrit secteur C	502

Candidats admissibles : 160 soit 17 % des inscrits et 32 % des présents aux trois écrits :

	Absent à l'écrit	Éliminé	Non admissible	Admissibles aux épreuves orales
Bio.Physio.Cellul. Bio.Molec.	147	5	101	47
Bio.Physio.Organi. Bio.Popul.	151	4	140	62
Sciences Terre et Univers	93	2	101	51
Total général	391	11	342	160

Candidats admis : 75 soit 46,9 % des admissibles.

15,2 % des présents aux 3 écrits et 7,9 % des inscrits :

	Absents aux épreuves orales d'admission	Non présents à l'ensemble des épreuves d'admission	Refusé après les épreuves d'admission	Admis
Bio.Physio.Cellul. Bio.Molec.	4	2	17	24
Bio.Physio.Organi. Bio.Popul.	8	0	23	31
Sciences Terre et Univers	5	0	26	20
Total général	17	2	66	75

La totalité des postes mis au concours (75) a été pourvue.

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

Le tableau suivant donne les moyennes des différentes épreuves écrites en fonction du secteur choisi par les candidats.

	Écrit A	Écrit B	Écrit C
Candidats « A »	6,48	6,29	5,67
Candidats « B »	6,04	6,94	6,38
Candidats « C »	5,84	6,26	6,41
Total général	6,11	6,54	6,18

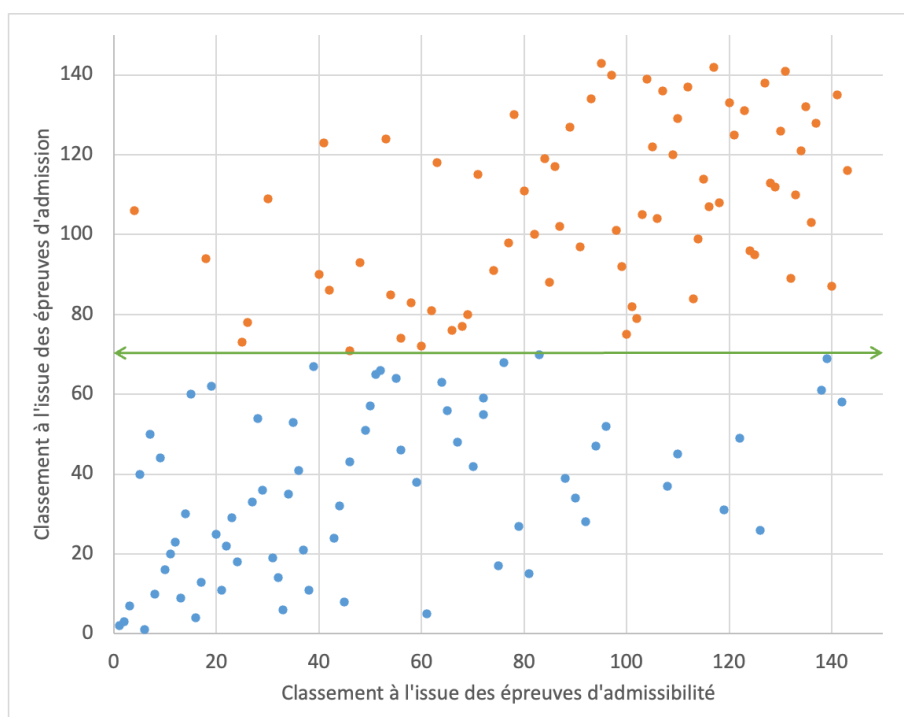
Pour cette session, la barre d'admissibilité est de 8,18/20. La moyenne des candidats qui ont présenté les trois épreuves écrites est de 7,05/20 et celle des admissibles est de 11,04/20. Les meilleurs candidats obtiennent de très

bons résultats aux trois épreuves. Le jury souligne la grande homogénéité et les très bons résultats des candidats classés dans les 50 premiers après les écrits.

Pour l'admission, à l'issue de l'ensemble des épreuves, la moyenne de l'ensemble des candidats a été de 9,26/20 et celle des candidats admis de 10,99/20. La barre d'admission a été de 8,78/20.

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

Chaque année, il est rappelé que toutes les épreuves ont leur importance, notamment lors de l'admission. Il est d'ailleurs très intéressant de noter que les épreuves pratiques et orales peuvent avoir un effet reclassant spectaculaire. Cela s'exprime dans le graphe suivant sur l'évolution du rang entre les épreuves d'admissibilité et à l'issue de l'admission. La dispersion des points montre de manière explicite les rôles joués par les différentes épreuves dans le classement des candidats.



La ligne verte horizontale symbolise la barre d'admission à la 75^e place du concours.

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

2.1.2. Les candidats par sexe

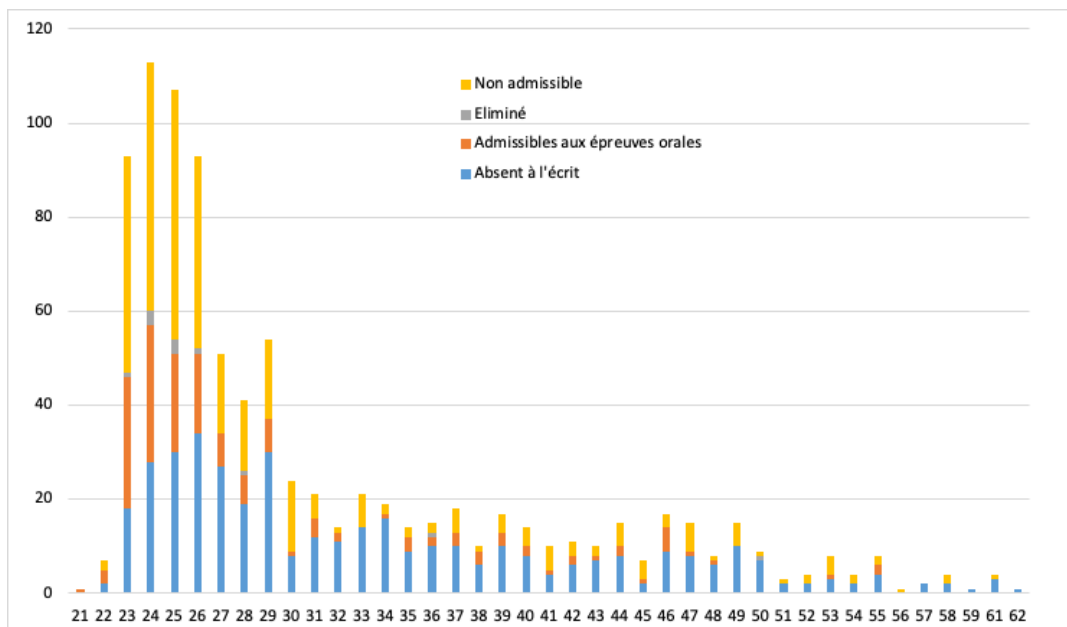
La répartition des candidats par sexe est nettement en faveur des femmes pour les admissibles, conformément au ratio des inscrits. Cette répartition ne se maintient pas tout au long du concours.

Répartition	Inscrits	Présents aux trois épreuves	Admissibles	Présents aux épreuves orales	Admis
♀	557 soit 62 %	310 soit 62 %	91 soit 57 %	77 soit 55 %	38 soit 54 %
♂	347 soit 38 %	192 soit 38 %	69 soit 43 %	64 soit 45 %	37 soit 46 %

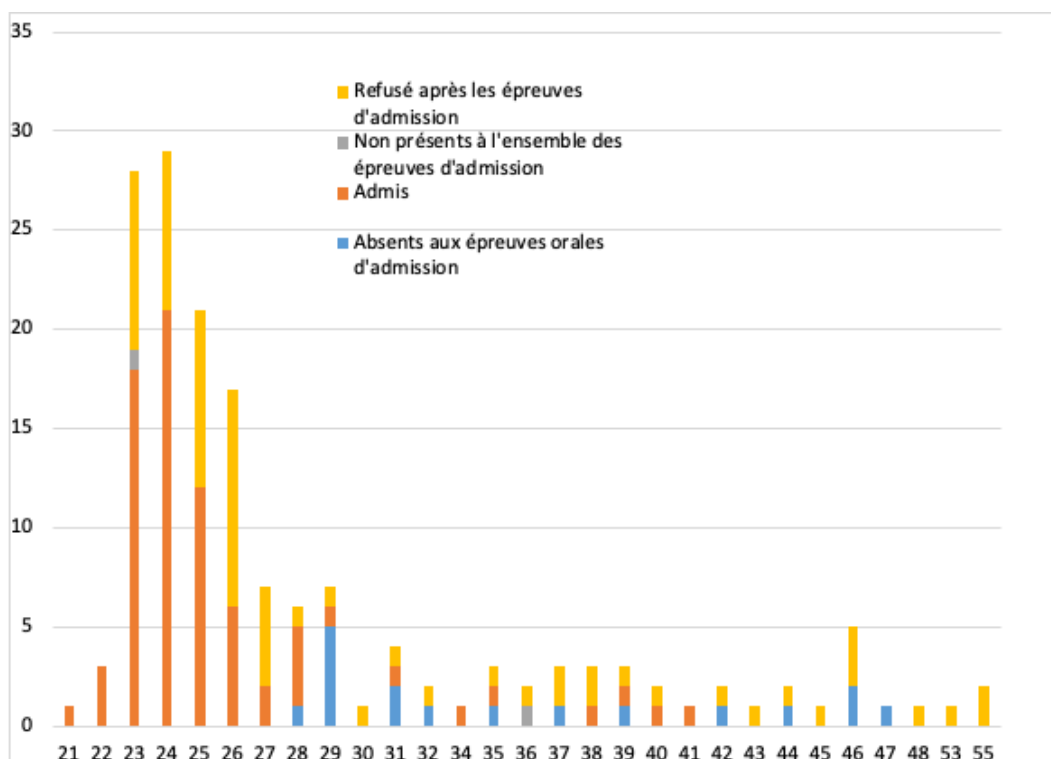
2.1.3. Âges des candidats

Bien que les inscrits, et même les candidats se répartissent sur une large gamme d'âges, force est de constater que l'agrégation externe reste un concours réussi par des étudiants assez jeunes comme le montrent les histogrammes ci-dessous qui reprennent la distribution des âges en fonction des inscrits, des candidats éliminés (non présents aux trois épreuves écrites), des candidats admissibles et des candidats admis. En effet, l'immense majorité des lauréats sont soit en M2 (âge 22 à 23 ans) soit en année de préparation à l'agrégation post-master (âge de 22 à 24 ans). Les lauréats plus âgés sont logiquement moins nombreux, mais 12 professeurs titulaires et stagiaires passent et réussissent le concours de l'agrégation externe.

Répartition des âges et résultats aux épreuves d'admissibilité :



Répartition des âges et résultats aux épreuves d'admission :

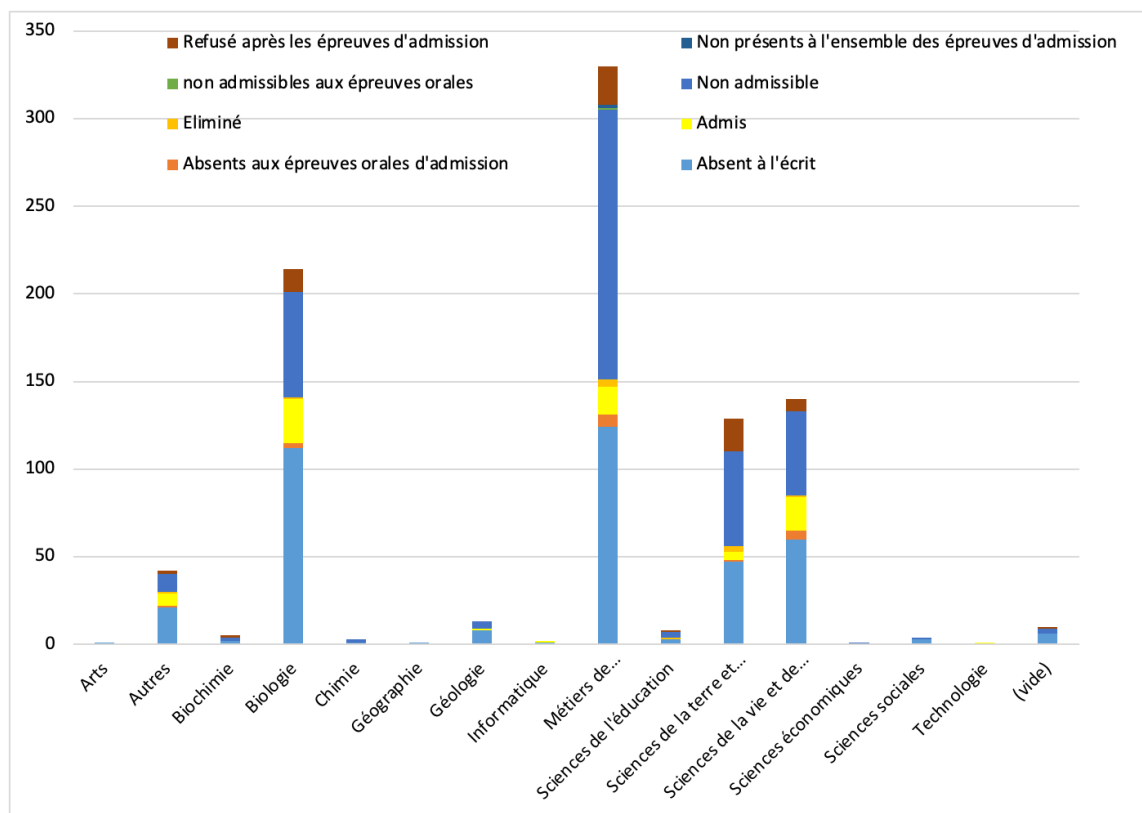
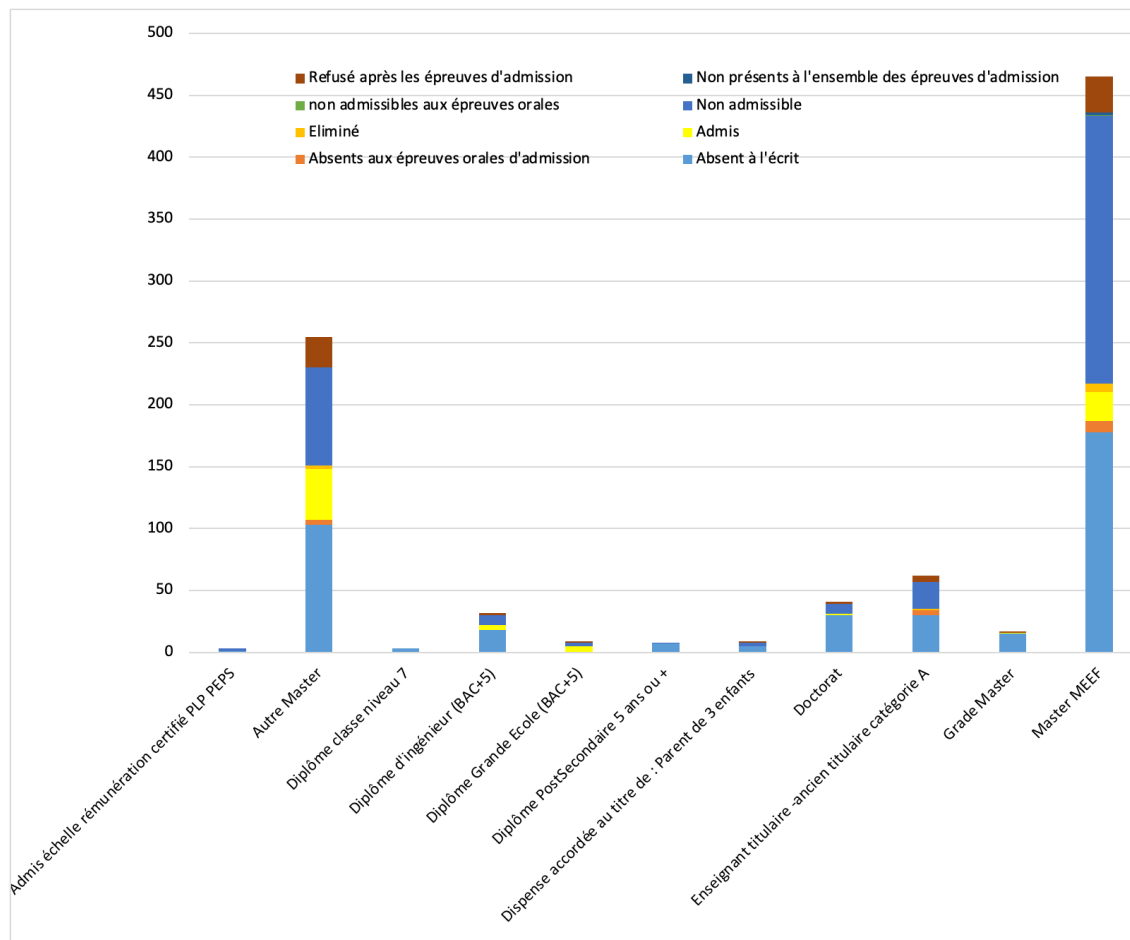


2.1.4. Les candidats par statuts et/ou professions et parcours de formation initiale aux différentes étapes du concours :

	Total général	Absent à l'écrit	Éliminé	Non admissible	Admissibles	Absents aux épreuves orales d'admission
Agent Fonction Publique Etat Autres Ministères	170	85	1	62	22	4
Agent Fonction Publique Hospitalière	1	1				
Agent Fonction Publique Territoriale	1	1				
Agent MEN S/Contrat Droit Privé	1	1				
Agent Non titulaire du MEN	65	30	2	31	2	
Elève d'une ENS	24	1		4	19	
Enseignant Enseignement Privé	27	17		9	1	
Enseignant Titulaire MEN	235	118	1	79	36	13
Enseignant-CPE-COP Stagiaire	22	13		5	4	
Etudiant	269	56	5	134	74	
Hors Fonction Publique / Sans Emploi	89	67	2	18	2	
Total général	904	390	11	342	160	17

Si les candidats inscrits ont des statuts variés, cette variété est bien moindre parmi les admis. En effet, les admis se répartissent en 2 grandes catégories : 68 sont étudiants, soit 92 % (masters disciplinaires hors ESPE ou année de préparation à l'agrégation ou élèves ENS), et 6 sont enseignants (stagiaires, professeur certifié ou contractuels) soit 8 %. Cette année, six professeurs certifiés ont été reçus à l'agrégation externe.

Les graphiques suivants présentent les résultats des candidats en fonction de leur formation initiale (premier graphique) et du domaine de la formation initiale (deuxième graphique) :



2.1.5. Répartition géographique des candidats :

Les candidatures se répartissent dans de très nombreuses académies. Cependant, on relève depuis plusieurs années le contraste entre ce nombre et celui, beaucoup plus modeste, des académies qui présentent des candidats admis. Sur les 30 secteurs géographiques qui présentent des candidats, 20 ont des candidats admissibles et seules 13 ont des admis.

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

Académie	Total général	Absent à l'écrit	Éliminé	Non admissible	Admissible	Absents aux épreuves orales d'admission	Refusé après les épreuves d'admission	Non présents à l'ensemble des épreuves d'admission	Admis
D'AIX MARSEILLE	48	14		22	12		6		6
D'AMIENS	24	12		10	2	2			
D'ORLÉANS-TOURS	27	14		12	1		1		
DE BESANCON	12	6	1	4	1				1
DE BORDEAUX	39	20		16	3		2		1
DE CLERMONT-FERRAND	15	14			1		1		
DE CORSE	3	2		1					
DE DIJON	13	10	1	2					
DE GRENOBLE	24	17		2	5	1	2		2
DE LA GUADELOUPE	11	6		4	1	1			
DE LA GUYANE	5	2		2	1	1			
DE LA MARTINIQUE	9	2		6	1		1		
DE LA NOUVELLE CALÉDONIE	3	2		1					
DE LA POLYNÉSIE FRANCAISE	1	1							
DE LA RÉUNION	11	5		5	1		1		
DE LILLE	30	16		10	4		4		

DE LIMOGES	7	4		3					
DE LYON	60	16	1	17	26		8		18
DE MAYOTTE	8	4		3	1		1		
DE MONTPELLIER	43	16		19	8		4		4
DE NANCY-METZ	16	9		4	3	1	2		
DE NANTES	19	10	1	7	1				1
DE NICE	21	10	1	8	2		1		1
DE NORMANDIE	39	11		25	3		2	1	
DE POITIERS	15	11		3	1	1			
DE REIMS	15	3	1	10	1				1
DE RENNES	52	17	1	25	9		5		4
DE STRASBOURG	38	9		14	15		2		13
DE TOULOUSE	52	24	2	22	4		4		
DE CRETEIL PARIS VERSAILLES	244	103	2	85	53	10	19	1	23
Total général	904	390	11	342	160	17	66	2	75

2.1.6. L'évolution du concours sur le long terme

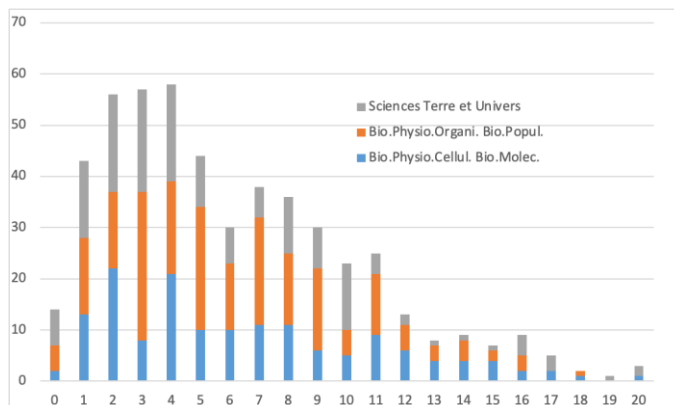
année	nombre de postes mis au concours	nombre d'inscrits	nombre de présents	nombre d'admissibles	nombre d'admis	liste complémentaire
1993	154	1439	819	233	148	Non
1994	154	1581	950	241	154	Non
1995	154	1770	1034	242	142	Non
1996	154	2041	1252	245	154	Non
1997	130	2273	1473	245	130	Non
1998	150	2416	1413	240	150	Non
1999	155	2477	1491	257	155	Non
2000	160	2678	1749	278	160	Non
2001	165	2924	1828	276	165	Non
2002	177	2521	1537	346	177	6
2003	198	2440	1553	378	198	Non
2004	160	2793	1733	334	160	Non
2005	160	2921	1827	334	160	Non
2006	105	3075	1707	257	105	Non
2007	105	2704	1489	259	105	Non
2008	87	2300	1420	217	87	Non
2009	87	1858	1056	196	87	Non
2010	80	1766	928	180	80	Non
2011	65	1354	592	145	65 (+1)	Non
2012	70	1535	636	155	70	Non
2013	80	1729	705	180	80	Non
2014	85	1455	650	190	85	Non
2015	101	1308	650	234	101	Non
2016	103	1464	640	231	103	Non
2017	95	1494	662	225	95	Non
2018	76	1359	578	178	76	Non
2019	65	1217	548	149	65	Non
2020	65	1099	492	140	65	Non
2021	65	1046	484	145	65	Non
2022	65	919	445	146	65	4
2023	70	873	431	151	70	Non
2024	75	937	443	160	75	Non
2025	77	975	505	160	77	Non
2026	75	904	514	160	75	Non

2.2. Quelques données statistiques concernant l'écrit

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

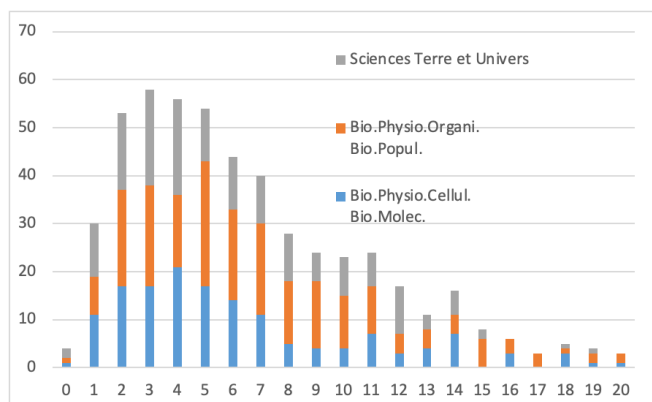
Épreuve écrite de secteur A

Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur A pour les candidats non admissibles, les candidats admissibles non admis et les candidats admis avec leur choix de spécialité :



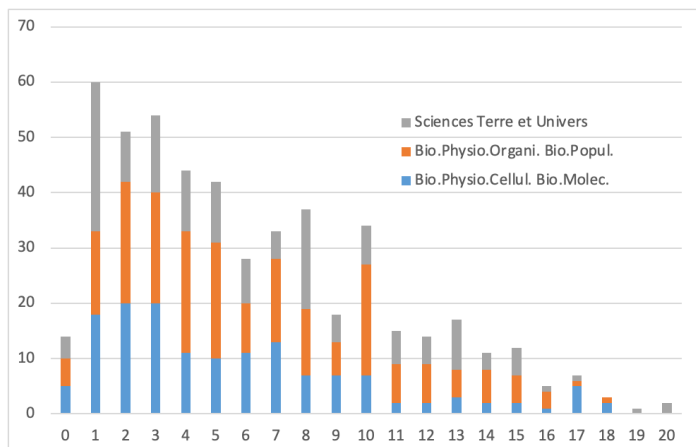
2.2.1. Épreuve écrite de secteur B

Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur B pour les candidats non admissibles, les candidats admissibles non admis et les candidats admis avec leur choix de spécialité :



2.2.2. Épreuve écrite de secteur C

Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur C pour les candidats non admissibles, les candidats admissibles non admis et les candidats admis avec leur choix de spécialité :



2.3. Données statistiques concernant les épreuves pratiques

Travaux pratiques sur secteur choisi :

	A	B	C	Total
Moyenne	10	10	10	10
Ecart type	3	3	3	3
Max	16,07	17,54	18,29	18,29
Min	2	1,21	2	1,21

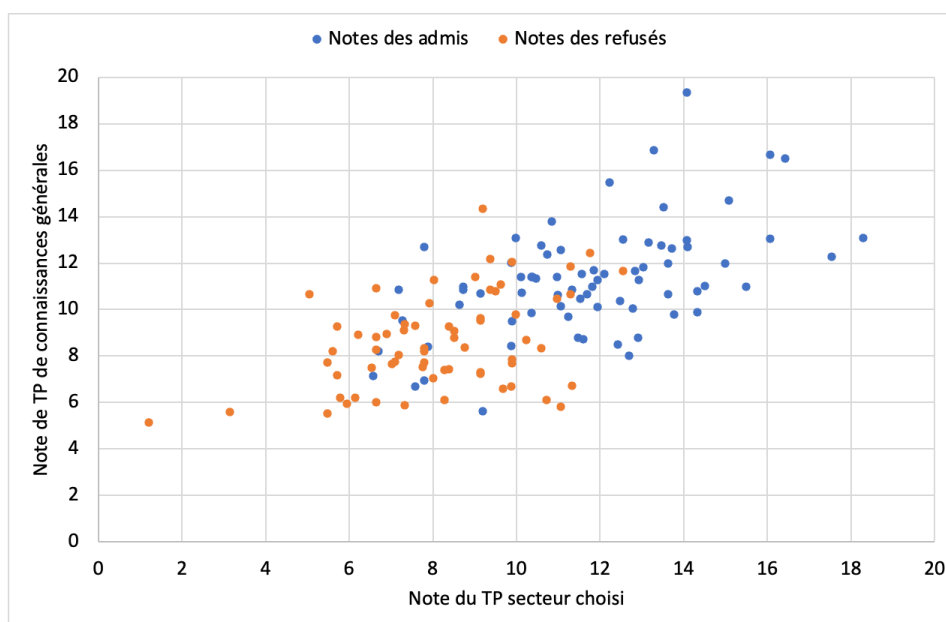
Travaux pratiques sur programme de connaissances générales :

	A	B	C	Total
Moyenne	10,25	10,07	9,67	10
Ecart type	2,82	2,36	2,68	2,6
Max	19,335	16,87	16,51	19,34
Min	4,505	2	2	2

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

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

Le jury rappelle que la somme des coefficients des épreuves de travaux pratiques atteint 5 et que celles-ci jouent un rôle important pour l'admission.



2.4. Moyennes des candidats admis par secteurs

	Tous admis	A admis	B admis	C admis
Moyenne	10,99	11,44	10,37	11,38
Moyenne max	15,41	15,06	14,22	15,41
Moyenne min	8,81	8,85	8,85	8,81

3. Programme du concours

Ce programme est disponible sur le site du Ministère de l'Éducation Nationale à l'adresse [sous ce lien](#)

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

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

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

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

4. Épreuves écrites

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

4.1. Épreuve écrite du secteur A

4.1.1. Sujet et attendus

Le sujet proposé portait sur les « membranes plasmiques et communications intercellulaires » et invitait les candidats à montrer en quoi la structure et les propriétés biochimiques des membranes plasmiques sont à l'origine d'une grande diversité de communications entre cellules chez les organismes pluricellulaires. Ce sujet relève pleinement du secteur A, c'est-à-dire de la biologie cellulaire et moléculaire, il appelle donc un traitement explicite aux échelles moléculaire, membranaire et cellulaire, sans se limiter à un catalogue d'exemples physiologiques.

Ce sujet portait sur des notions du secteur A contenues notamment dans des parties concernant l'organisation moléculaires des membranes (partie 1) et sur les communications cellulaires dispersées dans le programme (partie 2 et 7). On peut notamment citer dans le programme (non exhaustif) :

- **1.1 Éléments de biochimie** (1.1.1 Constitution de la matière | 1.1.2 Principales molécules biologiques)
- **1.2 Organisation fonctionnelle de la cellule** (1.2.1 La théorie cellulaire | 1.2.2 Les membranes cellulaires | 1.2.3 Organisation cellulaire eucaryote et procaryote | 1.2.4 Le cytosquelette | 1.2.5 La cellule et son environnement)
- **1.3 Métabolismes cellulaires** (1.3.1 Thermodynamique élémentaire)
- **1.5 Vie et mort de la cellule** (1.5.2 La mort cellulaire | 1.5.3 La différenciation cellulaire)
- **2.1 La notion d'organisme**
- **2.2 L'origine de l'œuf** (2.2.2 Rapprochement des gamètes, mécanismes cellulaires et moléculaires de la fécondation)
- **2.3 La construction des organismes** (2.3.2 Les plans d'organisation | 2.3.3 La croissance)
- **2.4 Les communications entre cellules au sein de l'organisme** (2.4.1 Communications au sein du système nerveux | 2.4.2 Communications hormonales | 2.4.3 Communications au sein du système immunitaire).
- **2.5 Les principes de la défense des organismes** (2.5.2 L'immunité innée des végétaux et animaux | 2.5.3 L'immunité adaptative des Vertébrés)
- **7.3 Neurobiologie et endocrinologie** (7.3.1 Neurobiologie | 7.3.2 Endocrinologie)
- **7.5 Homéostasie, régulations et réponses intégrées de l'organisme**
- **7.7 L'être humain face aux maladies**

Les copies les mieux réussies ont su articuler de manière intégrée les propriétés des membranes et la diversité des modes de communication, en évitant de traiter séparément « membrane » d'un côté et « communication » de l'autre, ce qui appauvrit la démonstration. Les attendus portaient également sur la mobilisation d'une véritable démarche scientifique, avec problématisation, exemples expérimentaux précis, interprétation des résultats et mise en relation constante entre structure membranaire, perméabilité, réception et transmission des signaux.

Remarques générales récurrentes

Comme dans de nombreux rapports antérieurs de l'agrégation externe SV-STU, plusieurs remarques générales reviennent avec régularité : une compréhension globale du sujet souvent correcte, mais une maîtrise scientifique inégale ; un traitement trop descriptif ; des schémas nombreux mais peu exploités ; une faible place accordée aux démarches expérimentales ; et une qualité de rédaction souvent insuffisante.

Le jury souligne de manière récurrente que les candidats peinent à hiérarchiser leurs idées, à construire un plan réellement démonstratif et à relier les exemples à la problématique posée. Trop de copies juxtaposent des connaissances sans montrer en quoi elles répondent à la question centrale, et certaines introductions se perdent dans des développements généraux sur la cellule eucaryote qui n'apportent rien à l'analyse du sujet.

Une autre remarque constante concerne la faiblesse de la démarche expérimentale. La simple mention d'une technique, par exemple la cryofracture ou le patch-clamp, ne suffit pas : le principe, le type de résultat obtenu et l'intérêt de ce résultat pour l'argumentation doivent être explicités. Les rapports insistent également sur la nécessité

d'un niveau de précision compatible avec le secteur A, ce qui exclut les formulations approximatives, les schémas stéréotypés sans contenu moléculaire et les références historiques ou épistémologiques inexactes.

Enfin, les remarques de forme sont elles aussi récurrentes : orthographe fragile, syntaxe maladroite, vocabulaire peu rigoureux, plans annoncés trop tardivement, ouvertures artificielles et schémas rejetés en fin de copie au lieu d'être intégrés au fil du raisonnement. Ces défauts, largement signalés d'une année à l'autre, nuisent fortement à la lisibilité et à l'efficacité de l'argumentation scientifique.

Remarques générales sur les copies de cette session

Dans l'ensemble, les copies sont restées dans le sujet et le hors-sujet est demeuré limité. La plupart des candidats ont compris qu'il fallait mettre en relation les membranes plasmiques et les communications intercellulaires, même si cette relation a souvent été traitée de manière superficielle ou artificielle.

Le niveau scientifique observé reste toutefois relativement faible. De nombreuses copies témoignent d'erreurs, de confusions et d'imprécisions, en particulier en biochimie membranaire et en biologie cellulaire. Le jury note aussi des difficultés de méthode dans l'organisation des idées, le choix des exemples, l'usage des schémas et l'illustration expérimentale des propos.

Quelques copies se distinguent néanmoins positivement par un réel effort de mise en lien, une construction argumentative cohérente et une utilisation pertinente des exemples. Ce sont en général celles qui évitent les développements plaqués, les catalogues de notions et les illustrations sans fonction démonstrative.

Problèmes de méthode et de construction

Un défaut fréquent consiste à traiter séparément la structure membranaire puis les modes de communication, sans montrer comment les propriétés biochimiques et dynamiques de la membrane rendent possibles des communications variées. Or le cœur du sujet résidait précisément dans cette articulation.

Le plan est souvent peu démonstratif, parfois simplement descriptif. Certaines copies empilent des parties sur la cellule, les lipides, les jonctions ou le système nerveux sans progression logique. Le jury rappelle qu'un plan doit être annoncé dès l'introduction et orienter explicitement la démonstration vers la problématique posée.

Les conclusions sont parfois remplacées par des cartes mentales ou par des ouvertures sans rapport réel avec le sujet. Les rapports soulignent que ce type de procédé est peu pertinent lorsqu'il ne s'accompagne pas d'une synthèse rédigée et scientifiquement construite.

Biochimie membranaire

Les difficultés en biochimie sont particulièrement marquées. Très peu de candidats savent écrire correctement la formule chimique complète d'un phospholipide, et les liaisons ester sont souvent remplacées à tort par des liaisons éther. Beaucoup réduisent les phospholipides à l'acide phosphatidique et présentent les membranes comme constituées uniquement de phospholipides. Pour les définitions, les termes de protéines intrinsèques/extrinsèques sont souvent confondus avec une position intra/extracellulaire.

Le cholestérol est mal maîtrisé : il est souvent mal positionné sur les schémas, et certains candidats le confondent avec les HDL ou LDL, qui sont pourtant des lipoprotéines de transport et non des constituants structuraux de la membrane plasmique.

Le lien entre les propriétés chimiques d'une molécule ou d'un ion et sa perméabilité à la bicouche lipidique est rarement explicité. La bicouche est souvent qualifiée d'« imperméable » sans nuance, alors que la question de la perméabilité sélective était ici centrale pour comprendre les différentes modalités de signalisation intercellulaire.

Biologie cellulaire et signalisation

En biologie cellulaire, de nombreuses confusions persistent entre membrane plasmique et bicouche lipidique. Les formulations du type « la membrane plasmique est une bicouche lipidique » ou « les ions ne peuvent pas

traverser la membrane » traduisent une compréhension incomplète de l'organisation et des fonctions membranaires.

La majorité des candidats raisonne en termes de gradient de concentration et non de gradient de potentiel électrochimique. Des confusions sont aussi relevées entre diffusion, transport passif, symport et circulation ionique. Dans les développements sur le potentiel d'action, les durées sont rarement connues, les abscisses sont souvent non graduées, et le lien entre sélectivité membranaire, canaux voltage-dépendants et propagation du signal est insuffisamment construit.

De façon générale, les techniques sont trop peu mobilisées, ou seulement nommées sans réelle explication du protocole et des résultats. Plus spécifiquement, la technique de patch-clamp est fréquemment mal comprise.

Communications intercellulaires : pertinence des exemples

Le jury a relevé de nombreuses difficultés dans le choix et l'exploitation des exemples. Certains candidats opposent communication paracrine et communication nerveuse, alors que la synapse chimique constitue précisément une forme de communication paracrine à courte distance. D'autres confondent communication et simple échange de matière, par exemple dans le cas du transfert d'un sucre ou des flux d'eau.

La communication autocrine est parfois intégrée alors qu'elle n'entraîne pas dans le cadre attendu du sujet, centré sur les communications entre cellules. La « communication exocrine » est également invoquée à tort, alors que cette catégorie n'a pas de pertinence dans le cadre conceptuel de la signalisation intercellulaire.

Les jonctions serrées, les desmosomes ou l'ancrage des intégrines à la matrice extracellulaire sont souvent mobilisés sans être replacés dans une logique de communication. Plusieurs candidats confondent d'ailleurs desmosomes et plasmodesmes (ces derniers souvent représentés sans membranes...), ce qui affaiblit encore l'analyse.

Le sujet autorisait l'usage d'exemples endocriniens, nerveux ou paracrines, mais ceux-ci devaient être traités au niveau moléculaire. Ainsi, l'exemple de la glycémie n'était recevable qu'à condition de préciser le rôle des transporteurs de glucose, des récepteurs, des effecteurs membranaires et des cascades de signalisation, et non de se limiter à une description organique pancréas-sang-foie-muscle.

Récepteurs, voies de signalisation et dynamique membranaire

Les distinctions entre récepteurs ionotropes et métabotropes sont rarement présentées, alors qu'elles permettaient d'organiser efficacement la démonstration autour de deux grandes modalités de réception et de transduction du signal. Les copies développent plus volontiers des généralités sur les neurotransmetteurs ou les hormones qu'une analyse précise des propriétés membranaires des récepteurs et de leurs conséquences fonctionnelles.

La notion de fluidité membranaire est souvent évoquée de façon convenue, sans montrer comment elle intervient concrètement dans la communication. Pourtant, elle pouvait être mobilisée utilement pour expliquer la régionalisation des protéines membranaires, la propagation de signaux électriques, la mobilité de protéines ancrées comme les protéines G, ou encore l'organisation fonctionnelle du bouton synaptique.

De nombreuses copies décrivent des exocytoses relâchant des vésicules entières dans le milieu extracellulaire, ce qui révèle une confusion entre exocytose et libération d'exosomes. D'autres présentent la réception du message par endocytose comme un mécanisme courant, y compris dans la cellule post-synaptique, ce qui est inadéquat dans la plupart des exemples mobilisés.

Schémas, dessins et ordres de grandeur

Les schémas sont très inégaux. Le jury attendait logiquement, dans un sujet portant sur la membrane plasmique, des représentations complètes, correctement orientées, légendées et mises au service du raisonnement. Or certains candidats dessinent des bicouches entièrement inversées, avec les têtes hydrophiles vers l'intérieur et les queues hydrophobes vers les milieux aqueux.

L'échelle est très souvent absente alors qu'elle est essentielle dans ce type de sujet : épaisseur de la membrane, largeur d'une fente synaptique, dimensions relatives d'un neurone, ou distances caractéristiques des communications juxtacrine, paracrine et endocrine. Les ordres de grandeur sont donc mal connus, parfois fantaisistes.

Les rapports signalent aussi l'accumulation de schémas sans texte explicatif, l'usage de traits ou symboles non légendés, et la tendance à reporter tous les dessins en fin de copie. Ces choix formels réduisent l'intérêt scientifique de l'illustration et compliquent la lecture de la copie numérisée.

Orthographe, précision du langage et qualité rédactionnelle

Les remarques de langue sont nombreuses et rejoignent celles formulées dans des sessions antérieures. Le jury relève des fautes d'orthographe fréquentes, des accords défailants, des impropriétés lexicales et un usage trop relâché du vocabulaire scientifique. Des graphies fautives comme « hydrophyle », « mosaïque fluide » ou « enthérocyte » sont explicitement mentionnées dans les commentaires de correction.

Le manque de précision terminologique se traduit aussi par des formulations scientifiquement incorrectes, par exemple lorsque les ions ou les molécules sont dits « perméables » à la membrane, alors que c'est la membrane qui est plus ou moins perméable à ces entités. Ce défaut de rigueur affaiblit fortement la crédibilité scientifique du propos.

Enfin, certaines introductions réduisent abusivement le vivant aux seuls animaux et végétaux, et quelques candidats excluent même les végétaux au motif qu'ils posséderaient une paroi « à la place d'une membrane plasmique ». De telles erreurs de cadrage sont d'autant plus dommageables qu'elles apparaissent dès l'entrée dans le sujet.

Bilan

Le sujet a généralement été identifié, mais rarement pleinement maîtrisé dans ses attendus scientifiques les plus précis. Les meilleures copies sont celles qui ont su maintenir un lien constant entre composition membranaire, propriétés physico-chimiques, diversité des récepteurs et modalités de communication intercellulaire, tout en s'appuyant sur des exemples rigoureusement traités et sur une véritable démarche scientifique.

À l'inverse, les copies les moins convaincantes cumulent approximations biochimiques, confusions de biologie cellulaire, faiblesse expérimentale, choix d'exemples peu pertinents et défauts de forme. Ces remarques, très proches de celles formulées dans les rapports de jury antérieurs, rappellent qu'une bonne copie de secteur A doit allier exactitude moléculaire, hiérarchisation des idées, qualité rédactionnelle et capacité à construire une démonstration scientifique cohérente.

4.1.2. Éléments d'évaluation

La grille présentée ci-dessous ne constitue pas un corrigé type. Elle présente l'ensemble des notions attendues dans le sujet pour en faire une couverture la plus complète possible. Il n'était pas possible dans le temps imparti de présenter l'ensemble des points avec un niveau de détail moléculaire et une démonstration expérimentale. Il revient au candidat de choisir quelques points pertinents pour développer cette approche démonstrative.

Introduction	Analyse du sujet dont les termes qui débouche sur des fils directeurs ancrés dans un sens biologique. Formulation d'une problématique.
	Annonce du plan = axe directeur en lien avec la problématique formulée.

Titre partie	Titre sous partie	Notions attendues
Organisation et diversité des membranes plasmiques	Composition et structure générale des membranes plasmiques eucaryotes	Diversité des composants lipidiques saponifiables membranaires (phospho/glycolipides, glycéro/sphingolipides, insaturations), des stérols (cholestérol, ergostérol, phytostérol), et des composants protéiques (intrinsèque/extrinsèque, transmembranaires...). Organisation de la bicouche lipidique et interactions avec les molécules

		d'eau. Notion de glycosylations sur la face externe. L'exemple du PIP2 permettrait d'aborder l'importance des lipides pour la communication.
	Modèle de mosaïque fluide	Fluidité des composants lipidiques ET protéiques. Notion de diffusion latérale et transversale, avec potentielle action d'enzymes (flippase/floppase/scramblase). Conséquences sur l'asymétrie horizontale et verticale de la membrane. Notions de radeaux lipidiques, interactions avec le cytosquelette. Fluidité dépendante de plusieurs facteurs : T°, stéroïdes, insaturations... Conséquence de la fluidité sur les formes cellulaires et la formation de vésicules, tout comme les déplacements protéiques pour la signalisation (protéines G ancrées).
	Perméabilité des membranes plasmiques.	Perméabilité de la bicouche lipidique selon la nature des molécules. Importance des éléments protéiques sur la perméabilité. Action de la pompe Na/K et potentiel de repos, pilier pour la communication électrique. Potentiel d'équilibre d'un ion (équation de Nernst), notion de gradient électrochimique.
Transports membranaires essentiels à la communication	Diversité des transports transmembranaires	Spécialisation des membranes plasmiques en fonction du contenu en protéines. Diversité des transports transmembranaires (passif par diffusion simple ou facilitée, actif primaire ou secondaire, antiport/symport...). La nature de la molécule transportée conditionne le type de transport (hydrophile/lipophile). Équilibre chimique et loi de Fick.
	Diversité des flux membranaires	Processus d'endocytose et exocytose, constitutif ou spécifique. Action des protéines SNARE avec le calcium. Dans certains cas de communications, bourgeonnement de microvésicules extracellulaires (synapse immunologique...).
Communication et membranes	Les différents types de communications intercellulaires	Notion de distance (paracrine, endocrine, juxtacrine), de messenger diffusible (RCPG, récepteur nucléaire...) ou membranaire (Notch-Delta, synapse immunologique...). Notions de continuité cellulaire pour les jonctions communicantes, les plasmodesmes, ou les hyphes coenocytiques des champignons.
	Les étapes des communications intercellulaires	Notion de molécule signal (messagers), diffusion du signal vers la cellule cible, réception et réponse. Différence de signalisation entre un messenger hydrophile ou hydrophobe. Transduction du signal et amplification par second messenger. Des composants lipidiques comme intermédiaires de signalisation (PIP2, éicosanoïdes...). Diversité de voies de signalisation (RCPG, RTKinases, R stéroïdes...).
	Les signaux électriques	Notion de différence de potentiel membranaire comme message à l'échelle de la cellule. Caractéristiques d'un potentiel d'action (PA), expliqué au niveau moléculaire avec les propriétés des canaux voltage-dépendants. Lien entre amplitude du potentiel gradué à propagation électrotonique dans le cône initial et fréquence des PA. Vitesse de conduction variable en fonction du diamètre de l'axone et de la gaine de myéline.
	La synapse chimique	Intervention des éléments pré- et post-synaptiques, au niveau d'une fente synaptique. De l'exocytose provoquée par un train de PA en pré-synaptique à la réponse post-synaptique qui dépend des récepteurs membranaires présents : modification de la perméabilité ionique -> PPSE, PPSI. Exemple d'une plaque motrice et ses particularités (tubule T, ...).

Les techniques en laboratoire - biotechnologies	Membranes et communication en laboratoire	Diverses techniques historiques ou actuelles (optogénétique, patch clamp, étude interaction ligand-récepteurs membranaire (SPR, FRET...), ajout d'agonistes ou d'antagonistes, suivi de la transduction par blot ou IF...), Annexine V et apoptose en suivi par cytométrie en flux, cryofracture. FRAP ou hybride fluorescent pour la diffusion membranaire.
Effort d'intégration des membranes plasmiques en lien avec les communications		Les copies dont les caractéristiques des membranes plasmiques sont très souvent mises en relation avec les propriétés des communications intercellulaires ont été valorisées.

Qualité des démonstrations et de l'argumentation	
Qualité du plan et de l'organisation de la copie	Adéquation au sujet
	Cohérent globalement (niveau hiérarchique homogène des découpages du plan)
	Logique dans la progression de la copie
	Unités paragraphiques : une idée par paragraphe en adéquation avec son titre
	Transitions : explicite la logique de changer de paragraphe/partie
Illustrations	Richesse de la copie en illustrations
	Qualité des illustrations : soignée (titre, légende, échelle si pertinent), fait apparaître une hiérarchisation des informations apportées par l'illustration, intégrée au discours
Orthographe/syntaxe	
Clarté/concision/soin	
Conclusion	Synthèse (qui n'est pas une simple redite) des idées fortes développées au long de l'exposé avec ou pas un schéma de synthèse
	Ouverture de qualité vers un prolongement intéressant du sujet/remise en perspective

4.2. Épreuve écrite du secteur B

4.2.1. Le sujet proposé

LE DIOXYGENE ET LES ETRES VIVANTS DANS LEURS MILIEUX DE VIE

4.2.2. Commentaires généraux sur la compréhension et le traitement du sujet

Le sujet mettait en exergue deux particularités de la planète Terre dans le système solaire : une atmosphère riche en dioxygène (21% actuellement) et la présence d'êtres vivants. Ces deux particularités du système Terre, l'une biologique, l'autre chimique, sont en réalité liées. Le sujet suppose de considérer les relations entre les êtres vivants et le dioxygène présent dans leur milieu :

- rôles biologiques du dioxygène et disponibilité dans le milieu
- approvisionnement des êtres vivants jusqu'au niveau cellulaire
- influence des êtres vivants eux-mêmes sur la quantité d'O₂ présente dans le milieu
- adaptations des êtres vivants aux quantités variables de dioxygène dans les milieux, à l'échelle de plusieurs générations ou au cours du cycle de vie d'un organisme

Ce sujet s'inscrivait dans différentes rubriques du programme du concours. On peut notamment citer :

Partie 3 : Plans d'organisation du vivant et phylogénie.

- 3.3 Plans d'organisation des métazoaires

Partie 4 : L'organisme dans son environnement

- 4.1 La nutrition des organismes
- 4.2 La réalisation des échanges avec le milieu
- 4.4.2 Cycles de développement

Partie 5 : Biodiversité, écologie, éthologie, évolution

- 5.1 Histoire et concepts en évolution
- 5.6 Écologie fonctionnelle – écosystèmes

Partie 7 : Éléments de biologie et de physiologie dans l'espèce humaine

- 7.2 La circulation sanguine et la respiration
- 7.4 Grossesse, accouchement, lactation

Les attentes du jury portaient sur les aspects développés ci-dessous :

1. **Maîtrise des concepts fondamentaux de la biologie des organismes, de la physiologie à différentes échelles, de l'histoire évolutive de la vie et ses adaptations à son milieu** : Les candidats devaient démontrer une compréhension approfondie des concepts et mécanismes suivants : rôles énergétiques du dioxygène terrestre depuis son apparition et son utilisation grâce ou malgré son fort pouvoir oxydant, adaptations des processus d'échanges de dioxygène avec des milieux aux propriétés différentes, modalités de transfert de ce dioxygène dans un milieu intérieur jusqu'aux cellules consommatrices, adaptations à différentes échelles à une distribution variable du dioxygène selon le milieu, et conséquences en retour du métabolisme des êtres vivants dans les pressions partielles en dioxygène des milieux.
2. **Capacité à présenter des concepts dans un contexte spécifique** : Ce sujet appelait à mobiliser, de façon synthétique et ordonnée, des mécanismes biologiques et physiologiques en lien avec l'adaptation évolutive de la plupart des êtres vivants (dans tous les phylums) aux propriétés du milieu pertinentes dans le cadre de l'approvisionnement en dioxygène. Une riche culture générale permettait de montrer la diversité des réponses possibles, plus ou moins perfectionnées. Le lien avec les propriétés physiques des habitats ou celles gouvernant les échanges gazeux était indispensable à la compréhension des structures et mécanismes sélectionnés.
3. **Utilisation d'exemples concrets et diversifiés** : les copies étaient valorisées par la présentation et l'illustration précises et fonctionnelles d'exemples caractéristiques de la diversité des adaptations dans le monde vivant, en

réponse à des pressions de sélections particulières quant à la présence et la pression partielle en dioxygène. Ces exemples devaient soutenir la démonstration de la problématique du sujet mais ne pas donner lieu à une liste plus ou moins exhaustive.

4. **Capacité de problématisation et de synthèse** : Une problématisation claire du sujet et une organisation rigoureuse de l'argumentation à travers des exemples bien documentés et illustrés étaient essentielles pour structurer la réflexion et aborder la diversité des situations. Une attention particulière a été portée au fil conducteur de l'exposé ainsi qu'aux transitions entre les différentes parties.
5. **Remarques sur les compétences générales attendues** : Signalons que les copies qui ont traité le sujet en respectant les conseils mentionnés dans les rapports antérieurs ainsi que les attendus spécifiques à ce sujet ont obtenu de très bonnes notes. Ces copies se démarquent par leur capacité à faire des choix et les hiérarchiser, à illustrer avec des exemples précis pour répondre avec rigueur à la problématique, à s'appuyer sur les concepts physiques nécessaires à l'établissement des situations biologiques.

Revenons ci-après sur les principaux problèmes identifiés dans les copies par le jury, certains d'entre eux se révélant d'autant plus problématiques qu'ils sont mentionnés de manière récurrente dans les rapports antérieurs.

Délimiter le sujet, organiser des idées et construire un plan

L'introduction doit permettre de contextualiser rapide le sujet, de définir les termes de l'énoncé, de proposer une problématique et d'annoncer la démarche pour y répondre (sans nécessité d'écrire un plan détaillé à ce stade).

Malgré ces attendus chaque année répétés, le jury constate que la définition des mots-clefs n'est pas toujours complète, ou exacte (on retrouve encore une présentation obsolète du vivant par les « 3 règnes : animal, végétal et des champignons »). La problématique choisie doit être simple et explicite. Une formulation du type « on peut donc se demander... » doit faire véritablement référence à la situation à laquelle renvoie le connecteur « donc ».

Le plan, clairement écrit dans la copie, doit tenir compte de la problématique choisie tout le long de l'exposé, ce qui a été fait le plus souvent. **Les titres** ne peuvent pas se limiter à quelques mots non contextualisés ("i. en milieu aquatique") ou à un exemple ("i. exemple des téléostéens"), et doit préciser l'échelle d'étude.

Chaque paragraphe est l'occasion de développer en priorité les idées essentielles à la construction du sujet.

Une transition est indispensable pour répondre progressivement à la problématique. Le jury déplore l'absence fréquente de transitions, ou leur caractère simpliste/artificiel qui ne traduit pas le fil conducteur de la copie.

Exemple : « Mais que devient le dioxygène capté ? »

Conclusion et ouverture : trop de conclusions ne font pas la synthèse des concepts mis en jeu et ne répondent pas aux questionnements de l'introduction. On peut également y trouver des notions qui auraient dû être développées dans le sujet tel que le caractère toxique du dioxygène, la capacité de vivre sans O₂...

Quant à l'ouverture, quand elle est présente, son intérêt est trop souvent limité, voire ne donnerait pas envie de lire la suite s'il y en avait une !

Certains développements **hors-sujet** ont fait perdre un temps souvent précieux sans être valorisés.

La glycolyse ou le cycle de Krebs n'apportaient rien au sujet. La présentation détaillée d'une chaîne respiratoire n'était pas attendue (secteur A) contrairement à une présentation centrée sur l'implication du dioxygène dans le processus.

Certains exemples ne sont pas clairement reliés au sujet comme la photosynthèse CAM qui est davantage une adaptation à la vie en milieu xérique, ou l'hibernation, ou la distribution latitudinale des êtres vivants, ou encore la présentation du réseau trophique d'un écosystème. Le jury invite les candidats à concevoir le sujet comme une "cible" : lorsque le lien avec le "cœur de cible" devient trop distendu, c'est qu'il n'est pas nécessaire de faire un développement important.

Trop de transitions, quand elles existent, se résument à "après avoir vu telle idée, nous allons voir l'idée suivante", sans resituer dans la problématique.

Construire une démarche scientifique démonstrative basée sur des exemples pertinents

- Un exemple, bien traité, peut suffire pour argumenter un concept, et la diversité des exemples choisis doit permettre de le compléter avec d'autres aspects nécessaires à la compréhension du sujet, ou pour changer d'échelle (exemple avec les branchies).

- Les notions doivent s'appuyer sur des données scientifiques précises, y compris deux ou trois présentations claires d'expériences (avec témoin) ou d'observations, historiques ou récentes ; la simple citation d'une expérience (« comme mis en évidence par Hill ») ou l'idée d'une expérience (« des travaux ont montré que... ») ne constituent pas un argument.

- Ne pas inventer d'expérience (« écrevisse dans un milieu où l'O₂ est marqué avec un colorant bleu » pour montrer son absorption par les branchies).

- Faire preuve d'ouverture et de culture scientifique sur le sujet. Certaines adaptations pourtant importantes dans la compréhension de la répartition actuelles des espèces ont été très peu traitées dans les copies : la toxicité liée à l'augmentation initiale de la pression partielle en O₂ dans un milieu, la variation de la pression partielle d'O₂ au cours du temps ou de l'espace dans les milieux de vie, qu'elle soit liée à des facteurs abiotiques ou biotiques, l'échelle de ces adaptations, à court terme ou long terme, physiologiques ou comportementales. Seuls les candidats ayant fait cette démarche d'élargissement de leur sujet ont pu prétendre à une excellente note.

Relevé d'erreurs récurrentes concernant le sujet dans les copies :

Maîtrise des sources et utilisations de l'O₂ :

- La teneur atmosphérique en O₂ n'est pas toujours donnée, ou fausse.

- Photosynthèse/respiration : équations non équilibrées ou sans la source d'énergie, manque de maîtrise des bilans des chaînes respiratoire et photosynthétique et du rôle spécifique de l'O₂.

- Un nombre non négligeable de copies indiquent que les végétaux ne respirent que la nuit, et font la photosynthèse le jour... et cette respiration nocturne des végétaux est alors souvent appelée photorespiration... !

- La photosynthèse n'est trop souvent qu'oxygénique (les bactéries d'il y a 3,5 Ga à l'origine des premiers stromatolithes n'étaient pas oxygéniques)

- dans les copies, les organismes photosynthétiques sont généralement réduits aux angiospermes aériennes : le cas des angiospermes aquatiques, des algues pluricellulaires ou unicellulaires appartenant à d'autres lignées eucaryotes que la lignée verte, n'est que très exceptionnellement évoqué. On a parfois l'impression que la photosynthèse des cyanobactéries n'a servi qu'à produire O₂ au Protérozoïque, et que ces dernières n'existent plus à l'heure actuelle, traduisant une vision réductrice de la diversité du vivant.

Maîtrise des fondements chimiques, physiques, thermodynamiques :

- concept d'énergie : énoncer "produire de l'énergie" est faux, sans préciser les conversions énergétiques associées.

- l'oxydoréduction n'est souvent pas maîtrisée : O₂ est-il oxydant ? réducteur ? La notion de potentiel redox n'est pas claire, de même le sens spontané de transfert d'électrons (avec de très rares quantifications).

- les concepts physiques "de base" tels que diffusion, dissolution... ne sont pas maîtrisés. La loi de Fick est rarement bien écrite, donc bien comprise.

- La double circulation sanguine est présentée pour elle-même sans faire le lien avec la faible densité du milieu aérien

Maîtrise du transport du dioxygène :

- la courbe de saturation de l'hémoglobine (qui, rappelons-le, n'est pas une enzyme) est rarement présentée, ou erronée.

- les explications concernant l'affinité pour O₂ sont bien souvent incomplètes/incorrectes.

- la notion de contre-courant est souvent inexacte, ou trop peu explicite (deux flèches sans expliquer le lien avec la pression partielle en dioxygène).

Quelques phrases ou erreurs récurrentes dans un nombre certain de copies :

"Les végétaux qui ont une respiration appelée photosynthèse"

"Les stomates sont les organes de la respiration foliaire"

"O₂ a une solubilité forte dans le milieu aérien"

"L'hémolymphe des insectes ne transporte pas le dioxygène" (sauf exception de quelques groupes ou larves aquatiques)

L'Amazonie ou l'océan n'est pas un "poumon de la Terre"

"L'eutrophisation n'est pas directement liée à la consommation de O₂ par les algues."

S'exprimer dans un langage clair et précis en évitant tout finalisme

Un vocabulaire tant biologique que physique rigoureux est attendu pour expliciter les mécanismes :

- *trop souvent, les simples mots "échange" ou "transfert/transport/passage" d'O₂ (ou même une simple flèche !) sont préférés à l'explicitation des processus : "diffusion/convection/dissolution"*
- *Il est souvent traité de la filtration, de l'incorporation et de l'assimilation du dioxygène !*
- *le terme de "respiration" a un sens différent de "ventilation".*

Concernant le finalisme, comme chaque année, le jury alerte les candidats sur l'usage intolérable de démonstrations qui tendent vers une finalité ou un but, et qui sont non cohérentes scientifiquement. Le jury prend en compte dans son évaluation ces formulations problématiques pour un enseignement de sciences.

On assiste parfois à l'inverse à une succession de processus évolutifs "plaqués" les uns à la suite des autres, dans une même sous-partie/partie, sans que cela fasse beaucoup de sens : spéciation, sélection naturelle, co-évolution... L'intitulé du secteur B semble inciter les candidats à se forcer à parler d'évolution alors que les concepts évolutifs peuvent être employés de façon pertinente dans la plupart des sujets sans les regrouper dans un paragraphe dédié.

En quelques phrases :

- *phrases qui mentionnent des « stratégies » « développées par les êtres vivants » qui « s'adaptent »*
- *phrases aux connecteurs finalistes « afin de », « pour », « parfaitement adapté », ou problématiques avec "pourquoi"*
- *phrases débutant par « en effet » sans qu'il y ait un lien de causalité avec ce qui précède.*
- *phrases indiquant comment l'environnement sélectionne les individus les mieux adaptés.*
- *Les "méthodes d'absorption d'O₂ développées sous l'effet de la sélection naturelle"...*
- *"l'O₂ est un gaz plus rare dans l'eau alors les organismes doivent s'adapter par rapport à sa disponibilité".*
- *"les êtres vivants doivent s'adapter pour survivre aux contraintes des milieux de vie"*
- *"Les espèces doivent s'adapter pour assurer leur pérennité". Cela offre une vision gradiste de l'évolution, qui procéderait toujours par complexification et perfectionnement.*

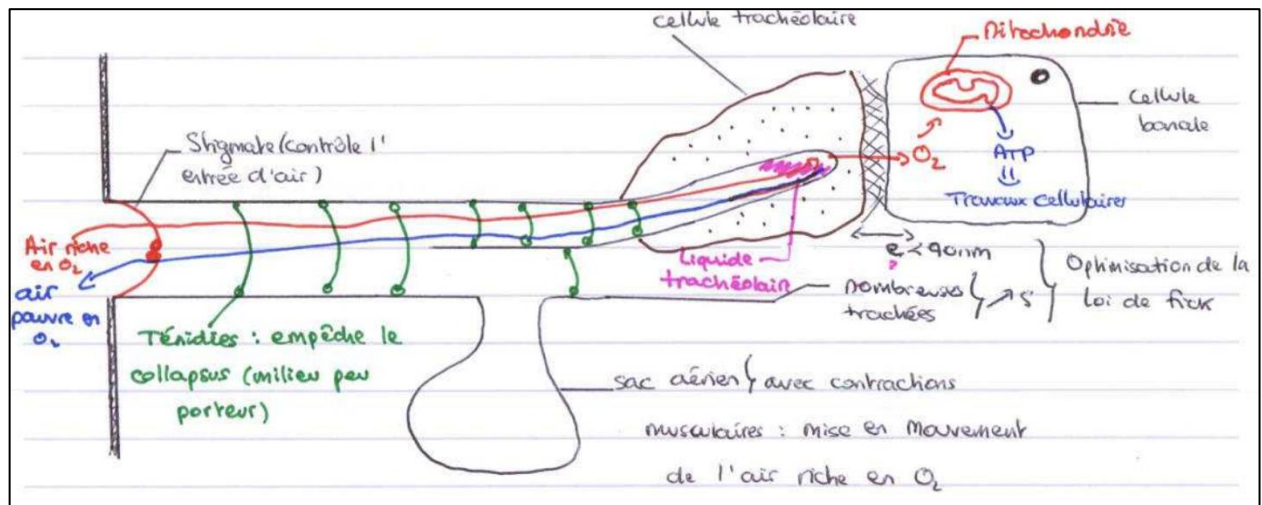
Intégrer des illustrations comme support d'argumentation du sujet :

Les illustrations sont incontournables dans les sujets de biologie. Communiquer graphiquement doit permettre d'explicitier des aspects relatifs au sujet ou d'apporter des idées complémentaires du texte, sans le remplacer pour le nécessaire suivi du fil conducteur. Les schémas proposés doivent s'accompagner d'un titre en lien explicite avec le sujet (ici le dioxygène ou le milieu de vie), de légendes bien claires indiquant au jury un sens de lecture quand c'est nécessaire à la compréhension, ainsi que d'un ordre de grandeur ou d'une orientation si cela est nécessaire.

Tous les schémas ont obligatoirement un caractère fonctionnel associé au sujet (ici des schémas de surfaces d'échanges devaient être reliés aux paramètres de la diffusion). Les cartes mentales ou les schémas généraux en fin de copie sont rarement pertinents : des mots clés reliés par des flèches restent peu compréhensibles pour un lecteur.

Le jury dénombre trop de copies sans aucun schéma, ou des schémas trop simplistes pour faire avancer le sujet, ou des schémas inutiles (ici une mitochondrie ou un chloroplaste pour leur structure). Un nombre raisonnable de schémas fonctionnels et pertinents au regard du sujet est attendu avec une distribution dans les différents paragraphes quand le sujet s'y prête, ce qui était le cas cette année.

Exemple de schémas (pas forcément exempts de toute approximation) ayant pu être valorisés :



Titre : l'approvisionnement individuel d'une cellule de criquet par l'appareil trachéen

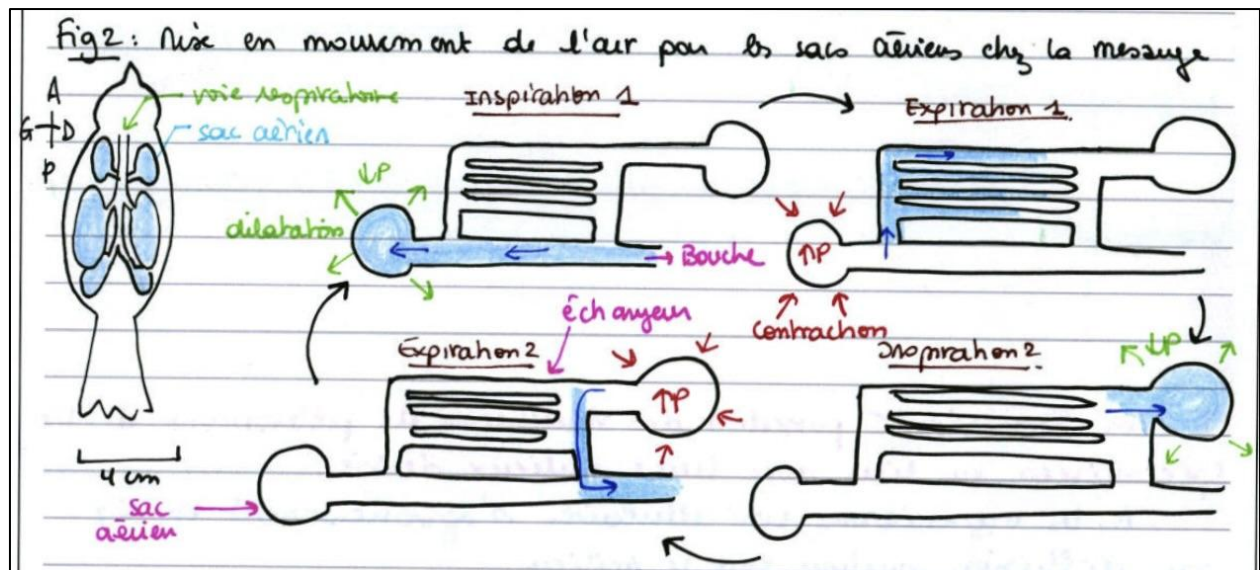
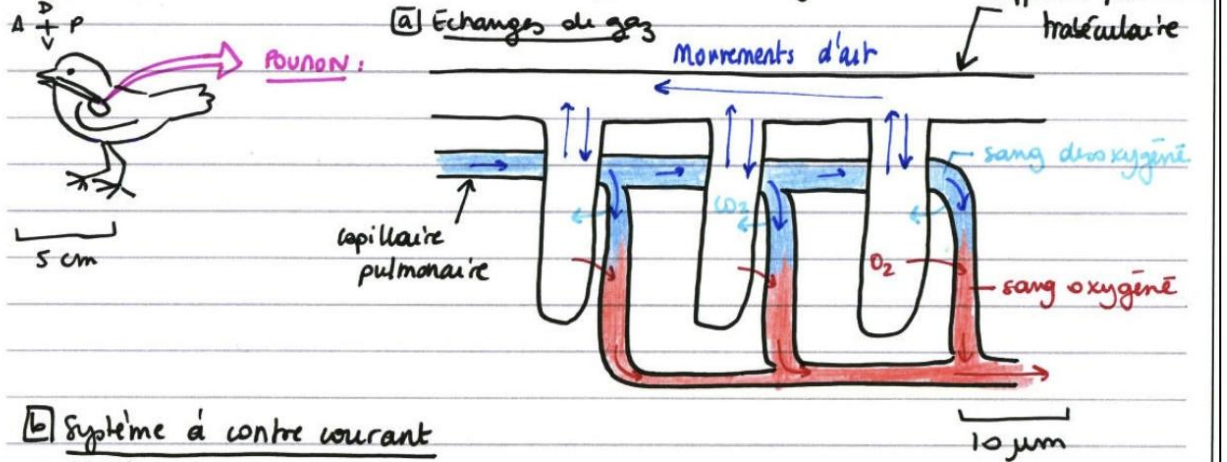


Fig. : Système à contre-courant chez la mésange



b) Système à contre courant

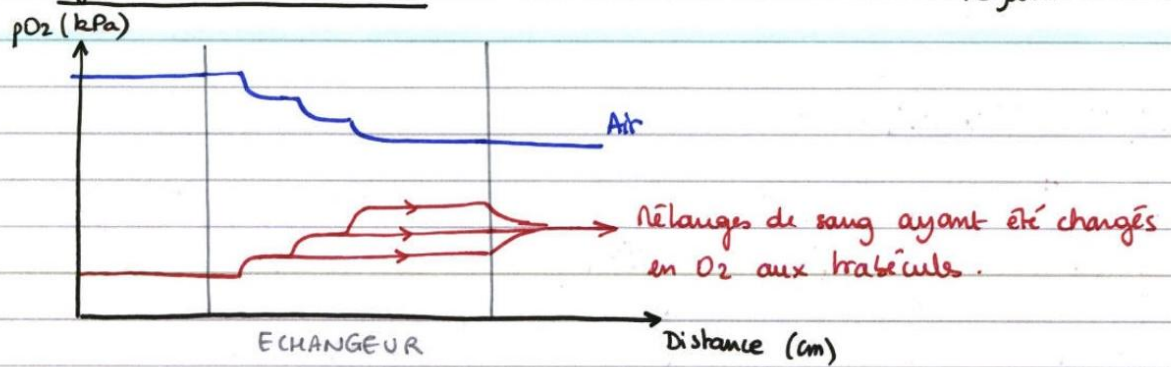
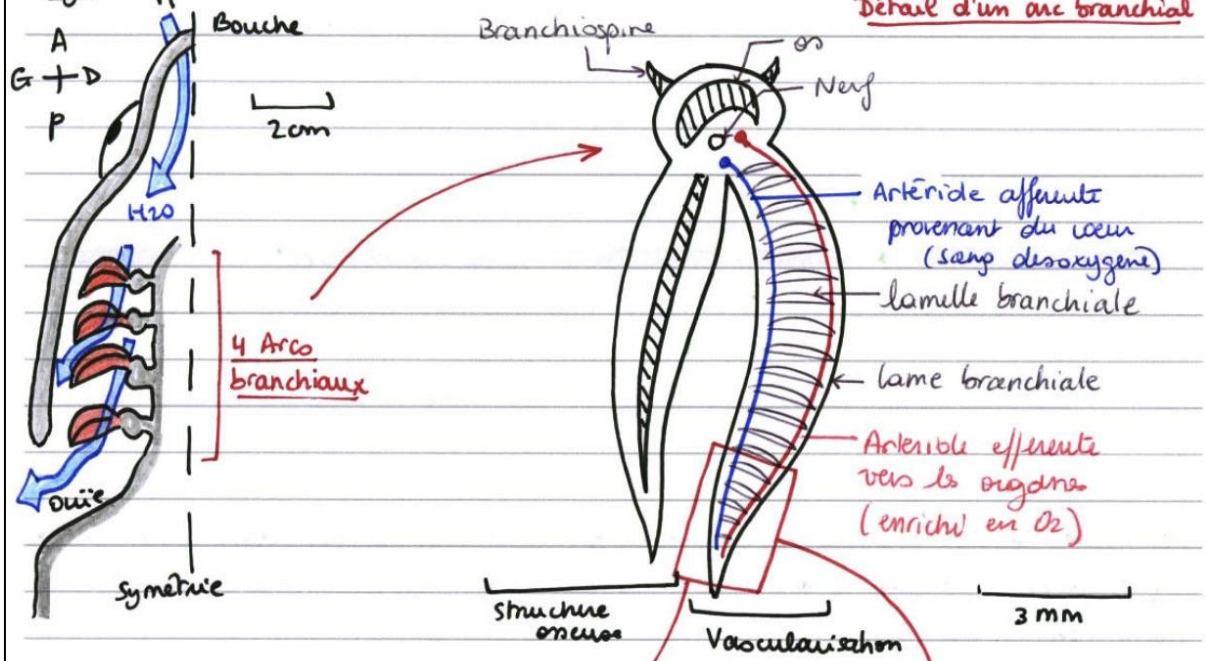
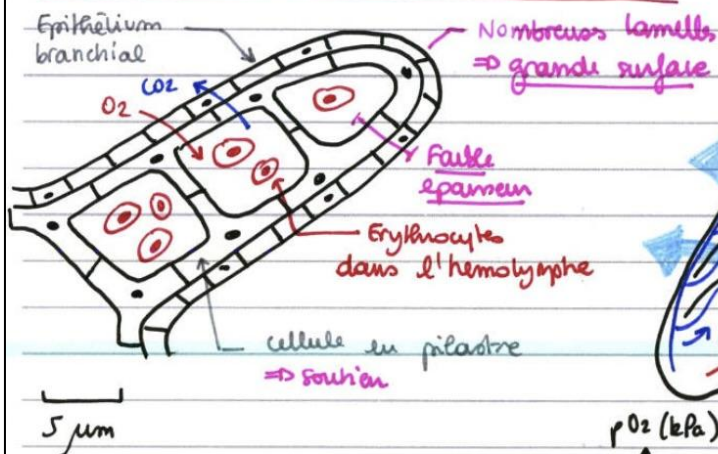


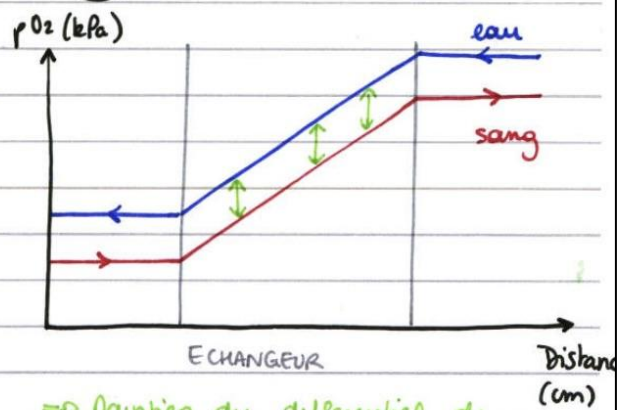
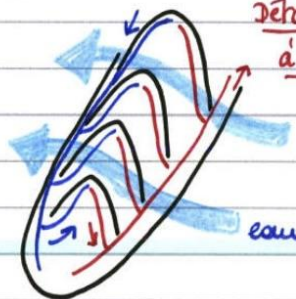
Fig 9 : Appareil branchial de Téléostéen



Détails cellulaires d'une lamelle branchiale



Détail de la ventilation à contre-courant aux lamelles branchiales



⇒ maintien du différentiel de pression partielle ⇒ flux important d'O₂ vers le sang

!! / ?

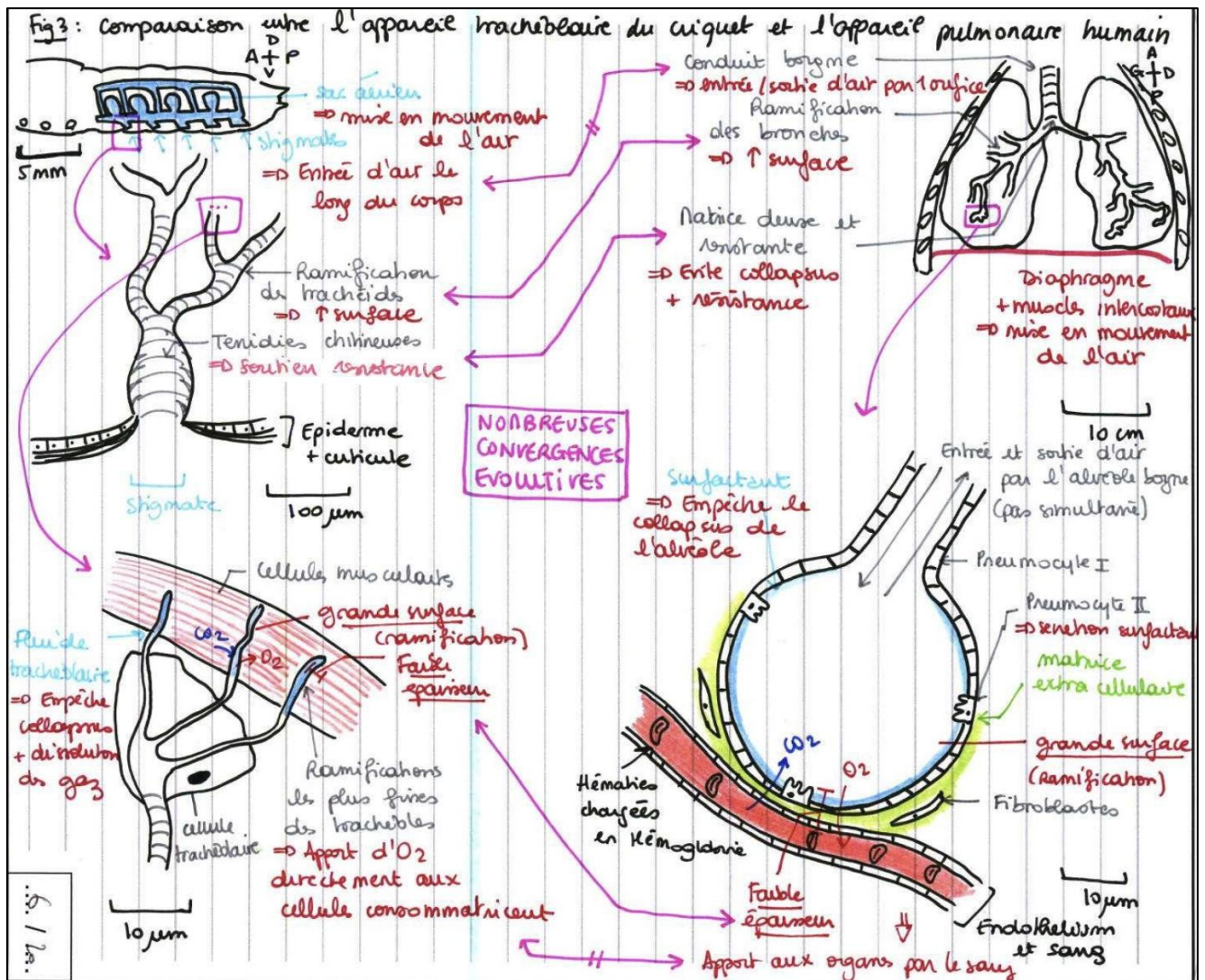
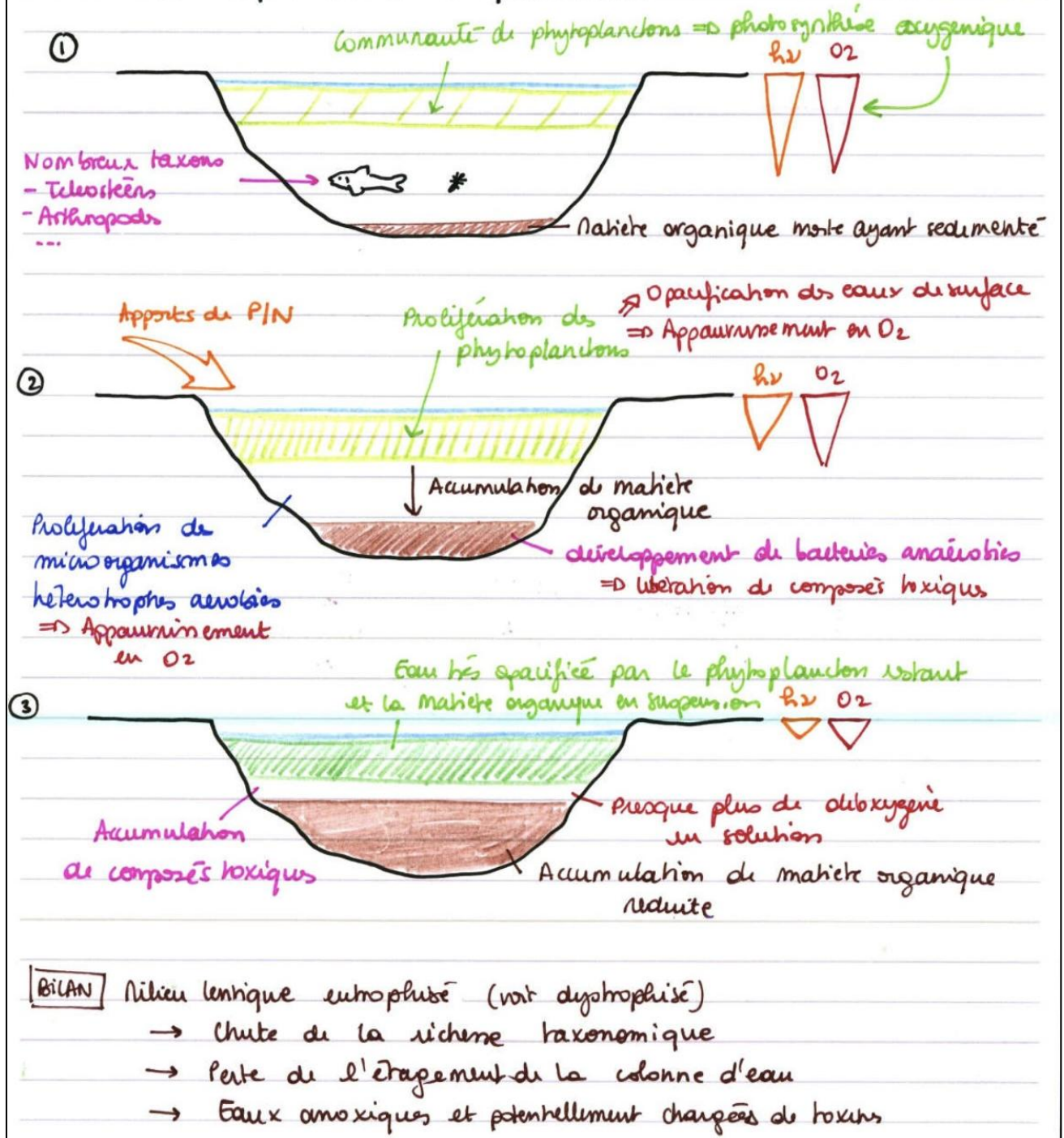


Figure 12 : Importance de l'O₂ dans l'étagement des communautés sur l'exemple de l'eutrophisation.



S'exprimer dans un français reconnu et écrire lisiblement

Le jury attire l'attention des candidats sur la lisibilité des copies, sans quoi le correcteur peut ne pas comprendre, ainsi que sur la qualité de la syntaxe et de l'orthographe qui sont des attendus pour enseigner.

Le jury s'étonne que certains candidats utilisent tout au long de leur exposé un style rédactionnel télégraphique, façon prise de notes, avec des abréviations, des phrases sans verbe, et des signes diacritiques en tout genre... Cette technique peut permettre de balayer un large éventail d'items de la grille, mais pas de proposer un argumentaire cohérent pour le lecteur, et valoriser cette démarche pourrait être déloyal vis-à-vis des candidats qui font l'effort de rédiger de façon simple mais grammaticalement correcte tout au long de leur copie, quitte à manquer de temps pour tout traiter (ce que le barème prend en compte).

4.2.3 Éléments d'évaluation

Spécificité Terre et rôles biologiques	Production par photosynthèse oxygénique	PSy globale au niveau cellIR + indiv. à la lumière : 1 - éq° bilan avec lum / 2 - loc° eucaryote / 3 - loc° CyanoB
		Elimination O2 = déchet (çR ou organisme) => PO2 faible favorable à la réaction
		Psy oxygénique et endosymbioses
	Abondance	PO2 à 21% dans l'air
		O2, form° de la couche d'ozone, protect° UV
		Ev° temporelle qté O2 - Biocénose d'abord anaérob. puis diversification milieux - Anaérobie cantonnés à milieux pauvres en O2
	Toxicité	Toxicité liée à la photosynthèse C4 / photorespiration / carboxysome / pyrénoides
		Toxicité autre : ex de LegHb et nitrogénase, hétérocystes...
	Utilisations	Apparit° de la resp° aérobie + th. Endosymb.
		Molécule énergétique : éq° globale + oxydo-red° + aspect énerg. (pot. Redox, Nernst...)
		Resp° aérobie : localisat° : crêtes mitoch (EuK) ou Mb Plasm. Bact.
O2 : prélèvement dans le milieu et transfert aux ç	L'approvisionnement en O2 dépend de la diffusion seule avec ou sans surface spécialisée	Loi diff° et cinétique et approvisionnement au travers d'une surface d'échanges Loi de Fick : surface x ΔP / épaisseur et coef de solubilité de l'O2 EAU vs. AIR et dispo en O2
		Unicellulaires : Resp° cellulaire directe - pas de surface spécialisée
		Faible dist. de diffusion (Plathelminthes, Porifères...) + renouvellement fluides
		Cas particulier de la respiration trachéenne Appareil trachéen invaginé spécialisé dans l'apport d'O2 gazeux de l'extérieur à proximité des ç + diffusion/dissolution
		Optimisation et limites de la respiration trachéenne Optimisat° ventilat (1) + internalisation = adaptation milieu aérien (richesse O2, faible visco., dessèchement) (2)
		O2 et organismes photosynthétiques
		Mention explicite d'un liq. Intérieur circulant au contact de la surf. d'échange (transport d'O2 sous forme dissoute ou combinée) / capacitance du fluide (pigment de transport)
		Respiration tégrR 1. Tégument +/- évaginé et vascularisé 2. Renouvellement de l'O2 du milieu (agitat° eau ou mvt organisme)
	L'approvisionnement en O2 dépend de surfaces +/- spécialisées en lien avec le milieu et d'un liquide interne circulant	Respiration branchiale en milieu aquatique 1. Un exemple illustré de branchie fonctionnelle 2. Renouvellement de l'O2 externe = ventilation - active ou passive (1) Optimisat° renouvellement/extraction O2 des échangeurs branchiaux (contre-courant, courant croisé...) + (2) viscosité milieu et coût énergétique ventilation
		Respiration pulmonaire en milieu aérien 1. 1 ex de poumon internalisé fonctionnel surfactant tensio-actif. 2. La barrière d'hématose avec dissolution 3. Mise en mvt de l'air (ex : diaphragme) 4. Double circulation associée
		Optimisation échangeur pulmonaire : (1) Lien avec prop. du milieu (viscosité, teneur O2, faible coût énergétique) (2) cas particulier Aviens
		SEGR : Homoplasies et adaptations au milieu = convergences fonctionnelles imposées par la diffusion de l'O2 (Fick)
		Transport d'O2 entre SEGR et ç consommatriques (allostérie, saturation pulmonaire, libération tissulaire, affinité variable, Bohr/Haldane)
		Changement au cours des saisons - hibernation et hibernation
		Changements au cours du développement - Amphibiens / Mamm. placentaires / Insectes
		"Vivre dans un milieu, respirer dans un autre" - insectes, retours secondaires...
	L'approvisionnement en O2 d'un milieu à l'autre	PO2 est une composante de la niche écologique = zones optimale / tolérance / létalité. Ex de la répartition verticale des bactéries dans les bioflms en fonction de la tolérance à l'O2.
		Régime des variations (amplitude, précictibilité) de teneur en O2. Ex de la répartition des animaux dans la zone intertidale
		Variabilité dans l'air - diminut° PO2 avec altitude ou hypogée
Distribution inégale d'O2 dans les milieux de vie	Besoins en O2 et variabilité dans le milieu	Causes physiques variabilité en milieu aquatique 1. Aspects statiques = coef de solubilité, T°C, salinité, P élevée.

		2. Aspects dynamiques (brassages) = O ₂ des cours d'eau - stratifié ^o des océans dont up-wellings - stagnat ^o des étangs/tourb.
		Causes biologiques variabilité en milieu aquatique - Variabilités dues à la biocénose par ex. effets de l'eutrophisation = NO ₃ - donc algues donc bactéries aérobies donc anoxie
		Variabilité liée aux espèces ingénieurs
	Variation PO₂ Conséquences à court terme	Modifications comportementales et évitement spatio-temp. pour sténobiontes
		Ajustements ventilatoires - scaphognatite écrevisse
		Ajustements circulatoires - Ex : débit sanguin
	Faible PO₂ Conséquences à long terme de la sélection naturelle	Ajustements métaboliques : synthèse du 2,3 BPG et augmentation de l'hématocrite / Ex : modif ^o métabolisme en zone intertidale
		Processus adaptatif, sélect^o nat, pO₂ = facteur de sélection
		Adaptations en milieu aquatique Ex : branchies physiques, cétagés, pneumatophores des palétuviers (<i>Avicennia</i>) des mangroves, aérénchymes des plantes en lien avec l'O ₂ photosynthétique
		Adaptations en milieu aérien Ex : populations humaines d'altitude - plusieurs stratégies génétiques : sur oxygénation Hb, ou sur capacité pulmonaire (gène EPAS1 = introgression d'asiatique)
		Ex : appareil respiratoire oiseaux en lien avec le vol Ex : oiseaux migrateurs en haute altitude
	Impacts des activités humaines : anoxie des milieux, pollutions et stress oxydants	

4.3. Épreuve écrite du secteur C

4.3.1. Le sujet proposé

Le fer, un élément majeur des processus géologiques

- A travers une approche démonstrative, vous illustrerez comment le comportement du fer dans les processus géologiques permet de comprendre l'histoire de la Terre et des autres planètes et de comprendre le fonctionnement actuel de la Terre

4.3.2. Commentaires généraux sur la compréhension et le traitement du sujet

- Les introductions n'ont été que trop peu bien rédigées selon un plan pourtant classique
- On peut regretter l'absence de questionnement sur le sujet dès l'introduction qui ouvre sur un catalogue d'exemples dans lesquels le Fe intervient, sans réel association de la propriété du Fe mise en jeu dans le processus décrit
- Des copies manquent cruellement d'illustrations
- La précision et la concision de la rédaction sont des atouts
- Les transitions entre les parties qui doivent illustrer la progression dans la démonstration sont parfois peu instructives
- Les conclusions doivent servir de synthèse des points forts de la démonstration avant d'ouvrir le sujet (en Sciences de la Terre ou en Sciences de la Vie)
- Le sujet a été peu délimité dans le temps – l'origine du Fe peu abordée
- Les planètes autres que la Terre n'ont été que trop peu notifiées
- Encore trop souvent de hors sujet lié à une volonté de mettre tout un paragraphe de cours plutôt que de se concentrer sur l'essentiel des démonstrations nécessaire au sujet

Points de détails, notions mal abordées

- Nucléosynthèse peu ou pas comprise
- La densité du Fe pur n'est presque pas citée (et souvent, confusion avec le poids), tout comme son comportement sidérophile
- Numéro atomique du Fe inconnu ou approximatif
- La différenciation terrestre est mal démontrée
- La loi de Birch sans le modèle PREM ne permet pas une réelle démonstration
- Le ferromagnétisme est parfois survolé et souvent mal expliqué ou avec de faux processus (« orientation des minéraux »...)
- Pétrologie
 - o La notion de coefficient de partage
 - o Rôle de la fugacité en O₂ sur les séries de différenciation

- Le diagramme de phase de l'olivine
- La notion de géobaromètre
- Diagramme de Goldschmidt approximatif
- Les enjeux sociétaux, tels que les ressources, sont très peu présents

4.3.3. Un exemple possible de synthèse argumentée sur le sujet

Introduction

Un élément si abondant qu'il représente près de 35 % de la masse de notre planète, si réactif qu'il change de visage selon l'oxygène disponible, et si stratégique qu'il a façonné à la fois le noyau terrestre et les premières traces de vie. Cet élément, c'est le « *fer* ». Omniprésent dans les enveloppes terrestres, il est tour à tour acteur et témoin des grands bouleversements géologiques : de la différenciation planétaire primitive à l'oxygénation de l'atmosphère, des cycles biogéochimiques anciens à la tectonique des plaques actuelle.

Définition des termes du sujet

Fer : noyau atomique formé par nucléosynthèse stellaire ; Élément chimique (Fe, numéro atomique 26), quatrième élément le plus abondant dans la croûte terrestre et principal constituant du noyau terrestre. Élément situé dans les métaux de transition, ayant sa couche électronique 3d incomplète, ce qui lui confère des propriétés communes à ce groupe, en particulier la conductivité électrique. Ces particularités électroniques du fer (couche 3d incomplète) en font un élément capable d'être présent sous différentes formes : métallique, cationique -sous différents valences-, oxyde, hydroxyde ou encore sulfure.

C'est un élément majeur : car il est abondant, ubiquiste, et joue un rôle central dans de nombreux processus géologiques qu'on peut définir comme l'ensemble des mécanismes physico-chimiques qui façonnent la Terre et les autres planètes (ex. : tectonique des plaques, volcanisme, sédimentation, métamorphisme, différenciation planétaire).

Problématique

Le comportement du fer se réfère à la répartition, aux transformations chimiques (oxydo-réduction, cristallisation), aux propriétés physiques (magnétisme, densité), et aux interactions avec d'autres éléments ou enveloppes terrestres. On peut alors se demander en quoi le fer, par sa répartition, ses propriétés et ses transformations, constitue un élément majeur pour interpréter les processus géologiques passés et présents, et quels enseignements il apporte sur l'évolution de notre planète. À travers une approche démonstrative, nous montrerons comment le comportement du fer éclaire à la fois l'histoire de la Terre et des autres planètes, et le fonctionnement actuel de notre planète.

Annonce du plan / limites du sujet

Par une approche démonstrative, nous verrons d'abord comment le fer a façonné la structure et la composition des enveloppes terrestres et planétaires, puis comment il permet de reconstituer les environnements passés, et enfin comment il participe aux processus géologiques contemporains. Pour cela, nous exploiterons des exemples concrets éclairant comment le comportement du fer permet de tracer les phénomènes géologiques. Cela implique d'utiliser des observations (ex. : anomalies magnétiques), des données/outils géochimiques (ex. : mesures isotopiques), et de faire référence à des modèles (ex. : différenciation Terre-noyau-manteau).

Les processus biologiques ne seront pas abordés.

Un PLAN possible

Le fer, architecte de la structure et de la composition des enveloppes terrestres et planétaires

Fer : origine (météorites), propriétés physiques (redox, densité, réfractaire, métallique), distribution (silicates, oxydes, sulfures)

Différenciation Terre-noyau-manteau :

Rôle de l'affinité métallique du fer dans la formation du noyau métallique de la Terre

Conséquences sur la dynamique interne

Champ magnétique :

Convection mantellique

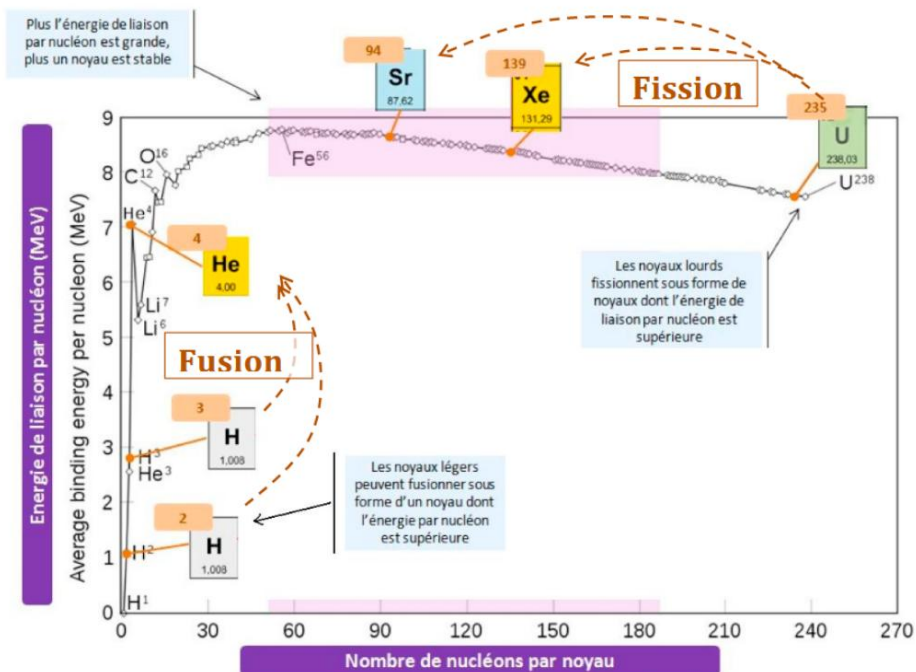
Comparaison avec les autres planètes telluriques

Le fer, archive des dynamiques des plaques, des environnements et des cycles géochimiques passés

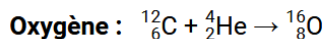
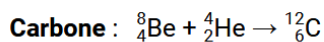
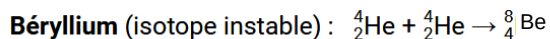
Archive de la tectonique des plaques

Archive des phases d'oxygénation de l'atmosphère

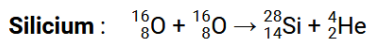
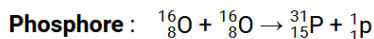
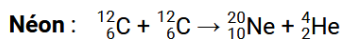
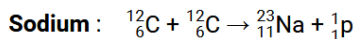
Archive des organismes anciens



Quelques réactions de nucléosynthèse se produisant dans les étoiles :



Lorsque la température au cœur de l'étoile dépasse le milliard de kelvins, d'autres noyaux sont formés :



Tous les autres éléments jusqu'au fer sont formés lorsque la température atteint trois milliards de kelvins. Ensuite, la fusion des noyaux de fer étant endothermique (elle absorbe de l'énergie au milieu), elle ne permet plus de compenser la gravitation et l'étoile s'effondre sur elle-même en implosant. La très forte densité atteinte au centre de l'étoile conduit à l'explosion de cette dernière : c'est lors de cette phase que tous les éléments plus lourds que le fer sont synthétisés.

The diagram illustrates the classification of meteorites, categorized into Chondrites, Fers (Iron meteorites), and various groups of meteorites. A vertical color bar on the right indicates the temperature range from 0°C to 1500°C.

CHONDRITES	
CI	Orgeuil
CM	Murchison
CO	Ornans
CV	Allende
CK	Karonda
CR	Renazzo
CH	ALH85085

Fers	
Staunton	

Fers à inclusions silicatées	
Pallasites	Springwater

Mésosidérites	
Chinguett	

Eucrites	
Bouvante	

Diogénites	
Tatahouine	

Howardites	
Le Teilleul	

Angrites	
Angros dos Reis	

Ureilites	
Novo Urei	

SNC	
Mars ?????	

Basaltes et brèches lunaires	

Aubrites	
Pena Blanca Springs	

AL	
Acapulco	

Brachinites	
Brachina	

EL	
Eagle	

EH	
Saint-Sauveur	

R	
Rumuruti	

LL	
Saint-Mesmin	

L	
L'Aigle	

H	
Flandreau	

La diversité des météorites reflète les différents réservoirs et processus de différenciation du Système Solaire, et se traduit par des modes variés de présence du fer. Les **chondrites**, météorites primitives, contiennent du fer à la fois **métallique** (alliages Fe-Ni), sous forme de **sulfures** (troïlite) et dans des **silicates ferromagnésiens**, témoignant d'une matière peu différenciée. Les **météorites ferreuses** (sidérites) sont dominées par des alliages Fe-Ni cristallisés, interprétés comme des fragments de **noyaux planétaires différenciés**. Les **sidérolithes** et certaines **achondrites** présentent enfin des assemblages mixtes métal-silicates, illustrant des processus de fusion, de différenciation et de recyclage crustal. Cette diversité éclaire l'origine cosmique du fer et ses mécanismes précoces de distribution entre phases métalliques et silicatées.

[illegible]

Os sidérophile **Cu** chalcophile **Rb** lithophile **N** atmophile
Tableau périodique des éléments chimiques et affinités pour les différentes enveloppes de la Terre

Tableau de Mendeleïev basé sur les affinités des éléments et reliés aux différentes enveloppes de la Terre.

Propriétés du Fe

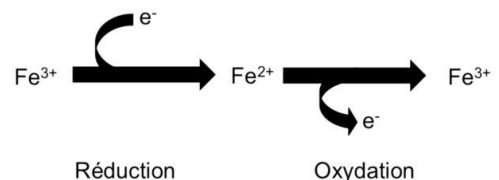
Densité : 7,87 g/cm³ - Fe pur

Comportement sidérophile du fer métallique

Substitution possible avec le Mg

Rédox

Réfractaire



Minéraux principaux :

Magnétite (Fe_3O_4 , 72 % Fe) : Magnétique, souvent associée à des roches magmatiques ou métamorphiques.

Hématite (Fe_2O_3 , 70 % Fe) : Rouge, principale source de fer exploitable.

Goethite ($\text{FeO}(\text{OH})$, 63 % Fe) et limonite (mélange d'hydroxydes) : Formées par altération.

Sidéríte (FeCO_3 , 48 % Fe) : Moins exploitée, souvent associée à des dépôts sédimentaires.

Pyrite (FeS_2) : Non exploitée pour le fer (trop de soufre), mais indicatrice de milieux réducteurs.

Dans la lithosphère, le fer est majoritairement incorporé aux **silicates ferromagnésiens** (olivine, pyroxènes, amphiboles), mais aussi aux **oxydes** (hématite, magnétite) et aux **sulfures** (pyrite, pyrrhotite), formes minérales qui conditionnent sa distribution, sa mobilité et ses concentrations exploitables.

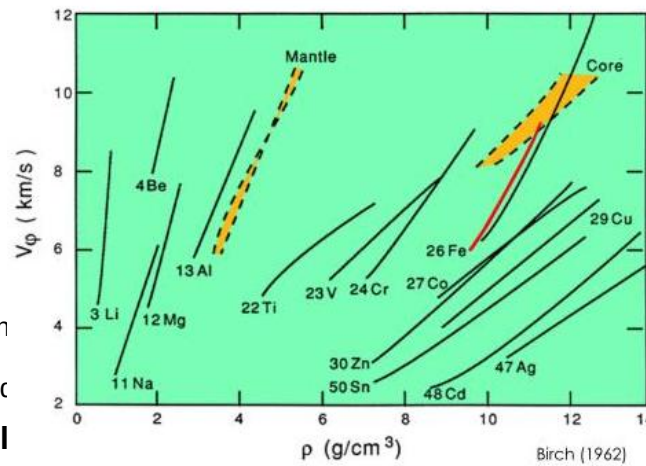
Différenciation Terre-noyau-manteau :
Rôle du fer dans la formation du **noyau métallique**

composition du noyau - expérience de Birch / PREM Noyau = fer + autres éléments
densité du fer (ségrégation physique), immiscibilité (ségrégation chimique)

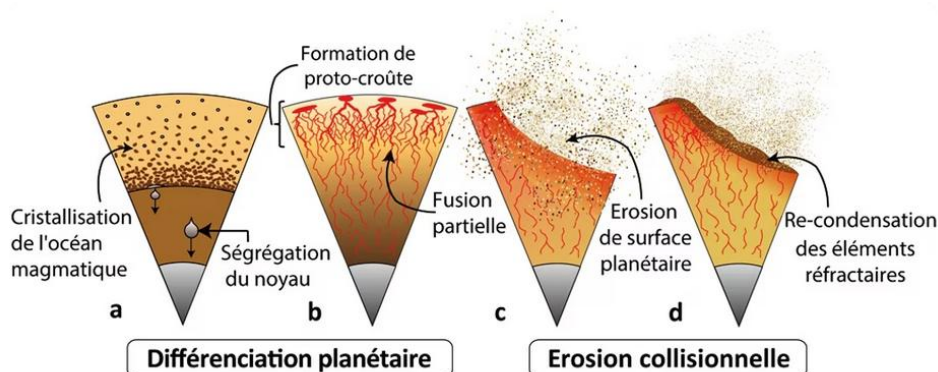
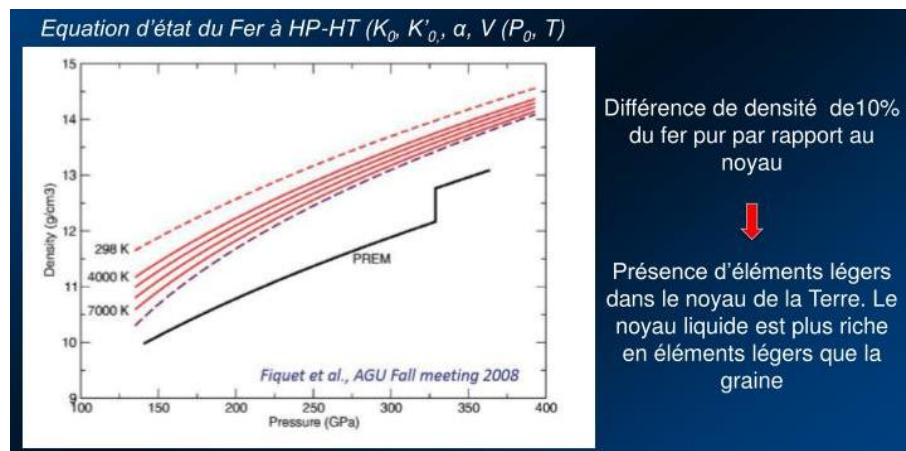
Composition du noyau

En 1963, Birch réalise une séquen-
selon leur nombre atomique (c'est ce
pente et l'origine de ces droites dépend

Composition du noyau : él



différents métaux,
me ci-contre). La



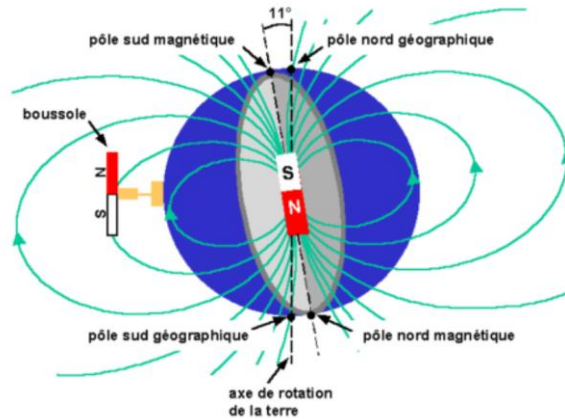
Les étapes de la différenciation planétaire (ségrégation du noyau, cristallisation de l'océan magmatique et formation de croûte par fusion partielle), suivies de l'érosion par les impacts, ont fait évoluer la composition chimique de la planète. Ce scénario a pu se produire sur les différents embryons planétaires qui ont contribué à former la Terre. © Asmaa Boujibar et Denis Andrault

La formation de la Terre s'est accompagnée d'une différenciation chimique majeure, dominée par le comportement sidérophile du fer métallique. Lors de l'accrétion planétaire, le fer, souvent allié au nickel, s'est séparé des silicates pour former le noyau terrestre. Cette ségrégation du fer est à l'origine de la structure en

couches concentriques en première approche de la Terre : un noyau interne et un noyau externe riches en fer, surmontés d'un manteau silicaté où le fer subsiste sous forme oxydée.

Le noyau, composé majoritairement de fer liquide (noyau externe) et solide (noyau interne), joue un rôle déterminant dans la géodynamique globale. Les mouvements de convection du fer liquide, couplés à la rotation terrestre, sont à l'origine de la géodynamo responsable du champ magnétique terrestre et par conséquent de la magnétosphère. Ainsi, le fer intervient indirectement dans la protection de la surface terrestre contre le vent solaire et conditionne l'habitabilité de la planète. Conséquences sur la dynamique interne

Champ magnétique



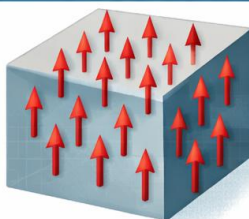
GÉODYNAMO : Le champ magnétique terrestre est le résultat de l'effet de dynamo dû aux mouvements du noyau externe de la Terre, par 70 % de fer liquide. Ces mouvements sont générés par le refroidissement progressif du noyau et de la graine solide située au centre de la Terre. Les mouvements convectifs sont sous le contrôle du gradient thermique et chimique, lesquels sont générés par la dynamique de cristallisation de la graine et la dissipation convective de la chaleur. Il en résulte un champ magnétique dipolaire, incliné d'environ 10° par rapport à l'axe de rotation de la Terre.

Géodynamo et Ferromagnétisme : Le fer joue un rôle clé dans le magnétisme grâce au spin des électrons non appariés de ses orbitales 3d, qui portent des moments magnétiques élémentaires. Dans le fer solide, l'interaction d'échange peut aligner ces spins de façon collective, produisant un ferromagnétisme (domaines magnétiques) responsable de l'aimantation macroscopique en dessous de la température de Curie (~770°C pour le Fe α).

À l'échelle terrestre, le lien est plus indirect : dans le noyau externe liquide, le fer n'est pas ferromagnétique (température et pression trop élevées). Le champ magnétique terrestre ne provient donc pas d'un alignement de spins, mais de la géodynamo : mouvements de convection d'un fluide conducteur (alliage Fe-Ni) qui génèrent des courants électriques et, par induction, un champ magnétique global. Ainsi, le spin électronique explique le magnétisme du fer solide, tandis que le champ terrestre relève d'un processus électrodynamique dans un métal liquide conducteur.

MAGNÉTISME DU FER

FERROMAGNÉTISME (Fe solide)



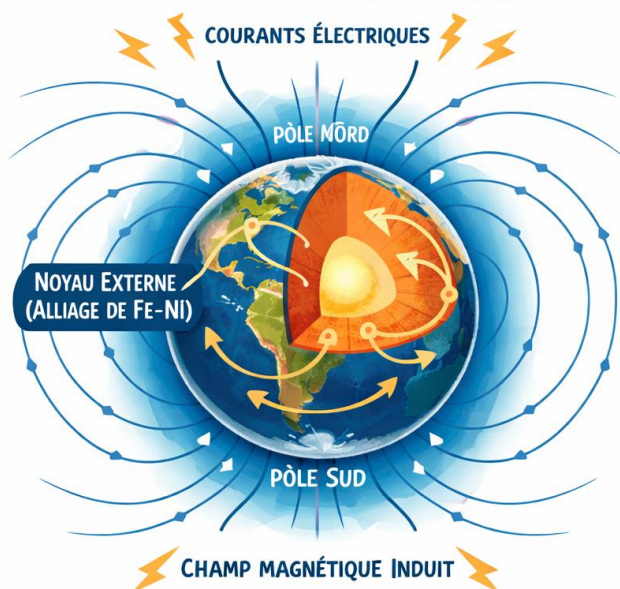
Domaines magnétiques

ALIGNEMENT DES SPINS



Spins électroniques alignés

CHAMP MAGNÉTIQUE TERRESTRE (GÉODYNAMO)



Conséquence = UN BOUCLIER DE PROTECTION POUR LE VIVANT : La magnétosphère, créée par le champ magnétique terrestre, a joué un rôle essentiel pour le développement de la vie sur la Terre en déviant les particules de haute énergie du vent solaire et des rayons cosmiques. Ceci a permis à l'atmosphère terrestre de se maintenir au cours du temps, contrairement à ce qui s'est passé sur Mars, où en l'absence d'un champ magnétique important, le vent solaire a arraché à son passage une grande partie de l'atmosphère de cette planète. Le bouclier fourni par la magnétosphère terrestre a ainsi réduit le flux de rayonnement à haute énergie qui arrive jusqu'au sol, permettant le maintien de la vie sur Terre = Le fer explique pourquoi certaines planètes ont conservé une atmosphère protectrice et d'autres non.

Comparaison avec les autres planètes telluriques

Comparaison [Terre-Mars-Mercure](#), influence de la teneur en fer sur la densité, la structure interne et l'absence/présence de champ magnétique

Terre-Mars-Mercure : des histoires de noyaux ferreux

Noyau terrestre actif versus noyau martien partiellement solidifié. → disparition du champ magnétique.

Mercure : noyau encore liquide → champ magnétique faible.

Impact sur la tectonique, le volcanisme et l'habitabilité.

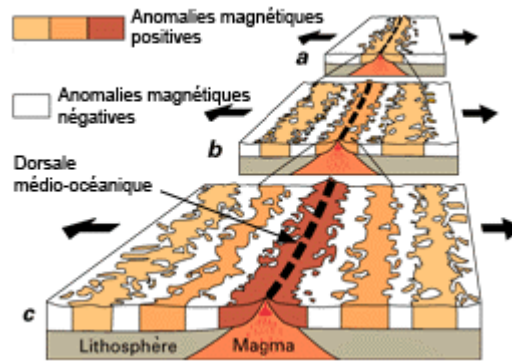
Surface oxydée de Mars : histoire de l'eau et de l'atmosphère.

Planète	% Fer (masse)	Densité moyenne (g/cm ³)
Mercure	~70 %	5,43
Terre	~32 %	5,51
Mars	~25-30 %	3,93

Planète	Structure interne	Conséquences géodynamiques
Mercure	Noyau solide (Fe-Ni) + couche externe liquide ? Croûte mince et manteau réduit.	Pas de tectonique des plaques. Champ magnétique faible (1 % de celui de la Terre), induit.
Terre	Noyau externe liquide (Fe-Ni) + noyau interne solide. Manteau convectif.	Tectonique des plaques active. Champ magnétique fort (dynamo auto-entretenu).
Mars	Noyau partiellement liquide (Fe-S). Manteau épais, croûte stagnante.	Volcanisme ancien (Tharsis), pas de tectonique active. Champ magnétique fossile (croûte).

Le fer, archive des dynamiques des plaques, des environnements et des cycles géochimiques passés

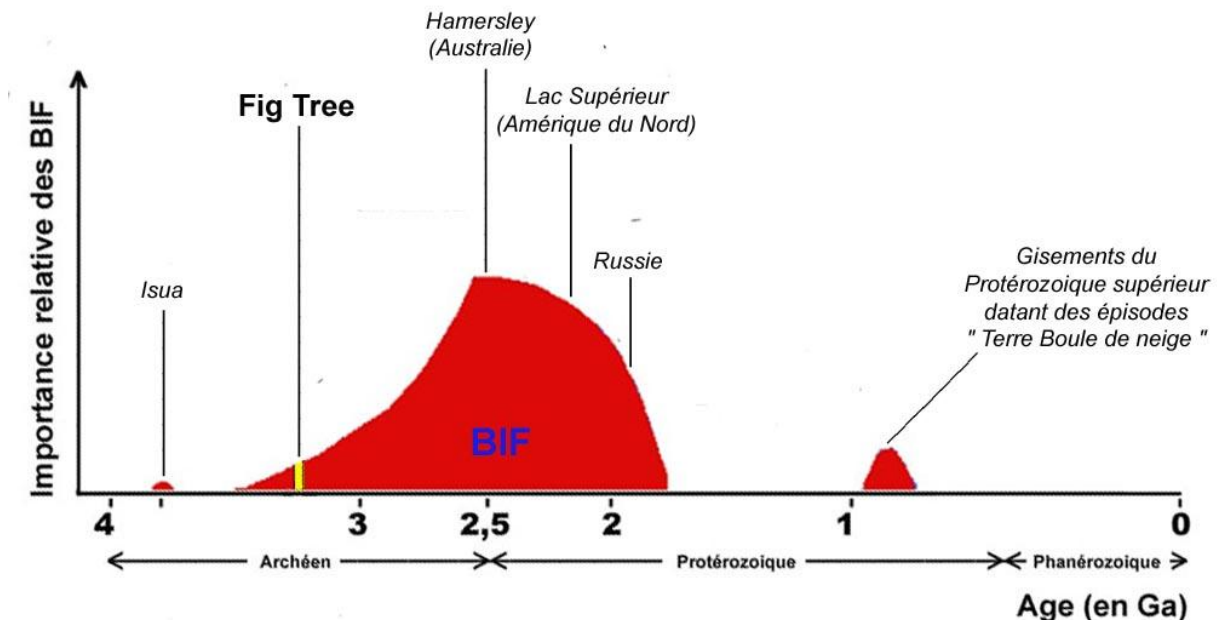
Archive de la tectonique des plaques : les minéraux ferromagnétiques (magnétite Fe₃O₄, hématite Fe₂O₃, etc.), dans la croûte et le manteau, enregistrent le champ magnétique ambiant lors de leur formation – Tectonique des plaques



Archive des phases d'oxygénation de l'atmosphère : formation de fer rubané (BIF) : oxygénation de l'atmosphère et de l'océan primitif

indice minéralogiques GOE (redbeds; BIF; pyrites)
oxygénation atmosphère = GOE (2,45-2,2 Ga); modification de l'océan primitif : ferrugineux --> sulfureux et précipitation de pyrite

Le début du Protérozoïque est marqué par le Grand Événement Oxydant (GOE, -2,45 à -2,2 Ga), pendant lequel se forment de volumineux gisements de fer sous forme de BIFs. L'atmosphère et l'océan superficiel deviennent partiellement oxygénés. On peut préciser que c'est d'abord l'océan superficiel avant l'atmosphère (entre 0,2 % et 8 % d'oxygène dans l'atmosphère), mais pas l'océan profond. À la fin de ces dépôts (vers -1,88 à -1,84 Ga), l'océan profond passe d'un état ferrugineux à un état sulfureux : l'oxygène de l'air (~2 %) permet l'oxydation des sulfures continentaux en sulfates, qui sont transportés par les fleuves jusqu'aux océans, réduits en sulfures par des bactéries dans l'océan profond et précipités avec le fer sous forme de pyrite. Ces conditions durent pendant un milliard d'années. À la fin du Protérozoïque, de grandes glaciations surviennent au cours de ce qu'on appelle le Cryogénien (-720 à -635 Ma), qui précède l'Édiacarien. Pendant ces grandes glaciations, l'océan profond redevient ferrugineux, de grandes quantités de sulfures ayant été enfouies dans le manteau par subduction (hypothèse considérée comme la plus probable actuellement). Après ces grandes glaciations (-580 Ma), l'océan profond est oxygéné, et les communautés édiacariennes sont fréquentes.



Archives des organismes anciens.

Le Fer, constitue indirectement un élément important pour nos connaissances sur les grandes étapes de l'histoire de la vie, via la fossilisation des organismes non minéralisant. Le registre fossile est fondamentalement biaisé, avec une sous-représentation des organismes non minéralisant, et une sur-représentation des organismes à coquilles/squelettes minéralisés, notamment carbonatés. Le Fer intervient indirectement en tant qu'élément permettant la préservation exceptionnelle de fossiles à tissus non minéralisés (tissus mous préservés de gisements conservat Lagerstatten). Il s'agit notamment d'épigénie des organismes par la pyrite (FeS_2), appelée pyritisation,

processus commun de préservation par minéralisation (le fossile, ou une partie du fossile, est remplacé par de la pyrite). La formation de pyrite authigénique a lieu au début de la diagenèse, sous l'interface eau-sédiment dans un environnement sédimentaire anoxique.

En absence d'oxygène (environnement anaérobie), la formation de la pyrite est contrôlée par la concentration en carbone organique, en sulfates et en minéraux détritiques ferreux. Les tissus mous, dans cet environnement réducteur, sont remplacées par la pyrite sous la forme de complexes Fe-S (H_2S soluble et Fe^{3+} soluble réagissent pour donner FeS_2 soluble). Soufre et fer peuvent provenir du sédiment entourant l'organisme, mais les bactéries jouent aussi un rôle important dans la précipitation de pyrite.

Exemple des gisements du Jurassique de La Voulte sur Rhône en Ardèche, des Ardoises dévoniennes d'Hunsrück (Allemagne). Il y a également le cas des sidérites par exemple l'Ordovicien de Mazon Creek (USA).

=> Le Fe, Element essentiel pour comprendre étapes de l'histoire de la vie, et notamment l'évolution des plans d'organisation des organismes sans squelettes.

Archives des circulations de fluides.

Précipitations liées aux circulations fluides, contextes hydrothermaux + synthèse de molécules abiotiques.

Le fer, acteur des processus géologiques actuels

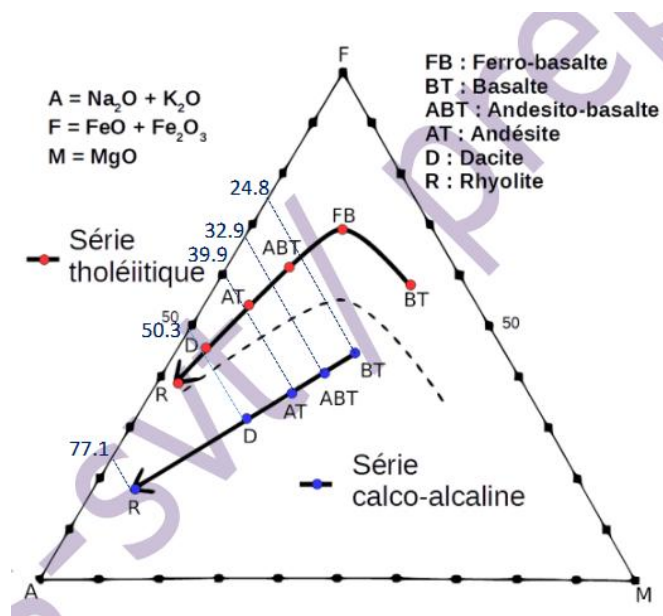
Rôle dans les processus pétrogénétiques :

PétoMag
Evolution des magmas - séries tholéitiques / calco-alcaline ; fugacité oxygène
Rapport Fe/Mg - température (pôle +/- réfractaire) : Zonation continue Olivine (Cristallisation à l'équilibre) ou composition des olivines dans cumulats
Dynamique des réservoirs magmatiques - hétérogénéité de distribution Fe dans olivines - réinjection magma
PétoMétam
Géothermomètre - Fe/Mg dans Biotite - Coefficient de partage (Kd)
Traceur de la présence de fluides --> modifications des conditions rédox --> grenat

Le fer dans les processus pétrogénétiques, genèse des magmas + dynamique des réservoirs magmatiques

Le fer est un constituant majeur des magmas, en particulier dans les séries tholéitiques et basaltiques. Son comportement est étroitement lié aux conditions d'oxydoréduction (fO_2) du milieu magmatique. La proportion relative de Fe^{2+} et Fe^{3+} influence la cristallisation fractionnée et la nature des minéraux formés, notamment les oxydes de fer (magnétite, hématite) et les silicates ferromagnésiens. C'est le rôle du caractère réfractaire du fer dans le développement d'une séquence de cristallisation dans les liquides magmatiques : Silicates ferromagnésiens au début de la série de Bowen : leur richesse en fer en font des minéraux plus réfractaires que les autres silicates magmatiques (cf notion de compatibilité)

Au cours de l'évolution magmatique, le fer joue un rôle clé dans la différenciation chimique des magmas. L'enrichissement ou l'appauvrissement relatif en fer permet de distinguer différentes séries magmatiques (tholéitique, calco-alcaline), étroitement liées aux contextes géodynamiques (dorsales océaniques, zones de subduction).



La différence entre les deux séries, pour ce qui concerne le fer, est liée à la fugacité en oxygène ; dans la série calco-alcaline, cette fugacité est forte (richesse en eau) et entraîne la cristallisation immédiate des oxydes ferrotitanés ; ce qui n'est pas le cas dans la série tholéitique, caractérisée par une plus faible fugacité du dioxygène, ce qui induit une cristallisation tardive des oxydes et permet l'augmentation au départ de la teneur en fer.

OLIVINES – ZONATION : Les olivines (ou périclites) sont des minéraux ferromagnésiens de composition $(Fe,Mg)_2SiO_4$, formant une série continue entre un pôle magnésien, la forstérite (Mg_2SiO_4) et un pôle ferreux, la fayalite (Fe_2SiO_4). Elles constituent un bon exemple de système binaire à solution solide. On peut ainsi qualifier une olivine par sa teneur en composant forstérite : Fo0 correspond ainsi à la fayalite. Une olivine dite Fo50 aurait pour composition $(Fe,Mg)_2SiO_4$.

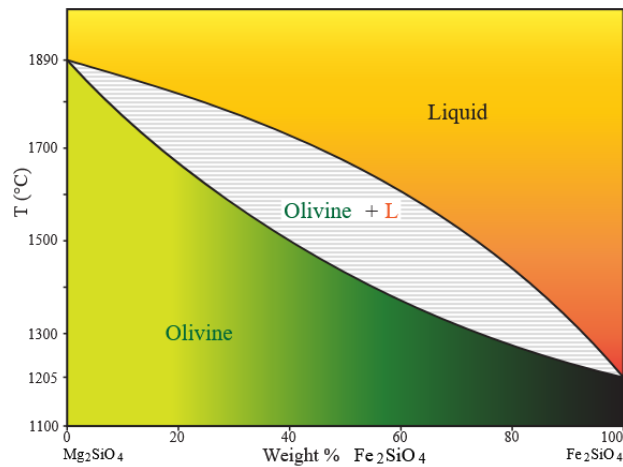
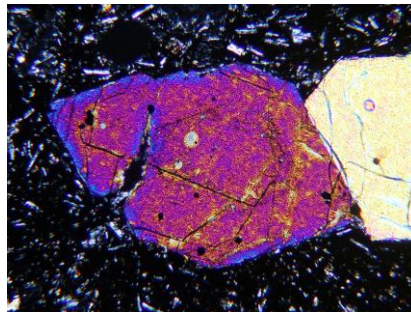


Diagramme de phase de l'olivine = Composition en Fe/Mg lié à la T (pression donnée) : le pôle ferreux est le pôle le plus réfractaire, donc la composition de la solution solide est sous contrôle de la décroissance de la température avec le temps

Zonation chimique et processus dans les réservoirs magmatiques : une olivine zonée ici au microscope optique (LPA) : on peut remonter à la dynamique des réservoirs magmatiques en profondeur en étudiant statistiquement la distribution des zonations chimiques (+ riche en Mg, donc + basique dans recharge d'un magma plus profond, moins différencié et plus chaud) en composition des olivines (entre autre) = processus dans la chambre notamment de recharge magmatique et possible de déclenchement d'une éruption = lien hétérogénéité de composition avec des processus grande échelle du système d'alimentation magmatique.



Le fer dans le métamorphisme

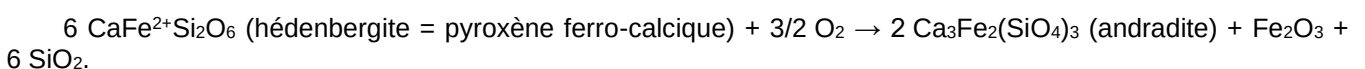
Dans les processus métamorphiques, le fer participe à de nombreuses réactions minéralogiques et sert fréquemment de traceur des conditions de pression et de température. Les échanges Fe-Mg entre minéraux coexistant (grenat-biotite, grenat-orthopyroxène) sont utilisés comme géothermomètres et géobarmètres, outils essentiels de la pétrologie métamorphique.

Les variations de l'état d'oxydation du fer lors du métamorphisme reflètent également l'évolution des fluides et des conditions redox, soulignant l'interaction étroite entre chimie du fer et dynamique des systèmes métamorphiques.

Exemples possibles :

Les grenats constituent une famille de nésosilicates cristallisant dans le système cubique, avec les formes caractéristiques de ce système (dodécaèdre, octaèdre...). La formule globale de la famille est : $(\text{Me}^{2+})_3(\text{Me}^{3+})_2(\text{SiO}_4)_3$, où Me^{2+} représente un cation métallique divalent (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+}) et Me^{3+} un cation métallique trivalent (Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+}). Les grenats les plus fréquents sont l'almandin (Al^{3+} , Fe^{2+}), le grossulaire (Al^{3+} , Ca^{2+}), le pyrope (Al^{3+} , Mg^{2+}), la spessartite (Al^{3+} , Mn^{2+}), l'andradite (Fe^{3+} , Ca^{2+}) et l'uvarovite (Cr^{3+} , Ca^{2+}). Des solutions solides existent entre ces différents pôles.

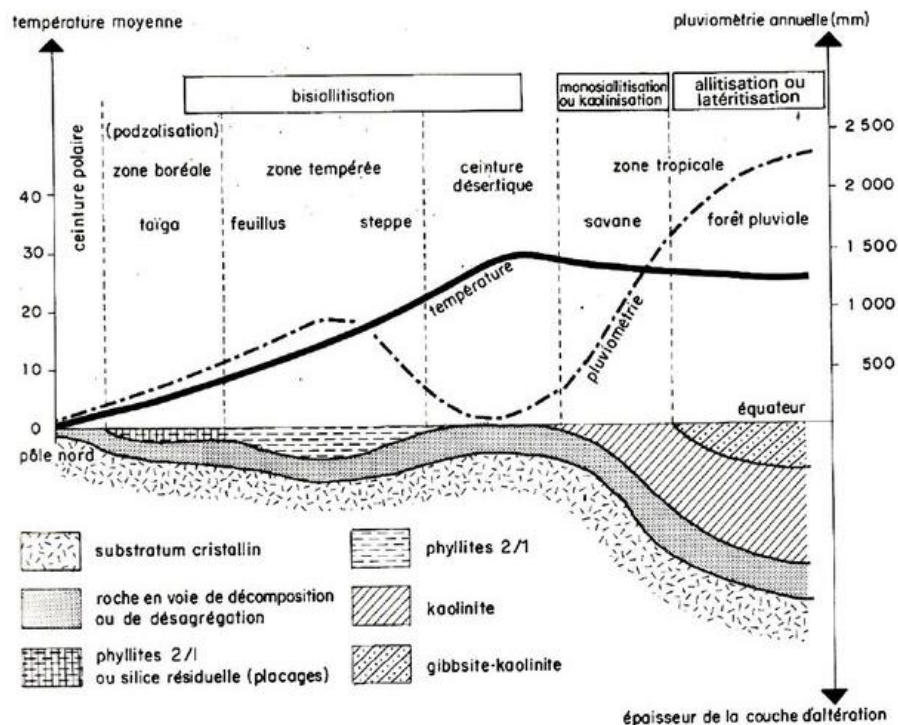
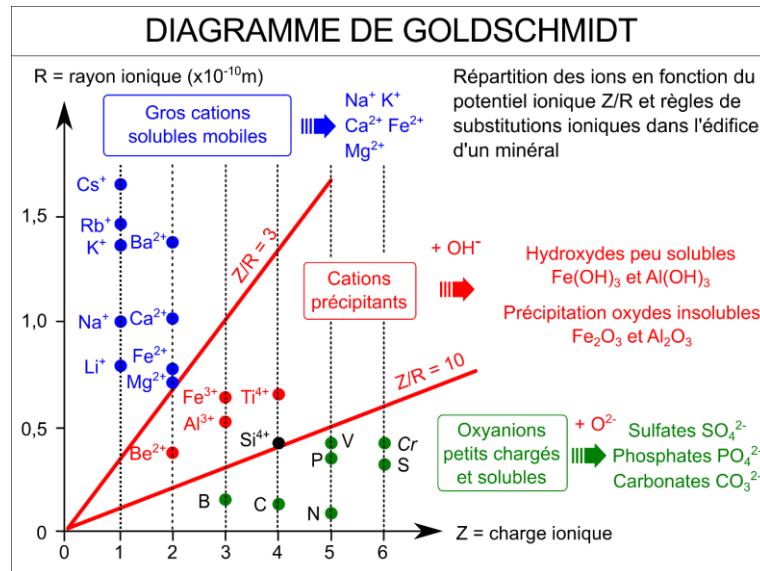
Des grenats peuvent avoir été formés quasiment à la pression atmosphérique : formés par circulation de fluides fumeroliens à haute température dans des fractures internes à des dômes volcaniques acides (par exemple les andradites du dôme trachytique miocène supérieur de Menoyre [Menet, Cantal]). Ces grenats, des andradites relativement riches en manganèse, ont soit été déposés directement par les fluides fumeroliens, soit obtenus par réactions entre ces fluides (s'ils étaient oxydants) et certains des minéraux du trachyte, par exemple selon la réaction :



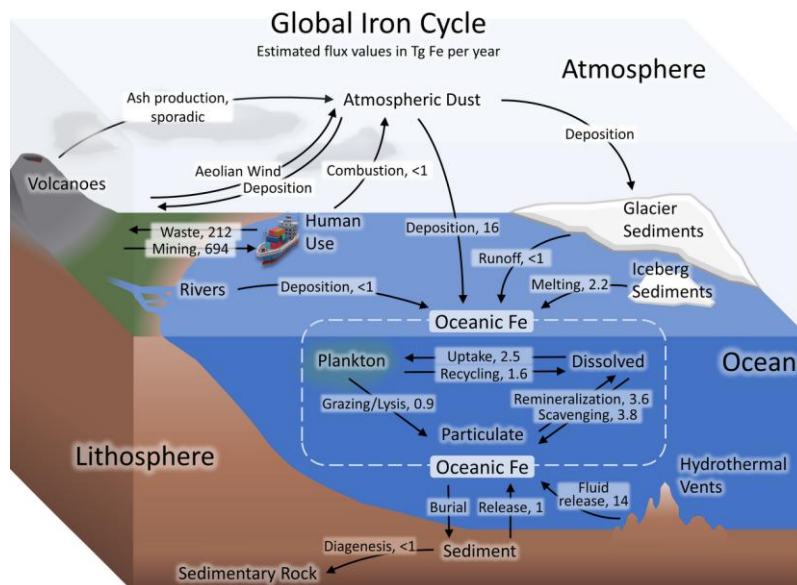
Rôle dans processus de surface et les cycles biogéochimiques : influence du fer sur la productivité océanique, le cycle du carbone, et le climat (ex. : fertilisation des océans)

Fer et productivité océanique (fertilisation des océans) + climat
Mobilité du Fe (redox) - sols (latérites)

Exemple : Le fer et les processus sédimentaires : mobilité du fer



À la surface de la Terre, le fer est un acteur majeur des processus sédimentaires. Les oxydes et hydroxydes de fer, produits de l'altération des roches continentales, contrôlent en partie la couleur et la composition des sols et des sédiments. Nous attendons une description des Cuirasse latéritique / bauxite / pisolithes de fer / ferricrète.



Gisements de fer, Ressources et enjeux sociétaux : genèse et répartition, lien avec les contextes géodynamiques passés (rifts, zones de subduction, etc.) ; exploitation des gisements de fer, impact environnemental, et perspectives pour une gestion durable.

Genèse : gisements de fer sédimentaires/latéritiques, hydrothermaux
Lien géodynamique (actuel ou passé) et répartition des ressources (Archéen - BIF)
Exploitation : impact environnemental / gestion durable - valorisation des latérites, résidus miniers

Les interactions entre le fer, les fluides et le vivant contribuent également à la formation de gisements métallifères (gisements de fer sédimentaires, hydrothermaux ou latéritiques), soulignant l'importance économique et sociétale de cet élément.

BIF = La grande majorité des minerais de fer du monde est constituée de ce qu'on appelle des fers rubanés (*Banded Iron Formation* ou BIF, en anglais). Ces BIF existent avec plusieurs faciès, mais le faciès « classique » est constitué d'alternances de lits de silice (plus ou moins ferrugineuse) et d'hématite (Fe_2O_3 , oxyde ferrique où le fer est sous sa forme la plus oxydée Fe^{3+}). Ce sont toujours des formations sédimentaires marines. Ces fers rubanés sont tous d'âge archéen ou protérozoïque inférieur, à l'exception de ceux liés aux épisodes *Snowball Earth* (épisodes Terre boule de neige) vers -0,7 Ga (voir plus bas la figure sur les BIF au cours du temps). Dans certains BIF archéens très anciens, le fer n'est pas intégralement sous forme de Fe_2O_3 (Fe^{3+} pur) mais parfois aussi sous forme de Fe_3O_4 , mélange de Fe_2O_3 (Fe^{3+}) et de FeO (Fe^{2+}).

Ces BIF archéens ou protérozoïques inférieurs sont de deux types :

Les BIF archéens (les plus vieux sont âgés de -3,8 Ga) forment des « petits » dépôts discontinus au sein des sédiments des ceintures vertes archéennes. Ils sont souvent plus riches en silice rouge qu'en oxyde ferrique. Ils portent alors le nom de « jaspilite ».

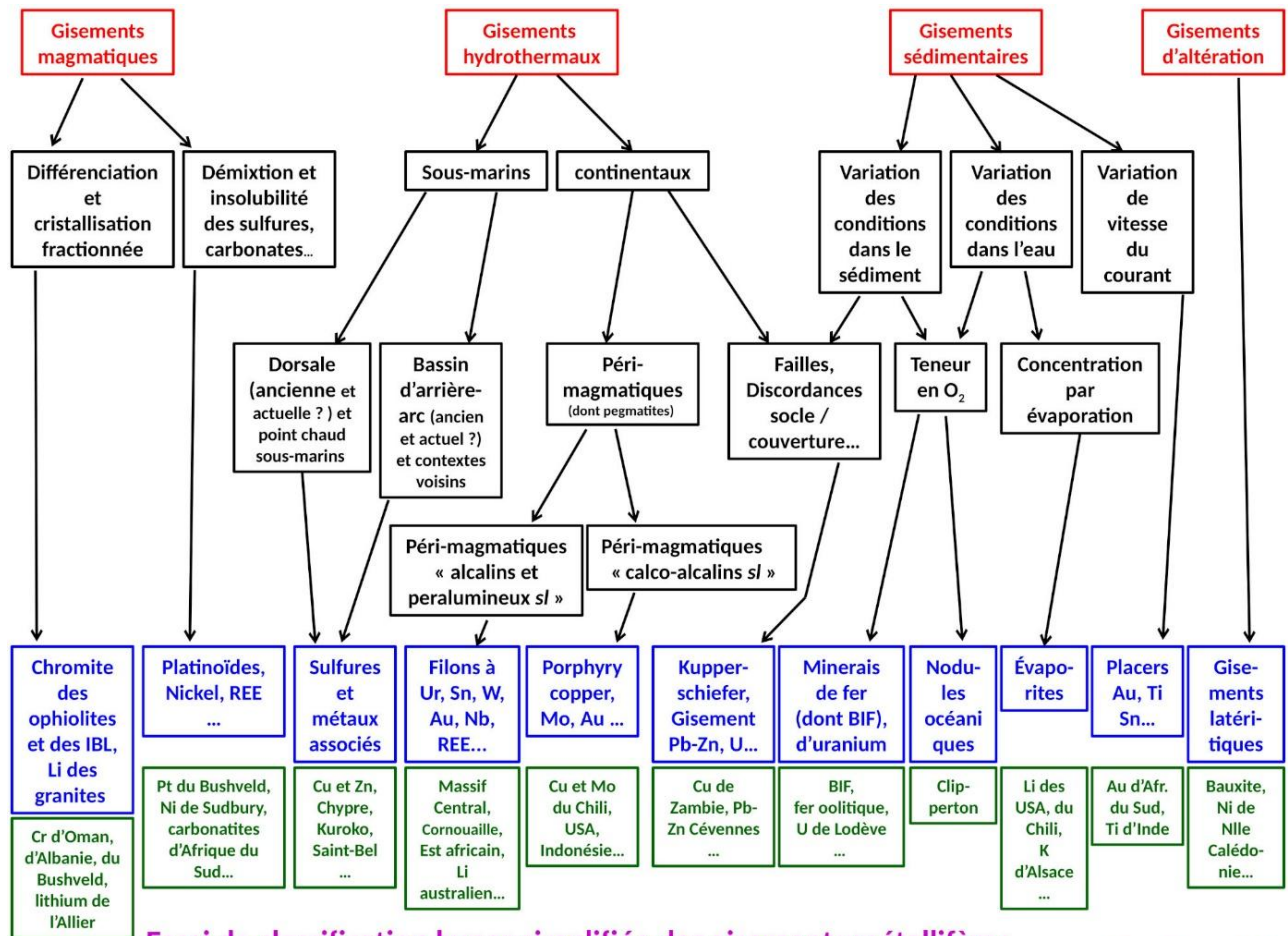
Les BIF du Protérozoïque inférieur forment de très gros gisements ; les couches sont réparties sur de vastes surfaces et constituent la majorité des gisements d'importance économique majeure. Ils datent de -2,5 à -1,9 Ga. Il n'en existe plus après cette date, à l'exception de ceux liés aux épisodes Terre boule de neige.

Type de gisement	Contexte géologique	Exemples de régions/producteurs	Teneur en Fe (%)
Formations de fer rubané (BIF)	Précipitation chimique en milieu marin (Archéen/Protérozoïque)	Quadrilatère de fer (Brésil), Pilbara (Australie)	30–65
Gisements sédimentaires	Altération et concentration en milieu continental (latérites)	Lorraine (France), Krivoï Rog (Ukraine)	30–55
Gisements magmatiques	Cristallisation fractionnée (intrusions mafiques)	Kiruna (Suède), Labrador (Canada)	50–70
Gisements métamorphiques	Transformation de BIF ou de sédiments ferrugineux	Taconite (USA), Carajás (Brésil)	25–40

La question de la Gestion durable / Dépollution permet aussi d'illustrer le comportement du Fe... Mais

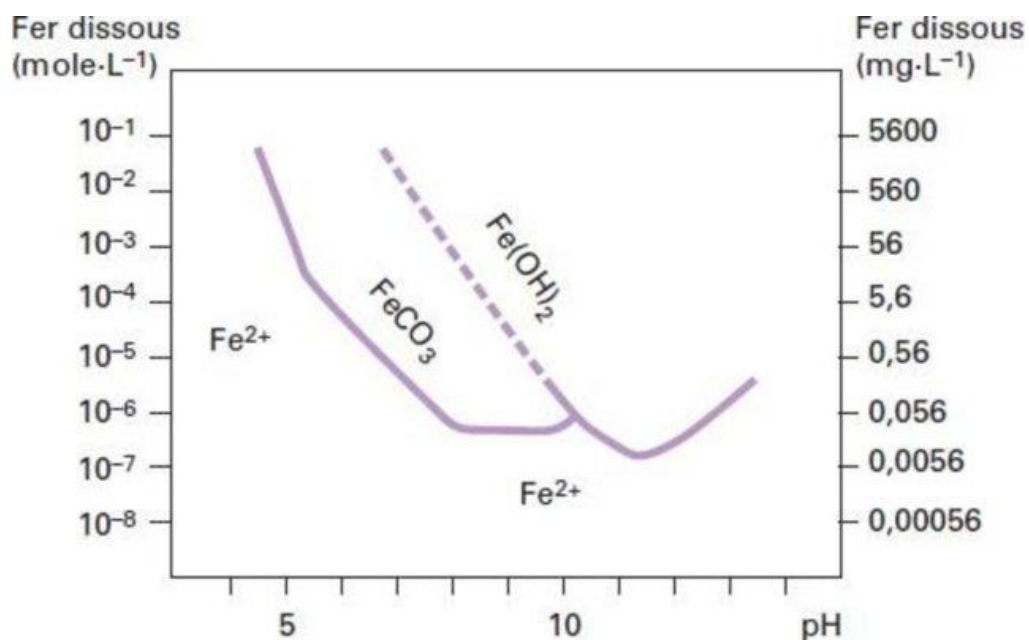
Gestion = savoir sous quelle forme est le Fe pour pouvoir le traiter

Alternatives aux BIF : Valorisation des latérites ou des résidus miniers.



Essai de classification hyper-simplifiée des gisements métallifères

Pierre Thomas, 2024



Conclusion

Par sa place centrale dans la constitution de la Terre et par la diversité de ses comportements géochimiques, le fer apparaît comme un élément majeur des processus géologiques. De la différenciation du noyau à la dynamique mantellique, des mécanismes pétrogénétiques aux cycles sédimentaires et biogéochimiques, le fer structure le fonctionnement du système Terre à toutes les échelles spatiales et temporelles. Étudier le fer, c'est ainsi appréhender un fil conducteur reliant la géodynamique interne, l'évolution de la surface terrestre et l'histoire de la vie.

Ouverture

Fer et hématies, ou au niveau cellulaire...

Fer et biosphère : rôle du fer dans le métabolisme des premières formes de vie.

+ Le fer constitue un élément nutritif essentiel pour de nombreux organismes vivants et joue un rôle clé dans les cycles biogéochimiques. Sa disponibilité dans les océans limite localement la productivité biologique, illustrant l'interdépendance entre processus géologiques et biologiques.

4.3.4. Éléments d'évaluation

1. Le fer, architecte de la structure et de la composition des enveloppes terrestres et planétaires	Le fer	origine (nucléosynthèses-primordiale, stellaire, explosive (supernova)); séquence condensation; abondance
		propriété physique (redox et solubilité)
		propriété physique - densité
		propriété physique - métallique
		propriété physique - réfractaire
		minéraux (natif, silicates, oxydes, sulfures)
	Composition noyau	composition du noyau - expérience de Birch / PREM Noyau = fer +
Le fer, archive des dynamiques des plaques, des environnements et des cycles géochimiques passés	Formation du noyau métallique	densité du fer (ségrégation physique), immiscibilité (ségrégation chimique)
	Dynamique du noyau	Champ magnétique = Noyau interne solide-externe liquide convectif ; Effet Geodynamo (Induction); magnétosphère et conséquences
	Comparaison autres planètes	Terre / Mars / Mercure: abondance variable de Fer, influence de la teneur en fer sur la densité, la structure interne et l'absence/présence de champ magnétique noyau présent actif ou pas; structure interne variable conséquences champ magnétique (Mars Champ mag fossile, Terre-Champ présent, fort, Mercure - champ faible
	Archive de la tectonique des plaques	Comment le champ magnétique est enregistré (minéraux ferromagnétiques (magnétite Fe_3O_4), Tcurie, spin)
		Comment on exploite ce champ (dérive pôle, anomalie magnétique, échelle magnétostratigraphique)
	Archive des phases d'oxygénation de l'atmosphère	indice minéralogiques GOE (redbeds; BIF; pyrites)
		oxygénation atmosphère = GOE (2,45-2,2 Ga); modification de l'océan primitif : ferrugineux --> sulfureux et précipitation de pyrite
3. Le fer, acteur des processus géologiques actuels	Rôle dans les processus pétrogénétiques	Archive des organismes anciens
		Pyritisation des organismes; Lagerstätten
		Archive des circulations de fluides
		Précipitations liés aux circulations fluides, contextes hydrothermaux + synthèse de molécules abiotiques
		PétoMag
		Evolution des magmas - séries tholéitiques / calco-alcaline et fugacité oxygène
		Rapport Fe/Mg - température (pôle +/- réfractaire): Zonation continue Olivine (Cristallisation à l'équi) ou compo des olivines dans cumulates

		Dynamique des réservoirs magmatiques - hétérogénéité de distribution Fe dans olivines - réinjection magma
		PétoMétam
		Géothermomètre - Fe/Mg dans Biotite - Coefficient de partage (Kd)
		traceur de la présence de fluides --> modif conditions rédox --> grenat
	Rôle dans les processus de surface et les cycles biogéochimiques	Fer et productivité océanique (fertilisation des océans) + climat
		Mobilité du Fe (redox) - sols (latérites)
	Gisements de fer, Ressources et enjeux sociétaux	genèse : gisements de fer sédimentaires/latéritiques, hydrothermaux
		Lien géodynamique (actuel ou passé) et répartiion ressources (Archéen - BIF minimum)
		Exploitation : impact environnemental / gestion durable - valorisation des latérites, résidus miniers

5. Les épreuves pratiques

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

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

Le sujet de cette session portait sur les **glutamines synthétases**, enzymes ubiquitaires jouant un rôle central dans le métabolisme de l'azote au sein de l'ensemble du vivant.

La première partie s'intéressait aux **glutamines synthétases végétales**. Après une étude de la **photorespiration** et de ses implications cellulaires, les candidats devaient mettre en œuvre une démarche expérimentale de **biochimie enzymatique** afin de caractériser l'activité d'une glutamine synthétase extraite de pois. Cette partie mobilisait également des compétences en dosage protéique, en traitement quantitatif des résultats et en analyse de mécanismes de régulation de l'expression et de l'activité enzymatique chez *Arabidopsis*.

La deuxième partie abordait le rôle des glutamines synthétases dans le **système nerveux des mammifères** et leur implication potentielle dans la **maladie d'Alzheimer**. Elle associait des observations microscopiques, l'analyse de données comportementales, l'étude de marqueurs cellulaires par immunofluorescence et l'exploitation de résultats de type Western Blot afin d'évaluer le rôle des astrocytes dans les altérations observées au cours de la maladie.

La troisième partie proposait une réflexion sur l'**origine évolutive** des glutamines synthétases à partir de données phylogénétiques et génomiques. Elle conduisait les candidats à mobiliser leurs connaissances relatives à LUCA, aux relations d'orthologie et de paralogie ainsi qu'aux mécanismes de diversification des gènes au cours de l'évolution.

Le sujet faisait ainsi appel à des compétences variées relevant de la biologie cellulaire, de la biochimie, de la physiologie végétale et animale, de la génétique moléculaire et de l'évolution. Il évaluait également la capacité des candidats à conduire des manipulations expérimentales, à utiliser des outils numériques, à réaliser des traitements quantitatifs et à exploiter de manière critique des résultats issus de la recherche contemporaine.

Le sujet proposé cette année était conçu pour être **réalisable dans le temps imparti**. Une proportion importante de candidats est parvenue au terme de l'épreuve, même si toutes les questions n'ont pas toujours été traitées avec le même degré de précision ou de réussite. Dans ces conditions, l'épreuve a pleinement joué son rôle discriminant ; elle n'a pas départagé les candidats sur leur seule rapidité d'exécution, mais principalement sur la solidité de leurs connaissances, leur capacité à mobiliser des compétences expérimentales variées et la rigueur de leur analyse des résultats obtenus.

Cette session a ainsi montré que les écarts entre candidats reposaient moins sur la quantité de travail réalisée que sur la pertinence des interprétations proposées, la maîtrise des outils et des méthodes, ainsi que sur la capacité à porter un regard critique sur les données expérimentales.

Le jury souhaite attirer l'attention des futurs candidats sur plusieurs difficultés récurrentes observées au cours de cette session :

- Tout d'abord, certaines **connaissances fondamentales** du programme apparaissent insuffisamment maîtrisées. Ainsi, des manquements graves dans les notions de chimie des solutions ont été constatés. Des **confusions** ont été fréquemment observées concernant la définition et la caractérisation de la photorespiration, parfois confondue avec la respiration mitochondriale, l'évapotranspiration ou encore la photosynthèse. De même, des notions pourtant classiques telles que la nomenclature et le rôle des différents types cellulaires du système nerveux, la distinction entre gènes orthologues et paralogues, ou encore l'âge et la signification de l'acronyme LUCA, n'ont pas toujours été correctement mobilisées.
- Le jury a également constaté des lacunes préoccupantes concernant la **compréhension de protocoles expérimentaux** largement utilisés en biologie. Les principes et les différentes étapes de techniques telles que le Western Blot, l'immunofluorescence ou la préparation d'échantillons destinés à l'observation en microscopie électronique à transmission doivent être connus et compris par les candidats.

- Par ailleurs, les difficultés rencontrées dans la **réalisation de calculs simples** demeurent nombreuses. Des calculs simples de quantité et concentration ont souvent été des sources d'erreur. Des erreurs de conversion d'unités ou de simples règles de trois conduisent parfois à des résultats manifestement aberrants, sans que ceux-ci ne suscitent de réaction critique de la part des candidats. Le jury rappelle qu'une valeur obtenue doit toujours être confrontée aux ordres de grandeur biologiquement plausibles.
- **L'exploitation des données numériques** constitue également un point d'amélioration important. Trop souvent, les candidats se contentent d'indiquer qu'une variable « augmente » ou « diminue », sans quantifier précisément l'ampleur des variations observées. Or, l'analyse scientifique repose sur la capacité à extraire des informations quantitatives pertinentes à partir des résultats expérimentaux, par exemple en exprimant une augmentation en pourcentage ou une diminution sous forme de facteur multiplicatif. À l'inverse, une simple paraphrase des valeurs figurant dans un tableau ou un graphique ne constitue pas une analyse satisfaisante.
- Le jury souligne également l'importance de la **maîtrise des outils numériques** et de représentation graphique. Plusieurs candidats ont produit des graphiques ne permettant pas une comparaison pertinente des données, alors même que les logiciels mis à leur disposition offrent les fonctionnalités nécessaires. La présentation simultanée de jeux de données comparables sur une même figure est souvent indispensable à une interprétation rigoureuse des résultats.
- Enfin, la **qualité de la communication scientifique** demeure perfectible. Les schémas et dessins d'observation sont parfois insuffisamment soignés : absence de titre, omission du moyen d'observation ou du grossissement, traits imprécis ou raturés. Le jury rappelle qu'un schéma scientifique constitue un outil de communication à part entière et doit respecter les conventions attendues.

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

CONCOURS EXTERNE – EPREUVES D'ADMISSION – Session 2026

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

LES GLUTAMINES SYNTHETASES

Les 3 parties sont indépendantes :

- **Partie I : Les glutamines synthétases chez les végétaux**

Durée conseillée : 3h00 - barème indicatif : 50 points sur 100

- **Partie II : Les glutamines synthétases chez les animaux**

Durée conseillée : 2h00 - barème indicatif : 35 points sur 100

- **Partie III : L'origine évolutive des glutamines synthétases**

Durée conseillée : 1h00 - barème indicatif : 15 points sur 100

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

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

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

PREAMBULE :

Les glutamines synthétases (GS) sont des enzymes qui catalysent la formation de la glutamine à partir de l'acide glutamique et d'ammonium en consommant de l'ATP. Elles jouent un rôle central dans le métabolisme de l'azote : assimilation de l'ammonium, synthèse d'acides aminés et détoxification de l'ammoniaque. On les trouve de manière ubiquitaire — chez les bactéries et archées, dans les plantes, les champignons et chez les animaux. Elles sont étroitement régulées pour maintenir l'homéostasie de l'azote.

Leur omniprésence dans le vivant fait que ce sont des enzymes vitales aux rôles essentiels. De fait, les gènes codant ces enzymes sont considérés comme étant les plus anciens gènes fonctionnels étudiés.

Ce sont ces enzymes et les gènes les codant qui nous intéressent dans ce corpus documentaire.

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

Indications sur l'organisation de l'épreuve :

- Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes.
- La partie I.B comporte la préparation d'un extrait enzymatique, des tests et des dosages protéiques. Pensez à mettre à profit les multiples temps d'attente pour anticiper sur les manipulations suivantes ou la réponse aux questions.
- La partie IIA comporte une dissection et des analyses de vidéos de test comportemental.
- Les réponses à chaque question sont à apporter dans le cadre prévu à cet effet.
- **Certaines réponses nécessitent l'utilisation de logiciels. Pensez à sauvegarder vos travaux et à transférer les fichiers sur la clé USB fournie.**
- Une lecture du sujet dans son intégralité est utile notamment pour s'imprégner de la problématique proposée.
- Tout le matériel nécessaire aux manipulations est disposé sur les paillasse de chaque candidat. **Il ne sera pas délivré de matériel ou d'échantillon supplémentaire.** Le jury rappelle que **toutes les manipulations de biochimie utilisant des enzymes doivent être intégralement réalisées dans la glace.**
- Au cours de l'épreuve, certains résultats seront contrôlés par les membres du jury en salle. L'énoncé mentionnant cette obligation, vous appellerez un membre du jury qui examinera votre résultat.

Partie I : Les Glutamines synthétases chez les végétaux

Chez les plantes, il existe deux isoenzymes de glutamine synthétase :

- La **glutamine synthétase chloroplastique (GS2)** est l'isoforme majoritaire des tissus photosynthétiques. Elle est associée à l'assimilation du nitrate dans les feuilles et est impliquée dans l'assimilation de l'ammonium issu de la photorespiration.
- La **glutamine synthétase cytoplasmique (GS1)** est présente principalement dans les tissus non photosynthétiques. Elle joue un rôle important dans les processus de remobilisation de l'azote pendant la sénescence.

Partie A : La photorespiration chez les végétaux

Cette première partie a été globalement peu réussie. Elle mobilisait à la fois des connaissances de physiologie végétale, des notions de biologie cellulaire et des compétences méthodologiques liées à l'observation microscopique.

I.A.1 – Indiquez en quelques lignes en quoi consiste la photorespiration et les plantes chez qui on peut la trouver.

Réponse à la question IA1

Cette question de cours visait à vérifier la maîtrise d'une notion fondamentale de physiologie végétale. Le jury attendait que les candidats définissent clairement la photorespiration comme la conséquence de l'activité oxygénase de la Rubisco, conduisant à la fixation d'oxygène au détriment du dioxyde de carbone, ainsi qu'à une perte de carbone et d'énergie pour la plante. Les candidats devaient également préciser que ce phénomène concerne principalement les plantes en C3 et qu'il est limité chez les plantes en C4 et les plantes à métabolisme CAM grâce à des mécanismes de concentration du CO₂.

Cette question a révélé de nombreuses lacunes. Une proportion importante de candidats a confondu la photorespiration avec la respiration mitochondriale, la photosynthèse ou encore l'évapotranspiration. Certains ont également limité leur réponse à une simple définition incomplète, sans évoquer les conséquences physiologiques du phénomène ni les groupes de végétaux concernés.

I.A.2 – A partir de la photographie ci-après (p. 6),

a) Précisez quel type de microscopie a permis l'obtention de ce cliché et décrivez dans les grandes lignes la méthode de préparation des échantillons préalablement à leur observation.

Réponse à la question IA2a

Cette question visait à évaluer la capacité des candidats à reconnaître une image obtenue en microscopie électronique à transmission et à mobiliser les principales étapes de préparation d'un échantillon destiné à cette technique.

Si la majorité des candidats a correctement identifié la microscopie électronique à transmission, les modalités de préparation des échantillons sont apparues beaucoup moins bien maîtrisées. Les réponses se limitaient souvent à quelques généralités sur la fixation ou la réalisation de coupes, sans vision d'ensemble du protocole expérimental.

Le jury attendait l'identification des principales étapes : fixation des tissus, déshydratation, inclusion en résine, réalisation de coupes ultrafines à l'ultramicrotome et contraste par des sels de métaux lourds avant observation. Ces différentes étapes ne constituent pas une simple succession d'opérations techniques mais répondent à des contraintes spécifiques liées à l'observation des structures cellulaires par transmission d'électrons.

Cette question rappelle l'importance d'une bonne maîtrise des principes des techniques classiques de biologie cellulaire. Les futurs enseignants doivent être capables non seulement de reconnaître les images produites par ces méthodes, mais également d'en comprendre les fondements expérimentaux et les principales étapes de mise en œuvre.

b) Calculez la taille réelle de l'élément situé en haut à droite de la photographie à l'aide du grossissement.

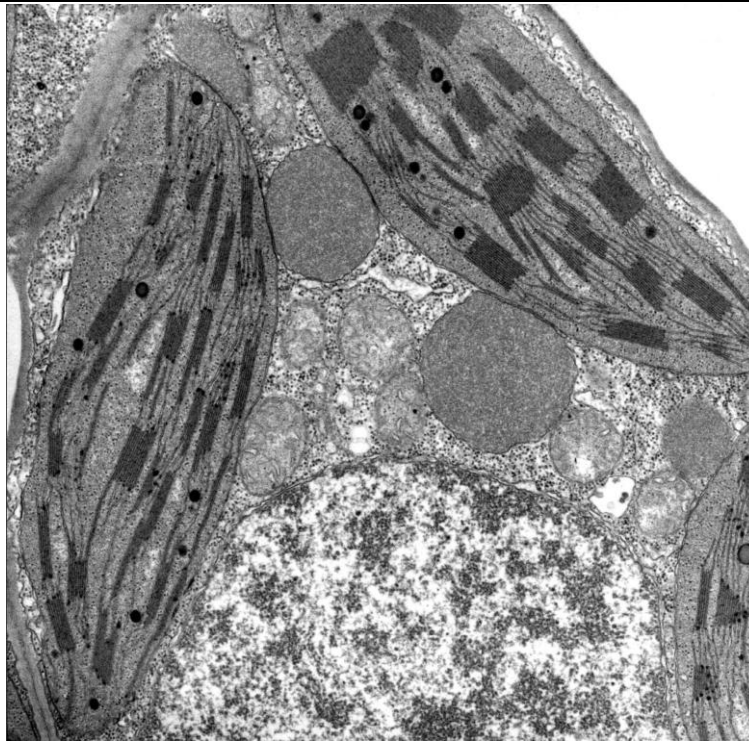
Réponse à la question IA2b

Cette question ne présentait pas de difficulté conceptuelle particulière et reposait sur l'application d'un calcul simple de grossissement permettant d'estimer les dimensions réelles d'une structure observée en microscopie électronique.

Si de nombreux candidats ont obtenu un ordre de grandeur correct, le jury a constaté un nombre non négligeable d'erreurs de calcul ou de conversion d'unités. Certains résultats manifestement aberrants ont parfois été reportés sans aucune discussion critique. Or, l'obtention d'une valeur numérique ne dispense pas d'une réflexion sur sa plausibilité biologique.

Le jury rappelle que la maîtrise des changements d'unités et des calculs d'ordre de grandeur constitue une compétence fondamentale pour l'exploitation de résultats expérimentaux. Une taille réelle incompatible avec les dimensions habituelles des structures cellulaires observées doit immédiatement conduire le candidat à vérifier sa démarche et ses calculs.

c) Légendez cette photographie de cellule végétale en soulignant les organites impliqués dans la photorespiration.



x 13 900, © University of Wisconsin – Madison Botany department teaching Collection, Botany Collection, Photographie : Newcomb, Eldon

Cette question nécessitait d'identifier et de légender les principales structures visibles sur une coupe de cellule végétale observée en microscopie électronique à transmission. Le jury attendait notamment l'identification correcte des chloroplastes, des mitochondries et des peroxysomes, ainsi que leur mise en relation avec le processus de photorespiration.

Si les chloroplastes et le noyau étaient généralement reconnus, les peroxysomes ont souvent été mal identifiés ou confondus avec d'autres structures cytoplasmiques. Les mitochondries, pourtant impliquées dans le cycle photorespiratoire, n'étaient pas toujours repérées ou correctement légendées. De nombreux candidats se sont limités à une simple description morphologique sans mettre en évidence l'intérêt fonctionnel des organites observés dans le contexte du sujet.

Le jury rappelle que l'identification des structures cellulaires ne constitue pas une fin en soi. Les candidats doivent être capables d'établir un lien entre l'observation et la problématique biologique étudiée. Dans le cas présent, les meilleures copies ont souligné l'intervention conjointe des chloroplastes, des peroxysomes et des mitochondries au cours de la photorespiration, témoignant ainsi d'une compréhension intégrée des phénomènes cellulaires observés.

Partie B : Mesures d'activité de la glutamine synthétase

Cette partie mobilisait des compétences variées de biochimie, d'expérimentation et d'exploitation de résultats. Les résultats obtenus montrent qu'elle a constitué une partie relativement discriminante du sujet. Si certains candidats ont su mettre en œuvre une démarche rigoureuse et exploiter correctement les données fournies, de nombreuses copies témoignent de difficultés dans l'analyse et l'interprétation des résultats expérimentaux.

Les meilleures prestations se distinguaient par la qualité du raisonnement scientifique, la rigueur de l'exploitation des données et la capacité à mobiliser les connaissances nécessaires à l'interprétation des résultats obtenus.

Dans les cellules, la glutamine synthétase catalyse la formation de L-glutamine à partir de L-glutamate en présence d'ATP et d'ammoniac selon la réaction 1 (Figure 1). Pour des raisons de sécurité, l'ammoniac est remplacé dans le mélange réactionnel par l'hydroxylamine (NH_2OH). Par conséquent, nous étudierons la formation d'acide glutamyl-hydroxamique (AGH) à la place de la glutamine (réaction 2). On réalise donc une réaction enzymatique artificielle.

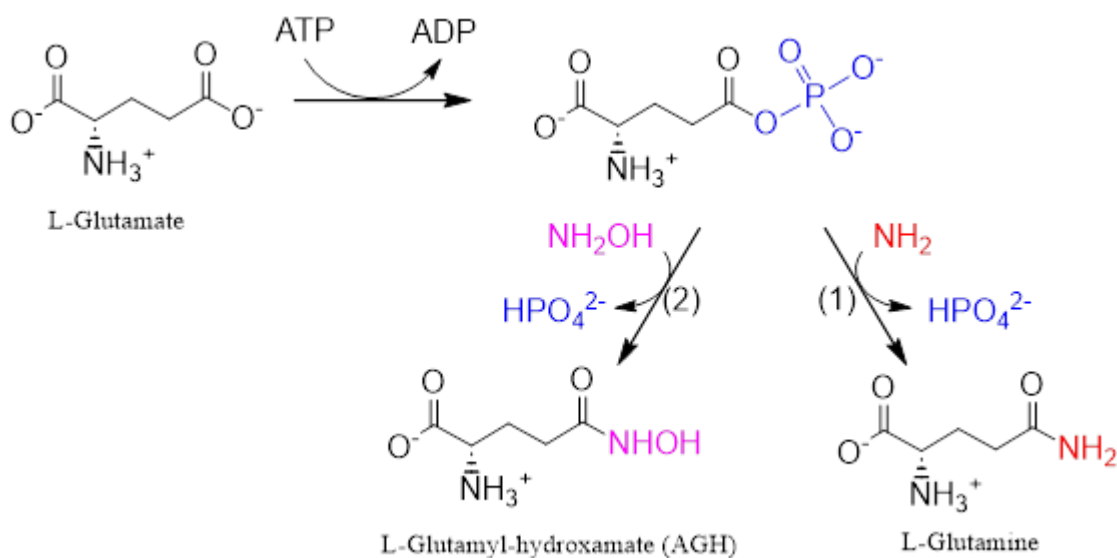


Figure 1. Réaction de formation de L-glutamine (1) ou L-Glutamyl-hydroxamate (2) à partir de L-glutamate, catalysée par la glutamine synthétase.

Le principe du dosage repose sur la réaction de l'ester avec l'hydroxylamine en conditions alcalines pour former l'acide hydroxamique qui à son tour réagit avec les ions Fe^{3+} pour former un complexe "red ferric hydroxamate" (Figure 2).

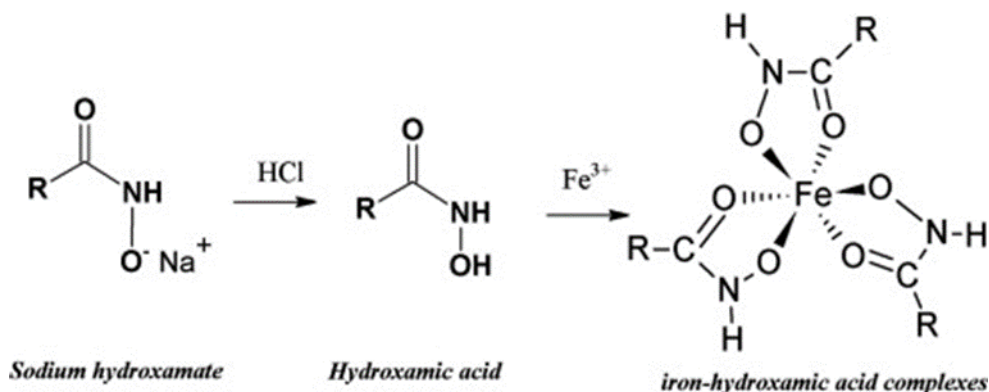


Figure 2. Réactions impliquées dans le dosage de l'acide hydroxamique.

SOLUTIONS :

- Pois secs réhydratés
- NaHCO_3 0,1M
- MgSO_4 1M
- ATP, pH 7,5, 0,025 M
- Glutamate de sodium, pH 7,5, 0,5 M
- NH_2OH (hydroxylamine), pH 7,5, 1M
- Tampon Tris-HCl (Tris-hydroxyméthyl aminométhane), 0,8 M, pH 7,5
- Réactif de chlorure ferrique (FeCl_3 en milieu HCl)

1) Préparation de l'extrait enzymatique

5 g de pois secs ont été réhydratés une nuit dans de l'eau.

- Broyez ces pois dans un mortier en ajoutant 30 mL de NaHCO_3 0,1 M.
- **Laissez la préparation reposer pendant 30 min.**
- **Centrifugez la suspension 10 min à 10 000 g.**

Le surnageant est utilisé directement comme source d'enzyme, conservez le dans la glace pendant tout le temps du TP.

2) Essais enzymatiques

Les expériences sont réalisées dans des microtubes de 2 mL. Le mélange complet contient :

- 250 μL de tampon Tris-HCl
- 250 μL de glutamate de sodium
- 250 μL d'ATP
- 50 μL de NH_2OH
- 50 μL de MgSO_4
- Des quantités variables d'extrait enzymatique
- De l'eau désionisée afin d'obtenir un volume final de 1,25 mL

Avant de préparer les essais, il est conseillé de faire un tableau représentant les quantités des différents produits nécessaires à chaque essai :

- ➔ Faire 6 essais, numérotés de 1 à 6, avec : 0,1 mL d'extrait enzymatique (essai n°1) ; 0,2 mL d'extrait enzymatique (essai n°2) ; 0,25 mL d'extrait enzymatique (essai n°3) ; 0,3 mL d'extrait enzymatique (essai n°4) ; 0,3 mL d'extrait enzymatique et sans MgSO_4 (essai n°5) ; un blanc sans extrait enzymatique (essai n°6).

Remarque : La réaction est déclenchée par addition d'extrait enzymatique, il doit donc être ajouté en dernier.

- **Préparez les tubes et laissez-les incuber 30 min à 30 °C.**
- Ajoutez 0,4 mL de réactif ferrique dans chaque tube.
- **Éliminez le précipité protéique par centrifugation 10 min à 5000 g.**
- Mesurez l'absorbance du complexe coloré du surnageant à 540 nm.

QUESTIONS

I.B.1 – Quel est le but de cette expérience ?

Réponse à la question IB1

Il s'agissait de mettre en évidence la présence de GS et de la quantifier dans un extrait de pois cassés.

Cette question a été très majoritairement mal traitée, les candidats confondant le principe de l'expérience et son but.

I.B.2 – Quel est le principe de cette expérience ?

Réponse à la question IB2

Le principe reposait sur la mesure de l'activité de la GS en suivant spectrophotométriquement la formation d'un complexe ferrique avec le produit acide hydroxamique (AGH).

Cette question concernait la compréhension de la méthode de suivi de l'activité de la GS, c'est-à-dire des figures 1 et 2. Seuls quelques candidats ont réussi à expliquer clairement les principes fondamentaux impliqués.

I.B.3 – Présentez sous forme d'un tableau la composition des tubes que vous avez étudiés ainsi que les valeurs d'absorbance à 540 nm.

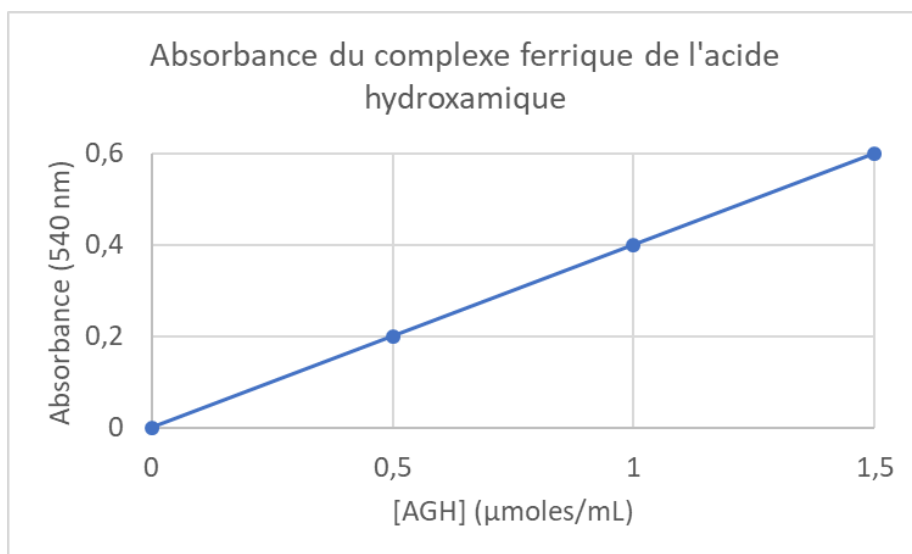
Réalisez le tableau dans LibreOffice et nommez votre fichier Nom_Prenom_Tableau IB3

Appelez l'examineur pour lui montrer vos cuves et vos valeurs d'absorbance.

Tableau IB3 : Composition des mélanges réactionnels et absorbances mesurées

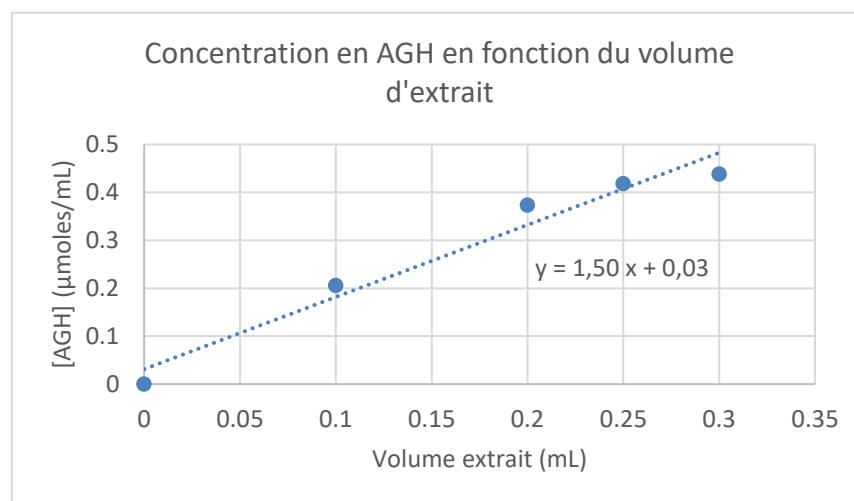
Tube	1	2	3	4	5	6
Tris HCl 0,8 M pH 7,5	250 µL	250 µL	250 µL	250 µL	250 µL	250 µL
Glutamate de sodium 0,5 M pH 7,5	250 µL	250 µL	250 µL	250 µL	250 µL	250 µL
ATP 0,025 M pH 7,5	250 µL	250 µL	250 µL	250 µL	250 µL	250 µL
NH ₂ OH 1 M pH 7,5	50 µL	50 µL	50 µL	50 µL	50 µL	50 µL
MgSO ₄ 1 M	50 µL	50 µL	50 µL	50 µL	-	50 µL
H ₂ O qsp 1,25 mL	0,3 mL	0,2 mL	0,15 mL	0,1 mL	0,15 mL	0,4 mL
Extrait enzymatique	0,1 mL	0,2 mL	0,25 mL	0,3 mL	0,3 mL	-
Réactif ferrique	0,4 mL	0,4 mL	0,4 mL	0,4 mL	0,4 mL	0,4 mL
Absorbance à 540 nm	0,091	0,158	0,176	0,184	0,028	0,009

I.B.4 – À l'aide de la courbe ci-dessous, déterminez la concentration en AGH dans chaque tube. Tracez la courbe en portant en abscisse les volumes d'extraits enzymatiques et en ordonnée la concentration en AGH obtenue lors des quatre premiers essais. Que peut-on conclure ?



Tracez la courbe dans LibreOffice et nommez votre fichier Nom_Prenom_Courbe IB4

Réponse à la question IB4



Ces résultats montraient la formation spécifique d'AGH en présence d'extrait de pois cassés, et donc la présence de GS dans ces extraits. L'augmentation linéaire observée de la quantité d'AGH formée en fonction du volume d'extrait (caractérisée par la régression linéaire représentée en trait pointillée sur le graphique avec son équation) démontrait la proportionnalité attendue pour une activité enzymatique.

Dans l'ensemble, les candidats ont obtenu des préparations exploitables. Le jury a également constaté que la présentation graphique des résultats à l'aide d'un logiciel adapté est relativement bien maîtrisée par la majorité des candidats. Cependant, l'ajustement des données expérimentales à un modèle mathématique (aussi appelée courbe de tendance sur un graphique) n'est que très minoritairement utilisée alors que cela est indispensable pour une analyse scientifique des données.

I.B.5 – Sachant que l'unité enzymatique correspond à la quantité d'enzyme qui catalyse, dans les conditions de l'essai, la formation d'1 μmole d'AGH, calculez le nombre d'unités enzymatiques obtenues pour 1 mL d'extrait de pois.

Réponse à la question IB5

D'après l'équation de la droite de régression ($y = 1,5x + 0,03$), il y avait 1,53 $\mu\text{moles/mL}$ d'AGH formées pour 1 mL d'extrait ($x = 1$), soit 1,53 unités enzymatiques / mL d'extrait.

Cette question ne nécessitait aucune compétence particulière et n'a pourtant été répondue que par une très faible proportion de candidats.

I.B.6 – Quel est le rôle du MgSO_4 ? Comment le montrez-vous ?

Réponse à la question IB6

Il est essentiel pour l'activité de l'enzyme. En son absence, seule une activité résiduelle de moins de 10 % est observée (tube 5), probablement liée à la présence de traces de ce cofacteur dans l'extrait. Cette question a été traitée correctement par la majorité des candidats.

I.B.7 – Quels sont les rôles du réactif ferrique ?

Réponse à la question IB7

Le réactif ferrique a deux rôles : Le premier est l'acidification du milieu pour protoner l'hydroxamate de sodium en acide hydroxamique (Figure 2), le second est de fournir du fer ferrique pour la formation des complexes avec l'AGH.

Cette question ne concernait que la compréhension moléculaire du test de détection du produit de la réaction présenté en figure 2, pourtant aucune réponse exacte a été formulée par les candidats. Les meilleures réponses n'étaient que partielles.

3) Dosage protéique

SOLUTIONS :

- BSA (Albumine se sérum bovin) 1 g/L
- Extrait enzymatique

Composition des mélanges :

Essais	Solution de BSA à 1 mg/mL (en μL)	Extrait enzymatique brut (μL)	Extrait enzymatique dilué 10 fois (μL)	Réactif de Bradford (μL)	Eau déionisée qsp 1000 μL (en μL , à compléter)
1	0	-	-	200	800
2	2	-	-	200	798
3	4	-	-	200	796
4	8	-	-	200	792
5	10	-	-	200	790
E1	-	10	-	200	790
E2	-	25	-	200	775
E3	-	50	-	200	750
E4	-	-	10	200	790
E5	-	-	25	200	775

E6	-	-	50	200	750
----	---	---	----	-----	-----

- Homogénéiser et **laisser les tubes 5 min à l'obscurité.**
- Lire les valeurs d'absorbance à 595 nm.

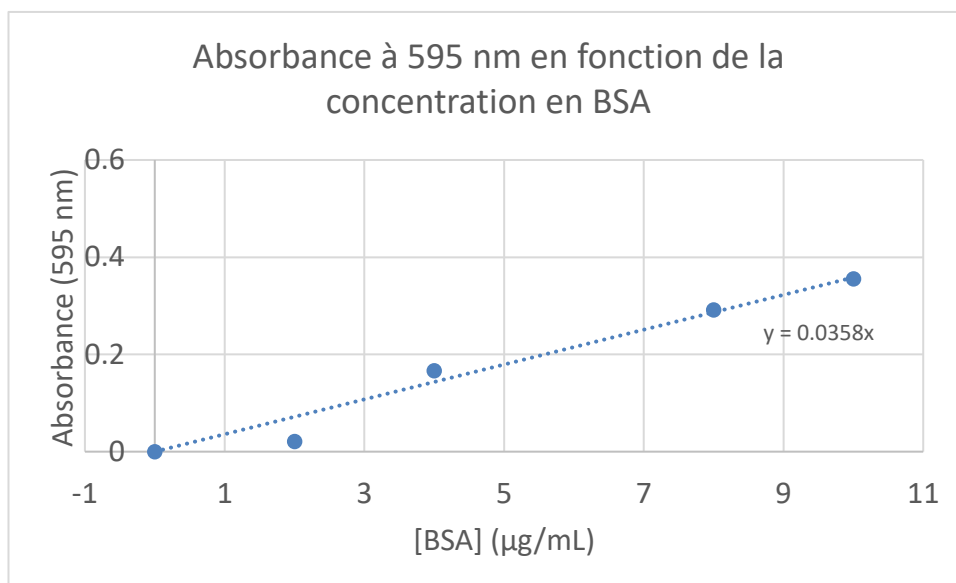
Appelez l'examineur pour lui montrer vos cuves et vos valeurs d'absorbance.

QUESTIONS :

I.B.8 – Tracez une courbe en portant en abscisse les concentrations de BSA et les absorbances lues à 595 nm en ordonnées. Quel est l'intérêt de cette courbe ?

Tracez la courbe dans LibreOffice et nommez votre fichier Nom_Prenom_Courbe IB8

Réponse à la question IB8



Les concentrations en BSA étaient calculées comme suit : La concentration de BSA (en µg/mL) de chaque essai (1 à 5) correspondait en valeur absolue au volume de solution à 1 mg/mL utilisé (en µL) puisque le volume total était de 1 mL.

Cette courbe permettait d'obtenir la concentration en protéines totales de l'extrait enzymatique, c'est une gamme étalon, en utilisant la relation linéaire observée (droite de régression avec l'équation indiquée sur le graphique).

Dans l'ensemble, les candidats ont obtenu des résultats exploitables. Le jury a constaté qu'un certain nombre de candidats n'ont pas calculé la concentration en BSA dans les essais ou ont rencontré des difficultés pour le faire ce qui traduit probablement une maîtrise insuffisante des notions de base de chimie des solutions comme la concentration, la quantité, le volume.

I.B.9 – – Expliquez comment vous avez effectué votre dilution 10 fois. Déterminez la concentration protéique dans les tubes E1, E2, E3, E4, E5 et E6.

Réponse à la question IB9

La dilution 10 fois était réalisée en mélangeant dans un tube 1 volume d'extrait et 9 volumes de tampon NaHCO_3 0,1 M. Comme il faut 85 μL de dilution pour réaliser les 3 dosages (E4, E5, E6), il faut un volume de dilution suffisant soit au minimum 100 μL (10 μL + 90 μL). Un volume de dilution de 1 mL était aussi envisageable.

Pour calculer la concentration protéique dans les tubes, il fallait utiliser l'équation de la droite de régression de la courbe étalon (absorbance/0,0358) :

Essai	Absorbance	Concentration dans l'essai ($\mu\text{g/mL}$)
E1	0,88	Hors gamme étalon
E2	1,296	Hors gamme étalon
E3	1,561	Hors gamme étalon
E4	0,12	3,35
E5	0,2	5,59
E6	0,7	Hors gamme étalon

Le jury a constaté que la réalisation d'une dilution était, comme attendu, maîtrisée par la très grande majorité des candidats. La majorité des candidats n'ont pas utilisé l'équation de la droite de régression pour déterminer les concentrations, mais une lecture graphique souvent moins précise qui a cependant été valorisée par le jury.

Dans l'ensemble, les candidats ont obtenu des résultats exploitables. Certains candidats ont obtenu des résultats hors gamme même sur la dilution, qui ont été valorisés par le jury. Le jury a également valorisé toute tentative d'explication de ces résultats.

I.B.10 – En détaillant les calculs, déterminez la quantité totale de protéines dans l'extrait protéique de départ (en mg).

Réponse à la question IB10

Il fallait d'abord calculer la concentration de l'extrait à partir des concentrations déterminées en IB9 et des facteurs de dilution (en tenant compte de la dilution 10 fois des essais E4 à E6) comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Essai	Facteur de dilution	Concentration dans l'essai ($\mu\text{g/mL}$)	Concentration dans l'extrait (mg/mL)
E4	1000	3,35	3,35
E5	400	5,59	2,23

Soit une moyenne de 2,79 mg/mL . L'extrait ayant un volume de 30 mL, cela correspond à une quantité de protéines totales de : $30 \times 2,79 = 83,7 \text{ mg}$.

Le jury a constaté que ces calculs pourtant simples ont posé beaucoup de problèmes aux candidats. Seuls quelques-uns l'ont réussi. Il est à noter que le jury a valorisé le raisonnement plus que les valeurs chiffrées obtenues. Il est également important de noter qu'une valeur chiffrée sans l'unité associée n'a aucune valeur significative.

I.B.11 – Sachant que l'activité spécifique est le nombre d'unité enzymatique par mg de protéines, calculez l'activité spécifique (A. S.) de la glutamine synthétase.

Réponse à la question IB11

L'extrait contenant 1,53 unités enzymatiques / mL (IB5) et ayant un volume de 30 mL, cela correspondait à : $1,53 \times 30 = 45,9$ unités totales dans l'extrait.

L'extrait contenant 83,7 mg de protéines totales, l'activité spécifique de la GS se calculait comme suit : $45,9/83,7 = 0,548$ unités /mg.

Très peu de candidats ont répondu à cette question.

Partie C : Régulation de l'activité de la glutamine synthétase chloroplastique (GS1)

Cette partie visait à évaluer la capacité des candidats à exploiter des résultats de biologie moléculaire, de biochimie et de cinétique enzymatique afin de comprendre les mécanismes de régulation des isoformes de glutamine synthétase chez *Arabidopsis*.

Les candidats ont généralement identifié les principales tendances observées dans les documents. Toutefois, l'exploitation des résultats est restée souvent descriptive. De nombreuses réponses se limitaient à indiquer qu'une quantité « augmente » ou « diminue » sans quantifier précisément les variations observées ni hiérarchiser leur importance. Le jury rappelle qu'une analyse scientifique rigoureuse repose sur l'extraction d'informations quantitatives pertinentes et sur leur interprétation.

Dans les racines d'*Arabidopsis*, des études moléculaires ont identifié cinq gènes codant des isoformes de GS1, *GLN1;1*, *GLN1;2*, *GLN1;3*, *GLN1;4* et *GLN1;5*. Ces isoformes sont finement régulées par la quantité d'azote présente dans le sol.

1) Effets de l'ammonium sur les activités et l'accumulation de GS1 dans les racines d'*Arabidopsis*

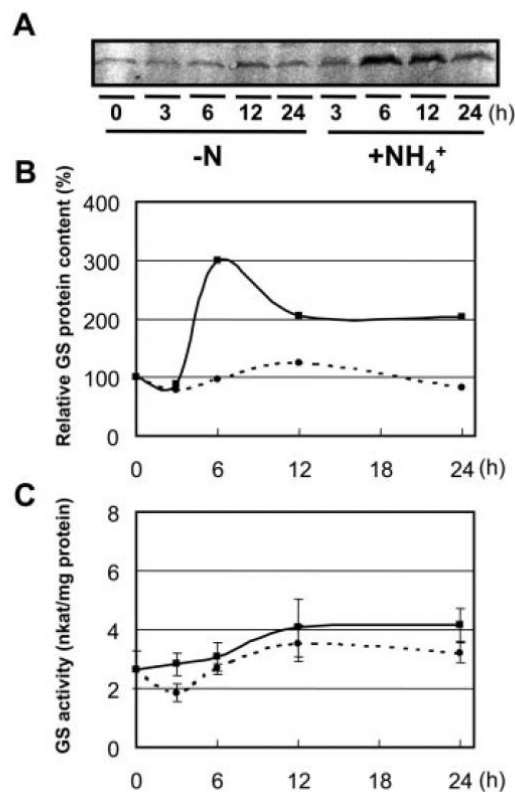


Figure 1 : Des plants d'Arabidopsis âgés de 2 semaines ont été soumis à une privation d'azote sur 3 jours avant le traitement puis ils ont été transférés sur un milieu sans azote (-N) ou avec 10 mM de chlorure d'ammonium (+ NH₄⁺).

Un microgramme de protéines solubles extraites des tissus racinaires a été déposé sur un gel SDS-polyacrylamide puis détecté par un anticorps anti-GS1 de riz (encadré A). B : contenu relatif en protéines GS1 en absence (ligne en tirets) ou en présence de NH₄⁺ (trait plein) en fonction du temps en heures. C : mesure de l'activité des protéines GS1 en absence (ligne en tirets) ou en présence de NH₄⁺ (trait plein) en fonction du temps en heures.

I.C.1 – A partir de la figure 1,

- a) Comment varie la quantité de GS1 dans les racines en fonction de l'absence ou de la présence d'azote dans le milieu ?
- b) Et l'activité des GS1 ?
- c) Ces résultats vous paraissent-ils surprenants ?

Réponse à la question 1.C.1

La figure 1 montre qu'en présence d'ammonium, la quantité de protéine GS1 augmente fortement dans les racines d'*Arabidopsis*. Cette accumulation est particulièrement marquée après 6 h de traitement, puis se stabilise à un niveau supérieur à celui observé en absence d'azote.

En revanche, l'activité enzymatique mesurée varie peu. Les valeurs obtenues en présence et en absence d'ammonium restent proches et les barres d'erreur se recoupent largement aux différents temps étudiés. Il n'est donc pas possible de conclure à une différence significative d'activité enzymatique entre les deux conditions expérimentales.

Ces résultats peuvent paraître surprenants : alors que la quantité de protéine GS1 augmente fortement en présence d'ammonium, cette accumulation ne s'accompagne pas d'une augmentation significative de l'activité enzymatique mesurée. Il n'existe donc pas de relation directe entre la quantité de GS1 détectée et l'activité globale observée dans ces conditions expérimentales.

Le jury a été attentif à la prise en compte des barres d'erreur. Une différence entre deux valeurs moyennes ne peut être interprétée sans considérer la dispersion des mesures et leur éventuel recouvrement.

2) Effets de l'azote dans le milieu sur les accumulations d'ARNm des isoenzymes de GS1 dans les racines d'Arabidopsis

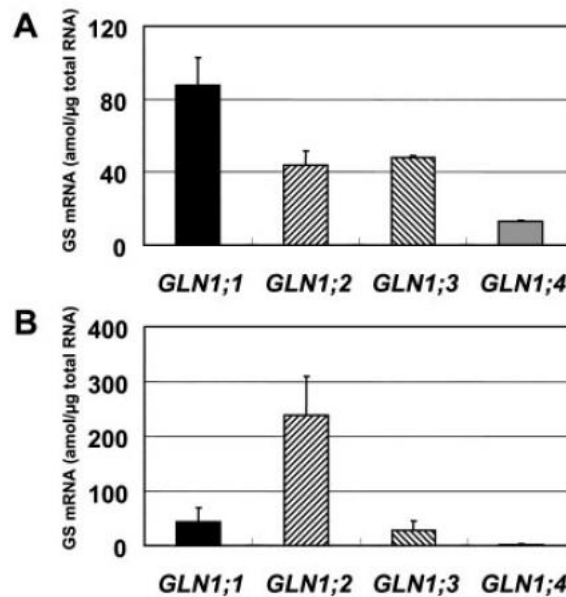


Figure 2 : Variations des quantités d'ARNm des isoenzymes de GS1

A : privation d'azote pendant 3 jours. B : excès d'ammonium (10 mM de chlorure d'ammonium) pendant 24 h.

I.C.2 Décrivez les résultats de la figure 2 et mettez-les en lien avec la figure 1.

Réponse à la question 1.C.2

En condition de carence azotée, l'isoforme **GLN1;1** présente le niveau d'expression le plus élevé dans les racines. Après apport d'ammonium, l'accumulation des ARNm de **GLN1;1**, **GLN1;3** et **GLN1;4** diminue, tandis que celle de **GLN1;2** augmente fortement, d'environ un facteur cinq.

La comparaison avec la figure 1 suggère que l'accumulation de protéines GS1 observée après apport d'ammonium est principalement liée à l'augmentation de l'expression de **GLN1;2**. Les résultats mettent ainsi en évidence une régulation différentielle des différentes isoformes de GS1 en fonction de la disponibilité de l'azote.

Cette question nécessitait une lecture comparative de plusieurs jeux de données et une mise en relation de résultats obtenus à différentes échelles d'étude. Les candidats devaient non seulement décrire les variations d'expression des différents gènes, mais également relier ces observations à l'accumulation de protéines GS1 mise en évidence dans la figure 1.

Le jury a valorisé les réponses qui quantifiaient les variations observées et qui identifiaient clairement le rôle particulier de l'isoforme **GLN1;2** en présence d'ammonium. À l'inverse, de nombreuses réponses se limitaient à une description successive des histogrammes sans véritable synthèse ni mise en relation avec les résultats précédents.

3) Les paramètres cinétiques des isoformes

Tableau 1 : Les propriétés cinétiques des isoenzymes de GS1 d'*Arabidopsis*

	K_m			V_{max}^a		
	Glu	NH_4^+	ATP	Glu	NH_4^+	ATP
	mM	μM	μM	Nanokatal/mg protein		
GLN1;1	1.1 ± 0.4^b	<10	300 ± 20	29.3 ± 1.6	27.4 ± 0.7	21.4 ± 0.4
GLN1;2	3.8 ± 0.2	2450 ± 150	1100 ± 140	65.7 ± 0.2	65.7 ± 1.1	66.6 ± 4.4
GLN1;3	3.9 ± 0.1	1210 ± 40	850 ± 30	162 ± 24	93.9 ± 10	100.0 ± 0.04
GLN1;4	0.6 ± 0.1	48 ± 6	400 ± 50	79.2 ± 1	65.7 ± 1.5	73.9 ± 4.2
Cell culture GS1	4.4	580	560	108	95.2	69.4

I.C.3 A partir du tableau 1,

- Définissez K_m et V_{max} d'une enzyme, en général.
- Concernant les isoenzymes de GS1, classez-les en fonction de leur affinité pour NH_4^+ (de la plus forte affinité vers la plus faible).
- Mettez en relation les propriétés cinétiques des isoenzymes pour expliquer la régulation de l'activité GS1 totale dans une racine d'*Arabidopsis* dans un milieu contenant un excès d'azote.

Réponse à la question 1.C.3

La constante de Michaelis (**K_m**) correspond à la concentration en substrat pour laquelle la vitesse initiale de réaction atteint la moitié de la vitesse maximale (**V_{max}**). Elle constitue un indicateur de l'affinité de l'enzyme pour son substrat : plus le K_m est faible, plus l'affinité est élevée. La **V_{max}** correspond à la vitesse maximale atteinte lorsque l'enzyme est saturée en substrat.

D'après les valeurs de K_m pour l'ammonium, l'ordre d'affinité des isoenzymes est : **GLN1;1 > GLN1;4 > GLN1;3 > GLN1;2**.

Les résultats obtenus précédemment montrent qu'en présence d'un excès d'azote, l'expression de **GLN1;2** augmente fortement alors que les isoformes présentant les plus fortes affinités pour l'ammonium (**GLN1;1** et **GLN1;4**) sont moins abondantes. Ainsi, l'accumulation de protéines GS1 observée dans la figure 1 s'explique principalement par l'augmentation de l'expression de **GLN1;2**, isoforme possédant la plus faible affinité pour l'ammonium. Cette régulation permet de comprendre pourquoi l'augmentation importante de la quantité totale de GS1 ne s'accompagne pas d'une augmentation proportionnelle de l'activité enzymatique globale.

Les définitions de **K_m** et de **V_{max}** étaient généralement connues, mais leur signification biologique était parfois imprécise. Le jury attendait notamment que les candidats relient explicitement la valeur de K_m à l'affinité enzyme-substrat.

La principale difficulté résidait cependant dans la mise en relation des données cinétiques avec les résultats d'expression génique et d'accumulation protéique obtenus précédemment. De nombreux candidats ont correctement décrit les paramètres du tableau sans parvenir à construire une explication cohérente de la régulation observée.

Les meilleures copies ont su articuler les résultats des figures 1 et 2 avec les propriétés cinétiques des différentes isoformes afin de proposer une interprétation intégrée des mécanismes de régulation de la glutamine synthétase chez *Arabidopsis*.

Partie II : Les glutamines synthétases chez les animaux

Cette partie a été globalement mieux réussie que les autres parties du sujet. Elle mobilisait des compétences variées d'observation, d'analyse de données expérimentales et de mise en relation de résultats obtenus à différentes échelles d'étude, depuis les observations cellulaires jusqu'aux conséquences fonctionnelles observées chez l'organisme.

Les candidats ont généralement su exploiter les documents proposés et identifier les principales tendances biologiques mises en évidence.

Chez l'humain, la glutamine synthétase est présente dans le cerveau, notamment dans les astrocytes. Les astrocytes jouent un rôle central dans le cycle glutamate–glutamine : ils captent le glutamate synaptique via des transporteurs (EAAT1/EAAT2), l'empêchant de s'accumuler et de provoquer une excitotoxicité, puis le convertissent en glutamine grâce à la glutamine synthétase. La glutamine est ensuite exportée vers les neurones, qui la reconvertissent en glutamate par la glutaminase pour reconstituer les stocks vésiculaires de neurotransmetteur. Ce va-et-vient astrocyte–neurone maintient l'homéostasie synaptique, régule l'efficacité de la transmission glutamatergique et soutient le métabolisme énergétique neuronal.

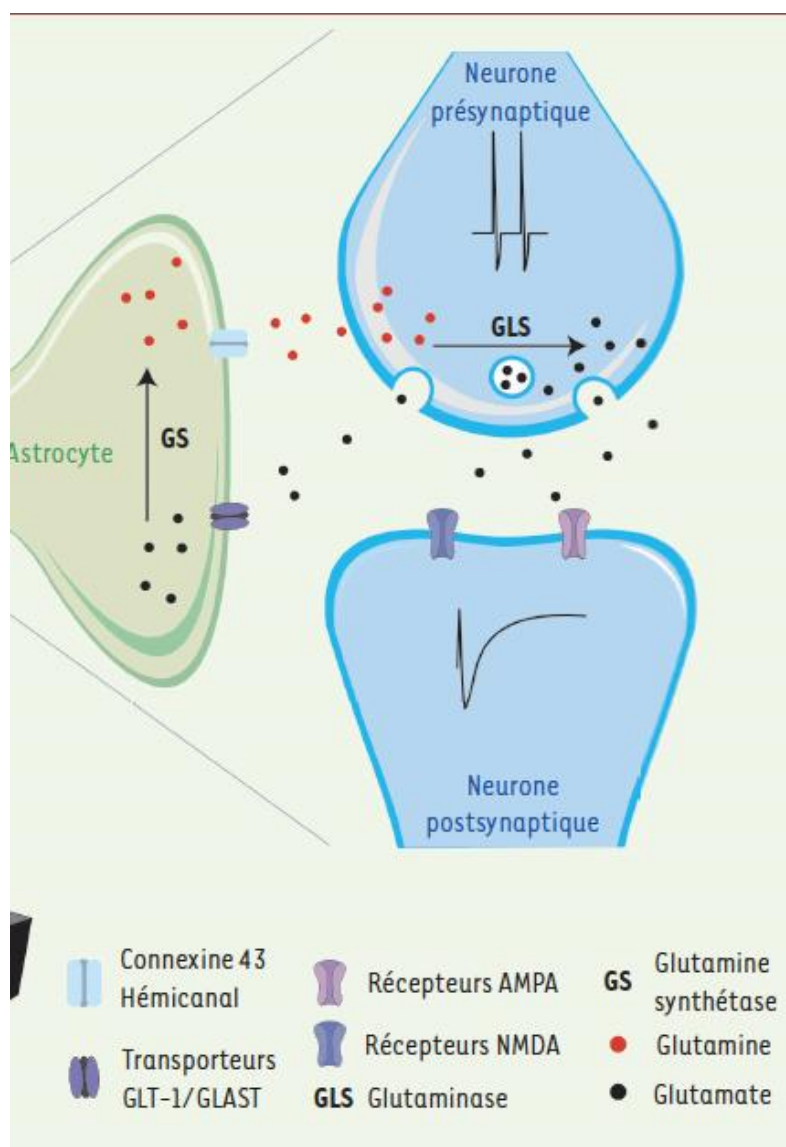


Schéma du cycle glutamate – glutamine dans le cerveau et rôle des astrocytes.

Nous nous intéresserons dans cette partie à la glutamine synthétase présente dans les astrocytes, lors du fonctionnement normal et lors d'atteintes liées à la maladie d'Alzheimer.

Partie A : Le cerveau et les cellules qu'il contient

1) Réalisation de préparation microscopique d'un cerveau de veau

II.A.1 A partir de l'encéphale de veau à disposition :

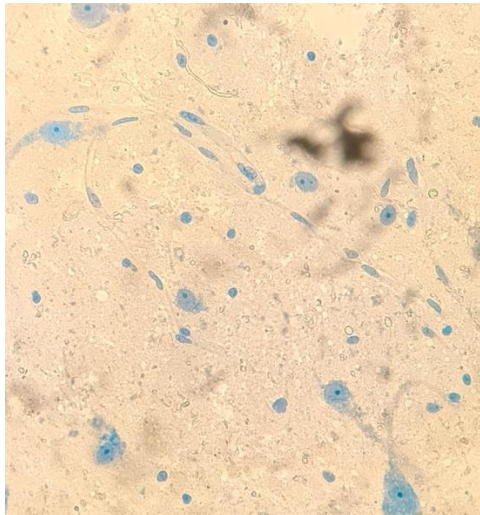
a) Réalisez une préparation microscopique du cortex

- Faire une ou plusieurs coupes transversales du cerveau (sorti du réfrigérateur)
- Prendre à l'aide d'une pointe lancéolée un peu de substance grise externe.
- Étaler sur une lame comme un frottis.
- Colorer au bleu de méthylène.
- Recouvrir d'une lamelle

b) Réalisez un dessin légendé de votre préparation

Appelez l'examineur pour valider l'adéquation entre votre préparation et votre dessin.

Réponse à la question II.A.1



Exemple d'une préparation réalisée par un candidat

Cette manipulation visait à évaluer la maîtrise des gestes techniques élémentaires de préparation et d'observation microscopiques. Dans l'ensemble, les candidats ont obtenu des préparations exploitables. Certaines lames présentaient toutefois des défauts classiques (bulles d'air, préparation insuffisamment étalée ou présence de débris).

Le jury a également constaté que les réglages du microscope, notamment celui du diaphragme, demeurent mal maîtrisés par un nombre non négligeable de candidats. Or, l'optimisation du contraste et de la qualité de l'observation fait pleinement partie des compétences attendues.

Enfin, plusieurs dessins ne correspondaient pas aux structures réellement observées. Le jury rappelle qu'un dessin d'observation doit restituer fidèlement les éléments visibles sur la préparation. En cas de doute, il est préférable de décrire avec prudence une structure plutôt que de lui attribuer une identité non justifiée.

2) Les cellules cérébrales

II.A.2 Établissez la liste des cellules présentes dans le cerveau, en rappelant, pour chacune son ou ses rôle(s).

Réponse à la question II.A.2

Cette question visait à vérifier la maîtrise de connaissances fondamentales relatives aux principaux types cellulaires présents dans le système nerveux central et à leurs fonctions respectives.

Si les neurones étaient généralement correctement identifiés, de nombreuses réponses comportaient des approximations ou des confusions concernant les différents types de cellules gliales. Les rôles respectifs des astrocytes, oligodendrocytes, cellules microgliales et épendymocytes n'étaient pas toujours clairement distingués.

Le jury rappelle que les cellules gliales jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement du système nerveux et que leurs fonctions doivent être connues avec précision.

Partie B : La maladie d'Alzheimer et les astrocytes

Décrite en 1906 par le psychiatre allemand Aloïs Alzheimer (1864-1917), cette maladie est une démence neurodégénérative résultant de l'installation progressive et inexorable de deux types de lésions dans le cortex cérébral : 1) les plaques amyloïdes (dépôts extracellulaires), 2) les dégénérescences neurofibrillaires ou DNF (filaments intraneuronaux s'accumulant dans le corps cellulaire et les prolongements des neurones). Ces lésions sont observées sur l'ensemble du cortex et plus particulièrement les aires associatives.

Il existe une lignée de souris qui présente de nombreux symptômes typiques de la maladie d'Alzheimer humaine. Ces souris présentent une augmentation du taux des protéines amyloïdes dès 6 mois et des plaques séniles dans le cerveau dès 10 mois.

1) La mémorisation et la capacité d'apprentissage

L'apprentissage associatif, c'est-à-dire l'association d'une odeur à une récompense, est une fonction cognitive mettant en jeu la mémoire.

L'objectif du travail ici est de se demander si les souris qui présentent des symptômes ressemblant à la maladie d'Alzheimer possèdent des capacités d'apprentissage normales.

Protocole du test :

Une plaque est fixée à environ 1 m du sol, elle est entourée de rideaux pour diminuer les distracteurs. Cette plaque possède deux cavités d'environ 5 cm de profondeur. On peut y cacher un petit morceau de nourriture en le recouvrant de sciure de bois.

L'une de ces cavités **est odorisée** (odeur sans relation avec la nourriture) et la **récompense** (petit morceau de céréales de petit déjeuner) est placée **dans cette cavité**. Les deux cavités sont recouvertes avec de la sciure.

L'emplacement de la cavité odorisée alterne afin que l'apprentissage se fasse en **association avec le paramètre odeur** et non le paramètre spatial.

A chaque essai, la souris est lâchée sur cette plaque. Elle fait 4 essais par jour pendant 4 jours. Chaque essai dure 2 minutes.

TEST comportemental

Le test est dit "réussi" si l'animal visite en premier la cavité odorisée. On comptabilise les essais réussis.

La cavité visible en bas à droite des vidéos est la cavité N°1 et celle visible en bas à gauche est la cavité N°2.

II.B.1 – TRAVAIL SUR POSTE VIDEO

a) Complétez le tableau suivant à partir des enregistrements vidéos fournis.

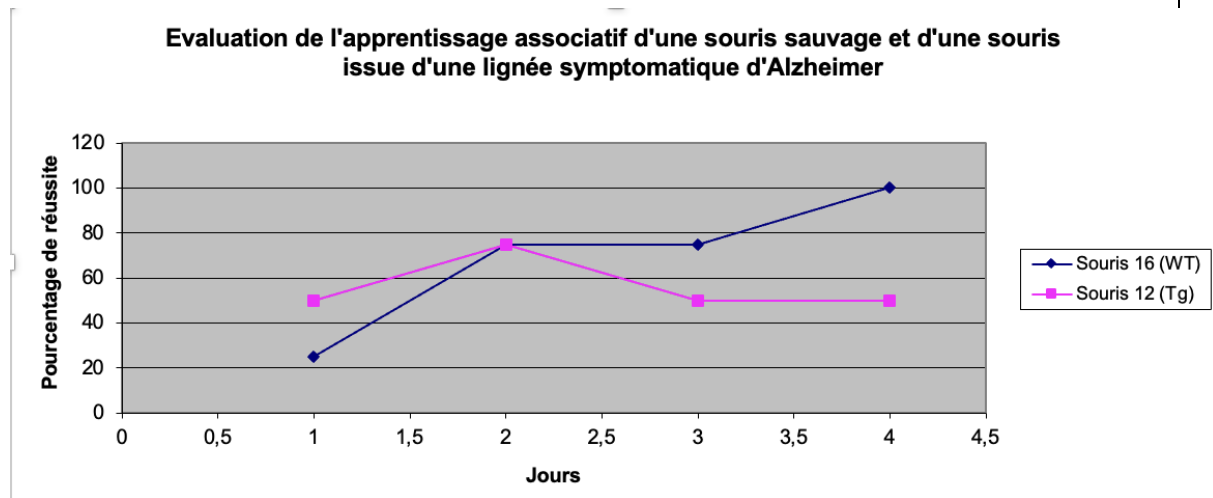
Données fournies par Anne Didier, Neurosciences et systèmes sensoriels, CNRS UMR 5020, Université Claude Bernard Lyon-1

		souris Wt: Tests	N°cavité odorisée	Test réussi: ou non	Souris Tg: Tests	N° cavité odorisée	Test réussi ou non
Jour 1	Essai 1	Vidéo A1S16P1	1 (en bas à droite)		Vidéo A1S12P1	1	
	Essai 2	Vidéo A1S16P2	2 (en bas à gauche)		Vidéo A1S12P2	2	
	Essai 3	Vidéo A1S16P3	2		Vidéo A1S12P3	1	
	Essai 4	Vidéo A1S16P4	2		Vidéo A1S12P4	1	
Jour 2	Essai 1	Vidéo A2S16P1	2		Vidéo A2S12P1	2	
	Essai 2	Vidéo A2S16P2	2		Vidéo A2S12P2	1	
	Essai 3	Vidéo A2S16P3	1		Vidéo A2S12P3	1	
	Essai 4	Vidéo A2S16P4	2		Vidéo A2S12P4	1	
Jour 3	Essai 1	Vidéo A3S16P1	1		Vidéo A3S12P1	1	
	Essai 2	Vidéo A3S16P2	1		Vidéo A3S12P2	2	
	Essai 3	Vidéo A3S16P3	1		Vidéo A3S12P3	1	
	Essai 4	Vidéo A3S16P4	2		Vidéo A3S12P4	1	
Jour 4	Essai 1	Vidéo A4S16P1	2		Vidéo A4S12P1	1	
	Essai 2	Vidéo A4S16P2	2		Vidéo A4S12P2	2	
	Essai 3	Vidéo A4S16P3	2		Vidéo A4S12P3	2	
	Essai 4	Vidéo A4S16P4	1		Vidéo A4S12P4	1	

- Exprimez l'apprentissage de chaque souris sous la forme d'une évolution du pourcentage de réussite journalier. Vous présenterez vos résultats sous une forme graphique avec un logiciel adapté. **Nommez votre fichier Nom_Prenom_Evolution du pourcentage IIB1.**
- Comparez les deux courbes obtenues pour formuler une hypothèse sur les capacités d'apprentissage de la souris modèle Alzheimer par rapport à la souris sauvage témoin.

- b) Répondez alors à la question posée au début de ce travail : les souris qui présentent des symptômes ressemblant à la maladie d'Alzheimer possèdent-elles des capacités d'apprentissage normales

Réponse à la question II.B.1b



Exemple de graphique produit par un candidat

Cette question mobilisait des compétences de traitement de données, de représentation graphique et d'interprétation de résultats comportementaux.

La plupart des candidats ont correctement déterminé les pourcentages de réussite des deux groupes de souris. En revanche, la représentation graphique a souvent été moins satisfaisante. Le jury attendait que les résultats des souris témoins et des souris modèles Alzheimer soient présentés sur une même figure afin de faciliter leur comparaison. Plusieurs candidats ont réalisé deux graphiques distincts, rendant l'interprétation des résultats moins immédiate.

L'exploitation des données est également restée parfois trop descriptive. Le jury rappelle qu'il ne suffit pas d'indiquer qu'une valeur « augmente » ou « diminue » : les variations observées doivent être quantifiées et interprétées au regard de la problématique étudiée. Les meilleures réponses mettaient clairement en évidence l'amélioration progressive des performances des souris témoins au cours des essais, alors que les souris modèles Alzheimer ne présentaient pas d'évolution comparable.

Enfin, les candidats étaient invités à porter un regard critique sur le protocole expérimental. Le jury rappelle que les conclusions tirées de cette expérience doivent être nuancées compte tenu du faible effectif étudié et du nombre limité d'essais réalisés. Les données obtenues suggèrent une altération des capacités d'apprentissage chez les souris modèles Alzheimer, mais ne permettent pas à elles seules de conclure de manière définitive. Cette prise de recul vis-à-vis des résultats constitue une composante essentielle de la démarche scientifique.

2) Le rôle des astrocytes dans la maladie d'Alzheimer

Au vu des rôles importants des astrocytes dans l'homéostasie cérébrale, les chercheurs ont étudié leur potentielle implication dans la maladie d'Alzheimer.

II.B.2 A partir de la figure 3 :

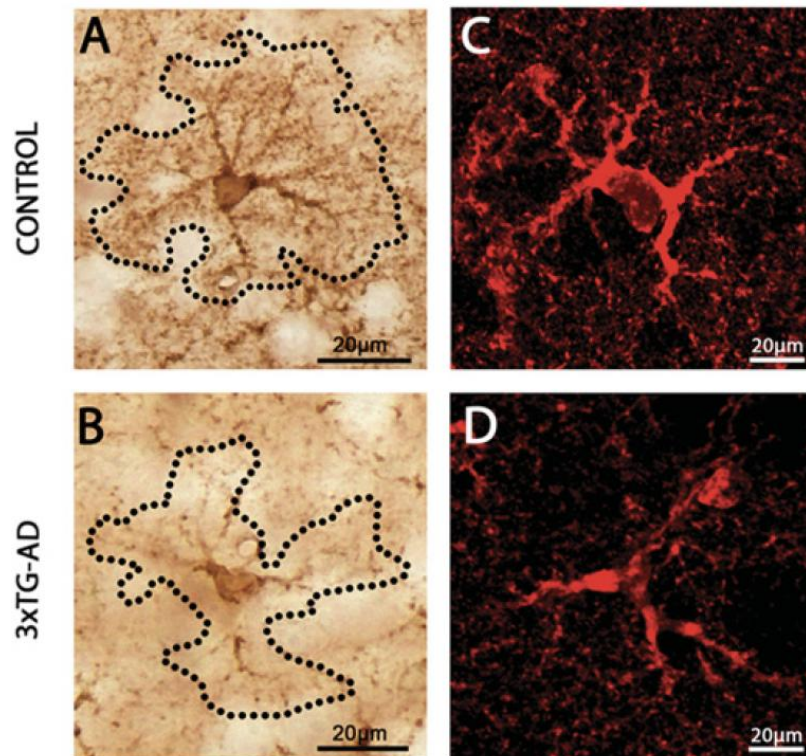


Figure 3 : Phénotype des astrocytes en microscopie normale (A, B) et confocale (C, D) chez des animaux contrôles (A et C) et des modèles d'Alzheimer (B et D).

- Rappelez quelles sont les principales étapes expérimentales de l'immunofluorescence.
- Commentez les changements morphologiques des astrocytes au cours de la maladie.

Réponse à la question II.B.2

Cette question associait des connaissances méthodologiques relatives à l'immunofluorescence à l'exploitation d'images microscopiques.

Les principales étapes du protocole d'immunofluorescence étaient souvent connues de manière approximative. De nombreux candidats confondent encore les rôles respectifs des anticorps primaires et secondaires, ou omettent certaines étapes essentielles du protocole. Le jury rappelle que cette technique fait partie des outils couramment utilisés en biologie cellulaire et que ses grandes étapes doivent être maîtrisées.

L'analyse des images a généralement permis d'identifier une modification de la morphologie des astrocytes chez les animaux modèles de la maladie d'Alzheimer. Toutefois, les descriptions restaient souvent trop qualitatives. Les meilleures réponses caractérisaient précisément la diminution de la ramification des prolongements cellulaires et la perte de l'aspect étoilé des astrocytes observés chez les animaux malades.

La GFAP est la protéine acide fibrillaire gliale (de l'anglais, *Glial fibrillary acidic protein* ou GFAP) formant un filament intermédiaire présent dans certaines cellules gliales du système nerveux central, les astrocytes notamment.

La GS est la glutamine synthétase.

II.B.3 A partir de la figure 4, commentez l'expression de la GFAP et de la GS dans les deux types d'astrocytes.

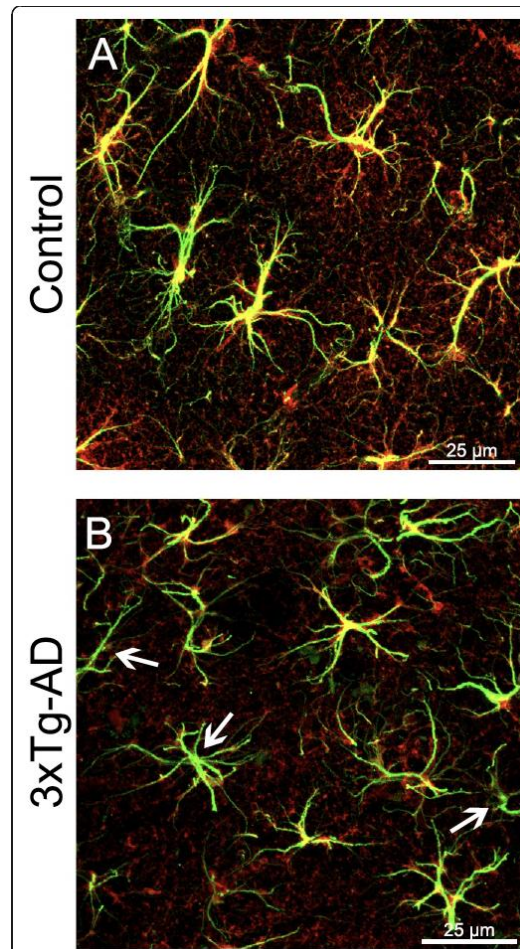


Figure 4 : micrographie confocale montrant la GFAP (en vert) et la GS (en rouge) chez des souris contrôles (A) ou modèles d'Alzheimer (B). S'il y a colocalisation, la couleur résultante est le jaune.

Réponse à la question II.B.3

Cette question nécessitait une exploitation rigoureuse d'images d'immunofluorescence multimarquage. La plupart des candidats ont correctement identifié la co-expression de la GFAP et de la glutamine synthétase chez les astrocytes des animaux témoins.

En revanche, les différences observées chez les souris modèles de la maladie d'Alzheimer n'ont pas toujours été décrites avec suffisamment de précision. Le jury attendait la mise en évidence de l'apparition d'astrocytes exprimant la GFAP mais ne présentant plus de marquage détectable pour la glutamine synthétase. Les meilleures réponses s'appuyaient explicitement sur l'analyse des signaux fluorescents et de leur colocalisation.

Cette question rappelle l'importance d'une observation attentive des documents et d'une description précise des résultats avant toute interprétation biologique.

II.B.4 A partir de la figure 5, comment varie le nombre d'astrocytes en fonction de l'âge et de la progression de la maladie ?

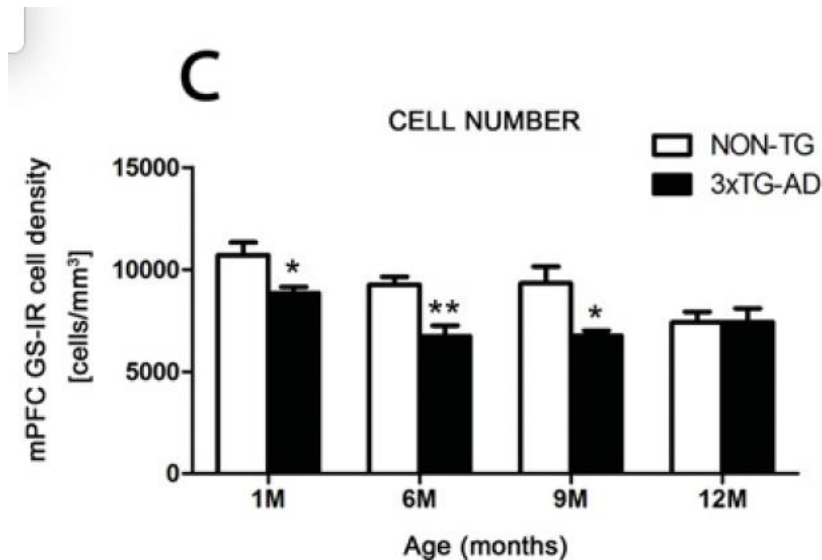


Figure 5 : Nombre d'astrocytes exprimant GS en fonction de l'âge chez des souris contrôle (barres blanches) et des souris modèles d'Alzheimer (barres noires)

Réponse à la question II.B.4

Cette question nécessitait une analyse croisée des résultats selon deux variables : l'âge des animaux et leur statut (témoin ou modèle Alzheimer).

De nombreux candidats n'ont pris en compte qu'une seule de ces dimensions, en décrivant soit l'évolution du nombre d'astrocytes avec l'âge, soit les différences entre animaux témoins et modèles Alzheimer. Les meilleures réponses mettaient en évidence simultanément la diminution globale du nombre d'astrocytes exprimant la glutamine synthétase avec l'âge et la réduction supplémentaire observée chez les souris modèles de la maladie d'Alzheimer.

Le jury rappelle qu'une analyse rigoureuse de graphique doit prendre en compte l'ensemble des variables étudiées. Comme dans plusieurs questions de cette épreuve, les réponses les plus convaincantes s'appuyaient sur une quantification explicite des écarts observés plutôt que sur de simples descriptions qualitatives.

Les chercheurs se sont intéressés non seulement à la glutamine synthétase mais aussi au transporteur du glutamate GLT. Les résultats sont présentés en figure 6.

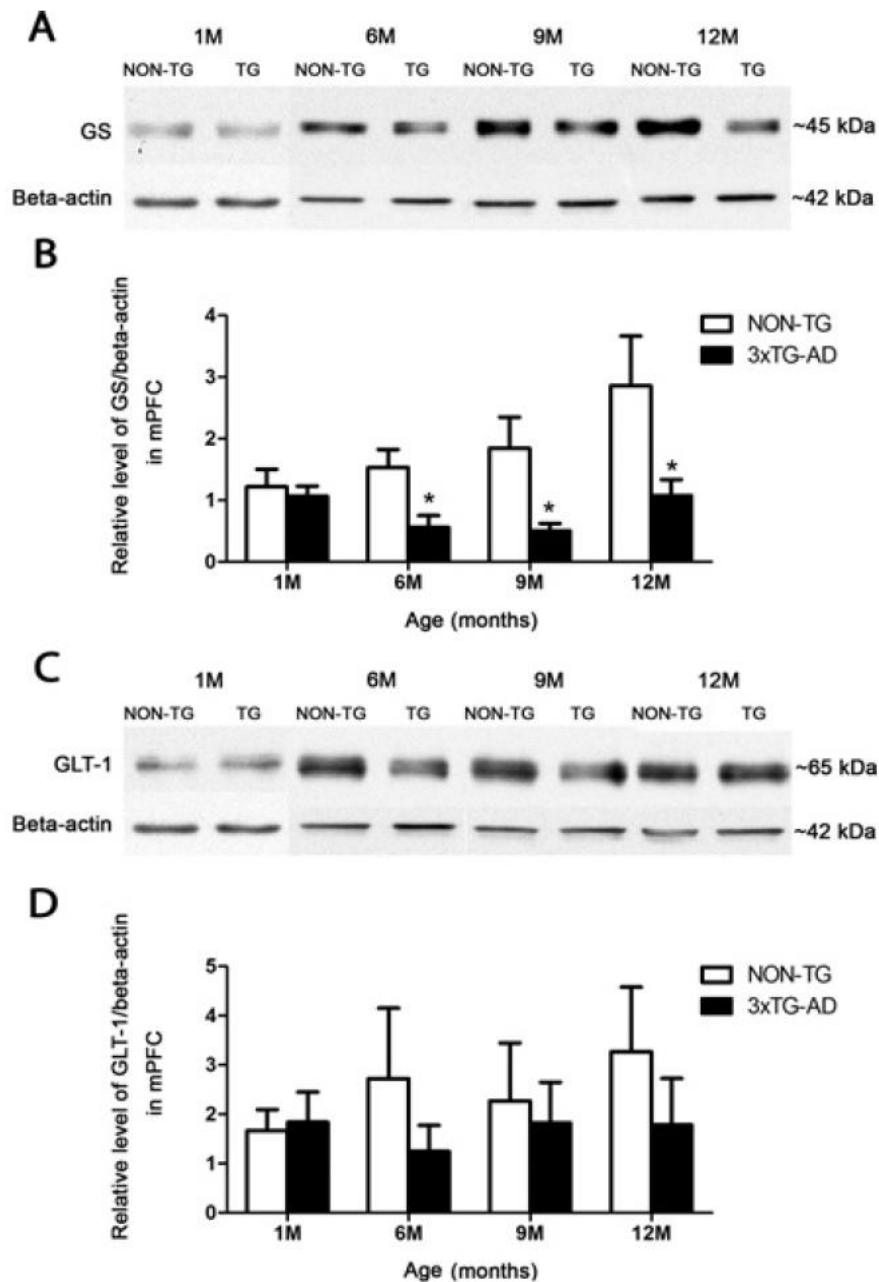


Figure 6 : Histogrammes et western-Blot montrant les taux relatifs de GS (A et B) et de GLT-1 (C et D) chez des souris contrôles et des souris modèles d'Alzheimer.

II.B.5 A partir de la figure 6,

- Rappelez le principe d'un Western Blot
- A quoi sert la bande β -actine ?
- Commentez les résultats obtenus.
- Concluez sur l'implication éventuelle des astrocytes dans le développement de la maladie d'Alzheimer

e)

Réponse à la question II.B.5

Cette question associait des connaissances méthodologiques relatives au Western blot à l'exploitation quantitative de résultats expérimentaux.

Les grandes étapes du Western blot étaient souvent connues, mais de nombreux candidats ont présenté des protocoles incomplets ou imprécis, notamment concernant le transfert des protéines sur membrane ou la révélation par anticorps spécifiques. Le rôle de la β -actine comme contrôle de charge n'était pas toujours correctement identifié.

L'analyse des résultats a généralement permis de mettre en évidence une diminution de l'expression de la glutamine synthétase chez les souris modèles de la maladie d'Alzheimer, particulièrement marquée aux âges intermédiaires et avancés. En revanche, l'interprétation du transporteur GLT-1 a posé davantage de difficultés. Les meilleurs candidats ont tenu compte des importantes barres d'erreur associées aux mesures et ont conclu à l'absence de différence clairement interprétable entre les deux groupes pour ce paramètre.

Le jury rappelle que l'interprétation de données quantitatives doit s'appuyer non seulement sur les valeurs moyennes observées mais également sur les indicateurs de variabilité fournis. Plusieurs candidats ont conclu à des différences biologiques qui n'étaient pas étayées par les résultats présentés.

Les astrocytes semblent donc bien impliqués dans le développement de la maladie d'Alzheimer. Les animaux modèles présentent des modifications morphologiques des astrocytes, une diminution du nombre d'astrocytes exprimant la glutamine synthétase ainsi qu'une baisse de l'expression de cette enzyme. Ces résultats suggèrent une altération progressive des fonctions astrocytaires au cours de la maladie, susceptible de perturber l'homéostasie cérébrale et le métabolisme du glutamate.

Partie III : L'origine évolutive des glutamines synthétases

Cette partie mobilisait des compétences d'analyse phylogénétique et de biologie évolutive afin de reconstituer l'histoire évolutive de la famille multigénique des glutamines synthétases.

Elle a constitué la partie la moins bien réussie de l'épreuve. De nombreux candidats ont rencontré des difficultés à exploiter conjointement les différents documents proposés et à construire un raisonnement évolutif cohérent.

Il y a quatre formes de GS décrites aujourd'hui. Ce sont toutes des enzymes homo-oligomériques, caractérisées par leurs structures primaire et quaternaire et codées par des gènes distincts :

- Les GS de type I (GSI) sont des enzymes dodécamériques, codées par *glnA* ;
- Les GS de type II (GSII) sont des enzymes décimériques, codées par *glnII* ;
- Les GS de type III (GSIII) sont des enzymes dodécamériques, codées par *glnN* ;
- Le quatrième type de GS (GlnT) est actuellement controversé – nous ne nous en occuperons pas ici.

Une étude (de *Carvalho Fernandes et al., 2022*) retrace l'histoire évolutive des gènes de glutamines synthétases et propose la reconstitution suivante.

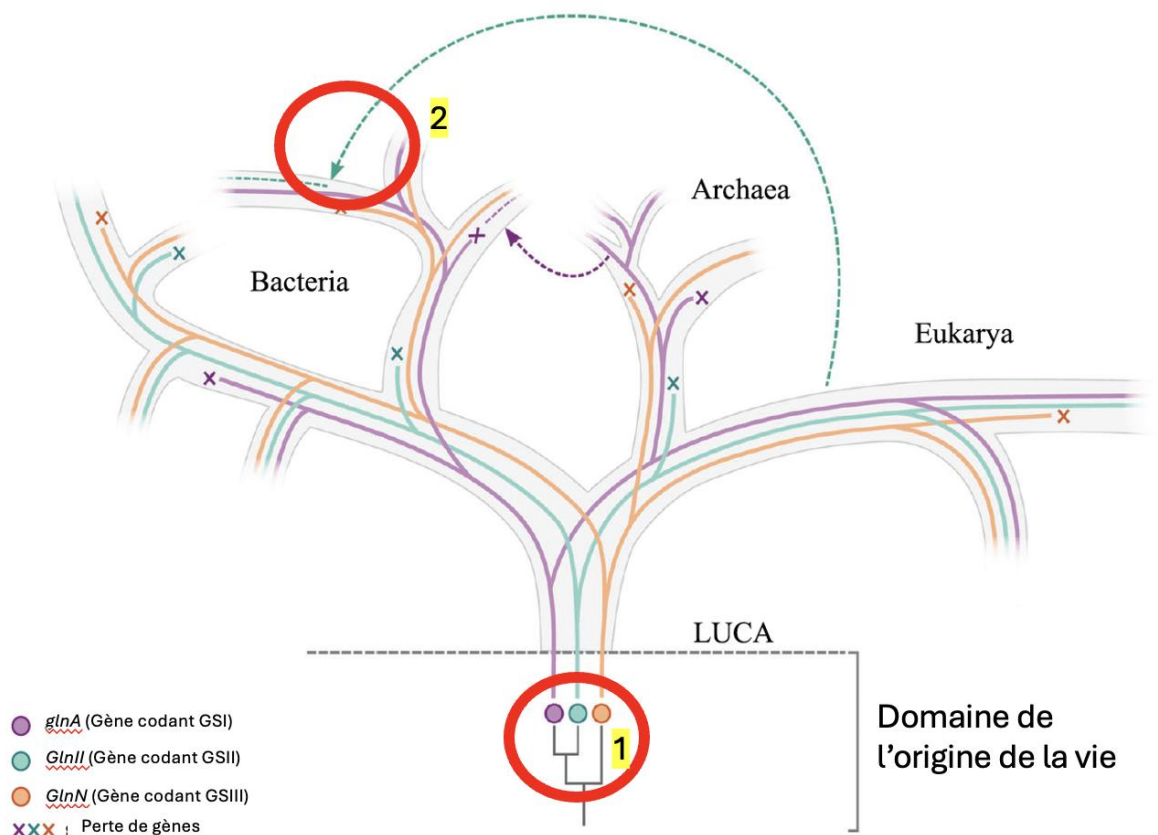


Figure 7 : L'un des scénarii proposés pour l'évolution des GS.

Le contour grisé représente la diversification des trois domaines du vivant à partir de LUCA. Les familles de gènes sont représentées par des couleurs (violet, vert et orange). Les flèches en tirets représentent des événements de transferts génétiques horizontaux.

III. 1 Précisez qui est LUCA et quel est son âge approximatif.

Réponse à la question III.1

Cette question de cours, volontairement simple, a pourtant donné lieu à de nombreuses réponses incomplètes ou erronées. Plusieurs candidats ne connaissaient pas la signification de l'acronyme LUCA ou ne pouvaient en donner qu'une définition approximative. Son âge était également souvent méconnu ; une estimation de l'ordre de 4 milliards d'années était attendue.

III. 2 Commentez l'événement 1 : que s'est-il passé chez LUCA ? Comment qualifie-t-on alors ces gènes ?

Réponse à la question III.2

Cette question visait à vérifier la compréhension des conséquences évolutives d'un événement de duplication génique. La plupart des candidats ont correctement identifié l'événement de duplication survenu chez LUCA.

En revanche, de nombreuses confusions subsistent entre les notions de gènes orthologues et paralogues. Le jury rappelle que des gènes issus d'un événement de duplication au sein d'un même génome sont qualifiés de **paralogues**, tandis que des gènes issus d'un événement de spéciation sont qualifiés d'**orthologues**. Ces notions fondamentales de biologie évolutive doivent être parfaitement maîtrisées, car elles conditionnent l'interprétation correcte des arbres de gènes et des scénarios évolutifs.

III.3 Commentez l'événement 2 et proposez un scénario possible pour sa réalisation.

Réponse à la question III.3

Cette question visait à interpréter un événement de transfert génétique horizontal d'un gène eucaryote vers des bactéries et à proposer un scénario compatible avec les données du sujet. Le jury attendait l'identification correcte du sens du transfert, souvent inversé par les candidats. Plusieurs modalités de transfert génétique horizontal pouvaient être envisagées et ont été acceptées par le jury, notamment dans des contextes d'associations étroites entre eucaryotes et bactéries (symbioses, endosymbioses ou autres interactions durables favorisant les échanges génétiques). L'essentiel était de proposer un mécanisme biologiquement plausible et argumenté.

À l'inverse, certains candidats ont proposé des scénarios incompatibles avec les organismes considérés ou faisant intervenir des mécanismes de transfert peu vraisemblables. Le jury a notamment rencontré plusieurs propositions reposant sur l'intervention de bactériophages assurant directement un transfert entre eucaryotes et procaryotes. De telles hypothèses ne sont pas cohérentes avec la biologie de ces virus, qui infectent spécifiquement les bactéries.

Le jury rappelle qu'un scénario évolutif, même lorsqu'il reste hypothétique, doit respecter les connaissances biologiques établies et être compatible avec les mécanismes connus de transfert génétique horizontal.

III.4 Ce scénario représente une possibilité d'évolution pour cette famille de gènes mais ce n'est pas la seule. Pouvez-vous proposer un autre scénario plausible sous la forme d'un schéma reprenant la même base pour l'arbre du vivant et les mêmes extrémités (donc certaines branches des Bacteria avec les 3 familles de gènes, d'autres avec deux, d'autres avec une, etc. ?

Réponse à la question III.4

Cette question ouverte visait à évaluer la capacité des candidats à construire un scénario évolutif alternatif cohérent à partir des données fournies. Aucun scénario unique n'était attendu.

Le jury a accepté une grande diversité de propositions dès lors qu'elles respectaient les contraintes imposées par le sujet (mêmes gènes terminaux, même organisation générale de l'arbre) et qu'elles reposaient sur des mécanismes biologiquement plausibles : duplications géniques, pertes de gènes, transferts génétiques horizontaux ou combinaisons de ces différents processus.

Quelques candidats ont pris soin de produire un schéma clair, correctement légendé, indiquant explicitement la nature et la localisation des événements évolutifs proposés.

À l'inverse, de nombreux schémas étaient difficiles à interpréter en raison d'une absence de légendes ou d'une représentation ambiguë des événements évolutifs. Le jury rappelle que, dans ce type d'exercice, la qualité de l'argumentation repose autant sur la cohérence biologique du scénario que sur sa lisibilité.

Bibliographie

- Morot-Gaudry JF et al., OCL Vol. 13 n°6, Nov-Déc 2006
- Keiki Ishiyama et al., The journal of biological chemistry, Vol. 279, No. 16, Issue of April 16, pp. 16598–16605, 2004
- de Carvalho Fernandes et al., Evolution 76-3: 605–622, 2022, doi:10.1111/evo.14434
- Moulard J et al., m/s n° 11, vol. 39, novembre 2023, <https://doi.org/10.1051/medsci/2023157>
- <https://www.scienceaujourlejour.fr/pages/nouvelles-scientifiques/alzheimer-un-nouveau-coupable-.html>
- <https://accres.ens-lyon.fr/accres/thematiques/neurosciences/actualisation-des-connaissances/maladies-et-traitements/alzheimer>
- Olabarria et al. Molecular Neurodegeneration 2011, 6:55 <http://www.molecularneurodegeneration.com/content/6/1/55>
- Kulijewicz-Nawrot M et al. (2013) ASN NEURO 5(4):art:e00123.doi:10.1042/AN20130017

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

Les processus de dispersion et de dissémination interviennent à de nombreuses étapes des cycles de développement des espèces. Les processus de dispersion désignent l'éloignement d'entités (individus, cellules...) à partir de leur site d'origine. La dissémination, quant à elle, implique une libération d'éléments biologiques capables de donner un nouvel organisme et renvoie à des processus où l'extension spatiale constitue un facteur clé. Les phénomènes de dispersion et de dissémination, souvent médiés par des vecteurs biotiques et abiotiques, ont des implications dans la reproduction, la répartition spatiale des populations mais ont également des conséquences à l'échelle des écosystèmes. Le sujet comportait 43 pages. Chaque grande partie est indépendante.

Le jury a souhaité, comme chaque année attribuer la majorité des points aux expérimentations conduites. Elles laissent pour certaines une large part à l'initiative des candidats et à une réflexion critique sur les expérimentations conduites.

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

CONCOURS EXTERNE - ÉPREUVES D'ADMISSION - Session 2026

TRAVAUX PRATIQUES DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR B

Durée totale : 6 heures

Dispersion et dissémination

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

Plusieurs questions nécessitent des manipulations et doivent, pour certaines, être évaluées par un examinateur pendant l'épreuve : **prévoyez donc votre organisation en conséquence.**

Dans le cadre de ces évaluations en cours d'épreuve, il ne vous sera pas possible de communiquer oralement avec l'examineur. Vous devez donc **présenter par écrit**, sur des feuilles mises à votre disposition, vos productions **puis appeler un examinateur.**

ATTENTION : des postes sont prévus pour les questions I.B. Q04, I.C. Q02 et I.D. Q06. Les ordres de passage dont vous disposez pour ces postes sont indiqués au tableau.

AVANT DE REMETTRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM ET PRÉNOM EN TÊTE DU DOCUMENT.

Remarques d'ordre général du jury :

De nombreuses réponses sont présentées sans formuler de phrases construites mais sous forme de suite d'idées simplement séparées par des tirets. Cette absence de rédaction n'est pas souhaitée par le jury.

Par ailleurs, un soin minimal de la copie est attendu. La rédaction est parfois totalement réalisée au crayon papier, souvent mal taillé qui plus est, c'est un point d'amélioration de certaines copies.

Le jury insiste sur le fait de réaliser une lecture attentive de l'énoncé et de ce qui est attendu. En effet, une coupe transversale n'est pas équivalente à une coupe longitudinale par exemple.

Même s'il s'agit de la fin de l'épreuve, un soin au rangement de la paillasse doit être apporté : le jury a pénalisé les candidats dont la paillasse était dans un état de saleté très prononcé avec en particulier l'usage de feutre indélébile, négligeant totalement le travail des agents techniques lors des épreuves de travaux pratiques. Cette attitude n'est pas souhaitée pour un futur enseignant.

Partie I – Dispersion des diaspores

I.A – Différents modes de dispersion

I.A. Q01 Réaliser un croquis légendé de chaque échantillon de diaspore proposé (échantillons numérotés de 1 à 5, situés dans la zone identifiée I.A. sur votre paillasse).

Éléments de correction :

- 1 : disamare d'érable (emplacement de la graine, aile, reste de style)
- 2 : fraise : faux-fruit (akènes, réceptacle charnu, calice, calicule)
- 3 : tomate cerise : baie (calice, reste de style, péricarpe charnu, épicarpe coloré)
- 4 : gland : akène (cupule, péricarpe lignifié, reste de style)
- 5 : diaspore de Gymnosperme (**graine**, aile)

La première question a globalement été bien réussie. Plusieurs candidats proposent des coupes pour étayer leur détermination, ce qui a été valorisé. Cependant, on peut noter :

- Des croquis parfois trop simplistes, bâclés ;
- Des confusions : akène vs graine, bractée vs sépale, péricarpe vs mésocarpe...
- L'échantillon 5 a rarement été replacé chez les Pinophytes et a été confondu plusieurs fois avec un caryopse ;
- Certains candidats ne reconnaissent pas un gland de Chêne et s'arrêtent à « akène » dans leur détermination ;
- Plusieurs candidats confondent un gland de Chêne avec une noisette ce qui est déconcertant pour le secteur B...
- Les traits de légende ne sont presque jamais tracés à la règle.

I.A. Q02 À partir de caractères morpho-anatomiques, **identifier** les vecteurs de dispersion des 5 échantillons proposés et **compléter** le tableau ci-dessous. Les croquis précédents doivent clairement faire apparaître les traits fonctionnels cités dans le tableau.

Échantillon	Identification	Vecteur de dispersion	Traits fonctionnels en relation avec le mode de dispersion
1	Disamare d'érable	Vent Anémochorie	Présence d'une aile
2	Fraise	Animaux Zoochorie (endozoochorie)	Partie charnue consommée par les animaux + couleur
3	Tomate cerise	Animaux endozoochorie	Partie charnue consommée par les animaux + couleur
4	Gland	Gravité Barochorie + Zoochorie	Rapport densité / volume élevé sans expansions Cotylédons riches en réserves
5	Diaspore de Gymnosperme	Anémochorie	Présence d'une aile membraneuse

Cette question a été globalement bien réussie si ce n'est que la barochorie du gland de Chêne est rarement évoquée.

I.A. Q03 Sur une feuille libre, **réaliser** une présentation comparative légendée des coupes transversales des deux fruits proposés (échantillons A et B situés dans la zone identifiée I.A. sur votre paillasse).

Appeler l'examineur pour évaluation de votre présentation.

Éléments de correction :

Il était attendu une présentation comparative de deux faux fruits (implication d'autres parties florales que le gynécée) d'une fausse-baie (ou pseudo-baie) de gui et d'un faux-fruit charnu de pomme.

Légendes du gui : cicatrice des 4 tépales + cicatrice du stigmate central (=> le réceptacle de la fleur participe aussi au fruit) (ou restes de pièces florales à l'opposé du pédoncule) – conceptacle soudé à l'épicarpe - mésocarpe charnu (visqueux et collant avec viscine) - endocarpe - embryon ou graine chlorophyllienne

Remarque : Le tégument de la graine du gui est absent ; c'est une graine albuminée.

Légendes de la pomme : restes de pièces florales à l'opposé du pédoncule - conceptacle charnu - épicarpe - faisceaux conducteurs – 5 carpelles soudés - mésocarpe charnu - endocarpe – graine ou pépin.

De nombreux candidats ont réalisé des coupes longitudinales alors que des coupes transversales étaient demandées. Une présentation comparative doit comporter des légendes communes aux deux fruits ainsi que des légendes propres.

Si la pomme est bien connue, le fruit du gui l'est moins mais la disposition des restes de pièces florales à l'opposé du pédoncule, comme la pomme, permettait d'en comprendre l'organisation et de faire la comparaison des deux fruits.

I.B – La dispersion en fonction d'un paramètre météorologique

I.B. Q01 Réaliser une analyse morphologique de l'échantillon C mis à votre disposition (bannette identifiée I.B.) et **indiquer** sa position systématique.

Éléments de correction :

Fruit : pappus / aigrette, filet, akène

Position systématique : Pissenlit (*Taraxacum sp.*), Astéracées

Cette question a globalement été bien réussie par les candidats.

I.B. Q02 À partir du matériel mis à disposition pour cette question (bannette identifiée I.B.), **proposer** un protocole expérimental permettant d'étudier l'influence de l'humidité relative de l'air sur la morphologie de l'échantillon C (durée d'incubation en chambre humide recommandée : minimum 1 heure).

Éléments de correction :

Présence d'une chambre humide (test) et d'une chambre sèche (témoin), plusieurs fruits par chambre, notion de réplicat.

Le concept de témoin est souvent implicite selon les candidats et dans quelques cas absents, ce qui est surprenant pour des candidats ayant une formation scientifique. L'idée de réplicat n'est envisagée que très rarement.

Quelques candidats proposent des protocoles sans faire le lien avec le sujet et n'indiquent donc pas ce qui sera mesuré et comparé en fin d'expérience.

I.B. Q03 Réaliser le protocole expérimental proposé à la question précédente.

Quand l'incubation en chambre humide débute, appeler l'examineur pour évaluation de votre protocole.

I.B. Q04 À l'issue de l'incubation, sur le poste dédié dans la salle, **réaliser** l'acquisition des photographies de vos échantillons. **Enregistrer** celles-ci sur votre clé USB.

Attention : un planning de passage sur le poste dédié est affiché au tableau.

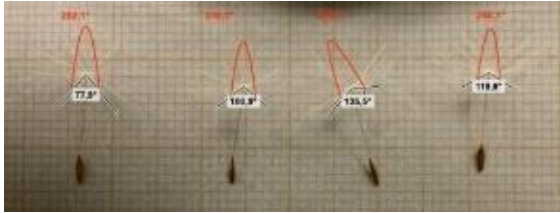
I.B. Q05 À votre paillasse, **traiter** à l'aide du logiciel *Mesurim* les photographies réalisées. **Présenter** et **analyser** vos résultats.

Appeler l'examineur pour vérification de l'adéquation entre les résultats obtenus sur le logiciel et les résultats présentés ci-dessous.

Éléments de correction :

Chambre sèche (témoin)

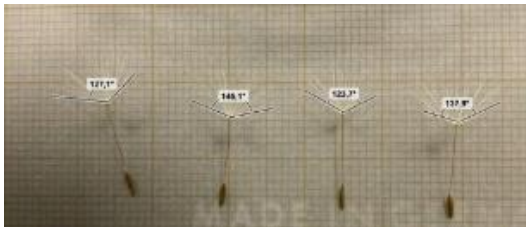
t=60 min



Moyenne : 251,45°

Chambre humide (test)

t=60 min



Moyenne : 133,45° (-46,92%)

Une augmentation de l'humidité relative de l'air modifie la morphologie du pappus (repli des soies).

Il a été essentiellement jugé la cohérence des mesures faites et non l'obtention de ces valeurs précisément.

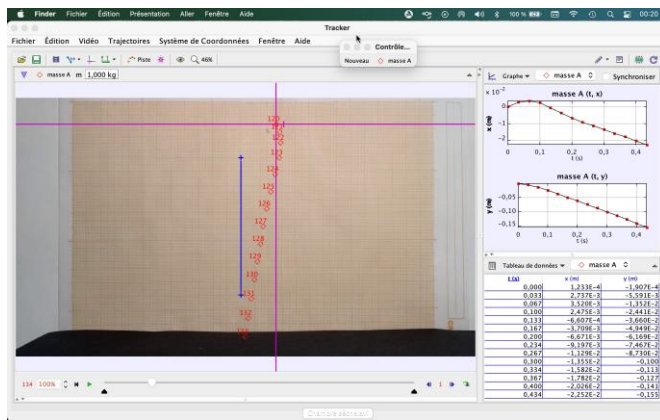
De nombreux candidats mesurent des paramètres pertinents et pensent à prendre plusieurs échantillons pour comparer des moyennes ce qui est une bonne démarche.

Malheureusement, les analyses se limitent trop souvent à des constats et ne font pas le lien avec la question scientifique étudiée.

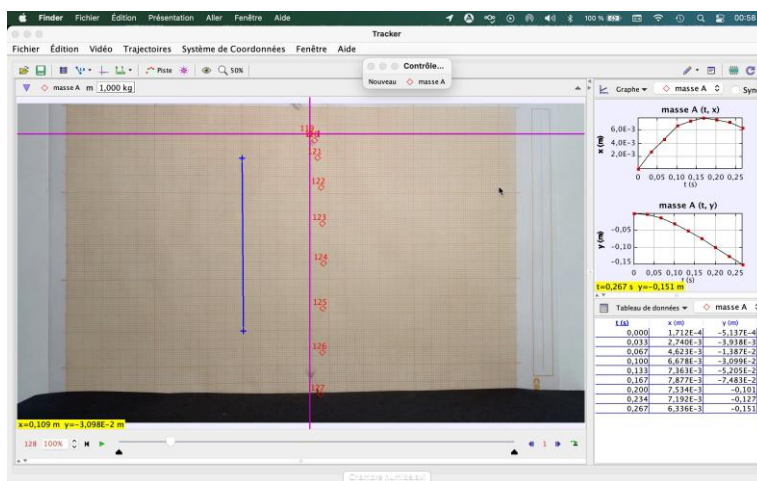
I.B. Q06 À votre paillasse, à l'aide du logiciel *Tracker* et des fichiers fournis, **déterminer** les vitesses moyennes de chute (V_t en m.s^{-1}) des structures étudiées dans les conditions expérimentales proposées et **analyser** les résultats obtenus.

Éléments de correction :

Chambre sèche (témoin) : moyenne des vitesses de chute des 5 fruits : $0,324 \text{ m.s}^{-1} \pm 0,034$



Chambre humide (test) : moyenne des vitesses de chute des 5 fruits : $0,524 \text{ m.s}^{-1} \pm 0,048$ (+61,72% par rapport au témoin).



Une augmentation de l'humidité relative de l'air modifie la morphologie du pappus (repli des soies) ce qui diminue la surface de contact avec l'air : la vitesse de chute augmente.

Si des erreurs de calcul sont possibles, il est important de conserver un regard critique sur les résultats, quand par les exemples, les vitesses proposées dépassent la centaine de kilomètres par heure...

I.B. Q07 Calculer, selon le modèle suivant, la distance de dispersion théorique (D) pour les structures étudiées dans les deux conditions expérimentales proposées précédemment :

$$D = \frac{U \times H}{V_t}$$

U : vitesse horizontale du vent = 2 m.s^{-1}

H : hauteur de libération (en m)

Vt : vitesse moyenne de chute (en m.s^{-1})

Éléments de correction :

En milieu sec : $D = (2 \times 0,2) / 0,32 = 1,25 \text{ m}$

En milieu humide : $D = (2 \times 0,2) / 0,52 = 0,77 \text{ m}$

La formule étant donnée, la question n'aurait pas dû poser de difficultés particulières. Il est cependant étonnant que de nombreux candidats aient choisi des hauteurs de libération différentes entre les conditions dans les calculs ou choisissent des hauteurs qui n'ont guère de pertinence biologique (par exemple 1 m ou plus).

Il est rappelé aux candidats qu'il est essentiel de faire le lien avec le thème du sujet et la question scientifique testée, car c'est ce qui sera demandé à leurs futurs élèves.

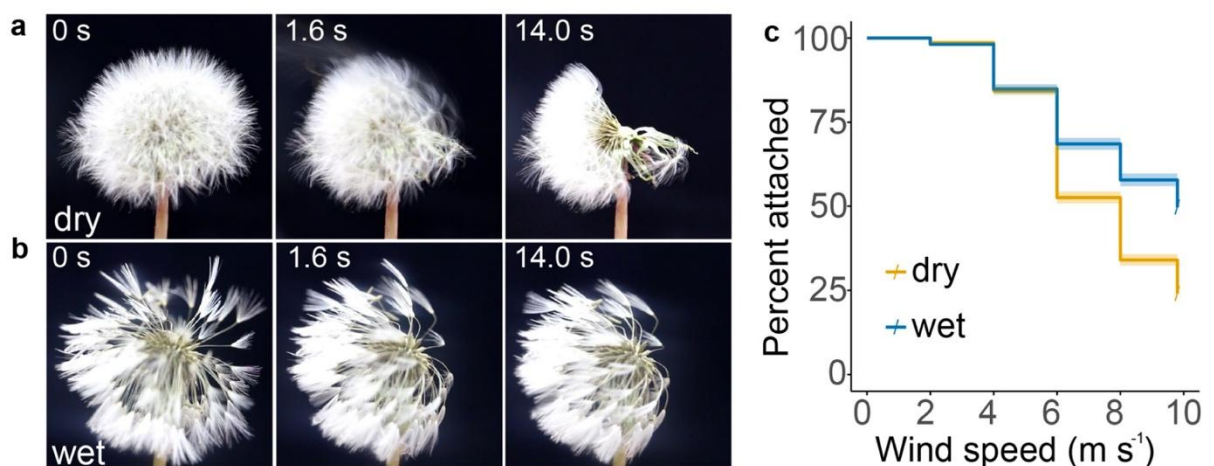
I.B. Q08 Discuter les résultats obtenus et **citer** deux limites de ce modèle de dispersion.

Éléments de correction :

Deux limites parmi :

- Vent constant et unidirectionnel ;
- Absence de turbulence ;
- Pas de dispersion secondaire ;
- Hauteur de libération simplifiée et variable (ex : terrain en pente).

La majorité des candidats n'abordent que les limites alors que le sujet invite d'abord à discuter des résultats. Il est dommage de ne pas prendre des points parce que la question n'est pas traitée en entier. Toute limite pertinente a été acceptée par le jury.



Document 1 : Détachement des fruits en fonction de la vitesse du vent

Vues instantanées de la dynamique de détachement pour une vitesse de vent de 8 m.s⁻¹ en conditions sèches (a) et humides (b).

(c) Pourcentage de fruits restant attachés à différentes vitesses de vent en conditions sèches (n = 3 001 fruits) et humides (n = 2 654 fruits). Les zones ombragées autour des courbes représentent l'erreur standard à la moyenne.

I.B. Q09 Analyser les résultats présentés dans le document 1.

Éléments de correction :

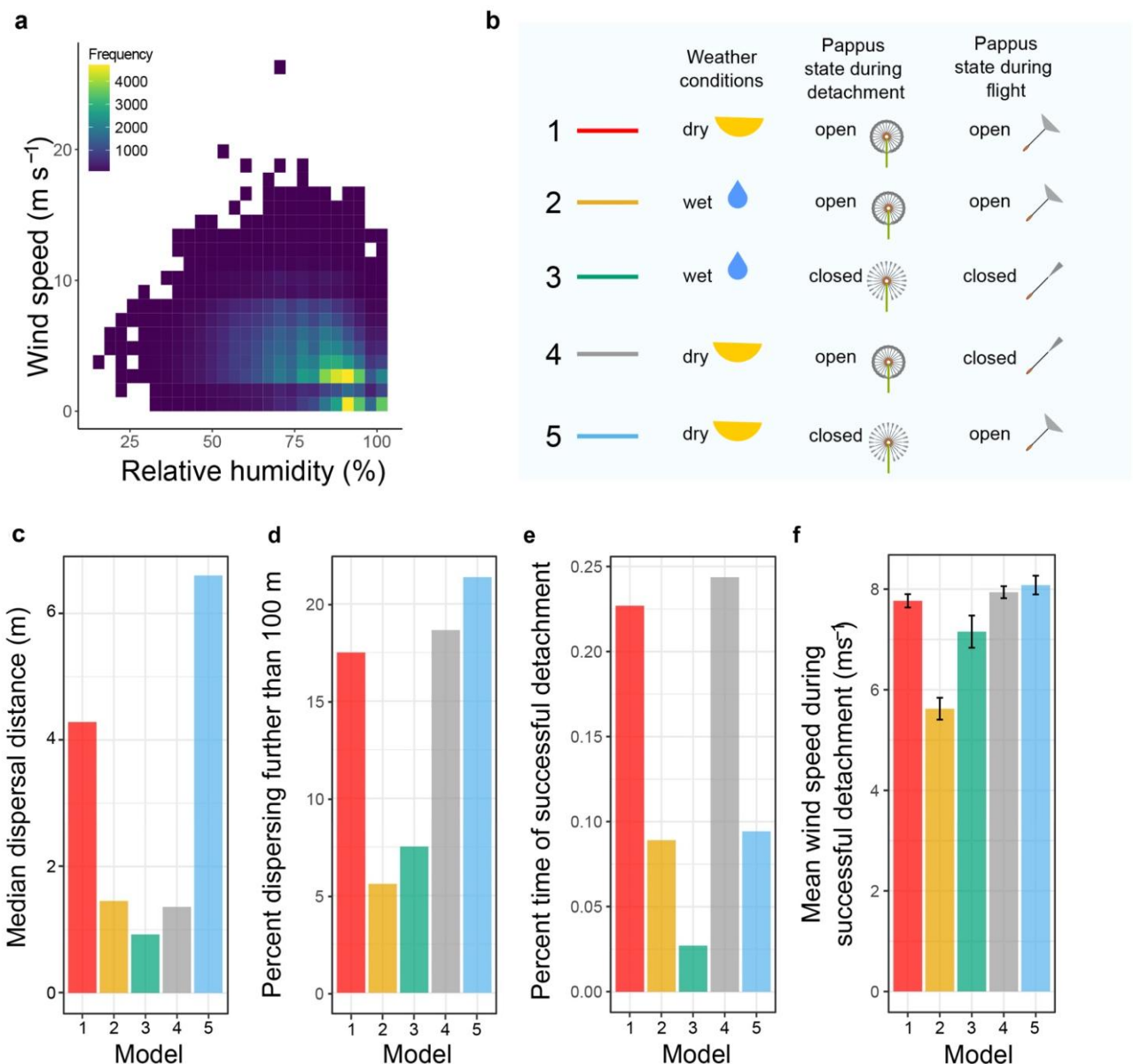
Il existe une différence significative entre conditions sèches et humides.

Sur les photographies, pour un vent à 8 m/s, toute la partie droite du pissenlit sec semble détachée du pédoncule alors que pour le pissenlit humide, les aigrettes sont déplacées dans le sens du vent mais toujours attachées au pédoncule.

Pour une vitesse de vent similaire à celle utilisée pour les photographies, on constate que plus de 25% des graines restent attachées en conditions sèches contre plus de 50% en conditions humides soit le double, le pappus fermé offre ainsi moins de prise au vent ce qui augmente le seuil de vent requis pour le détachement (dispersion = détachement + vol).

Cette question a été globalement bien réussie mais certains candidats font de longues descriptions sans dégager un message clair en conclusion.

À l'aide d'une simulation numérique, on cherche à évaluer comment les conditions météorologiques et la morphologie du fruit influencent la dispersion de ce dernier. La trajectoire des fruits est simulée en tenant compte des vitesses horizontales et verticales du vent (tirées de données météorologiques réelles sur 30 ans à Édinburgh, Royaume-Uni) et des propriétés mécaniques des fruits.



Document 2 : Simulation de dispersion des fruits

- (a) Relation entre humidité relative et vitesse du vent à Édimbourg (Royaume-Uni)
- (b) Description des 5 modèles indiquant les conditions météorologiques et la morphologie du fruit utilisées lors de la simulation
- (c) Distance médiane de dispersion obtenue pour chaque modèle
- (d) Pourcentage de dispersion ayant parcouru plus de 100 m après 10 000 simulations
- (e) Pourcentage de succès du détachement des fruits après 172 800 simulations
- (f) Vitesse moyenne du vent où un détachement des fruits a eu lieu après 172 800 simulations

I.B. Q10 Comparer les modèles utilisés dans l'étude présentée dans le document 2 et **interpréter** les résultats obtenus.

Éléments de correction :

Modèle 1 vs Modèle 2 :

Effet des conditions météorologiques.

Pappus ouvert lors du détachement et lors du vol.

Conditions humides : distance de dispersion diminue (-65%), dispersion de longue distance diminue (-68%), succès de détachement diminue (-61%).

Mise en relation avec la figure a : les conditions humides sont associées à des vents plus faibles.

Modèle 1 vs Modèle 4 :

Effet de la fermeture du pappus lors du vol.

Distance de dispersion diminue (-68%), dispersion de longue distance augmente peu (+6%), succès de détachement augmente peu (+7%).

Modèle 1 vs Modèle 5 :

Effet de la fermeture du pappus lors du détachement

Succès de détachement diminue (-58%), distance de dispersion augmente (+54%), dispersion de longue distance augmente (+22%),

Fermeture du pappus lors du vol => vitesse de chute augmente => distance médiane de dispersion diminue

Fermeture du pappus lors du détachement => faible probabilité de détachement à vent faible, détachements réalisés sont à vent fort (sélection des fruits), favorisant une fraction de dispersion longue.

Cette question a été très peu traitée par les candidats.

I.B. Q11 En conclusion de cette sous-partie I.B., **discuter** du caractère passif de la dispersion de ce fruit et **préciser** en quoi ce type de dispersion peut représenter un compromis évolutif.

Éléments de correction

Dispersion anémophile classiquement qualifiée de passive, réponse morphologique aux conditions environnementales, dispersion conditionnelle : trait adaptatif qui accroît la fitness.

Compromis évolutif : adaptation favorisant la dispersion anémophile / coût énergétique, site d'« atterrissage » aléatoire, trade-off dispersion/établissement de la future plantule.

La notion de "compromis évolutif" n'est pas claire. De plus, ce n'est pas parce que les fruits sont petits que ça ne coûte "rien" à la plante

I.C – La dispersion de certains fruits secs par le vent

En plus du matériel présent sur votre paillasse, vous disposez du matériel suivant : différents fruits secs d'espèces variées (bannette identifiée I.C.), un mètre ruban, un ventilateur colonne.

I.C. Q01 Proposer un protocole expérimental permettant d'étudier la dispersion de ces fruits.

Éléments de correction :

Réalisation d'un protocole avec un témoin (sans ventilateur) et plusieurs réplicats.
Toujours libérer les fruits de la même hauteur et à la même distance horizontale du ventilateur.
Si plusieurs vitesses disponibles, en tester 2 différentes.
Mesurer des distances de dispersion des fruits toujours depuis le même point de départ.
Identifier chaque fruit par un symbole.

(Fruits mis à disposition : disamares d'érable, samare de frêne, samare de charme, samare d'orme)

La plupart des candidats pensent à faire plusieurs mesures. En revanche, l'utilisation d'un "témoin sans vent" est étonnamment trouvée dans très peu de copies. Certains candidats effectuent des mesures avec une seule vitesse de vent, ou d'autres font une gamme de vitesses sans inclure la vitesse nulle. Un protocole expliqué par un schéma clair vaut mieux qu'un long paragraphe.

I.C. Q02 Sur le poste dédié dans la salle adjacente, **réaliser** le protocole proposé à la question précédente et **présenter** les résultats sous la forme de votre choix ci-après.

Attention, un planning de passage sur le poste dans la salle adjacente est affiché sur le tableau.

Éléments de correction :

Présentation des résultats sous la forme d'un tableau (ou histogramme) : fruits et distances de dispersion, avec indication de chaque valeur obtenue pour montrer le nombre de réplicats réalisés.
Calcul de la moyenne des valeurs obtenues (pour le témoin de chaque fruit et pour chaque réplicat).
Un histogramme est souvent plus lisible qu'un tableau.

I.C. Q03 Interpréter vos résultats.

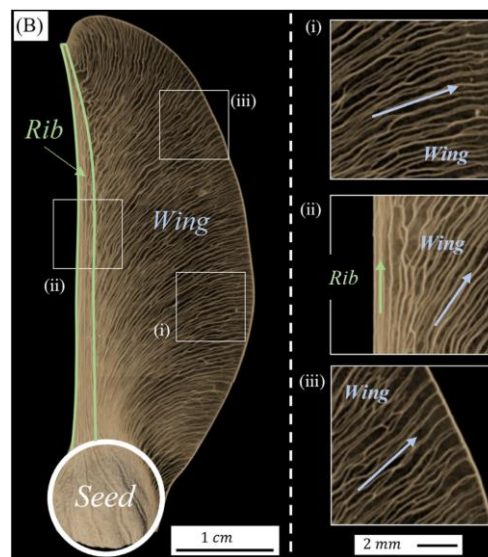
Éléments de correction

Grâce au papier millimétré à disposition sur la paillasse, estimation de la surface "aillée" de chaque fruit. Grâce à la balance à disposition dans la salle, mesure de la masse de chaque fruit. Un rapport Surface/Masse pour chaque fruit utilisé en est déduit.

Interprétation des résultats obtenus relativement à ces rapports surface/masse : plus il est important, plus la distance de dispersion est grande.

La balance de précision disponible dans la salle ainsi que le papier millimétré ont trop peu été utilisés. Ils permettaient pourtant de déterminer un rapport surface/masse qui était pertinent.

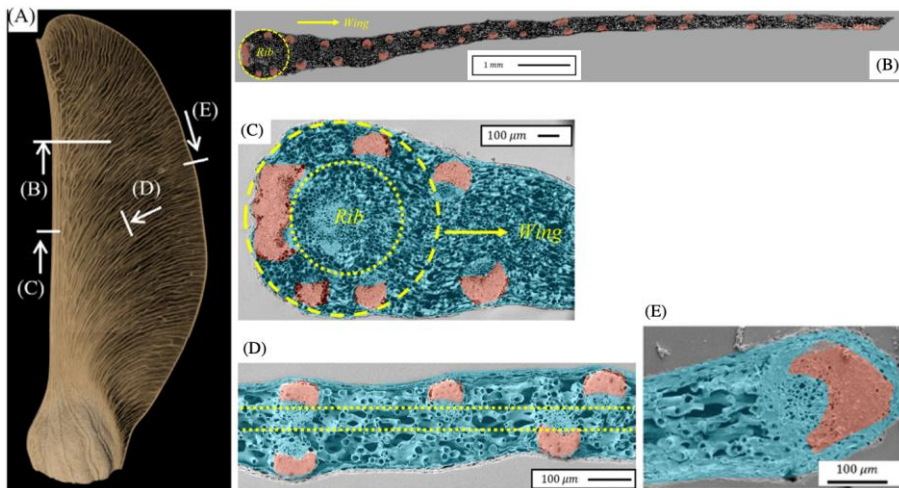
Les samares génèrent des forces de portance permettant leur dispersion par le vent sur de grandes distances. On cherche à étudier à l'échelle microscopique la structure des samares de l'espèce *Tipuana tipu*.



Document 3 : Observation microscopique d'une samare de *T. tipu*

Les régions brillantes indiquent des régions avec haute densité de matériel (les veines) alors que les régions sombres indiquent des régions avec une faible densité de matériel (les zones inter-veines). Des zooms sur les sous-régions (i), (ii) et (iii) sont présentés à droite du document.

- (i) : zoom sur une partie de l'aile. La flèche bleue indique l'orientation locale des veines de l'aile, de la côte jusqu'à la marge de l'aile.
- (ii) : zoom sur la connexion côte-aile. La flèche bleue indique l'orientation locale des veines à partir de la côte alors que la flèche verte indique l'orientation des veines de la côte de la graine jusqu'à l'apex de la samare.
- (iii) : zoom des connexions des veines de l'aile à la veine marginale. La flèche bleue indique l'orientation locale des veines de l'aile à partir de la côte.



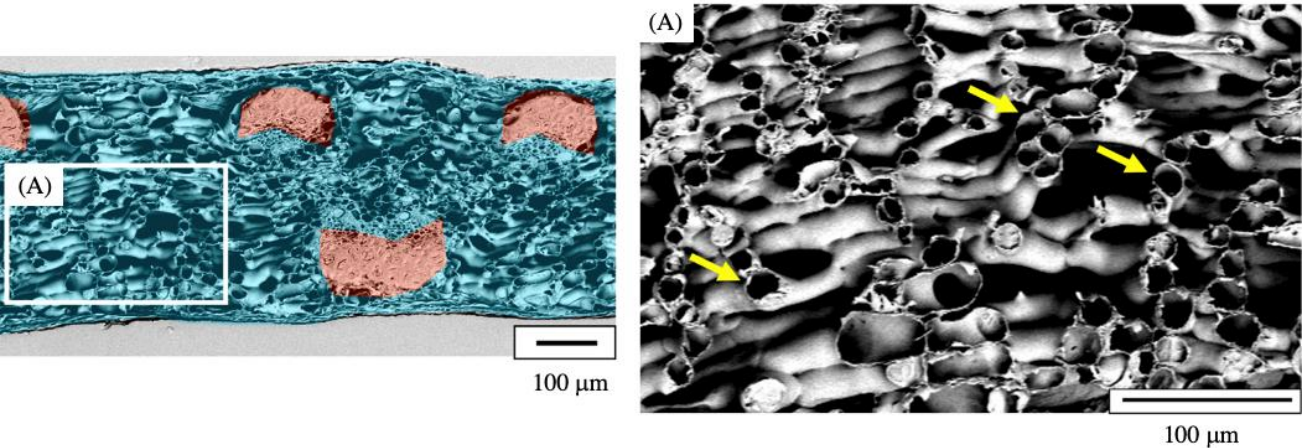
Document 4 : Coupes transversales de samare de *T. tipu* observées au microscope électronique après coloration numérique

- A : Localisation des coupes transversales réalisées au sein d'une samare.
- B : coupe transversale de la côte et de l'aile.
- C : coupe transversale au niveau de la connexion côte-aile.
- D : coupe transversale perpendiculaire aux veines de l'aile.
- E : coupe transversale de la marge de l'aile.

Les régions en rouge indiquent les veines et les régions en bleu les zones inter-veines.

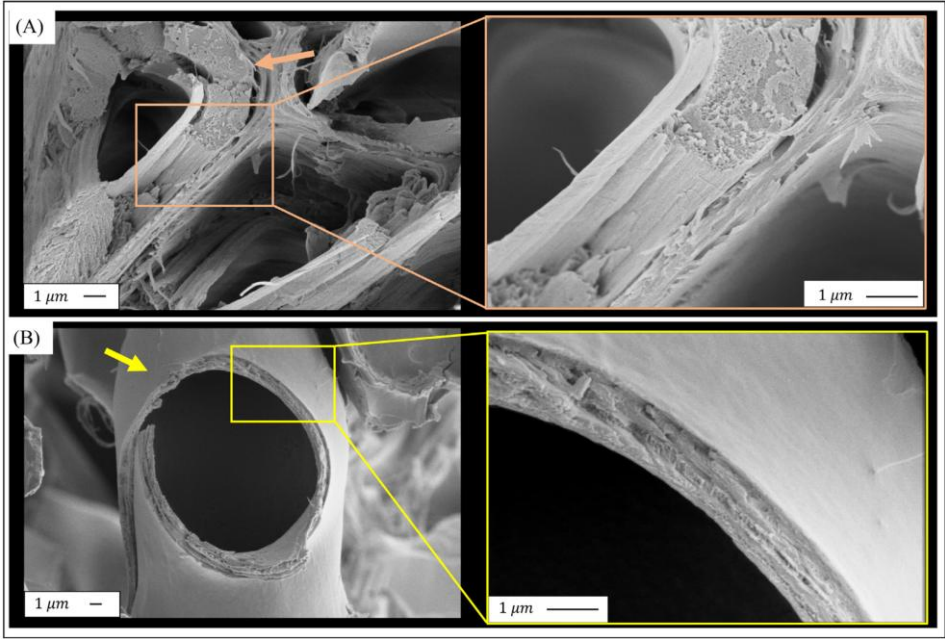
	ϕ_{C-V}	ϕ_{C-IV}	ϕ_V
Wing	$0.80 \pm 0.04^*$ (n = 4)	$0.28 \pm 0.04^*$ (n = 4)	$0.07 \pm 0.02^*$ (n = 3) $0.07 \pm 0.01^\dagger$ (n = 3)
Rib	$0.78 \pm 0.03^{**}$ (n = 4)	$0.43 \pm 0.02^{**}$ (n = 4)	$0.15 \pm 0.01^{**}$ (n = 3) $0.14 \pm 0.01^\dagger$ (n = 4)

Document 5 : Fraction volumique des parois cellulaires à l'intérieur d'une veine (Φ_{C-V}) et à l'intérieur du matériel inter-veine (Φ_{C-IV}), et fraction volumique des veines entières (Φ_V) au sein de l'aile et de la côte de samares de *T. tipu*.



Document 6 : Observation au microscope électronique à balayage de la région inter-veine en coupe transversale après coloration numérique (même coloration qu'au document 4)

À droite, zoom sur la partie A délimitée sur le cliché de gauche. Les flèches jaunes pointent les parois cellulaires.



Document 7 : Observation au microscope électronique à balayage de la paroi cellulaire d'une cellule d'une veine (A) et d'une cellule d'une région inter-veine (B)

A : la flèche orange indique la paroi cellulaire. Zoom du rectangle orange présenté à droite.

B : la flèche jaune indique la paroi cellulaire. Zoom du rectangle jaune présenté à droite.

I.C. Q04 À l'aide des documents 3 à 7, **caractériser**, à l'échelle microscopique, la structure des samares étudiées.

Éléments de correction :

Doc. 3 : à l'échelle macroscopique, on voit que la samare est constituée de deux parties : l'aile délimitée par une côte et la zone où est située la graine. A l'échelle microscopique, on observe que l'aile est constituée de zones riches en matériel, les veines et de zones moins riches en matériel, les zones inter-veines.

Au niveau de la côte, on voit des veines très resserrées qui partent toutes de la graine et qui vont vers l'apex de la samare, elles sont parallèles entre elles et rectilignes alors qu'au niveau de l'aile, les veines sont plus éloignées les unes des autres, elles partent toutes de la côte et s'inclinent jusqu'à atteindre le bord de l'aile opposé à la côte qu'elles atteignent avec un angle d'environ 90°.

Doc. 4 : en coupe transversale, on observe que les veines sont à la périphérie de l'organe, proches de la surface des samares. Au niveau de l'aile, les veines sont globalement disposées en quinconce, sur l'une et l'autre face de l'aile (B). Au niveau de la côte, des veines sont disposées en rond (à l'exception de la zone prolongée dans l'aile) avec une zone centrale moins riche en matériel (C). Au cœur de l'aile, il n'y a pas de veine : l'aile est constituée de deux couches externes avec beaucoup de veines séparées par une zone intermédiaire avec uniquement du matériel inter-veine (D). Enfin, au niveau de la marge de l'aile, il y a une veine qui délimite le bord de l'aile (E).

Doc. 5 : On constate qu'à l'intérieur d'une veine, le volume représenté par les parois cellulaires est élevé et identique que ce soit au niveau de l'aile qu'au niveau de la côte de la samare.

Les parois sont beaucoup moins épaisses au niveau du matériel interveine, en particulier au niveau de l'aile où leur fraction volumique est divisée par 2,8. Enfin, les veines sont deux fois plus nombreuses au niveau de la côte de la samare qu'au niveau de l'aile, conférant sans doute sa grande rigidité à la côte de la samare.

Doc. 6 : Dans le document de gauche, on retrouve, en observant cette fois, les conclusions précédentes à savoir que les cellules au niveau des veines ont des parois bien plus épaisses que celles du matériel inter-veines. Dans le zoom A, on voit des cellules allongées, de 50 à 100 microns de long, toutes parallèles entre elles et dont la paroi, observée en coupe transversale, est très peu épaisse.

Doc. 7 : Ce dernier document permet de quantifier l'épaisseur des parois pour les deux régions étudiées : la paroi végétale des cellules d'une veine mesure 3 à 4 microns d'épaisseur alors que celle des cellules d'une région inter-veine mesure 1 micron. Les deux présentent une organisation similaire, en couches superposées, caractéristique des parois végétales.

L'analyse de ces documents a rarement été effectuée. Lorsque cette question est abordée, elle ne l'est que superficiellement, les documents étant juste décrits, sans aucun lien entre eux et sans analyse précise des données expérimentales. Dans de rares cas, les informations essentielles du document sont indiquées, explicitées et une conclusion permet de répondre précisément à la question posée.

I.D – La dispersion de diaspores par les animaux

On réalise différentes observations en relation avec la dispersion de l'espèce A (cf. sous-partie I.A.).

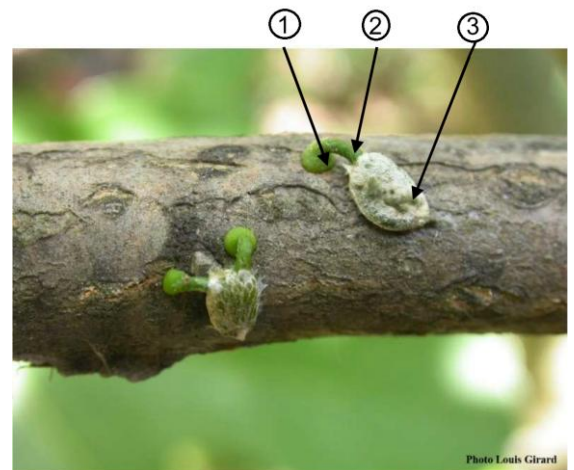


a

b



c



d

Document 8 : Photographies de fientes de *Turdus viscivorus* (a et b) et graines de l'espèce A (c et d)

I.D. Q01 Compléter les légendes 1 à 3 de la photographie d du document 8.

Éléments de correction

1 : cône de fixation / haustorium, 2 : hypocotyle, 3 : graine entourée de viscine

Peu de candidats ont identifié les structures observées. Il y a très souvent confusion entre la viscine issue du fruit et des "substances collantes issues des excréments". Le cône de fixation est souvent identifié mais l'hypocotyle est confondu avec une racine.

I.D. Q02 En vous appuyant sur l'exploitation du document 8, **donner** les étapes de la dissémination de l'espèce A.

Éléments de correction :

Étapes de la dissémination :

- 1) Les fruits sont consommés par des oiseaux (ex : grive) ;
- 2) La graine est rejetée avec les fientes entourée de viscine ou essuyée sur une branche après ingestion de ce qui l'entoure. Elle peut donc être dispersée par les oiseaux ;
- 3) La viscine permet la fixation de la graine sur l'écorce ;
- 4) La croissance de l'hypocotyle se réalise à partir de la graine et celui-ci se fixe par un renflement sur la branche (phototropisme négatif ? géotropisme modifié ?) ;
- 5) Dès que le contact est établi, la tête ronde de l'hypocotyle s'élargit et se transforme en cône de fixation et en haustorium.

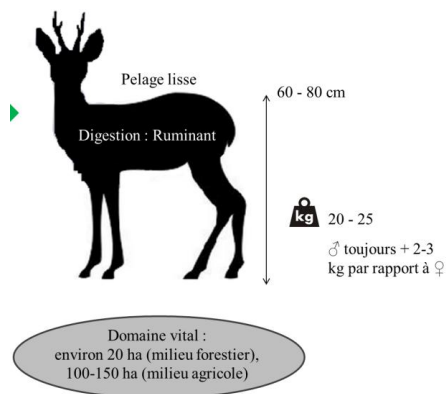
Durant les mois suivants, les réserves de l'albumen sont utilisées par les cellules méristématiques qui prolifèrent et exercent une pression mécanique sur les tissus de l'hôte. L'embryon perce l'écorce de l'hôte et pénètre dans ses tissus jusqu'au niveau de la couche de bois vivant (xylème II).

La question fait référence au document qui comporte plusieurs photographies, il est donc judicieux d'utiliser l'ensemble de celles-ci.

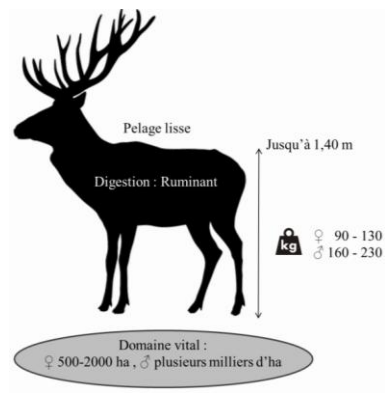
Le sujet porte sur la dissémination dont la définition est rappelée dans le chapeau introductif : “*La dissémination, quant à elle, implique une libération d'éléments biologiques capables de donner un nouvel organisme*”. Il faut donc envisager dans la réponse toutes les étapes nécessaires à la dissémination. On ne peut ainsi pas se limiter à l'ingestion par des animaux et il est nécessaire d'envisager la mise en place de nouveaux organismes.

De nombreuses erreurs sur l'interprétation des fientes dont le terme est peu connu. L'espèce citée n'est pas connue sauf exception même si la réponse peut être tout à fait satisfaisante en envisageant des oiseaux.

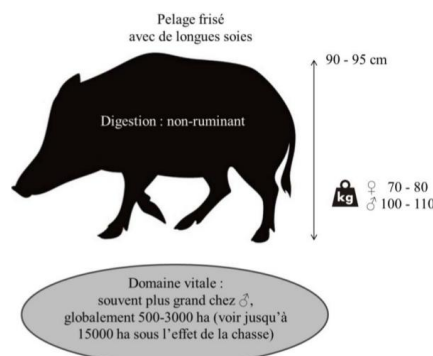
On évalue pour trois espèces différentes, le chevreuil (*Capreolus capreolus*), le cerf (*Cervus elaphus*) et le sanglier (*Sus scrofa*), le temps de rétention dans le tube digestif des graines de 6 espèces différentes fréquemment consommées par ces animaux.



Chevreuil (herbivore brouteur)

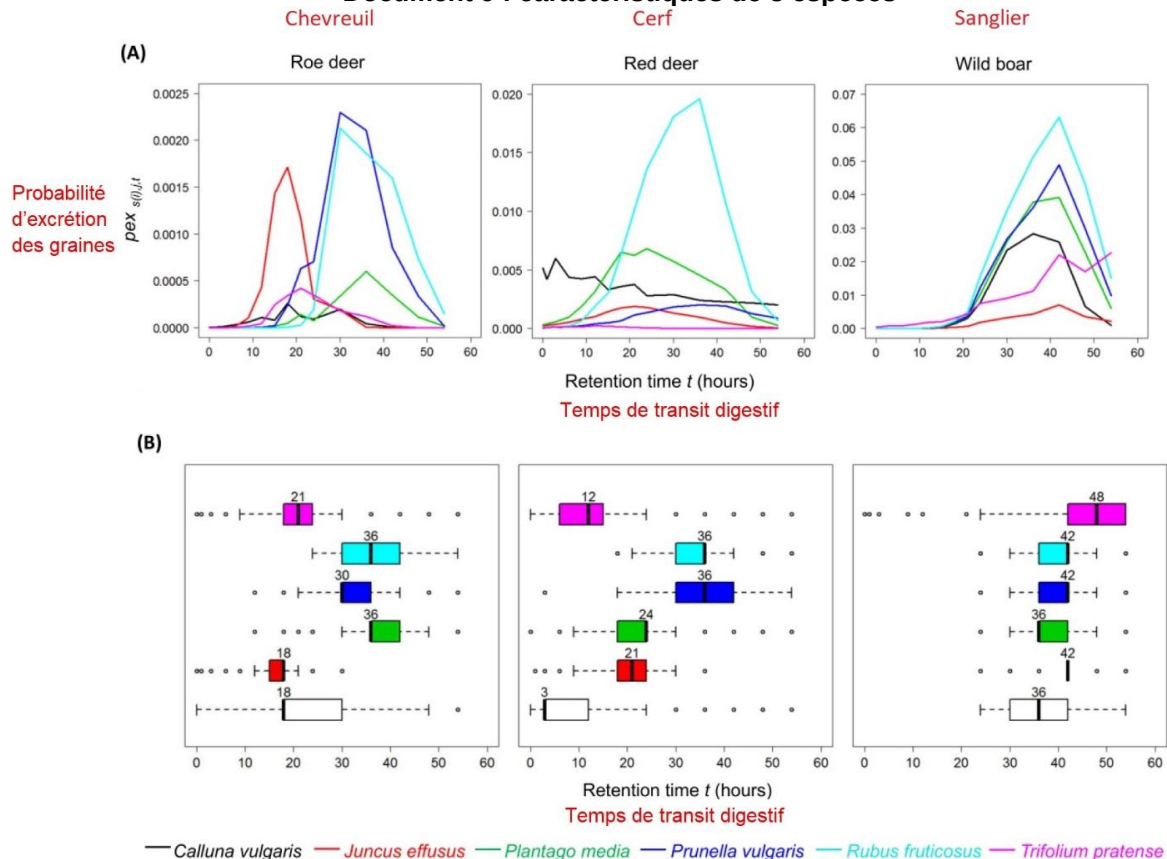


Cerf (herbivore paisseur)



Sanglier (omnivore-frugivore)

Document 9 : caractéristiques de 3 espèces



Document 10 : Probabilité d'excrétion des graines en fonction du temps de rétention dans le tube digestif et temps associé au maximum de probabilité d'excrétion

(A) Probabilité médiane de rejet ($p_{ex\ s(i),j,t}$) dans le temps, représentée avec une échelle différente pour chaque espèce animale et sans ses intervalles de confiance pour une meilleure lisibilité.

(B) Temps associé à la probabilité maximale d'excrétion (les boîtes représentent les médianes et les quartiles, les moustaches indiquent l'étendue des valeurs et les points les valeurs individuelles. Les valeurs numériques indiquent le temps médian, en heures, associé au pic d'excrétion)

I.D. Q03 Analyser et interpréter les résultats présentés dans le document 10.

Éléments de correction

Endozoochorie en fonction de l'espèce végétale ingérée pour 3 grands mammifères dispersants.

(A) Mesure de la probabilité d'excrétion des graines en fonction du temps => distribution unimodale de l'excrétion pour les différentes graines, avec un pic de probabilité dont la position varie selon l'espèce animale et selon l'espèce végétale

- Chevreuil : présence de pics précoces / transit digestif rapide
- Cerf : pics intermédiaires
- Sanglier : pics plus tardifs/temps de rétention plus longs, peu de variabilité selon les espèces végétales + probabilité d'excrétion beaucoup plus fortes

=> Hypothèses : différence ruminant/non ruminant, mastication +/- importante, physiologie digestive

Plus l'excrétion est tardive, plus la probabilité de dispersion à longue distance est importante mais dépend également du potentiel de déplacement de l'espèce => mise en relation avec le domaine vital de l'espèce.

(B) On étudie également le temps auquel cette probabilité est maximale. On constate que le temps du pic varie selon l'espèce dispersante (+ court chez le chevreuil, intermédiaire chez le cerf et plus long chez le sanglier) et selon l'espèce végétale montrant des transits différents selon les espèces.

Peu de candidats ont traité cette question. Lors de l'exploitation des documents, de nombreux candidats paraphrasent les résultats sans faire le lien avec une problématique. L'analyse ne peut se résumer à la constatation de différences, parfois longuement décrites, sans interprétation.

Les données sur la surface des domaines vitaux n'ont été prises en compte qu'exceptionnellement.

I.D. Q04 Indiquer les données complémentaires qui sont nécessaires pour étudier la dissémination des 6 espèces végétales considérées.

Éléments de correction :

Il faudrait des données sur la germination suite à l'excrétion et sur la distance de dispersion.

Des données sur les graines (taille, résistance aux enzymes digestives, viabilité post-excrétion...) seraient également utiles.

Cette question, quand elle était traitée, l'était souvent judicieusement

On s'intéresse au transport externe des diaspores par des animaux.

En plus du matériel présent sur votre paillasse, vous disposez du matériel suivant :

- Trois lots de diaspores d'espèces différentes (bannette identifiée I.D.)
- Sur un poste dédié dans la salle : deux échantillons de fourrure de mammifère d'espèces différentes, planches, pinces, potence, règle

I.D. Q05 Proposer un protocole expérimental permettant de comparer la capacité d'adhérence des diaspores sur des fourrures de mammifères.

Éléments de correction :

Exemple de protocole :

1. Fixer la fourrure 1 sur une planche avec les pinces
2. Mettre cette planche sur la potence pivotable
3. Déposer x graines de l'espèce 1 sur la fourrure
4. Appliquer une pression standardisée (à la main, 5 secondes)
5. Pivoter la planche (ex : 180°)
6. Compter le nombre de graines encore accrochées

Répéter la manipulation un nombre suffisant de fois. Reporter les résultats sous forme de pourcentage de diaspores fixées.

Répéter l'expérience avec les graines des espèces 2 et 3
Répéter l'expérience avec la fourrure 2

(Fourrures mises à disposition : lapin, mouton ; Fruits/graines mis à disposition : bardane, benoîte, lentille)

Plusieurs protocoles expérimentaux étaient envisageables mais en réaliser un au plus proche de la réalité observée naturellement était évidemment le mieux. Le lancer de fruits de bardane sur une cible constituée par la peau, à plusieurs dizaines de centimètres de distance est dans ce cas peu approprié...

Néanmoins, les protocoles expérimentaux proposés étaient globalement satisfaisants. Cependant, bon nombre d'entre eux ne proposaient pas de mesures quantifiables ou de réplicats. Par ailleurs, les fourrures ont peu été comparées.

I.D. Q06 Mettre en œuvre votre protocole expérimental sur le poste dédié dans la salle. **Reporter** et **exploiter** vos résultats dans le cadre ci-dessous

Attention, un planning de passage sur le poste dédié est affiché sur le tableau.

Éléments de correction

Comparaison de l'efficacité d'accrochage des diaspores : traits des diaspores (nombre, type, densité, longueur des appendices, texture, taille, masse) / adhérence,

Comparaison de l'effet du type de support sur l'adhérence : traits de la fourrure (longueur, épaisseur, densité, rugosité, ondulation, angle du poil) / adhérence.

La présentation des résultats était globalement satisfaisante, généralement sous la forme d'un tableau. La mise en relation des traits des diaspores avec leur adhérence a été très souvent réalisée. Pour les fourrures, très peu de candidats ont relié leurs traits à l'adhérence

Partie II - Grains de pollen et spores

II.A – Isolement de grains de pollen

II.A. Q01 À partir du matériel mis à disposition pour cette question (zone identifiée II.A. sur votre paillasse), **réaliser** le protocole suivant pour extraire des grains de pollen de miel :

- À l'aide d'un agitateur en verre, prélever une goutte de miel (environ 250 μ L) et la mettre dans un tube Eppendorf
- Compléter à 1,5 mL avec de l'eau distillée
- Vortexer suffisamment de temps pour homogénéiser l'ensemble
- Centrifuger durant 3 min à vitesse maximale avec la centrifugeuse mise à disposition sur votre paillasse
[Appeler l'examineur avant la mise en route de la centrifugeuse]
- Évacuer le liquide en veillant à ne pas perdre le culot observable
- Remettre en suspension le culot dans un petit volume d'eau distillée
- Monter entre lame et lamelle

II.A. Q02 Réaliser un croquis légendé d'un grain de pollen isolé dans votre préparation et **formuler** une hypothèse sur le mode de pollinisation du grain de pollen mis en évidence. *L'indication de la taille du grain de pollen est attendue.*

Appeler l'examineur pour évaluation de votre préparation et vérification de l'adéquation entre celle-ci et votre croquis.

Éléments de correction

Légendes : exine ornementée ; aperture ; grain de pollen (contenant une cellule reproductrice et une cellule végétative)

Taille bien mise en évidence et cohérente.

Globalement, les préparations sont de bonne qualité mais les croquis comportent peu de légendes. Les cellules reproductrices et végétatives sont rarement mentionnées et la taille du grain de pollen lorsqu'elle est précisée est parfois peu réaliste (ex : 0,1 μ m).

L'hypothèse a été le plus souvent argumentée par l'origine de l'échantillon : c'est du miel donc le pollen a été transporté par une abeille donc c'est une dispersion entomogame et exceptionnellement élaborée à partir de l'observation : taille ET ornementation du grain de pollen.

II.A. Q03 À l'aide de la clé de détermination des grains de pollen fournie, **identifier** l'espèce du grain de pollen représenté, en justifiant.

Éléments de correction

Miel toutes fleurs donc plusieurs types de grains de pollen étaient observables.

L'identification a généralement été justifiée mais parfois de manière incomplète ! Les alternatives n'ont parfois pas été mentionnées, le candidat effectuant un choix arbitraire d'une espèce parmi les propositions.

II.B – Germination de grains de pollen

II.B. Q01 À partir du matériel mis à disposition pour cette question (zone identifiée II.B. sur votre paillasse), **réaliser** le protocole suivant pour faire germer des grains de pollen :

- Avec un pinceau, prélever du pollen de la fleur mise à disposition et le déposer sur une lame à concavité
- Ajouter une goutte de milieu de germination et recouvrir d'une lamelle, observer
- Au bout d'une heure environ, observer de nouveau

II.B. Q02 Réaliser un croquis légendé de vos observations.

Appeler l'examineur pour évaluation de votre préparation et vérification de l'adéquation entre celle-ci et votre croquis.

Éléments de correction

Légendes : exine ornementée ; aperture ; grain de pollen en train de germer ; tube pollinique.

De nombreuses préparations ne comportaient pas de tube pollinique en train de germer. Certains candidats ont alors fait un croquis qui ne présentait aucune adéquation avec leur préparation. Ces dernières étaient globalement de bonne qualité bien que des débris très reconnaissables aient parfois été interprétés comme tubes polliniques. Le pollen au temps initial n'a pas toujours été représenté.

II.B. Q03 Calculer la vitesse de croissance de la structure observée.

Éléments de correction

Calcul explicite, ordre de grandeur : 1 à 7 mm.h⁻¹

Le calcul a généralement été explicité mais un grand nombre de candidats a obtenu une valeur ne présentant pas le bon ordre de grandeur (régulièrement inférieure d'un facteur 10 à la valeur attendue). Les candidats doivent veiller à employer des unités de vitesse cohérentes (distance par unité de temps) et pertinentes par rapport à la vitesse du phénomène observé lors du TP (phénomène biologique observé au microscope après une heure d'incubation !). Le jury a, par exemple, relevé des vitesses exprimées en $\mu\text{m}^2.\text{h}^{-1}$ ou en $\mu\text{m}.\text{j}^{-1}$.

Le jury a par ailleurs été surpris de constater qu'une valeur de 57,8 m.s⁻¹ indiquée pour la croissance d'un tube pollinique n'ait suscité aucune interrogation ou remarque du candidat. Le jury répète qu'il est inutile de se compliquer la tâche en cherchant à faire des changements d'échelle peu pertinents et que toute valeur numérique devrait être examinée avec recul en faisant preuve de bon sens !

II.B. Q04 Préciser les mécanismes au niveau cellulaire expliquant cette croissance, puis **indiquer** les facteurs influant celle-ci *in vivo*.

Éléments de correction :

Mécanismes cellulaires : augmentation de la pression de turgescence, mise en place de bouchons de callose, croissance apicale, implication du cytosquelette et exocytose

Facteurs *in vivo* : mécanismes d'auto-incompatibilité, chimiotactisme

Les réponses ne sont généralement pas formulées au niveau d'organisation demandé à savoir les mécanismes cellulaires. Ces derniers sont peu évoqués, ils sont parfois listés, rarement explicités et toujours de manière incomplète.

Quelques candidats mentionnent le chimiotactisme et les phénomènes d'auto-incompatibilité. De nombreuses confusions ont été faites avec la germination de la graine : certains candidats évoquant la vernalisation ou des divisions affectant les méristèmes. Pour certains d'entre eux la division de la cellule reproductrice permettrait la croissance du tube pollinique.

II.C – Dissémination des spores

La culture de deux souches de *Sordaria macrospora* génétiquement différentes est réalisée dans une boîte de Pétri sur milieu gélosé nutritif. Chaque cube de gélose implanté porte une des deux souches. Pour ces deux souches, l'autofructification est impossible.

II.C. Q01 Réaliser un croquis légendé de la boîte de Pétri mise à disposition (zone identifiée II.C. sur votre paillasse).

Éléments de correction

Légendes : implants de gélose avec mycélium, mycélium de la souche claire, mycélium de la souche foncée, périthèces (libérant des asques).

Il est surprenant que cette question ait été rarement totalement traitée alors qu'il s'agit vraiment d'un classique de l'étude de la méiose.

Le jury déplore l'utilisation imprécise de certains mots et la méconnaissance de certains termes scientifiques et de leur signification. Ainsi, le "cube" de gélose est souvent mentionné seul, sans mycète associé. La zone des périthèces est transformée en "zone de rencontre des filaments" mais sans précision, sans explication scientifique. Le périthèce est rarement nommé : il peut être appelé "asque" ou "spore" ou bien encore "zygote"...

Lors des observations microscopiques évaluées en direct lors du TP, il n'a été vu que peu d'observations de périthèces ouverts avec les asques en étoile montrant la diversité. Il est bien souvent observé des asques simplement isolés.

L'usage du microscope est à améliorer. Quasiment aucun candidat n'utilise le caractère variable de l'ouverture du diaphragme. Pour l'observation demandée à cette question, l'utilisation de l'objectif x4 était peu pertinente et un éclairage adéquat était attendu.

II.C. Q02 Relier ces observations avec le cycle de développement de cette espèce.

Éléments de correction

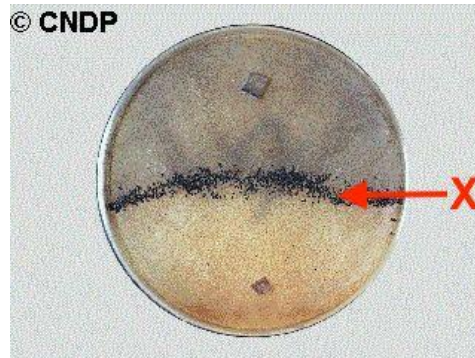
Sordaria est un champignon ascomycète. Le mycélium haploïde se développe à partir des cubes de gélose. Il est de couleur clair pour une des souches et de couleur foncée pour l'autre. À la rencontre des deux mycéliums, la fécondation donne une cellule à deux noyaux permettant le début du développement du périthèce (dit « hybride ») par mitoses. Certaines cellules subissent une méiose suivie d'une mitose donnant des asques contenant 8 spores haploïdes de couleur noire ou claire en fonction de l'allèle possédé.

Tout candidat ayant repéré que l'autofructification était impossible a été valorisé.

Cette question n'a pas souvent été traitée. Dans les réponses obtenues, c'est majoritairement un schéma qui a été réalisé mais malheureusement pas toujours cyclique ! Un texte a parfois été rédigé.

Le cycle de développement de *Sordaria* n'est maîtrisé que par très peu de candidats ce qui est surprenant. Par exemple, l'haplophase et la diplophase sont peu repérées alors que la position de la méiose est plutôt bien placée sur le cycle de reproduction.

II.C. Q03 Les deux souches diffèrent par un couple d'allèles impliqué dans la coloration des spores. **Prélever** des structures observables dans la zone X (cf. Document 11) à l'aide d'une pince fine et les **déposer** sur une lame dans une goutte d'eau. **Éclater** délicatement ces structures, **recouvrir** d'une lamelle et **observer** au microscope.



Document 11 : Photographie de la culture sur boîte de Pétri de *Sordaria macrospora* mise à disposition

II.C. Q04 Identifier les différents phénotypes observables sur votre préparation et **compléter** le tableau suivant.

Appeler l'examineur pour évaluation de votre préparation et vérification de l'adéquation entre celle-ci et votre tableau.

Schématisation	Phénotypes observés					
Proportion (exemples)	68	63	45	42	44	43

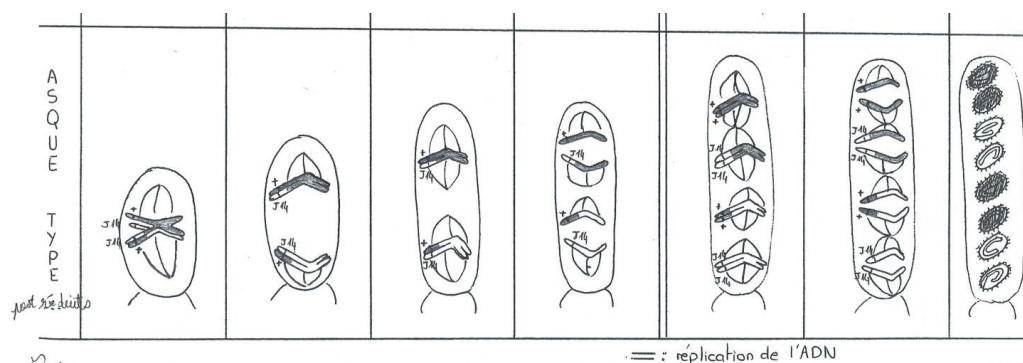
II.C. Q05 Expliquer les phénotypes observés. Votre réponse sera accompagnée de schémas.

Éléments de correction

Exemple de schéma explicatif : Sans crossing-over. Migration de chacun des chromosomes homologues vers un pôle ou l'autre donnant lieu à deux répartitions différentes.

	1 ^{ère} division de méiose		2 ^{ème} division de méiose		Mitose		
	métaphase	Ana phase	métaphase	anaphase	métaphase	anaphase	
ASQUE TYPE							

Avec crossing-over.



Les fréquences sont équiprobables dans chaque groupe ce qui traduit la migration aléatoire de chaque chromosome vers un des deux pôles de l'asque.

Une particularité pour cette question : certains candidats n'ayant rien produit aux questions précédentes ont ici réitéré leurs connaissances. Un point inquiète le jury quant aux connaissances concernant la méiose : plusieurs réponses montrent une grande incohérence entre les résultats pratiques et le croquis théorique et l'ensemble des combinaisons possibles après brassages est rarement mentionné.

La présentation est parfois confuse, un minimum de soin et une présentation explicite sont attendus de la part de futurs enseignants. Cette question a été réussie par moins de la moitié des candidats.

On s'intéresse à la production et à la libération des spores chez une espèce D mise à disposition (zone identifiée II.C. sur votre paillasse).

II.C. Q06 Réaliser une coupe histologique de l'échantillon proposé permettant de localiser la production des spores. **Réaliser** un croquis de votre préparation.

Appeler l'examineur pour évaluation de votre préparation et vérification de l'adéquation entre celle-ci et votre croquis.

Éléments de correction

Légendes : fronde en CT ; sporanges ; pédicelle ; sporanges regroupés en sores

Le jury a souvent noté des problèmes de lecture du sujet et de suivi des consignes : il était demandé une coupe transversale de fronde pas uniquement de sore ou même de sporange, il en est de même pour le croquis correspondant. Le soin global accordé aux croquis est souvent décevant : traits de légendes rarement tracés à la règle, échelle absente ou peu soignée..

II.C. Q07 Expliquer le mécanisme de libération des spores chez l'espèce D.

Éléments de correction

Chez le polypode, la libération des spores repose sur un mécanisme lié à l'état d'hydratation du sporange :

- Les spores sont contenues dans un sporange entouré d'une rangée de cellules aux parois épaissies inégalement appelée anneau mécanique.
- Dessiccation : Lorsque le temps est sec, les cellules de l'anneau mécanique se déshydratent. Par cohésion, la perte d'eau crée une tension qui rétracte les cellules de l'anneau et le déforme.
- Ouverture : cette tension provoque l'ouverture lente du sporange, exposant les spores.
- Projection : à un certain stade de déshydratation, la tension devient trop forte et provoque une rupture brutale (phénomène de cavitation). L'anneau se détend alors ce qui projette les spores.

Une question traitée trop rapidement par les candidats qui ont du mal à faire le lien entre la structure des parois de l'assise mécanique, la dessiccation et l'ouverture du sporange. Beaucoup de réponses superficielles qui se contentent de fournir les mots-clés sans réellement expliquer les mécanismes.

II.C. Q08 Discuter du caractère comparable, ou non, des grains de pollen et des spores en tant qu'unité de dispersion chez les Embryophytes.

Éléments de correction

Des origines différentes : spores issues de la méiose chez le sporophyte et haploïdes, grains de pollen issus de la méiose puis mitoses = gamétophyte mâle, également haploïde. Le grain de pollen véhicule les gamètes.

Comparaison de leurs structures en lien avec la dispersion : paroi des spores (sporopollénine, résistance), structure du grain de pollen (sporopollénine, exine, intine, aperture). Adaptations aux vecteurs de dispersion (vent, animaux). Valorisation si notion de convergence évolutive.

Rôles dans les cycles de vie : dispersion et non dissémination du pollen, conséquences génétiques ; dissémination des spores qui peuvent donner un nouvel individu.

La comparaison est rarement poussée, cependant, certains candidats pensent à relire l'introduction du TP afin d'appliquer les définitions fournies de « dispersion » et « dissémination » à la comparaison pollen / spore. La « sporopollénine » pourtant élément incontournable de cette comparaison (comme son nom l'indique !), n'est presque jamais citée. Certains candidats évoquent les spores de mycètes qui sont clairement hors-sujet.

Partie III – Dissémination d'une espèce invasive : la Renouée du Japon (*Fallopia japonica*)

III.A – Étude d'une espèce invasive

On s'intéresse dans cette partie à la dissémination d'une espèce invasive, la Renouée du Japon (*Fallopia japonica*), et aux conséquences sur les écosystèmes.

III.A. Q01 Définir une espèce invasive.

Éléments de correction

Une espèce exotique envahissante (EEE) est une espèce introduite par l'espèce humaine volontairement ou involontairement sur un territoire hors de son aire de répartition naturelle, et qui menace les écosystèmes, les habitats naturels ou les espèces locales.

Quatre étapes décrivent le processus invasif :

- L'introduction : une espèce arrive sur un territoire dont elle n'est pas originaire,
- L'acclimatation : l'espèce survit sur son nouveau territoire,
- La naturalisation : l'espèce se reproduit sur son nouveau territoire,
- L'expansion : l'espèce colonise ce territoire et s'étend, au détriment d'espèces locales qu'elle va supplanter voire totalement éradiquer.

L'idée d'introduction et de colonisation est généralement envisagée, plus rarement le rôle des activités humaines dans l'introduction volontaire ou involontaire.



Document 12 : Inflorescence de Renouée du Japon



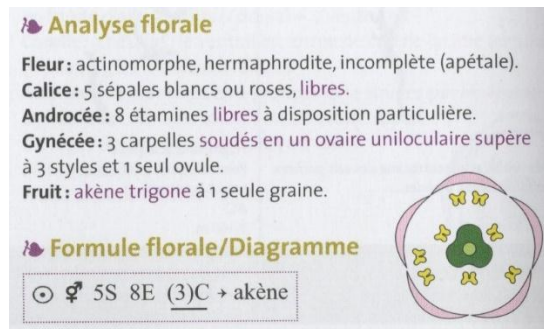
Document 13 : Structure de la fleur de Renouée du Japon

III.A. Q02 À l'aide des documents 12 et 13, **déterminer** le type d'inflorescence de la Renouée du Japon. **Donner** la formule florale et **réaliser** le diagramme floral d'une fleur de cette espèce.

Éléments de correction

Inflorescence = épi de cymes

La fleur comporte : 5 sépales soudés, (apétale), 8 étamines à anthères blanches insérées par 2 en face des 3 sépales " côtelés " ou isolément en face aux 2 autres sépales et 3 carpelles soudés.



Si les conventions dans la présentation d'une formule florale ou d'un diagramme floral sont généralement maîtrisées, il est particulièrement surprenant de voir que les candidats, dans leur majorité, ne présentent pas des diagrammes floraux en adéquation avec les formules florales proposées. Cela témoigne d'un manque de rigueur dans les analyses sur lequel le jury souhaite attirer l'attention. Des erreurs d'observations peuvent tout à fait se comprendre, des incohérences dans des modes de représentation complémentaires sont plus surprenantes.

Des recherches en biologie moléculaire conduites en Grande-Bretagne et en Europe ont montré que toutes les plantes étudiées appartiennent à un seul et même clone.

III.A. Q03 Formuler différentes hypothèses pour expliquer la colonisation de nouveaux territoires.

Éléments de correction

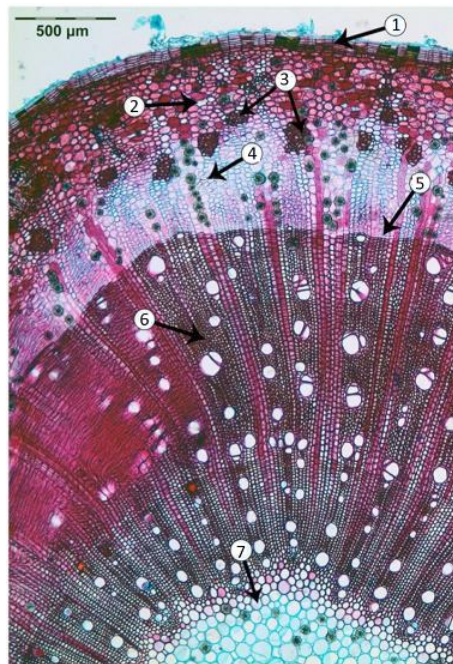
Puisque tous les plants forment un clone, on en déduit donc qu'ils dérivent d'une plante mère par reproduction asexuée ou multiplication végétative. Différentes parties d'une plante peuvent être impliquées dans la reproduction asexuée et on peut formuler l'hypothèse qu'il s'agit de tiges souterraines ou rhizome (ou de racines).

Si la reproduction asexuée a été envisagée par la très grande majorité des candidats, plusieurs hypothèses proposées ne prennent pas en compte le fait que toutes les plantes étudiées dérivent d'un même clone.

La Renouée du Japon présente des structures souterraines présentées ci-dessous.



Document 14 : 1. Jeune ramification. 2. Nœud. 3. Coupe transversale. 4. Tige et structure X étudiée.



Document 15 : coupe transversale de la structure X (coloration : réactif de Tucakov).

III.A. Q04 Compléter les légendes 1 à 7 du document 15.

Éléments de correction

1 : Suber/liège. 2 : parenchyme cortical. 3 : sclérenchyme. 4 : phloème II/liber; 5 : cambium; 6 : xylème II/bois hétéroxylé; 7 : parenchyme

La reconnaissance des tissus végétaux est globalement acquise par les candidats.

Un organe de même fonction à celui impliqué dans l'expansion de la Renouée du Japon est mis à votre disposition (échantillon E - zone identifiée III.A. sur votre paillasse).

III.A. Q05 Préparer des coupes transversales de l'organe proposé et **réaliser** une coloration au carmino-vert d'iode en suivant le protocole ci-dessous :

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

III.A. Q06 Réaliser un schéma d'interprétation de votre coupe avec les figurés conventionnels.

Appeler l'examineur pour évaluation de votre préparation et vérification de l'adéquation entre celle-ci et votre schéma.

Éléments de correction :

Coupe transversale de rhizome de Muguet :

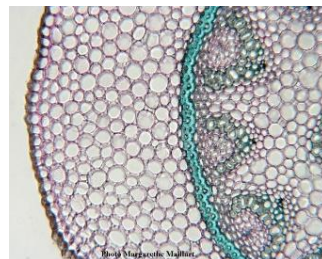
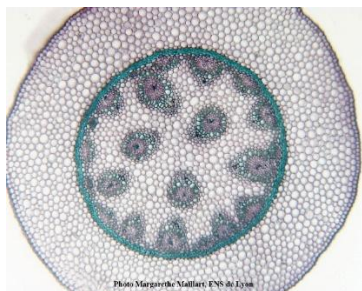


Schéma conventionnel : épiderme, parenchyme cortical, endoderme, parenchyme médullaire, cylindre central, xylème primaire, phloème primaire, faisceau cribro-vasculaire.

Absence de structure secondaire.

Des coupes de qualité ont été souvent observées. Une partie des candidats ne maîtrise pas les figurés conventionnels.

III.A. Q07 À partir des caractères macroscopiques et microscopiques observables, **réaliser** une diagnose de la structure étudiée.

Éléments de correction :

Diagnose :

- Coupe transversale présentant une symétrie axiale → tige, racine ou rhizome
- Faisceau de xylème primaire et massif de phloème primaire superposés en faisceaux cribrovasculaires + xylème primaire à différenciation centrifuge → cet organe est une tige
- Présence d'un endoderme et d'un cylindre central → caractère d'un organe souterrain
- Nombre important de faisceaux cribrovasculaires disposés sur plusieurs cercles → caractère de monocotylédone

Il s'agit d'une tige souterraine ou rhizome d'Angiosperme monocotylédone.

Une diagnose est une reconnaissance argumentée. Il est donc attendu que les critères soient mis spécifiquement en relation avec la déduction adéquate. Trop de candidats énoncent sans la moindre hiérarchie tous les caractères qu'ils ont mis et fournissent une conclusion globale, ce qui ne permet pas au jury d'évaluer l'argumentation ou d'identifier, en cas d'erreur, l'origine de celle-ci et ainsi valoriser ce qui peut l'être.

La question a ainsi été assez peu réussie alors qu'elle a été traitée par la très grande majorité des candidats.

III.A. Q08 Comparer cette structure avec celle de la Renouée du Japon et **préciser** comment celle-ci peut être responsable de la colonisation de nouveaux milieux.

Éléments de correction :

Comparaison : dicotylédone/monocotylédone

Colonisation de nouveaux milieux : multiplication végétative (propagation par fragmentation), présence de réserves, croissance horizontale et extension spatiale.

Une question avec deux parties implique une réponse pour chacune d'entre elles. Trop peu de candidats ont comparé les échantillons et se sont focalisés sur la colonisation de nouveaux milieux. Les quelques candidats ayant réalisé une comparaison avant de répondre sur la colonisation de nouveaux milieux ont ainsi été valorisés.

III.B – Conséquences écologiques

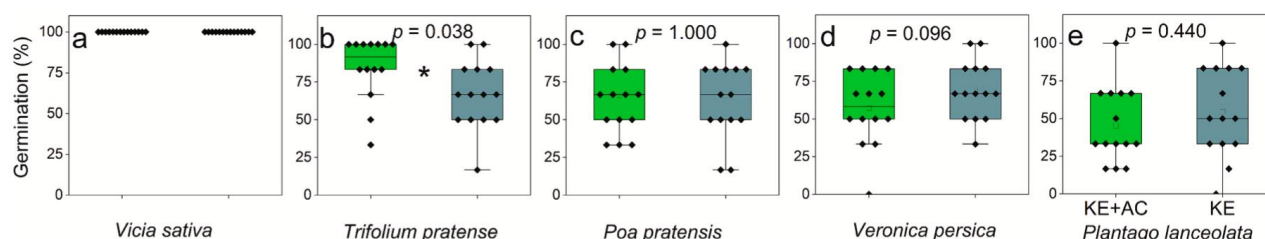
Les structures de la Renouée du Japon étudiées précédemment (partie III.A) sont capables de libérer dans le sol différents composés dont les effets sont étudiés. L'étude a été réalisée en Normandie sur 14 quadrats sur lesquels ont été plantées cinq espèces végétales différentes après avoir été mises à nu mécaniquement. Des extraits des structures souterraines de la Renouée du Japon, filtrés ou non, ont été pulvérisés sur les parcelles pendant 3 mois.

La solution KE contient l'ensemble des composés issus du broyage de la Renouée du Japon alors que la solution KE + AC est une solution témoin filtrée qui ne contient plus les métabolites émis par la plante.

Des mesures ont été réalisées sur la germination et la croissance des 5 espèces végétales ainsi que sur le microbiote du sol (bactéries et champignons) et la faune (collemboule = mésofaune et nématode = microfaune).

Pour tous les documents suivants, les *p-value* correspondent aux tests statistiques de comparaison des paires pour chacun des graphiques.

Pour tous les graphiques en boîtes à moustache suivants, les points noirs représentent les observations ($n = 14$). Les lignes centrales sont les médianes, les limites des boîtes représentent les quartiles supérieur et inférieur et les moustaches représentent 1,5 fois l'étendue inter-quartiles.

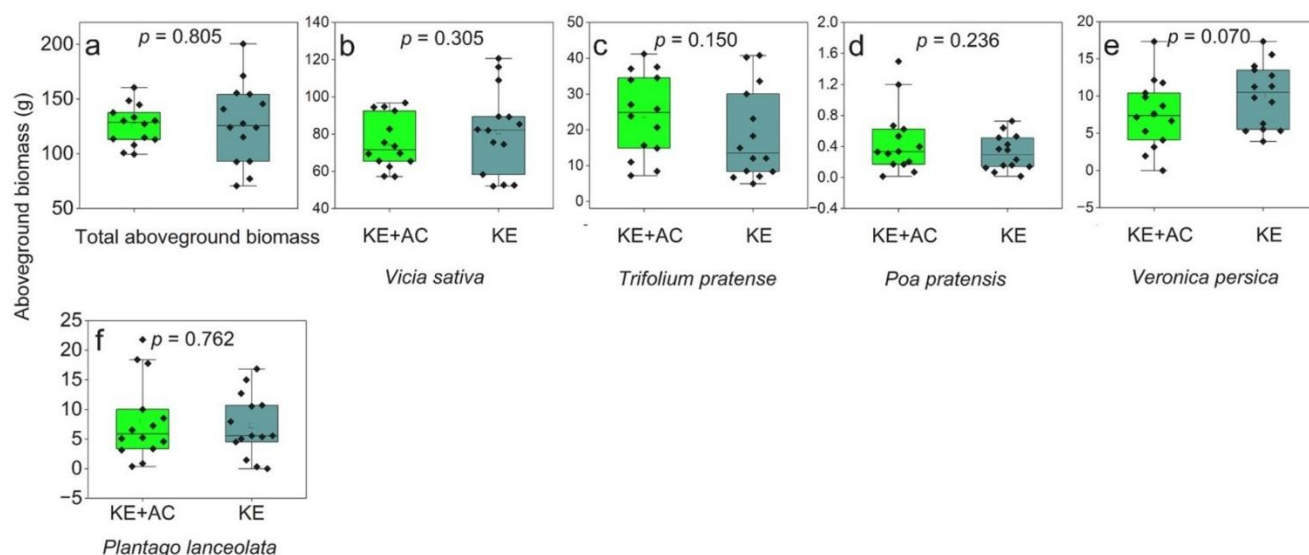


Document 16. Effet des solutions avec ou sans métabolites de Renouée du Japon, sur la germination de 5 espèces différentes

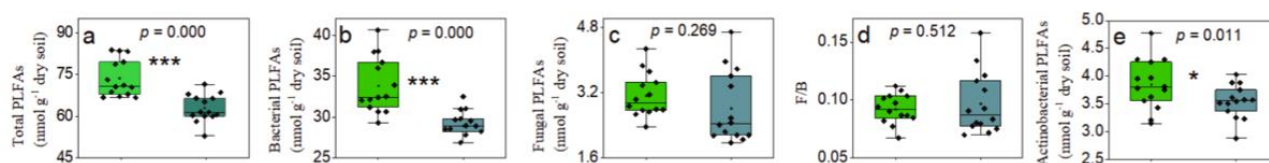
	KE + AC	KE	p-Values
Total N (g kg ⁻¹ dry soil)	1.25 ± 0.01	1.25 ± 0.01	0.877
Total C (g kg ⁻¹ dry soil)	13.59 ± 0.20	13.68 ± 0.19	0.658
C/N	10.86 ± 0.07	10.92 ± 0.07	0.559
pH	7.98 ± 0.02	7.98 ± 0.03	0.982
Phosphorus (mg g ⁻¹ dry soil)	0.47 ± 0.01	0.47 ± 0.01	0.659
Ca (mg g ⁻¹ dry soil)	5.68 ± 0.22	5.54 ± 0.17	0.580
Mn (mg g ⁻¹ dry soil)	0.45 ± 0.01	0.45 ± 0.01	0.887
Mg (mg g ⁻¹ dry soil)	2.11 ± 0.02	2.10 ± 0.03	0.762
Potassium (mg g ⁻¹ dry soil)	3.83 ± 0.09	3.80 ± 0.10	0.383
NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹ dry soil)	2.23 ± 0.22	2.60 ± 0.26	0.303
NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹ dry soil)	3.51 ± 0.33	4.33 ± 0.28	0.051
Soil Moisture (%FW)	8.23 ± 0.68	8.80 ± 0.26	0.417

Document 17. Effet des solutions avec ou sans métabolites de Renouée du Japon sur les propriétés du sol

Les valeurs correspondent aux moyennes +/- l'erreur standard. $n = 14$.

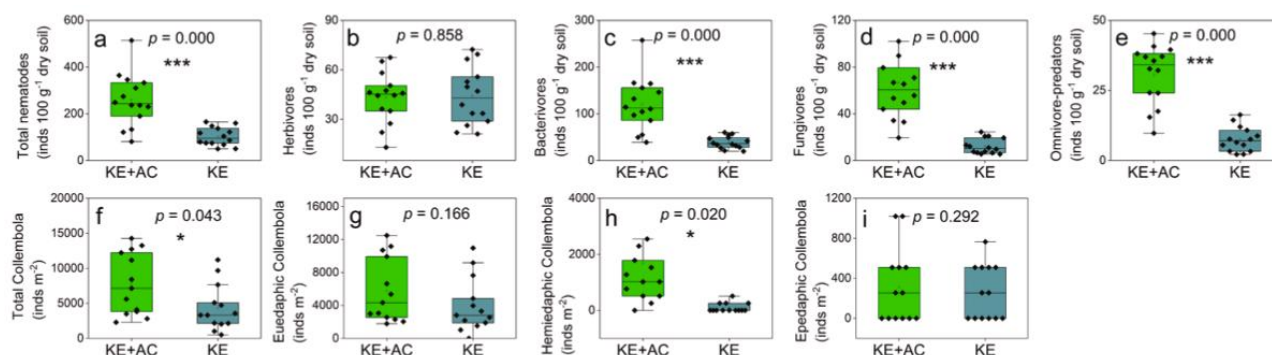


Document 18. Effet des solutions avec ou sans métabolites de Renouée du Japon sur la biomasse aérienne



Document 19 : Effet des solutions avec ou sans métabolites de Renouée du Japon sur la biomasse microbienne du sol

L'extraction et l'analyse des PLFA dans les sols est une technique de quantification de la biomasse microbienne vivante du sol



Document 20. Effet des métabolites produits par la Renouée du Japon sur les Nématodes et les Collembolans

III.B. Q01 Analyser les conséquences écologiques possibles de la colonisation d'un milieu par la Renouée du Japon à partir de l'analyse des documents 16 à 20.

Éléments de correction

Étude des propriétés allélopathiques de la Renouée du Japon. Les chercheurs ont comparé l'influence de solutions contenant des métabolites de la plante (KE) à des solutions témoins filtrées (KE + AC) sur le développement végétal et la vie du sol.

Doc. 16 : Germination du *Trifolium pratense* (trèfle) significativement réduite par la solution KE. Absence d'effet notable pour les autres espèces (*Vicia sativa*, *Poa pratensis*, *Veronica persica*, et *Plantago lanceolata*) → Les composés de la Renouée ne bloquent pas la germination de toutes les espèces de manière uniforme mais ciblent spécifiquement certaines plantes comme le trèfle.

Doc. 17 : Ce tableau compare divers paramètres du sol (azote, carbone, pH, minéraux, humidité). Il n'y a aucune différence significative dans la composition physico-chimique du sol entre le témoin et le traitement KE. ($p > 0,05$) → Les effets observés sur la flore et la faune ne sont pas dus à une modification de ces propriétés physico-chimiques du sol ou de son pH, mais à une action directe des métabolites de la plante = allélopathie.

Doc. 18 : On mesure la biomasse aérienne produite (croissance) des plantes ayant réussi à germer. Que ce soit pour la biomasse totale ($p=0,805$) ou pour chaque espèce individuellement, aucune réduction significative de la biomasse n'est constatée. Après la phase de germination passée, les métabolites de la Renouée ne semblent pas freiner la production de biomasse des plantes testées.

Doc. 19 : Effet sur la biomasse microbienne du sol (PLFA). L'analyse des acides gras phospholipidiques (PLFA) permet de quantifier les micro-organismes vivants.

Diminution importante et significative de la biomasse totale ($p=0,000$), des bactéries ($p=0,000$) et des actinobactéries ($p=0,011$) dans les sols traités avec KE → Impact important sur les bactéries. Par contre, pas de différence significative ($p=0,269$) pour les champignons (Fungal PLFAs). → Résistance fongique.

La Renouée du Japon perturbe l'équilibre microbien du sol et principalement les bactéries. Le microbiote de nombreuses espèces peut être modifié.

Doc. 20 : Effet sur les Nématodes et les Collemboles.

Réduction significative du nombre total de nématodes ($p=0,000$), touchant particulièrement les bactériophages, les fungivores et les omnivores-prédateurs. Seuls les herbivores ne sont pas impactés ($p=0,858$).

La population totale de collemboles est significativement réduite ($p=0,043$), cet effet étant surtout marqué pour les collemboles hémiedaphiques ($p=0,020$) qui vivent dans les couches superficielles.

→ Les métabolites de la Renouée ont un effet toxique ou répulsif important sur une grande partie de la faune du sol, ce qui peut altérer les cycles de décomposition et la chaîne trophique souterraine

Bilan de l'analyse : les extraits de Renouée du Japon agissent comme des perturbateurs de l'écosystème, affectant la faune et les microorganismes du sol sans modifier les nutriments. minéraux.

Un exercice qui s'est révélé très discriminant avec deux types de copies :

- Pour environ 30% des copies, les candidats ont pris le temps de lire les documents et les ont bien compris : dans ce cas, il n'y avait pas toujours assez de place pour leur rédaction, et ils ont donc adopté un style télégraphique. Celui-ci n'a pas été sanctionné quand le raisonnement était clair.

En revanche, une conclusion finale est peu réalisée et quelques arguments de proportionnalités ou les témoins sont parfois oubliés.

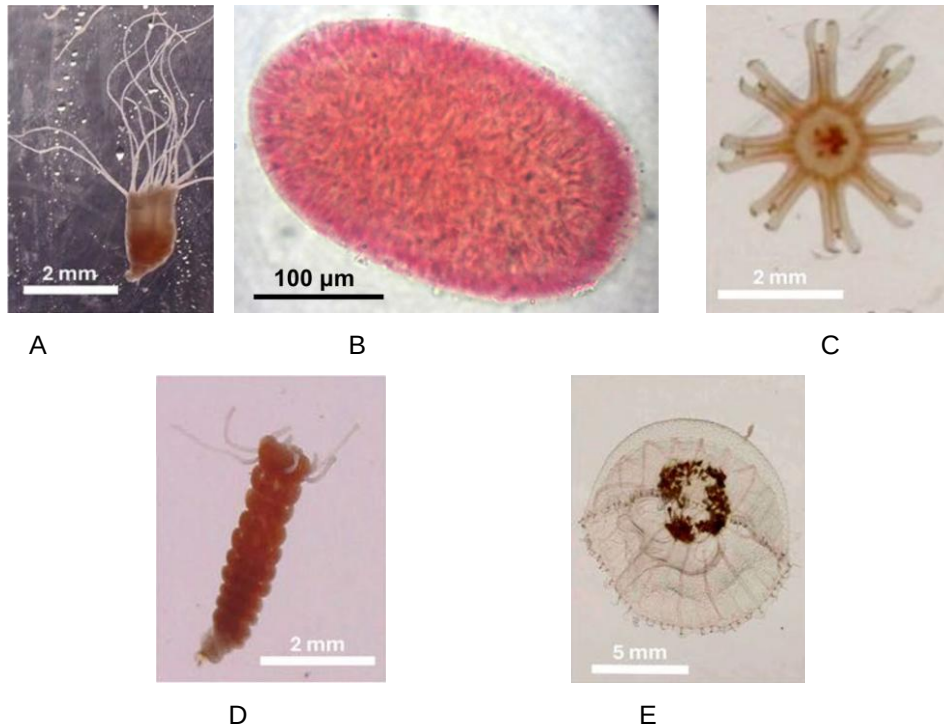
La note pour cette question s'est alors répartie entre deux-tiers des points et la totalité des points.

- Dans les 70% des copies restantes, cette question n'a pas été traitée, les candidats ont dû sans doute être effrayés par les boîtes à moustache, pourtant très facilement interprétables avec les valeurs p ajoutées.

Dans ces cas, pas de réponse, l'encadré est resté vide donc 0 point.

Partie IV – Dispersion dans l'eau

Les méduses du genre *Aurelia* font partie des espèces responsables des proliférations dans les eaux côtières (les blooms). *Aurelia aurita* a un cycle de vie dont différents stades sont présentés ci-dessous.

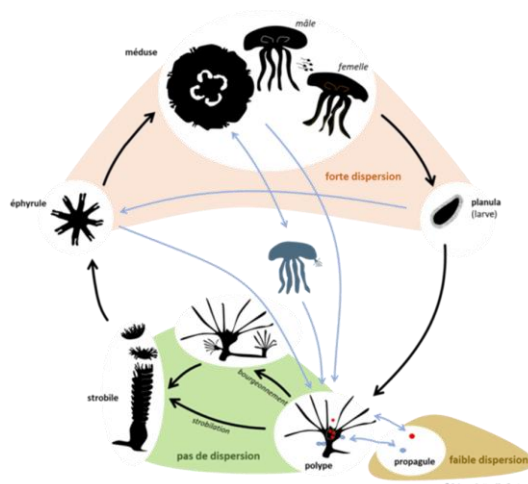


Document 21. Différents stades du cycle de vie d'*Aurelia aurita* observés au microscope optique

IV. Q01 Identifier les différents stades (A à E) du document 21 et les **positionner** sur un cycle de vie que vous réaliserez. **Préciser** sur celui-ci les potentialités de dispersion de chacun des stades.

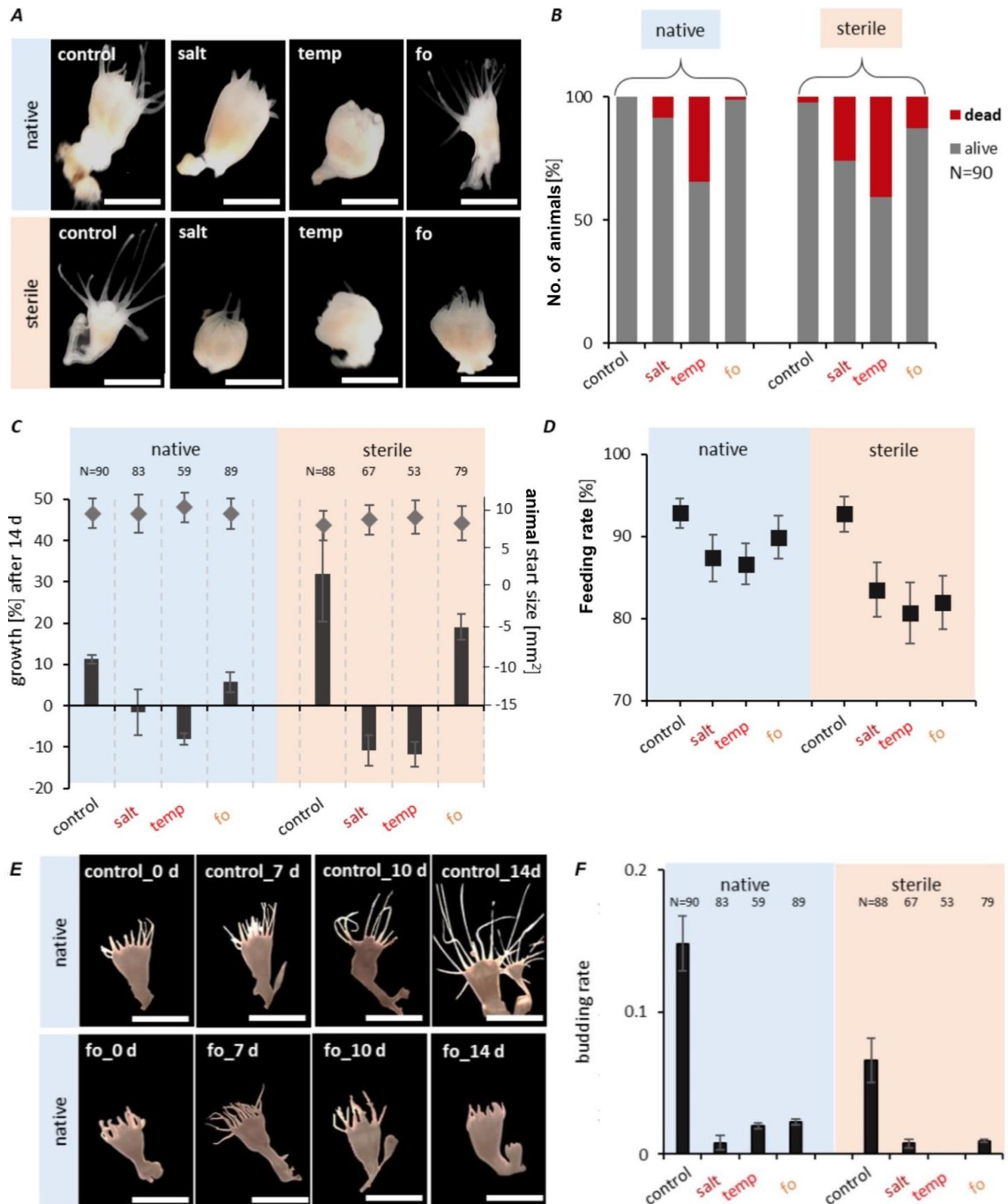
Éléments de correction :

Identification des différents stades de vie d'*Aurelia aurita* : stade A : polype, stade B : planula, stade C : éphyrule, stade D : strobile, stade E : méduse



Peu de candidats ont reconnu les stades de vie autres que polype et méduse. Par ailleurs, les stades méduse et éphyrule ont été régulièrement confondus. Enfin, la place et la potentialité de dispersion de la larve planula ont été rarement traitées.

L'influence de différents paramètres sur le stade A (cf. document 21) d'*Aurelia aurita* a été étudiée.



Document 22 :

A : Photographies du stade A d'*Aurelia aurita* pour chaque traitement après 14 jours (**native** : avec microbiote ; **sterile** : sans microbiote ; **control** : température de 20°C et salinité de 30 psu ; **salt** : 20°C et 40 psu ; **temp** : 30°C et 30 psu ; **fo** = **future ocean scenario** : 25°C et 37 psu). Les barres d'échelle correspondent à 1 mm.

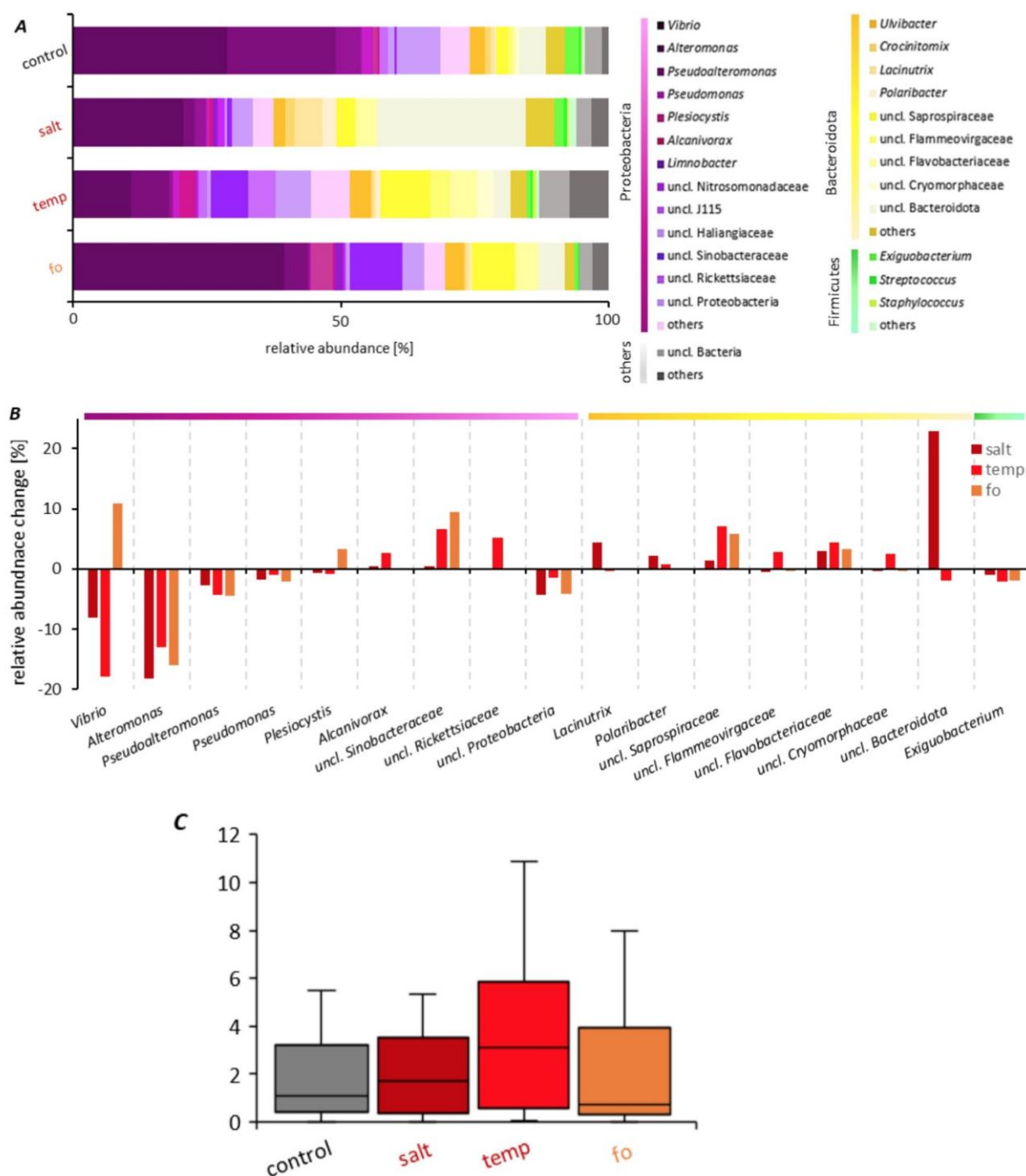
B : Pourcentage d'individus morts et vivants après 14 jours.

C : Taux de croissance après 14 jours (légende à gauche) et taille moyenne initiale (légende à droite) des individus. Les barres d'erreur indiquent les écarts-types.

D : Taux d'alimentation moyen sur 5 jours de suivi (20 proies sont introduites dans le milieu ; au bout d'une heure, les proies restantes sont dénombrées).

E : Photographies du bourgeonnement du stade A d'*Aurelia aurita* en conditions contrôle et océan futur suivi pendant 14 jours. Les barres d'échelle correspondent à 2 mm.

F : Taux moyen de bourgeonnement suivi toutes les 48h pendant 14 jours (nombre de bourgeons produits par semaine) en fonction des conditions testées.



Document 23 : Composition de la communauté microbienne du stade A d'*Aurelia aurita* soumis à un stress environnemental

Les communautés microbiennes ont été analysées en séquençant la région V1-V2 du gène de l'ARNr 16S bactérien. Les abondances des OTU ont été regroupées au niveau du genre.

A : Genres dominants (atteignant au moins 1% d'abondance relative) après 14 jours de maintien en condition contrôle et dans les conditions indiquées.

B : Différences d'abondances relatives de genres dominants au 14^e jour par rapport aux conditions contrôle.

C : Indice de Shannon

IV. Q02 À partir de l'analyse des documents 22 et 23, **identifier** les conditions environnementales influençant la dispersion d'*Aurelia aurita*.

Éléments de correction :

Taux de mortalité des polypes :

Augmentation de la salinité → faible taux de mortalité (9%) / contrôle (0%)

Augmentation de la température → taux de mortalité significatif (34%) / contrôle (0%)

Croissance des polypes :

Augmentation de la salinité → taux de croissance négatif (-1%) / contrôle (10%)

Augmentation de la température → taux de croissance négatif (-8%) / contrôle (10%)

Alimentation des polypes :

Augmentation de la salinité et de la température → diminution du nombre de proies capturées (respectivement -5 points et -6 points / contrôle)

Bourgeonnement :

Augmentation de la salinité et de la température → diminution du nombre de bourgeons formés (respectivement -95% et -85% / contrôle)

Sans microbiote :

Croissance plus importante / contrôle

Bourgeonnement moins important / contrôle

Augmentation de la salinité et de la température → taux de mortalité plus importante, taux de croissance plus faible, diminution du nombre de proies capturées plus importante, diminution du nombre de bourgeons formés plus importante

La température est le paramètre le plus délétère pour la survie des polypes d'*A. aurita*

Présence d'un microbiote protectrice contre les stress environnementaux

Composition du microbiote :

Contrôle : Protéobactéries majoritaires

Augmentation de la salinité et de la température → diminution de leur proportion (-36 points et -22 points respectivement)

Indice de Shannon ne diffère pas significativement : diversité spécifique peu modifiée

Augmentation de la salinité et de la température → dysbiose

Peu de candidats ont traité cette question. Pour ceux l'ayant traité, la réponse s'est souvent limitée à des conclusions sans justifications.

IV. Q03 À l'aide du matériel disponible (zone identifiée IV sur votre paillasse), **déposer** une goutte de la suspension mise à disposition et quelques fibres de coton entre lame et lamelle et **observer** au microscope. **Réaliser** un croquis de l'organisme observé et **indiquer** sa position systématique.

Éléments de correction :

Larve nauplius (œil nauplien, 3 paires d'appendices natatoires : antennules, antennes, mandibules)

Euarthropodes, Mandibulates, Pancrustacés



Quelques candidats ont reconnu une larve nauplius. Des confusions avec des organismes unicellulaires ont été relevées.

IV. Q04 À l'aide du matériel disponible (zone identifiée IV sur votre paillasse), **proposer** un protocole expérimental permettant de mettre en évidence l'influence de la luminosité sur le comportement de cet organisme.

Éléments de correction

Témoin/test, plusieurs larves, mise à l'obscurité au préalable (ex. : 20 min)

Vérification des autres paramètres maintenus constants.

Les protocoles expérimentaux proposés manquaient globalement de rigueur : luminosité décrite de façon vague (distance à la source de lumière et durée d'exposition non précisées), absence de témoin.

IV. Q05 Mettre en œuvre votre protocole expérimental. **Présenter** vos résultats ci-dessous.

Éléments de correction

Présentation des résultats sous une forme au choix du candidat permettant de mettre en évidence une densité différente des individus selon la quantité de lumière.

Peu de candidats ont traité cette question. La présentation des résultats s'est souvent limitée à quelques lignes, sans tableau ou croquis.

IV. Q06 Expliquer vos résultats (mécanismes physiologiques, fonctions écologiques). **Discuter** des limites du protocole réalisé.

Éléments de correction :

Mécanismes physiologiques : phototaxie positive ; œil nauplien et photorécepteurs, intégration par le système nerveux, réponse motrice

Fonctions écologiques : déplacement vers les zones riches en microalgues (source de nourriture)

Limites du protocole : quantification, etc.

Les quelques candidats ayant traité cette question ont mis en évidence la phototaxie positive des larves nauplius et l'ont liée aux fonctions écologiques. Le jury a accepté toute limite du protocole qui était pertinente.

Références bibliographiques et sitographiques

Environmental morphing enables informed dispersal of the dandelion diaspore, M. Seale et al., eLife, 2022

*The load-bearing mechanism of plant wings: a multiscale structural and mechanical analysis of the *T. tipu samara**, Z. Ezra et al., Acta Biomaterialia, 2023

<https://biologie.ens-lyon.fr/ressources/Biodiversite/Documents/la-plante-du-mois/le-gui-une-plante-parasite-dispersee-par-les-oiseaux>

<https://biologie.ens-lyon.fr/ressources/Biodiversite/Documents/la-plante-du-mois/le-gui-une-plante-parasite-au-cycle-de-vie-original>

Influence de la dispersion endozoochore sur la composition des communautés végétales : une approche fonctionnelle basée sur trois ongulés sauvages, M. Picard, Université d'Orléans, École doctorale Santé, Sciences biologiques et Chimie du vivant, 2014

<https://biologie.ens-lyon.fr/ressources/Biodiversite/Documents/la-plante-du-mois/la-renouee-du-japon-a-la-conquete-du-monde>

*La renouée du Japon : *Polygonum cuspidatum* Sieb. et Zucc. (Polygonaceae)*, A. Constancias, Université Joseph Fourier, Faculté de Pharmacie de Grenoble, 2008

*Anatomical study of Japanese Knotweed (*Reynoutria japonica* Houtt., Polygonaceae): key insights for identifying an invasive species with medicinal traits*, D. Stojanovic et al., Lekovite sirovine, 2024

*Fungal-based soil food webs, not local plant nor abiotic properties, are most affected by rhizome-derived secondary metabolites of Japanese knotweed (*Reynoutria japonica*)*, F. Sun et al., Applied Soil Ecology, 2025

Is the presence of jellyfish problematic or beneficial?, U. Darumas, Walailak J Sci & Tech, 201

*Metamorphosis in *Aurelia aurita* from polyp to medusa: assessing composition and metabolism throughout development*, V. Romero-Kutzner et al., Marine Life Science & Technology, 2025

*Microbial community changes correlate with impaired host fitness of *Aurelia aurita* after environmental challenge*, N. Pinnow et al., Animal Microbiome, 2023

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

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2026

TRAVAUX PRATIQUES DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR C

Durée totale : 6 heures

Géologie des Pyrénées et du Bassin d'Aquitaine

Les différentes parties sont indépendantes. Certaines questions nécessitent des observations sur des postes de travail (échantillons macroscopiques, lames minces, expériences, modélisation numérique). Un ordre de passage vous permettra d'accéder aux postes de travail. Organisez-vous en conséquence. **Cependant, la réalisation des ateliers ne conditionne pas la finalisation des différentes parties.**

Partie I. Sédimentologie le long de la Garonne <i>Durée conseillée : 2h → 32% des points</i> <i>ATELIER 1 (30 mn) – Expérience dans le couloir : « Hjulström »</i>	p. 2 à 21
Partie II. Géophysique dans les Pyrénées <i>Durée conseillée : 1h → 16% des points</i> <i>ATELIER 2 (15 mn) – Modélisation numérique (salle informatique)</i>	p. 22 à 33
Partie III. Géologie de Cap de Creus <i>Durée conseillée : 1h30 → 27% des points</i> <i>ATELIER 3 (20 mn) – Échantillons (macroscopique et lames)</i> Partie IV. Les grottes du sud-ouest : entre processus géologiques et occupations humaines <i>Durée conseillée : 1h30 → 25% des points</i> <i>ATELIER 4 (20 mn) – Échantillons (macroscopiques et lames)</i>	p.34 à 52 p.53 à 72

Les réponses aux questions figureront dans les cadres réservés à cet effet. Vous avez à votre disposition
une calculatrice non programmable.

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

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier.

COMMENTAIRE GÉNÉRAL :

Le sujet de TP de spécialité de secteur C était constitué de quatre parties indépendantes, adossées à trois ateliers pratiques, couvrant un large spectre disciplinaire des géosciences. Cette diversité en fait un test exigeant de la capacité des candidats à mobiliser, sur un temps contraint de six heures, des compétences très différentes.

Le jury relève d'abord des points positifs sensibles : les questions d'observation directe et d'interprétation qualitative de documents sont assez bien réussies. Les meilleures copies présentaient des réponses argumentées et pertinentes, ainsi qu'une capacité à faire preuve de réflexion et d'esprit critique.

Ces réussites contrastent cependant avec plusieurs défauts. Le premier concerne la rigueur méthodologique et le vocabulaire scientifique : les candidats confondent fréquemment des notions voisines mais distinctes, ce qui fragilise les raisonnements scientifiques. Le jury signale par ailleurs que certains candidats, connaissant par avance la conclusion attendue, orientent leur démarche ou ajustent leurs résultats, plutôt que de respecter une démarche scientifique. Cette façon de procéder n'a pas été valorisée, contrairement aux candidats capables de critiquer leurs résultats et interprétations, y compris lorsque ceux-ci ne correspondaient pas à ce qui était attendu.

Le jury insiste également sur la faiblesse formelle des productions graphiques : coupe géologique, schéma structural, dessins d'observation microscopique et graphiques de résultats expérimentaux manquent trop souvent d'un titre, d'une échelle, d'une légende ou de soin, alors même que le fond scientifique est parfois correct.

Une autre difficulté tient à la mise en relation des échelles et des documents entre eux : le jury constate que les documents sont trop souvent traités de façon juxtaposée plutôt qu'intégrée.

Une remarque concerne enfin la gestion du temps, qui apparaît problématique : un nombre significatif de questions n'ont été traitées que par une minorité de candidats.

Pour information, dans le corrigé qui suit, le texte **en vert** indique des éléments de réponse aux questions (étant parfois plus précis qu'attendus) et le texte **en bleu** indique les commentaires du jury sur le traitement effectif de la question par les candidats.

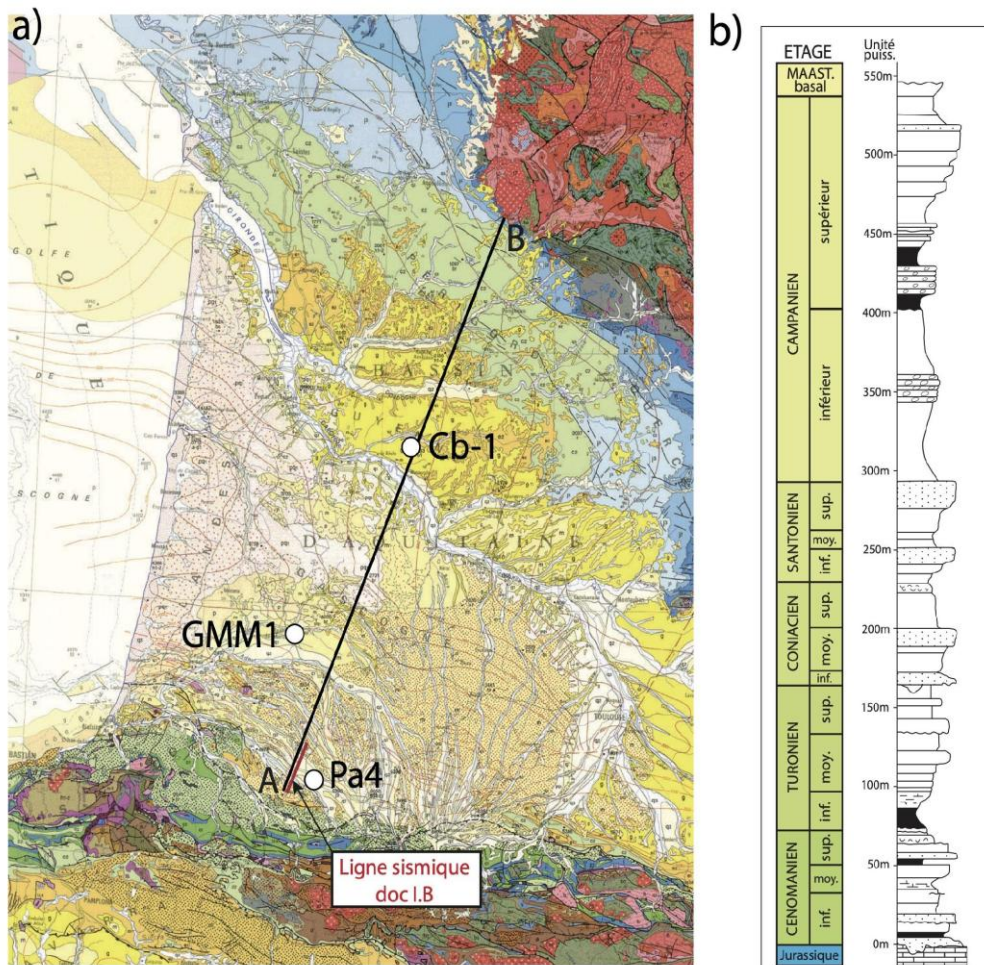
Partie I. Sédimentologie le long de la Garonne

Le Bassin d'Aquitaine est un vaste bassin sédimentaire du sud-ouest de la France, ouvert vers l'océan Atlantique et limité par le Massif central au nord-est et la chaîne des Pyrénées au sud. La carte géologique de la France au 1/1 000 000^{ème} permet d'en analyser la structure et la géométrie d'ensemble. D'autres documents permettront ensuite d'aborder la géomorphologie du bassin, puis d'étudier la sédimentation passée et actuelle, notamment le long de la Garonne.

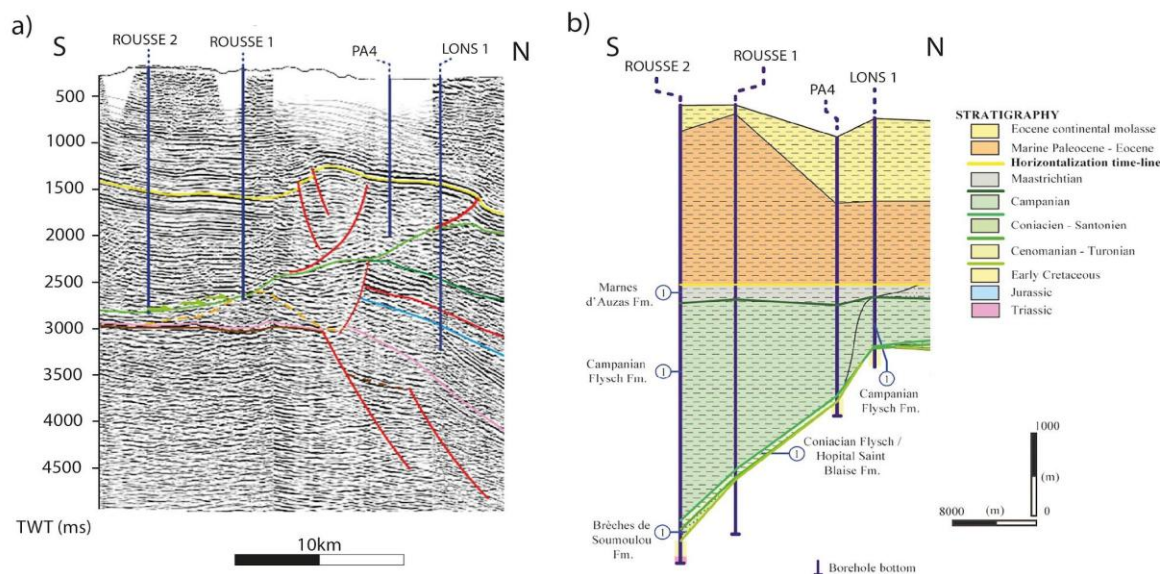
I-A Structure géologique du Bassin d'Aquitaine

L'objectif de cette partie est d'établir la structure géologique du Bassin d'Aquitaine. Pour cela, vous disposez de la carte de France métropolitaine au 1/1 000 000^{ème} et de plusieurs documents.

Document I.A : a) Extrait de la carte géologique de la France au 1/1 000 000^{ème} avec localisation du trait de coupe (question I.1), de la ligne sismique du document I.B et des forages du document I.C b) Log stratigraphique synthétique du Nord du Bassin d'Aquitaine selon Platel (1996), modifié.



Document I.B : a) Profil obtenu par sismique réflexion (localisation sur le document I.A) et interprétation, selon Issautier et al. (2022) **b) Calibration en profondeur avec les données de puits** de Rousse, Pau et Lons pour la ligne sismique présentée en a) selon Issautier et al. (2022).



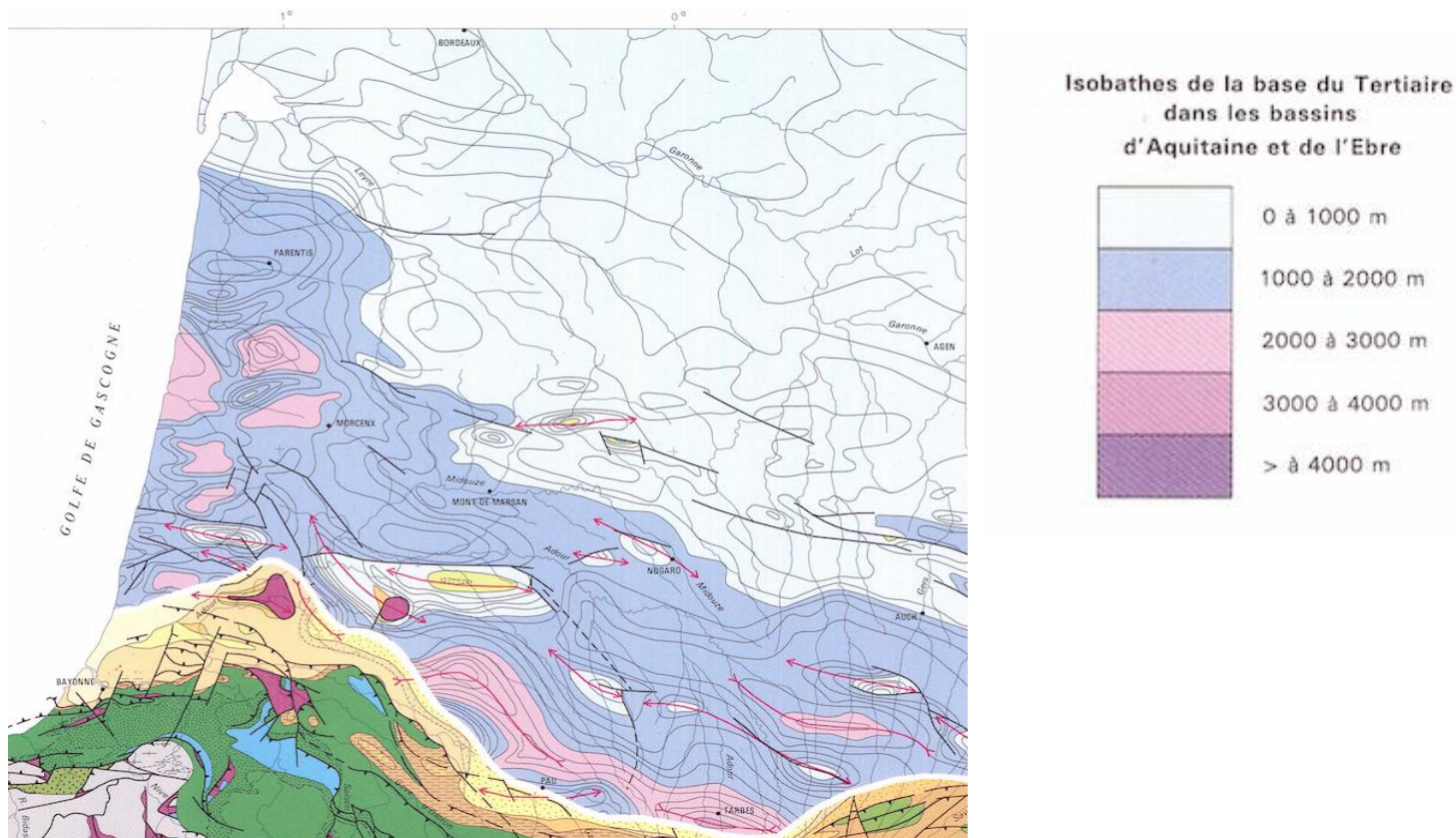
Document I.C : Données synthétiques de 3 forages localisés sur le document I.A, selon les notices des cartes géologiques de Pau (Pa4), de Mont-de-Marsan (GMM1) et de Cancon (Cb-101).

Forage Pa4	
	Epaisseurs en m
Côte sol (en m)	168
Quaternaire	26
Oligo-Miocène	790
Cuisien (Eocène)	715
Paléocène	177
Calcaires de Lasseube (Paléocène)	74
Maastrichtien	469
Campanien	982
Albien	115

Forage GMM1	
	Epaisseurs en m
Côte sol (en m)	62
Quaternaire	-
Miocène	227
Oligocène	228
Eocène supérieur	185
Eocène moyen	283
Eocène inférieur	87
Paléocène	138
Crétacé supérieur	627
Crétacé inférieur	805
Jurassique	>128

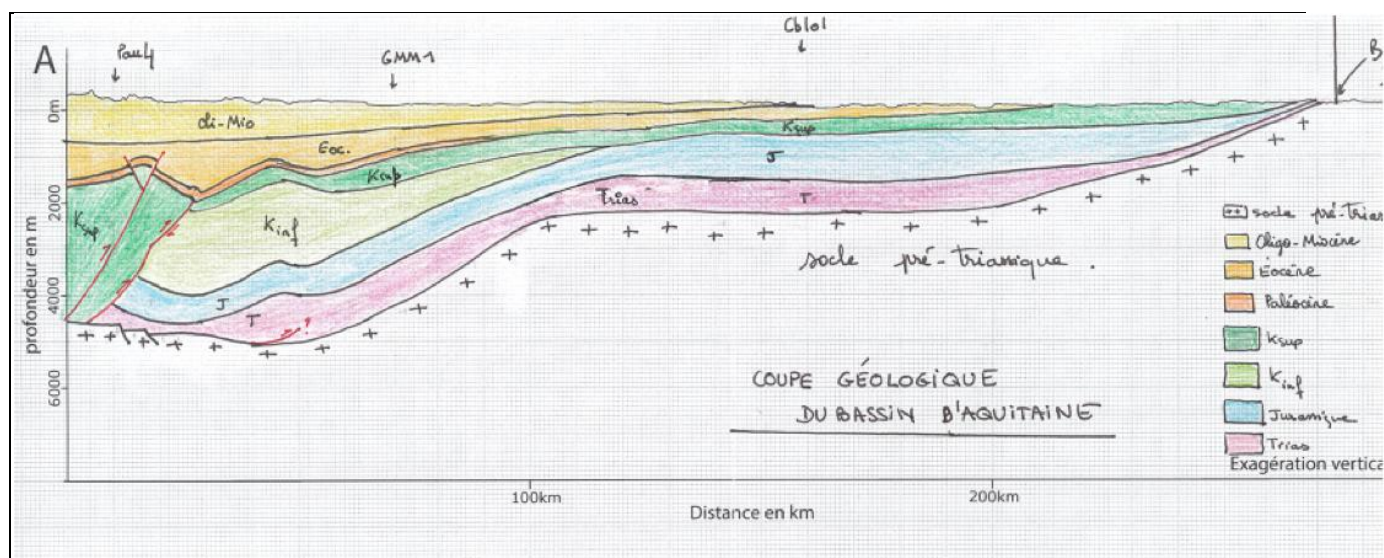
Forage Cb-101	
	Epaisseurs en m
Côte sol (en m)	54
Oligo-Miocène	55
Eocène supérieur	73
Eocène moyen	59
Eocène inférieur	92
Paléocène	-
Crétacé supérieur	402
Malm	56
Dogger	380
Lias	467
Trias	132

Document I.D : Carte des isobathes de la base du Tertiaire dans le Bassin d'Aquitaine issue de la Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées (BRGM, AGSO).



Question I.1. Sur la base des données de la carte de France métropolitaine au 1/1 000 000^{ème} et des documents I.A, I.B, I.C et I.D, **réaliser** une coupe géologique SSW-NNE du Bassin d'Aquitaine le long du trait de coupe A-B (localisé sur le document I.A) sous le profil topographique imprimé sur papier millimétré fourni en Annexe 1

Réponse à la question I.1. → sur la feuille A3 (Annexe 1)



Le jury observe qu'un nombre significatif de candidats n'a pas réalisé cette coupe, bien qu'il s'agisse d'un exercice classique des travaux pratiques de l'agrégation. Cette lacune est d'autant plus regrettable que ce type de représentation est régulièrement mobilisé au cours de la préparation au concours.

Question I.2. À partir de l'analyse de la coupe réalisée, de la carte de France métropolitaine au 1/1 000 000^{ème} et des documents I.A à I.D, **caractériser** la structure générale du Bassin d'Aquitaine et **interpréter** les variations de géométrie de ses unités stratigraphiques

Réponse à la question I.2.

La coupe met en évidence une géométrie dissymétrique du Bassin d'Aquitaine et une répartition hétérogène des épaisseurs sédimentaires. Vers le Nord, les formations s'amincissent progressivement jusqu'à disparaître localement en biseau vers le Massif central, traduisant une diminution de l'espace d'accommodation vers cette marge peu subsidente. Dans la partie Nord du bassin, les séries demeurent relativement tabulaires, ce qui témoigne d'une subsidence thermique post-rift modérée. À l'inverse, vers le Sud, les formations s'épaississent nettement en direction des Pyrénées, traduisant une augmentation de la subsidence liée à la flexure lithosphérique induite par l'orogénèse pyrénéenne. Cette évolution conduit à la mise en place d'un bassin d'avant-pays, où l'espace d'accommodation devient maximal au voisinage de l'orogène. La coupe enregistre plusieurs phases tectono-sédimentaires successives : un rifting triasique (visible sur la coupe sismique), une phase de subsidence thermique post-rift au Jurassique-Crétacé inférieur (avec, à noter, la disparition en biseau des sédiments du Crétacé inférieur vers le Nord, traduisant une diminution de l'espace d'accommodation du bassin d'Aquitaine vers le Nord à cette période), une réactivation extensive au Crétacé supérieur (épaisseurs très importantes à proximité des Pyrénées visibles sur la ligne sismique et sur les données de forages), puis une subsidence flexurale d'avant-pays au Cénozoïque lors de l'orogénèse pyrénéenne.

Cette succession illustre le caractère polyphasé du Bassin d'Aquitaine.

Le jury constate également un faible taux de réponse à cette question. Les réponses proposées reposent le plus souvent sur des connaissances générales relatives à la zone d'étude plutôt que sur une analyse rigoureuse des documents fournis et interprétations de la coupe réalisée. Or, la réponse attendue devait être construite à partir de l'exploitation des documents, les connaissances n'ayant vocation qu'à compléter et étayer l'analyse

I-B Géomorphologie le long de la Garonne

Long d'environ 650 km, le cours de la Garonne traverse des espaces contrastés, depuis les reliefs pyrénéens jusqu'aux plaines du sud-ouest, ce qui en fait un support privilégié pour analyser l'organisation et l'évolution des paysages fluviaux.

A partir du logiciel Google Earth, de sa fiche technique ([Annexe 2](#)), du fichier KMZ « Sédimentologie le long de la Garonne » et de l'ordinateur à disposition dans la salle, **répondre** aux questions ci-dessous. En l'absence de consignes spécifiques, l'analyse devra être menée à partir des images satellites les plus récentes

Question I.3. À partir de l'objet d'étude n°1, **décrire** les formes du relief observées et **proposer** une interprétation géomorphologique du modelé à l'échelle du paysage.

Réponse à la question I.3.



Observation d'une vallée glaciaire en auge, héritée du passage d'un glacier lors de la dernière période glaciaire, aujourd'hui occupée par un cours d'eau présentant un chenal méandrique et des bancs alluviaux temporaires.

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

Question I.4. À partir de l'objet d'étude n°2 et de la fonctionnalité « consulter les images d'archives », **réaliser** un schéma explicatif du paysage observé et de son évolution au cours du temps.

Réponse à la question I.4.



Observation d'un méandre avec un bord en érosion et l'autre en sédimentation. Relier cette organisation à la dynamique fluviale : l'augmentation de la vitesse du courant sur la rive externe du méandre entraîne l'érosion, alors que le ralentissement du courant sur la rive interne favorise la sédimentation.

Cette question a également été globalement bien réussie par les candidats. Le jury rappelle toutefois qu'un schéma doit être le plus clair et le plus informatif possible. Il convient notamment de lui donner un titre, d'y faire figurer une échelle, de recourir à un code couleur explicite et de représenter clairement la dimension temporelle lorsque celle-ci est pertinente.

Question I.5. À partir de l'objet d'étude n°2, **proposer** une explication des différences de couleur observées entre la Garonne et son affluent le Tarn, sur le secteur d'étude n°2.

Réponse à la question I.5.

Les différences de couleur observées entre la Garonne et le Tarn peuvent être expliquées par plusieurs hypothèses. Les candidats pouvaient notamment invoquer des différences de charge sédimentaire, de vitesse d'écoulement ou encore de nature des roches affleurant dans les bassins versants respectifs.

Le jury a apprécié la diversité et la pertinence des hypothèses proposées par les candidats. Cette question a donné lieu à des réponses souvent riches et argumentées, témoignant d'une réelle capacité à mobiliser les observations pour élaborer des interprétations cohérentes.

Question I.6. Identifier l'objet d'étude n°3 et **proposer** un schéma explicatif des processus ayant conduit à sa formation.

Réponse à la question I.6.

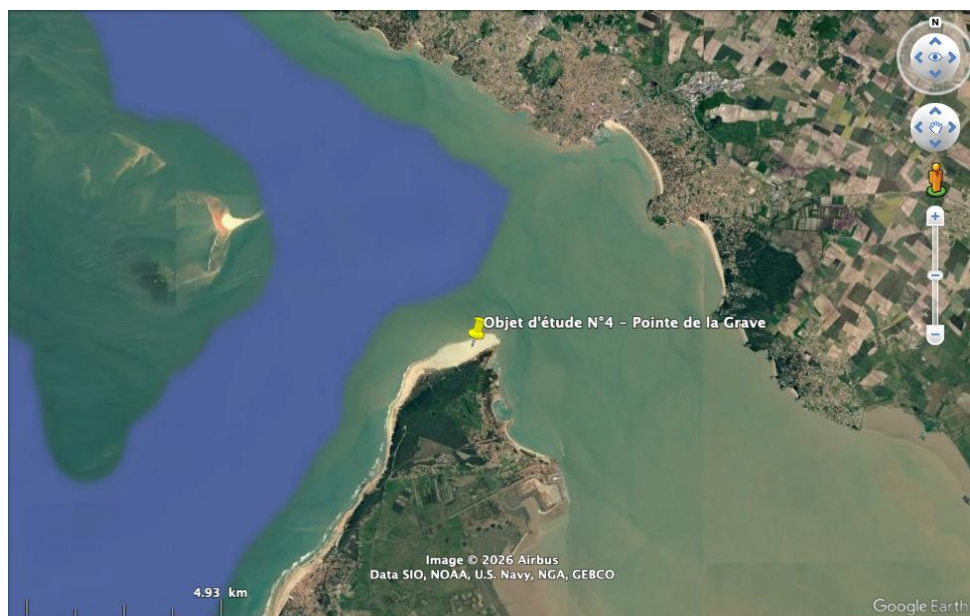


Schéma expliquant la formation d'un bras mort (méandre recoupé, oxbow).

Cette question a également été globalement bien réussie par les candidats.

Question I.7. À partir de l'objet d'étude n°4 et de la fonctionnalité « consulter les images d'archives », identifier la structure observée et **expliquer** son évolution morphologique au cours du temps.

Réponse à la question I.7.



Flèche littorale - évolution avec les courants océanique (dont le courant littoral).

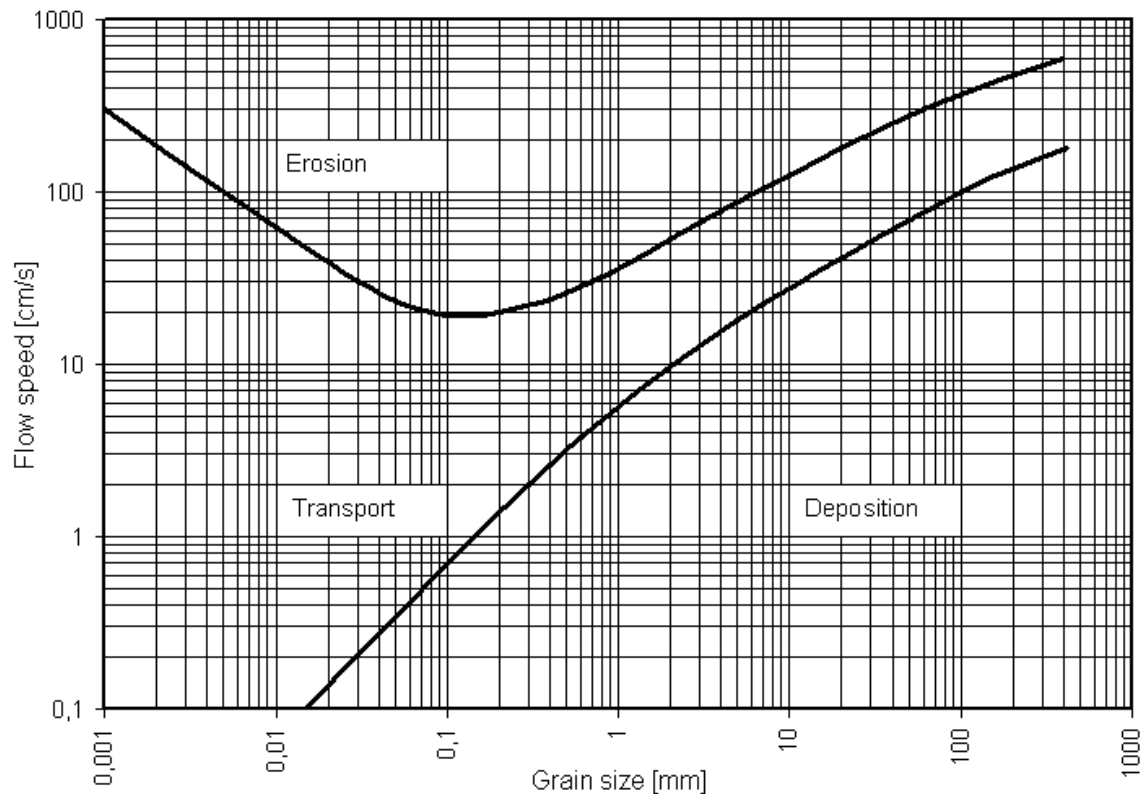
La notion de flèche littorale, ainsi que son évolution sous l'action de la dérive littorale et des courants côtiers, semble insuffisamment maîtrisée par une grande majorité des candidats.

I-C Étude expérimentale des processus d'érosion, de transport et de dépôt : les expériences de Hjulström

ATELIER 1 : EXPERIENCE DANS LE COULOIR : HJULSTRÖ

En 1935, le géographe suédois Filip Hjulström publie « Studies of the morphological activity of rivers », posant les bases expérimentales des relations entre vitesse du courant, érosion, transport et dépôt

Document I.E : Diagramme de Hjulström



Question I.8. Définir en une phrase chacun des trois termes suivants : érosion, transport et dépôt.

Réponse à la question I.8.

Le jury a été déçu par les nombreuses imprécisions relevées dans les définitions proposées. Si la notion d'érosion peut effectivement recouvrir plusieurs acceptions selon le contexte, il convenait ici de la définir dans le cadre des travaux de Hjulström. Trop souvent, les candidats proposent des définitions identiques ou très proches pour les termes *érosion*, *transport* et *dépôt*, traduisant une confusion entre ces trois processus pourtant distincts. Sans ces définitions précises, la suite du raisonnement paraît difficile à réaliser.

L'érosion correspond à l'ensemble des processus provoquant l'arrachement et la mobilisation de matériaux à la surface de la Terre par un agent géologique (eau, vent, glace ou gravité). Le transport désigne le déplacement des particules ou matériaux ainsi arrachés par un agent de transport (cours d'eau, vent, glacier ou courants marins). Enfin, le dépôt (ou sédimentation) correspond à l'accumulation des matériaux transportés lorsque l'énergie de l'agent de transport devient insuffisante pour les maintenir en mouvement.

L'objectif de cet atelier est d'utiliser un modèle analogique simplifié afin d'identifier expérimentalement les conditions d'érosion, de transport et de dépôt, puis de comparer ces résultats aux seuils théoriques proposés par Hjulström

Vous disposez du matériel suivant :

- une maquette analogique de rivière
- une pompe avec 4 niveaux de débit (débit indiqué sur l'Annexe 3)
- un support à placer au fond du modèle, comportant une face lisse et une face rugueuse.
- du sable grossier (granulométrie 1- 2 mm)
- du sable moyen (granulométrie 0,8 - 1 mm)
- du sable fin (granulométrie 0,2 - 0,5 mm)

Question I.9. Quel est l'intérêt de disposer d'un support présentant une face lisse et une face rugueuse ? Quel paramètre hydrodynamique cette différence de rugosité de surface permet-elle d'analyser ?

Réponse à la question I.9.

Cette question a été globalement bien traitée par les candidats. Les raisonnements proposés sont souvent pertinents, mais les réponses gagneraient à mobiliser un vocabulaire plus précis et des notions physiques plus rigoureuses.

Le support présente une face lisse et une face rugueuse, ce qui permet de faire varier les conditions de friction basale (les frottements) sans modifier le débit de l'écoulement. Une rugosité plus importante accroît les interactions entre l'eau et le substrat, modifie la structure de l'écoulement dans la couche limite et favorise le développement de la turbulence au voisinage du fond.

Le paramètre hydrodynamique étudié est donc la contrainte de cisaillement basale, directement liée à la friction basale. Ce dispositif permet ainsi d'étudier l'influence de la rugosité sur les seuils d'érosion et de dépôts des particules sédimentaires. En pratique, la gamme de vitesses de courant accessible (et le dispositif tel que proposé) ne permettait pas d'explorer les conditions nécessaires au dépôt des particules.

Question I.10. À partir du matériel mis à votre disposition, **proposer** un protocole permettant de valider ou non les résultats de Hjulström mais aussi de tester expérimentalement l'influence de la rugosité du fond (face lisse/face rugueuse) sur les seuils d'érosion, de transport et de dépôt.

Réponse à la question I.10.

Les difficultés rencontrées dans la définition des termes *érosion*, *transport* et *dépôt* ont souvent compliqué l'élaboration d'un protocole expérimental pertinent. La rigueur scientifique attendue imposait de proposer un protocole comparatif, en ne faisant varier qu'un seul paramètre à la fois : la granulométrie, le débit ou la rugosité du fond.

Les meilleures réponses prévoyaient de répéter les mesures pour les trois sables disponibles, sur les deux faces du support, en conservant des conditions initiales identiques. Il s'agissait ensuite de comparer les seuils observés d'érosion, de transport et de dépôt aux seuils attendus d'après les travaux de Hjulström.

Trop souvent, les candidats font varier simultanément deux ou trois paramètres, ce qui empêche toute interprétation rigoureuse des résultats. De même, vouloir caractériser en une seule manipulation les seuils d'érosion, de transport et de dépôt conduit généralement à des protocoles confus, alors qu'il convenait de distinguer clairement les phénomènes étudiés et les conditions permettant de les observer.

Question I.11. Réaliser votre protocole et **compléter** le document I.E pour comparer vos résultats à ceux de Hjulstr

Réponse à la question I.11 sur le document I.

Le jury relève ici encore des difficultés importantes. Un grand nombre de candidats n'a pas pris le temps d'observer attentivement la maquette ni de réfléchir à ses modalités d'utilisation, ce qui a conduit à de nombreuses confusions et à des interprétations erronées.

La mise en œuvre du protocole nécessitait pourtant d'identifier clairement les paramètres contrôlés, les paramètres testés et les observations attendues, afin de comparer de manière pertinente les résultats obtenus aux données issues des travaux de Hjulström.

Plusieurs candidats ont ainsi proposé un protocole expérimental ne permettant pas de tester correctement les hypothèses formulées, tout en concluant néanmoins que leurs résultats confirmaient le diagramme de Hjulström. Cette situation rappelle qu'une conclusion ne peut être considérée comme valide que si elle découle d'un protocole expérimental adapté et rigoureusement maîtrisé. Le jury rappelle toutefois que des points ont été attribués aux candidats capables d'interpréter leurs propres résultats avec recul, d'identifier les limites de leur protocole et de faire preuve d'esprit critique vis-à-vis de leurs observations. La démarche scientifique ne consiste pas à obtenir nécessairement un résultat attendu, mais à construire une analyse rigoureuse à partir de données acquises selon un protocole maîtrisé.

Question I.12. Conclure sur l'effet de la granulométrie testée et de la rugosité sur les seuils d'érosion, transport et dépôt.

Réponse à la question I.12.

Cette question a été globalement bien réussie lorsque les candidats avaient correctement mené l'expérimentation et exploité leurs observations. Il était attendu de conclure que la granulométrie influence les seuils d'érosion, de transport et de dépôt, conformément aux travaux de Hjulström. Les particules les plus fines et les plus grossières nécessitent des vitesses de courant plus élevées pour être mises en mouvement que les sédiments de granulométrie intermédiaire, tandis que les seuils de dépôt augmentent avec la taille des particules.

Les candidats devaient également mettre en évidence l'effet de la rugosité du fond. Une augmentation de la rugosité augmente la contrainte de cisaillement basal, ce qui se traduit par une augmentation des seuils d'érosion, de transport et de dépôt. L'important n'était pas seulement d'énoncer ces résultats, mais de les relier aux mécanismes hydrodynamiques mis en jeu, en particulier à la contrainte de cisaillement exercée sur les particules sédimentaires.

Question I.13. Quelles critiques peuvent être formulées à l'égard de ce modèle analogique et des expériences réalisées ? **Discuter** ses limites et sa validité pour représenter la dynamique sédimentaire réelle.

Réponse à la question I.13.

Cette question a été globalement bien traitée. Le jury était ouvert à toute critique pertinente et scientifiquement argumentée du modèle analogique proposé. Les meilleures réponses mettaient en avant l'absence de similitude avec les conditions naturelles (échelles spatiales et temporelles, dynamique de l'écoulement), l'impact des caractéristiques des sédiments (granulométrie, forme des particules, cohésion) ou encore celui des conditions hydrologiques (turbulences, variations de vitesse, hauteur d'eau) et de la géométrie du chenal.

Le dispositif expérimental permet également de discuter les limites du modèle de Hjulström, qui relie principalement la mise en mouvement des particules à la vitesse du courant et à la granulométrie, sans prendre explicitement en compte certains paramètres physiques

contrôlant les processus sédimentaires, notamment les conditions de friction basale et la contrainte de cisaillement exercée sur le fond.

Il convenait ainsi de conclure que ce dispositif constitue un modèle pédagogique pertinent pour illustrer qualitativement les mécanismes de mise en mouvement, de transport et d'érosion des sédiments, mais qu'il ne permet pas de reproduire fidèlement la complexité de la dynamique sédimentaire des systèmes fluviaux naturels.

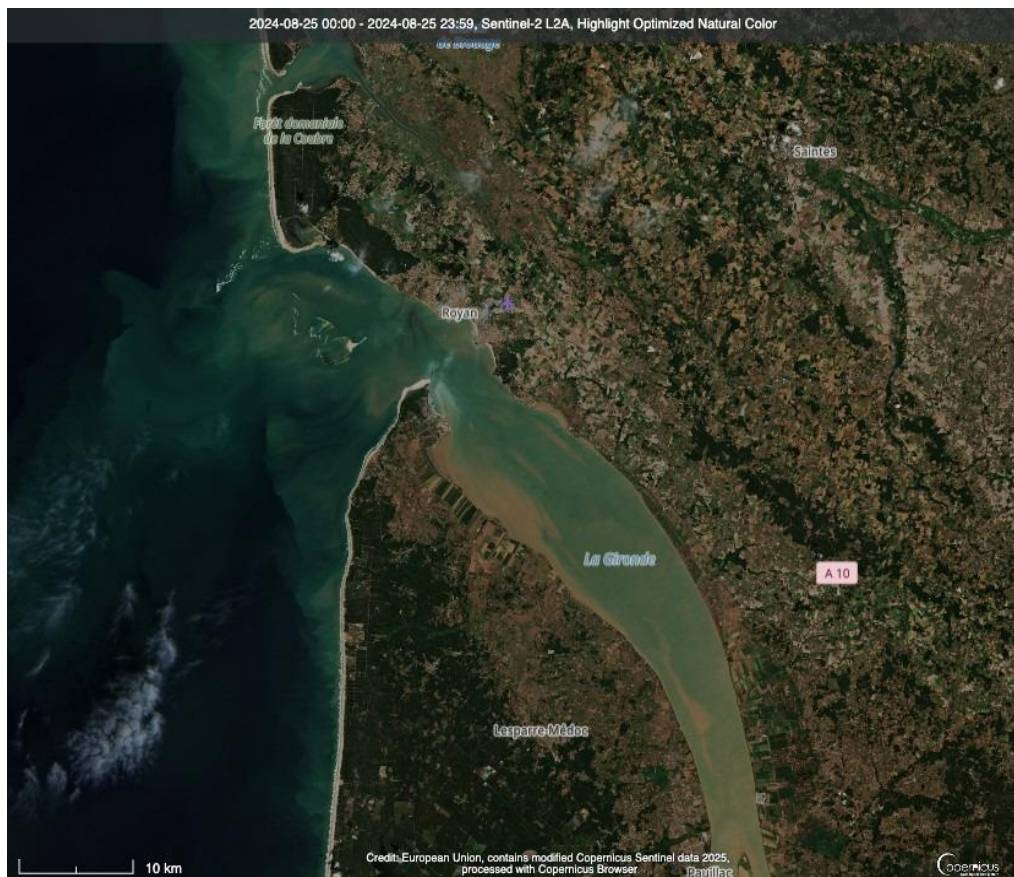
- FIN DE L'ATELIER 1 -

I-C Dynamiques sédimentaires à l'aval de la Garonn

À l'aval, la Garonne conflue avec la Dordogne au Bec d'Ambès pour former l'estuaire de la Gironde, qui débouche sur l'océan Atlantique

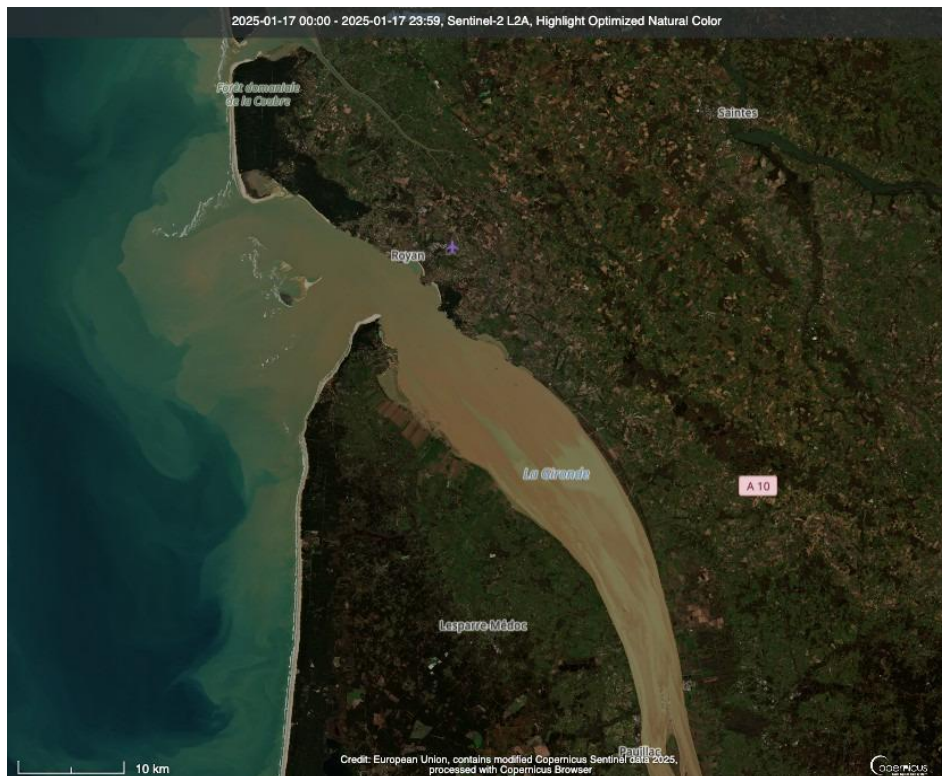
Document I.F : Variabilité spatio-temporelle de la turbidité des eaux de surface - 25 Août 2024

Images satellitaires Sentinel-2 (produit Highlight Optimized Natural Color), visualisées via EO Browser – Sentinel Hub (Copernicus).

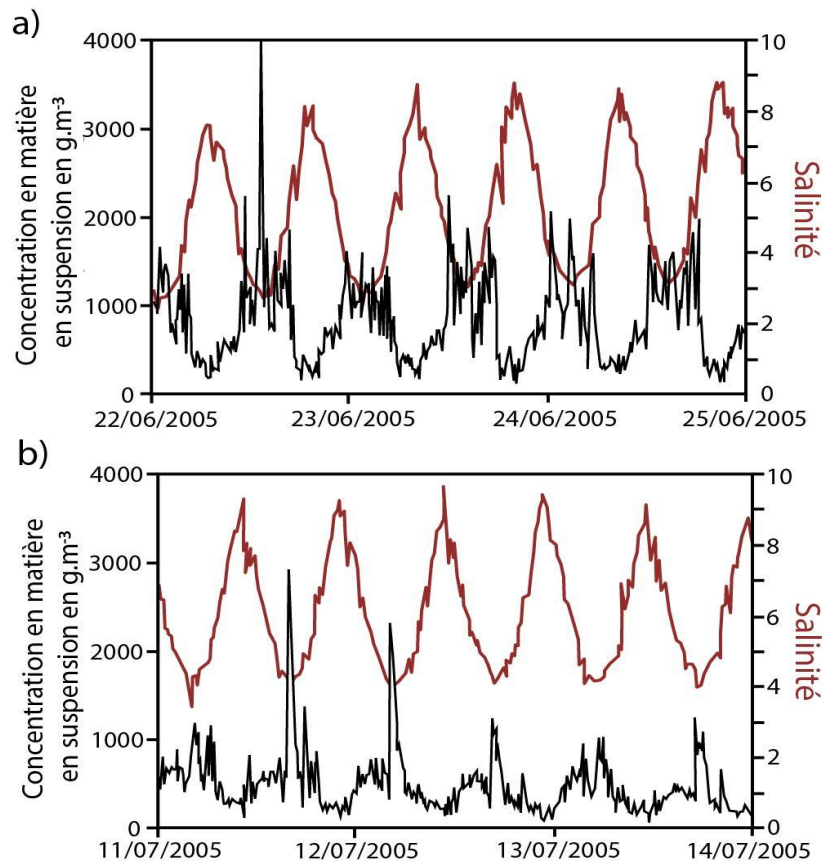


Document I.G : Variabilité spatio-temporelle de la turbidité des eaux de surface - 17 Janvier 2025

Images satellitaires Sentinel-2 (produit Highlight Optimized Natural Color), visualisées via EO Browser – Sentinel Hub (Copernicus).



Document I.H : Mesures typiques réalisées à 1 m sous la surface de l'eau avec la turbidité convertie en concentration en matières en suspension en g.m^3 (ligne noire) et la salinité (ligne rouge) enregistrées sur la plateforme Pauillac (au sud des documents I-F et I-G) en juin 2005, lors d'une augmentation du marnage (c'est-à-dire lors de la transition entre marées moyennes et marées de vives-eaux) (figure a) ; puis en juillet 2005, lors d'une diminution du marnage (c'est-à-dire lors de la transition entre marées moyennes et marées de mortes-eaux) (figure b) – Modifié de Doraxan et al. (2009)



Question I.14. Quelle est la structure géomorphologique observée à l'échelle des deux images satellitaires (document I-F et I-G)? **Décrire** et **comparer** l'organisation spatiale de la turbidité observée sur les deux images. A l'aide de vos connaissances et des documents I-F à I-H, **proposer** plusieurs mécanismes à l'origine des différences observées.

Réponse à la question I.14.

Cette question a été globalement bien réussie. Les candidats devaient identifier un estuaire et décrire les principales différences d'organisation spatiale de la turbidité entre les deux images, en mettant notamment en évidence un panache turbide plus étendu en période hivernale.

Les meilleures réponses mobilisaient plusieurs mécanismes complémentaires pour expliquer ces différences : variations saisonnières du débit fluvial, dynamique estuarienne (notamment le rôle du bouchon vaseux), influence des marées, ainsi que les processus de floculation et de remise en suspension des particules fines.

Le jury a valorisé les réponses s'appuyant à la fois sur les observations des documents et sur des connaissances scientifiques pertinentes.

Dans le but d'étudier le processus de floculation des particules argileuses, réaliser le protocole expérimental suivant :

- **Mettre** 1 g d'argile dans 10 mL d'eau distillée dans 3 tubes à essai (A, B et C)
- Dans le tube B **ajouter** 0,02 g de NaCl
- Dans le tube C **ajouter** 0,02 g de CaCl₂

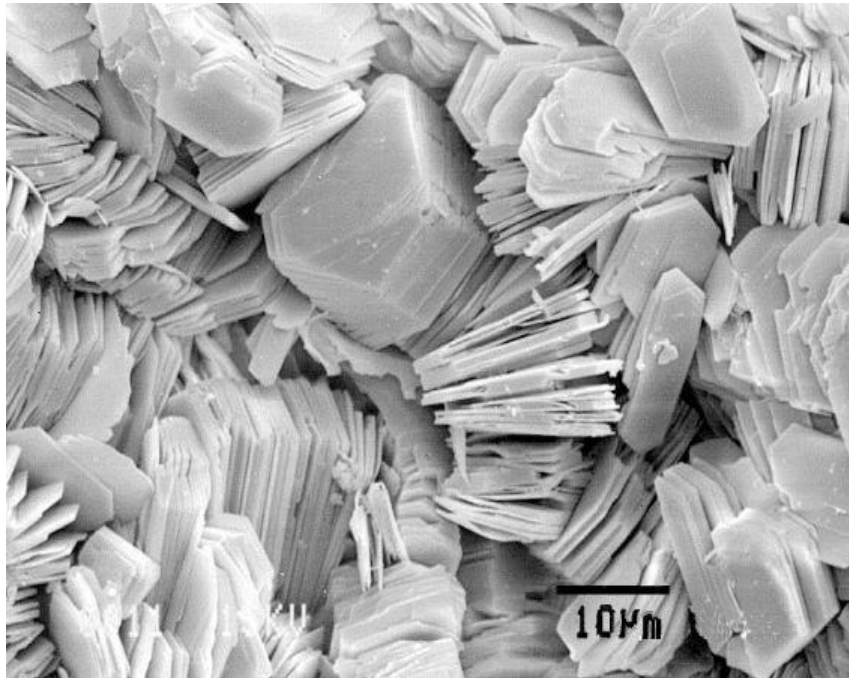
- **Agiter** identiquement pendant 10 secondes les 3 tubes puis laisser décanter sans bouger
 - Pendant 8 minutes, **noter** toutes les 2 minutes la hauteur de la zone claire (en cm) et l'aspect visuel de la solution
- Question I.15. Représenter** graphiquement la hauteur de la zone claire en fonction du temps.

Réponse à la question I.15

De gauche à droite : A, B et C

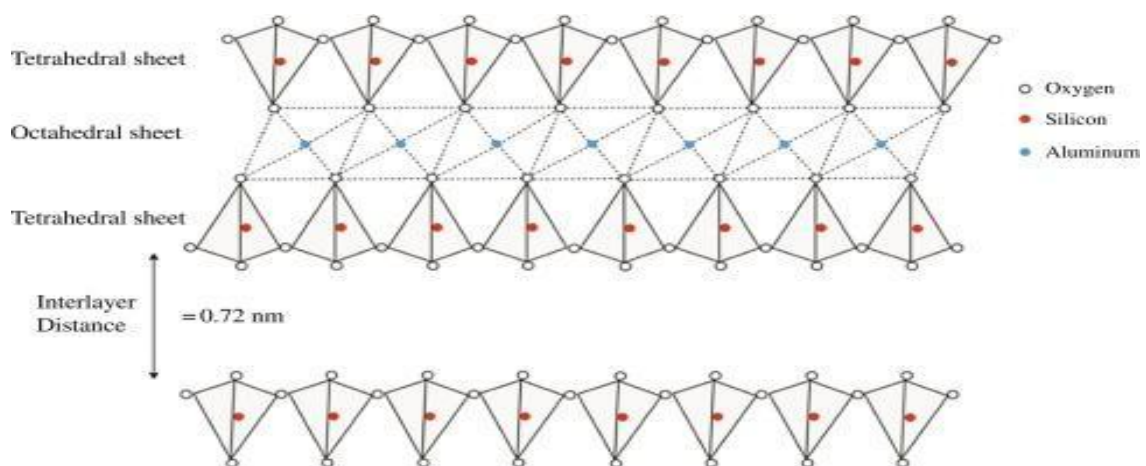
Cette question, pourtant classique, a révélé des difficultés dans la construction d'un graphique rigoureux. Le jury rappelle qu'un graphique doit comporter un titre explicite, des axes correctement nommés, les unités associées et une échelle adaptée. Il était également attendu de distinguer clairement les différentes conditions expérimentales, par exemple à l'aide d'un code couleur ou de figurés lisibles, afin de permettre une comparaison efficace de l'évolution de la hauteur de la zone claire au cours du temps.





Question I.16. Représenter schématiquement la structure minéralogique d'un phyllosilicate de votre choix. Est-il possible de relier cette structure minéralogique avec l'image du document I.I ?

Réponse à la question I.16.



Cette question a été globalement mal traitée. Le jury rappelle qu'il n'était pas attendu de représenter spécifiquement la structure de la kaolinite : tout schéma rigoureux d'un phyllosilicate était recevable.

Très peu de candidats ont compris que les feuillets observés sur l'image au microscope électronique correspondent à des empilements de feuillets élémentaires et non aux couches tétraédriques et octaédriques elles-mêmes. Le changement d'échelle entre la structure cristallographique et l'observation au microscope électronique n'a que rarement été pris en compte, conduisant à des interprétations erronées du document.

Question I.17. Proposer des explications aux résultats de l'expérience sur la floculation des particules argileuses, en vous appuyant sur la réponse à la question I.16.

Réponse à la question I.17.

Cette question a été globalement mal traitée. Les explications des mécanismes de floculation à l'échelle atomique sont rarement maîtrisées par les candidats. Beaucoup se limitent à décrire les observations expérimentales sans les relier aux propriétés structurales et électriques des phyllosilicates.

Les meilleures réponses expliquaient que la floculation résulte de la neutralisation partielle des charges de surface des particules argileuses par les cations présents en solution. Elles mettaient également en évidence l'influence de la valence des ions, les cations divalents favorisant une floculation plus efficace que les cations monovalents.

Question I.18. En quoi le phénomène mis en évidence lors de cette expérience pourrait-il permettre d'expliquer en partie les observations réalisées à la question I.14 ?

Réponse à la question I.18.

Cette question a été peu réussie. La mise en relation des résultats expérimentaux avec les observations réalisées à l'échelle de l'estuaire n'a été que rarement établie. De nombreux candidats traitent les documents indépendamment les uns des autres, sans construire un raisonnement intégrateur.

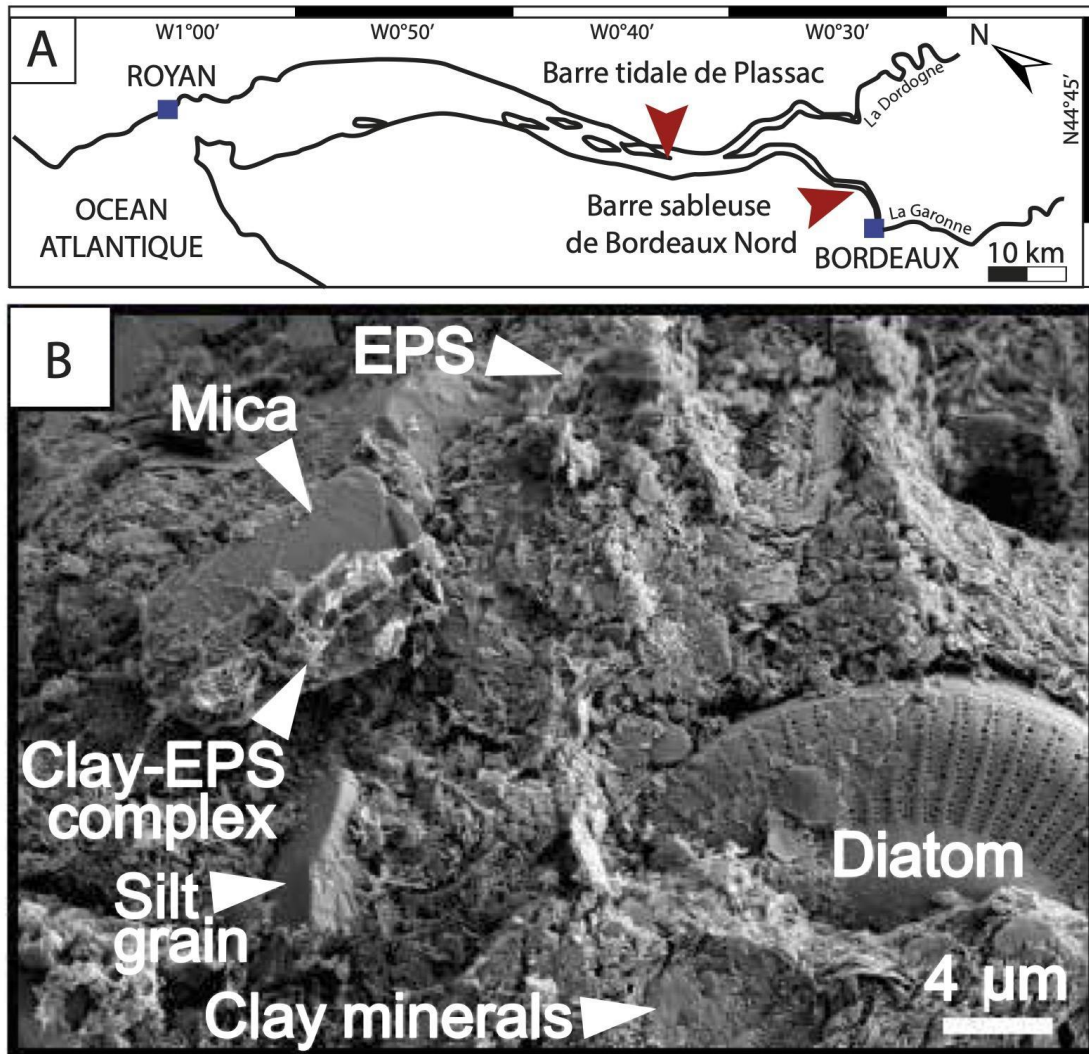
Les meilleures réponses expliquaient que la floculation des particules argileuses est favorisée par l'augmentation de la salinité lors du mélange entre les eaux douces et les eaux marines. Ce phénomène contribue à la formation du bouchon vaseux et participe ainsi à expliquer la forte turbidité observée dans l'estuaire de la Gironde.

Dans les environnements estuariens, les processus hydrodynamiques tendent à séparer le sable et les particules fines comme les argiles. Pourtant, on observe fréquemment des grains de sable enrobés d'argile, aussi bien dans les sédiments actuels que dans les grès anciens. Les biofilms de certains micro-organismes produisent des substances organiques exopolymériques (notés EPS) capables de favoriser la floculation et l'agrégation de particules minérales.

Document I.J : Localisation et organisation microscopique des complexes argile-EPS dans un biofilm intertidal selon Duteil et al., (2022), modifié

A - Localisation des sites d'étude dans l'estuaire de la Gironde (flèches rouges)

B - Image en microscopie électronique à balayage (SEM) de sédiments issus du domaine intertidal, montrant l'organisation fine des particules minérales au sein d'un biofilm riche en substances exopolymériques (EPS) clay = argile ; diatom = diatomée



Question I.19. À partir de vos connaissances, proposez des hypothèses expliquant comment les biofilms peuvent favoriser la floculation et l'agrégation des particules minérales en milieu estuarien

Réponse à la question I.19.

Cette question a été rarement traitée de manière satisfaisante. Le jury attendait avant tout un raisonnement fondé sur les connaissances des candidats, aucune réponse exhaustive n'étant attendue.

Les meilleures copies proposaient que les biofilms favorisent l'agrégation des particules minérales par la production de substances exopolymériques (EPS). Majoritairement chargées négativement, notamment grâce à la présence de groupements carboxylates ($-\text{COO}^-$), ces

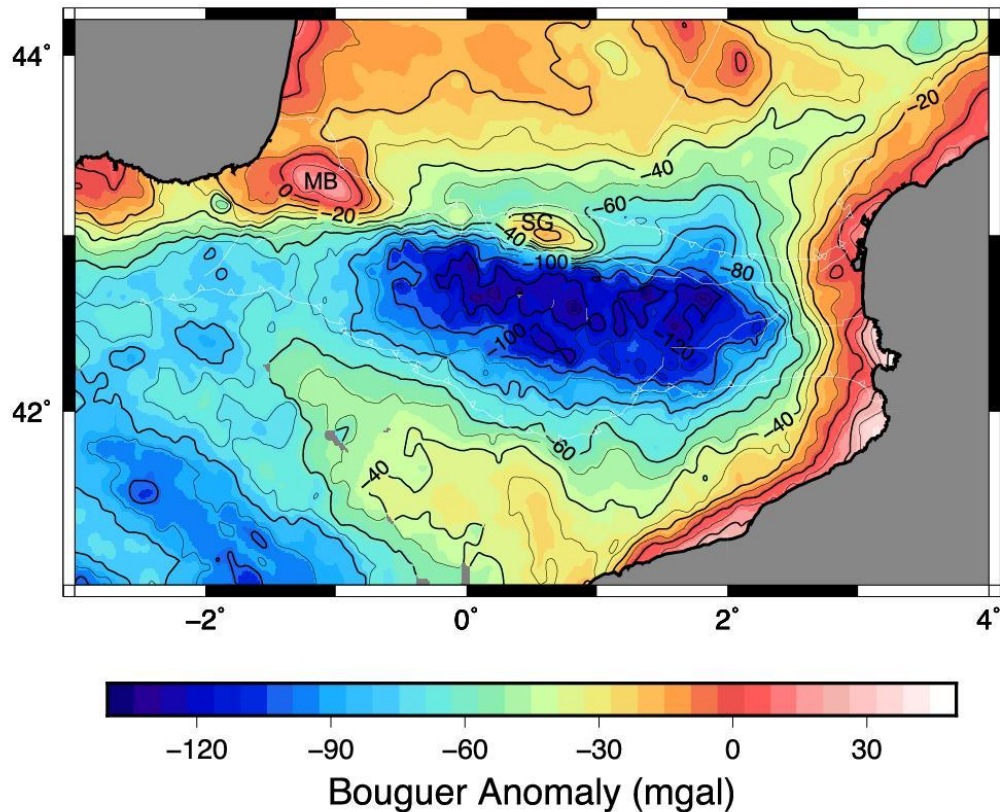
substances peuvent fixer des cations du milieu, tels que Ca^{2+} , et agir comme un liant entre les particules, favorisant ainsi la formation de floccs.

Partie II. Géophysique dans les Pyrénées

L'objectif de cette partie est de mobiliser et de combiner différentes données géophysiques afin de caractériser la structure profonde de la chaîne pyrénéenne ainsi que les propriétés physiques et la composition des matériaux en profondeur.

Le document II.A présente la carte des anomalies de Bouguer dans les Pyrénées selon Chevrot et al., (2018).

Document II.A : Carte des anomalies de Bouguer dans les Pyrénées et bassins environnants (Chevrot et al., 2018). MB = bassin de Mauléon et SG = secteur de Saint-Gaudens.



Question II.1. Préciser comment sont obtenues les anomalies de Bouguer.

Réponse à la question II.1

Cette question classique a mis en difficulté beaucoup de candidats. On observe fréquemment une confusion entre corrections et anomalies, et la notion de référence est rarement mentionnée.

Question II.2. Décrire et interpréter la carte des anomalies de Bouguer présentée dans le document II.A.

Réponse à la question II.2

La majorité des candidats a identifié l'anomalie de Bouguer négative sous la zone axiale pyrénéenne et l'a correctement interprétée comme le marqueur d'un déficit de masse en profondeur, traduisant la présence d'une racine crustale. Plusieurs candidats ont également relevé les anomalies positives sous les bassins de Mauléon et dans le secteur de Saint-Gaudens, les associant à juste titre à un excès de masse en profondeur.

En revanche, les anomalies moins négatives sous les bassins d'avant-pays, ainsi que l'augmentation progressif des anomalies vers la marge méditerranéenne, révélateur d'un amincissement crustal, n'ont été mentionnés que par une minorité de candidats.

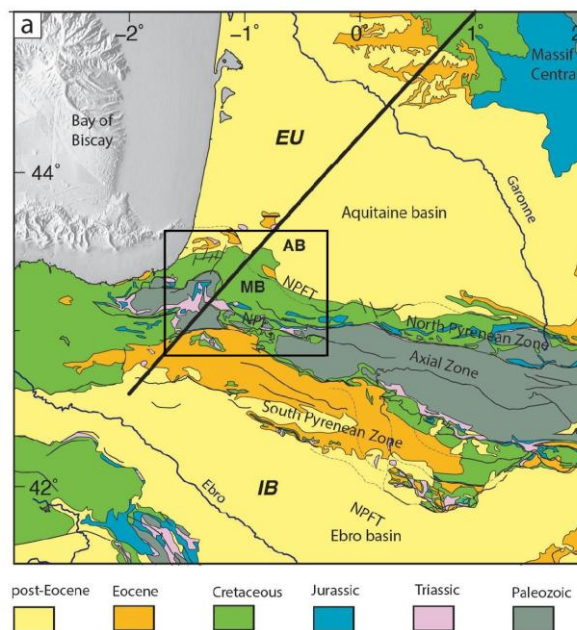
On s'intéresse au bassin de Mauléon (indiqué MB sur la carte du document II.A), situé dans les Pyrénées occidentales. Plusieurs expériences sismologiques ont été réalisées dans les Pyrénées, parmi lesquelles :

- L'expérience PYROPE (PYRenean Observational Portable Experiment) qui est un déploiement temporaire d'environ 50 stations sismologiques large bande à l'échelle des Pyrénées réalisé entre 2010 et 2014 dans le but d'obtenir de nouvelles images tomographiques de l'architecture lithosphérique de la chaîne et des régions adjacentes.
- L'expérience MauPaSAcq (Mauléon Passive Seismic Acquisition), qui a consisté au déploiement temporaire de 442 capteurs sur une zone restreinte (~30 × 50 km) afin d'obtenir une imagerie tridimensionnelle de la croûte sous le bassin de Mauléon, jusqu'à des profondeurs d'environ 15 km.

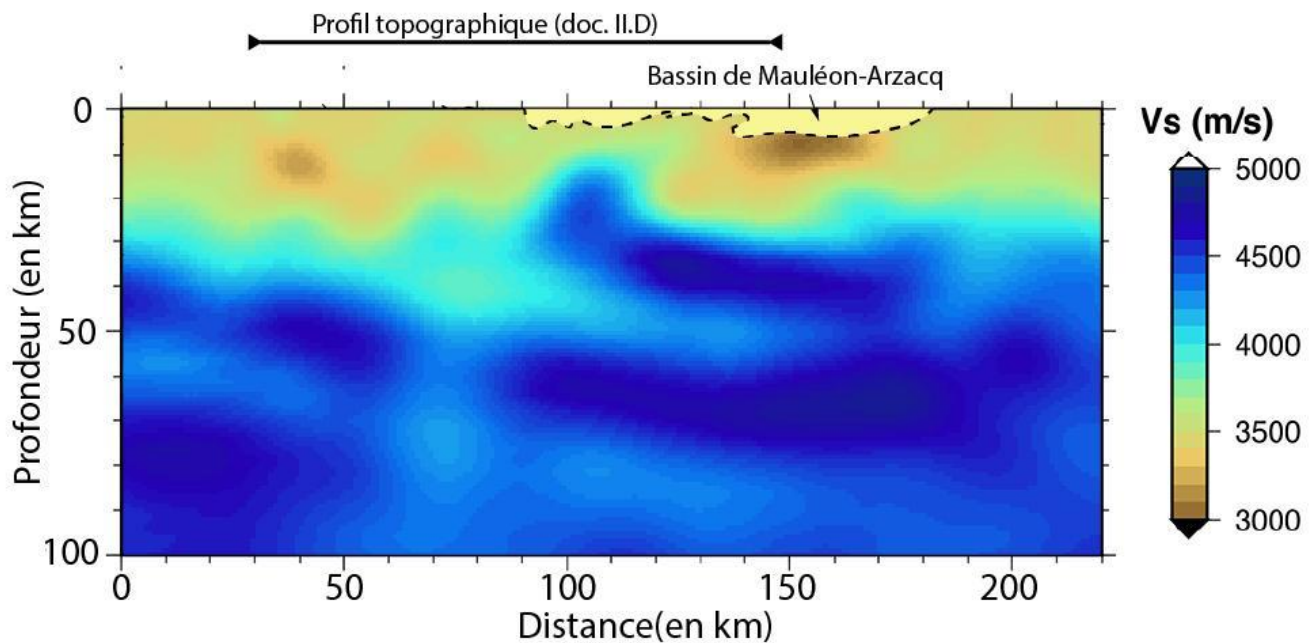
Le document II.B présente une carte géologique simplifiée issue de Pajang et al. (2025), sur laquelle figurent :

- la localisation d'un profil d'imagerie **PYROPE** présenté dans le document II.C
- l'emprise de la zone imagée par la tomographie locale du projet **MauPaSAcq**

Document II.B : Carte géologique simplifiée présentant la localisation d'un des profils d'imagerie de l'expérience PYROPE (droite noire) et l'emprise de la zone imagée par tomographie de l'expérience MauPaSAcq (rectangle noir) selon Pajang et al., (2025), modifié. *EU=Eurasie, IB=Ibérie, MB=Bassin de Mauléon, AB=Bassin d'Arzacq.*



Document II.C : Coupe tomographique SE-NW indiquant la vitesse absolue des ondes S issue de l'inversion complète des formes d'ondes le long du profil PYROPE (localisation indiquée que le document II.B), selon Wang (2017), modifié.



Sur la coupe tomographique PYROPE (document II.C), une zone présentant des vitesses de propagation des ondes S supérieures à 4 km.s^{-1} à des profondeurs crustales est imagée. Les questions suivantes vont se concentrer sur cette zone, considérée comme anormale.

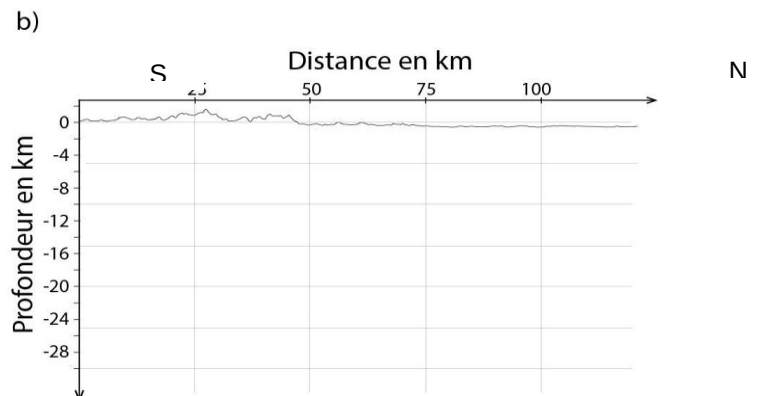
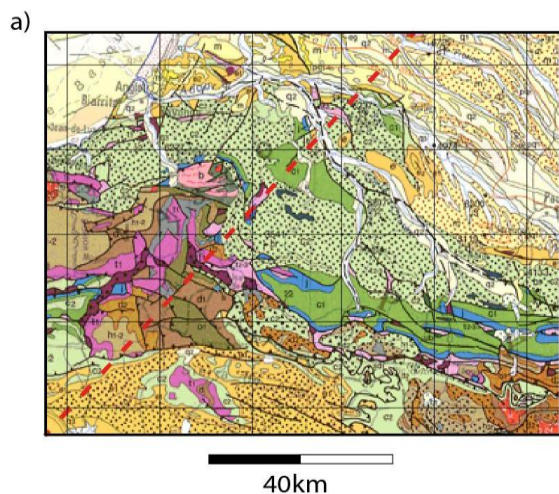
Question II.3. Mesurer et indiquer la largeur horizontale de cette zone à fortes vitesses à la profondeur du Moho européen (à 25km de profondeur) à partir de la coupe tomographique du document II.C.

Réponse à la question II.

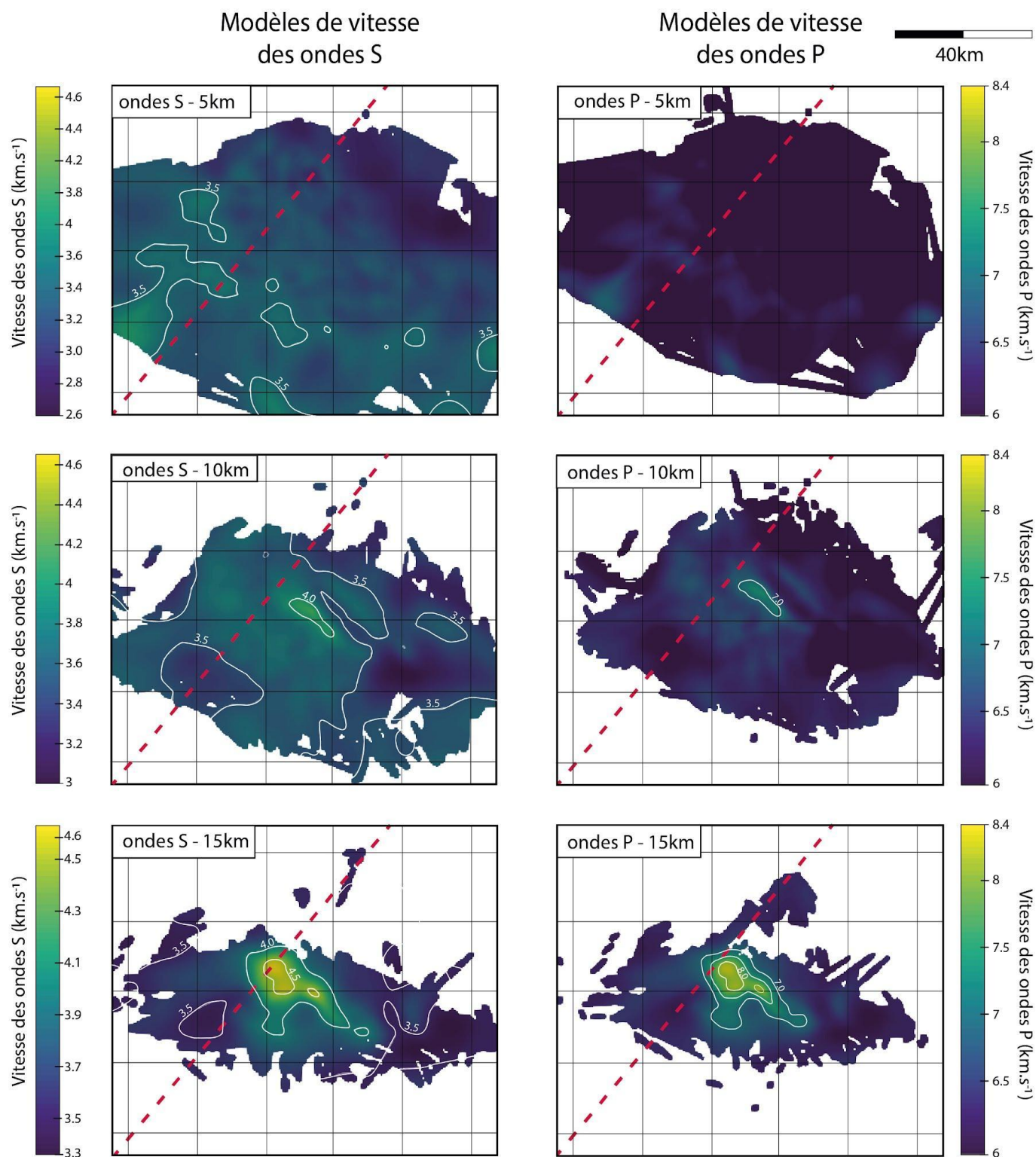
Pour cette question, une simple mesure devait permettre d'obtenir une largeur d'environ 25 km

Afin de préciser la géométrie de cette zone, on utilise la tomographie locale du projet MauPaSAcq.

Document II.D : a) Extrait de la carte géologique de la France au millionième correspondant à l'emprise de la tomographie locale MauPaSAcq. La droite rouge pointillée indique la localisation du profil PYROPE pour cette zone b) Profil topographique SW-NW le long du profil PYROPE dans cette zone (utile pour la question II.5 de l'atelier 2).



Document II.E : Sections horizontales à différentes profondeurs présentant les vitesses absolues des ondes S et des ondes P obtenues à partir des données MauPaSAcq. Pour les ondes S, les contours correspondent aux vitesses de 3.5, 4 et 4.5 km.s^{-1} . Pour les ondes P, les contours présentés correspondent aux vitesses de 7, 7.5 et 8 km.s^{-1} (données présentées dans Lescoutre et al., (2025)).



Question II.4. À partir des sections horizontales de tomographie locale (document II.E), **mesurer** et **indiquer** la largeur le long du profil des zones caractérisées par des vitesses d'ondes **S** supérieures à 4 km.s^{-1} à différentes profondeurs.

Réponse à la question II.4

Beaucoup de candidats n'ont pas respecté la consigne demandant d'indiquer la largeur le long du profil et ont choisi la largeur maximale imagée des zones anomaliques.

Pour cette question, les candidats devaient obtenir :

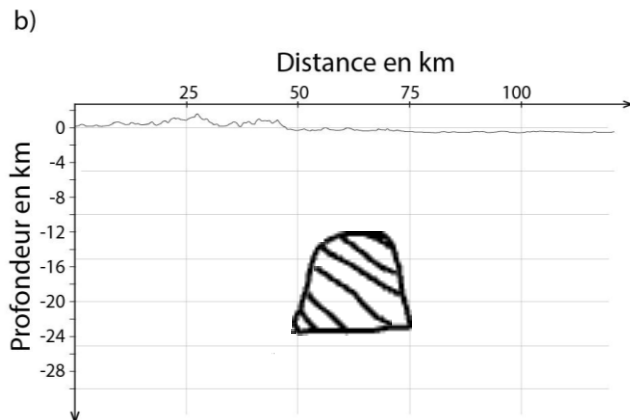
- 0 km de large à 5km de profondeur
- 0 km de large à 10km de profondeur
- ~20 km de large à 15km de profondeur

Question II.5. Reporter sous le profil topographique du document II.D, la géométrie approximative en deux dimensions de la zone caractérisée par des vitesses des ondes **S** supérieures à 4 km.s^{-1} , en tenant compte des réponses données aux questions II.3 et II.4.

Réponse à la question II.5 —> sur le document II.D

La majorité des candidats a réussi à dessiner la zone anomalique sous la coupe topographique du document II.D mais certains n'ont pas pris en compte les distances correctes (la localisation du profil topographique du document II.D était indiquée sur la coupe du document II.C, il fallait donc corriger les distances lues pour les reporter sous la coupe topographique).

Exemple de rendu attendu :



ATELIER 2 : NUMERIQUE : MODÉLISATION GRAVIMÉTRIQUE

VOUS AVEZ BESOIN DE LA COUPE DU DOCUMENT II.D POUR CET ATELIER.

Wehr et al. (2018) ont étudié les **contributions respectives des sédiments et de l'épaisseur crustale à l'anomalie de Bouguer régionale** dans les Pyrénées. Leur correction a été effectuée en considérant une épaisseur crustale d'environ 25km pour la croûte européenne et entre 30 et 55km pour la croûte ibérique. Dans leur étude, ils ont considéré des densités moyennes de $\sim 2,50 \text{ g.cm}^{-3}$ pour les sédiments, de $2,64 \text{ g.cm}^{-3}$ pour la croûte supérieure et de $2,80 \text{ g.cm}^{-3}$ pour la croûte moyenne/inférieure. La courbe d'anomalie de Bouguer résiduelle selon Wehr et al., (2018) correspond à la courbe légendée « Anomalie estimée » sur l'interface du code python que vous allez utiliser.

La **méthode de Talwani (1959)** est une approche utilisée en gravimétrie pour calculer l'anomalie gravimétrique produite par des corps d'une densité donnée, de forme polygonale en deux dimensions. Elle repose sur le calcul analytique de l'effet gravitationnel de chaque polygone, en tenant compte de son contraste de densité par rapport au milieu environnant.

Le programme Talwani.py est un code Python permettant de dessiner un corps sous la forme d'un polygone, d'y associer un contraste de densité et de comparer l'anomalie gravimétrique calculée pour ce corps à l'anomalie de Bouguer résiduelle selon Wehr et al., (2018), le long de la coupe SSW-NNE à travers le bassin de Mauléon présentée sur les documents II.C et II.D.

Une fiche d'utilisation du code vous est fournie en Annexe 4.

Question II.6. À l'aide du code Talwani.py, **estimer** le contraste de densité du corps anomalique représenté sur le document II.D. **Imprimer** la figure correspondant à votre meilleure modélisation et **insérer** la feuille imprimée à votre copie.

Réponse à la question II.6 —> feuille à imprimer et à insérer dans le dossier à rendre.

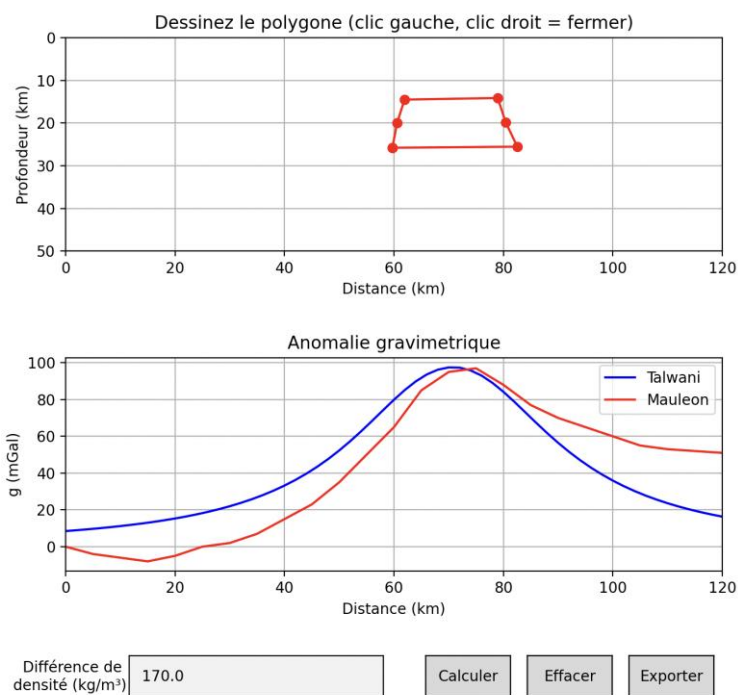
Les candidats avaient accès à un code python avec une interface graphique (ouverte lors de leur arrivée en salle informatique). Ce code Python implémente une interface graphique interactive permettant de modéliser l'anomalie gravimétrique de Bouguer à l'aide de la méthode de Talwani (1959). Les candidats devaient dessiner avec la souris un polygone représentant leur zone anomalique. Une fois le polygone dessiné, le code calculait l'anomalie gravimétrique théorique associée à ce corps. Les candidats devaient également spécifier/modifier la différence de densité entre le corps et le milieu encaissant (en kg/m^3), afin d'estimer le contraste de densité permettant d'expliquer les données d'anomalies résiduelles de Wehr et al. (2018).

Si la quasi-totalité des candidats a dessiné un corps anomalique, peu d'entre eux ont exploité le paramètre de contraste de densité comme variable d'ajustement principal. La majorité a préféré modifier la géométrie du corps, ce qui n'était pas pertinent dans ce contexte.

Par ailleurs, plusieurs candidats semblent avoir cherché à atteindre une valeur de densité cible (typiquement $3,3 \text{ g/cm}^3$) en ajustant arbitrairement le contraste de densité. Cette démarche, qui privilégie un résultat préconçu sur la rigueur de la démarche scientifique n'a pas été valorisée.

En revanche, les candidats ayant cherché à minimiser l'écart entre la courbe calculée et la courbe de données, malgré des erreurs dans la détermination de la géométrie par exemple, ont été valorisés.

Cette capture d'écran montre une modélisation évaluée comme satisfaisante :



Question II.7. Quelle serait alors la densité moyenne de ce corps anormalique ? Votre réponse devra être justifiée.

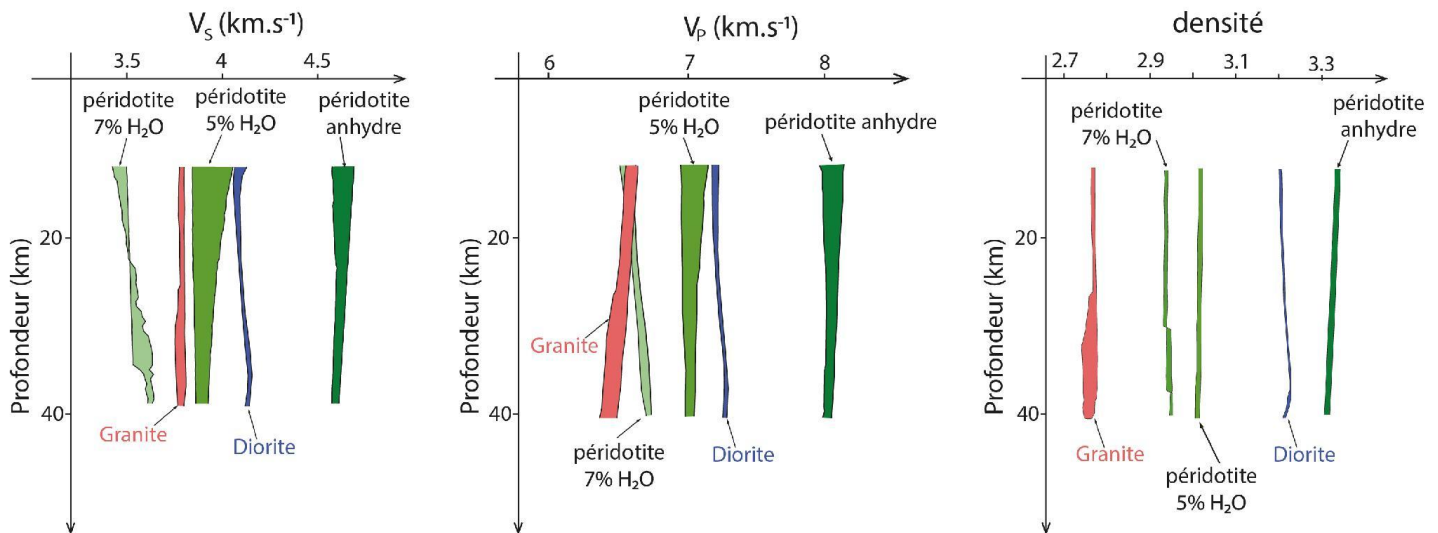
Réponse à la question II.7

Il était attendu ici d'ajouter le contraste de densité obtenu à la question précédente à la densité moyenne de la croûte moyenne/inférieure soit, pour l'exemple de résultat de modélisation présenté à la question précédente : 2970 kg.m^{-3} .

– FIN ATELIER 2 –

La modélisation thermodynamique à l'aide du logiciel **Perple_X** permet d'estimer les propriétés élastiques théoriques des roches, notamment les vitesses sismiques des ondes P et des ondes S, ainsi que la densité moyenne des roches. Cette approche repose sur la détermination de l'assemblage minéralogique stable pour des conditions données de pression et de température, à partir des équilibres thermodynamiques des phases minérales. Une fois la composition minéralogique prédite, les propriétés élastiques des minéraux individuels (modules de compressibilité et de cisaillement) sont combinées selon des lois de mélange adaptées afin de calculer les propriétés effectives de la roche

Document II.F : Valeurs théoriques de V_P , V_S et de densité déterminées à l'aide de Perple_X pour différentes lithologies (granite, diorite, péridotite anhydre et péridotites à différents degrés d'hydratation),



Question II.8. À partir des résultats obtenus dans les questions précédentes et des documents II.E et II.F, **argumenter** sur la composition la plus probable de la zone anormale sous le bassin de Mauléon.

Réponse à la question II.8

Il fallait ici confronter l'ensemble des résultats précédemment obtenus pour cette zone anormale:

- V_s entre 4 km.s^{-1} et 4,6 km.s^{-1} (Document II.E)
- V_p entre 7 et 8,4 km.s^{-1} (Document II.E)
- masse volumique $\sim 2970 \text{ kg.m}^{-3}$ (Question II.7)

L'ensemble de ces données pouvait permettre de proposer que ce corps anormalique était probablement constitué de péridotite hydratée à $\sim 5\%$ même si la concordance entre les valeurs théoriques et celles estimées à partir des données géophysique n'était pas parfaite

La majorité des candidats a proposé que ce corps anormalique serait constitué de péridotite hydratée à $\sim 5\%$, certains candidats ont fait d'autres propositions, qui dès lors qu'elles étaient argumentées ou situaient clairement les limites de leur proposition, étaient partiellement valorisées. A noter que les gammes "hautes" d'anomalies de vitesse pourraient correspondre à des zones de manteau non hydraté au sein du corps anormalique (comme proposé par Pajang et al., 2025).

Question II.9. En tenant compte de l'histoire géodynamique des Pyrénées et d'arguments issus de la carte géologique de la France au 1/1 000 000^{ème} à votre disposition, **proposer** un ou plusieurs processus géodynamiques susceptibles d'expliquer la présence de ces roches à ces profondeurs. Votre réponse devra être accompagnée d'un ou plusieurs schémas.

Réponse à la question II.9

Cette question demandait de mobiliser l'histoire géodynamique des Pyrénées pour proposer un scénario expliquant la présence, à des profondeurs crustales (entre ~15-25 km), d'un corps de péridotite hydratée sous le bassin de Mauléon.

Il était attendu une structuration de la réponse en 2 grandes parties :

1) Un contexte d'hyperextension au Crétacé (Aptien-Albien)

La carte géologique au 1/1 000 000^{ème} permet de repérer, dans la zone Nord-Pyrénéenne, la présence de péridotites affleurantes (massifs de Lherz, Prades, Bestiac, Turon de la Técoùère, ...), classiquement interprétées comme des reliques de manteau exhumé lors de l'épisode d'hyperextension crétacée entre l'Ibérie et l'Europe. Cet amincissement extrême a permis l'exhumation de manteau sous-continental et sa très probable serpentinitisation en lien avec des circulations de fluides (eau de mer ou circulations de fluides dans la croûte supérieure), cohérent avec le taux d'hydratation modéré (~5%) déduit à la question II.8.

2) Une phase d'inversion tectonique convergente (Pyrénées, Crétacé supérieur-Miocène)

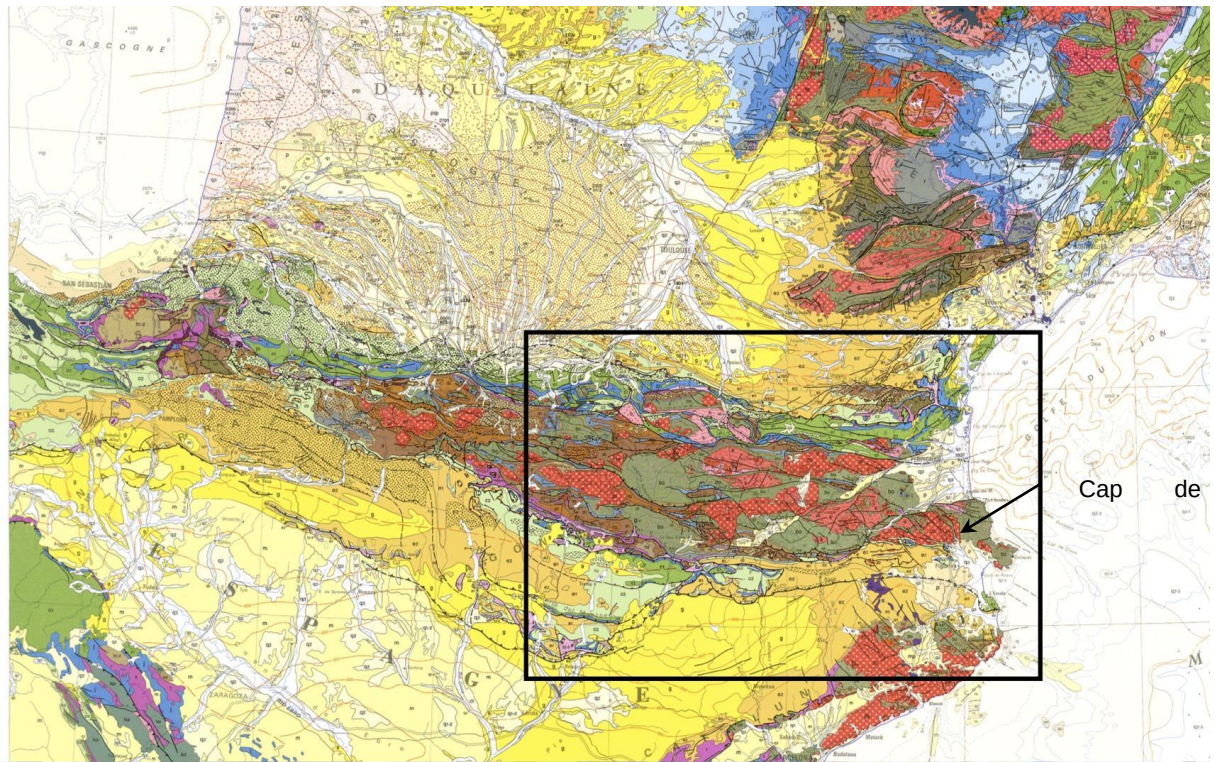
La convergence Ibérie-Europe à partir du Crétacé supérieur, responsable de l'orogénèse pyrénéenne, a entraîné l'inversion de la marge hyperétendue. Ce raccourcissement a entraîné l'enfouissement et l'imbrication structurale des corps mantelliques précédemment exhumés, expliquant leur position actuelle.

Seule la moitié des candidats a abordé cette question, et les réponses apportées étaient le plus souvent très succinctes et dépourvues de schémas, traduisant une connaissance limitée de la géologie de la chaîne des Pyrénées.

Partie III. Géologie de Cap de Creus

L'objectif de cette partie est de réaliser une analyse tectonique et métamorphique dans la région du Cap de Creus, au nord-est de la Catalogne (Espagne) et d'inscrire ces observations et interprétations dans le contexte géodynamique des Pyrénées et bassins environnants.

Document III.A : Extrait de la carte géologique de la France au 1/1 000 000^{ème}. Le rectangle noir indique la zone pour laquelle vous devez réaliser un schéma structural à la question III.1.



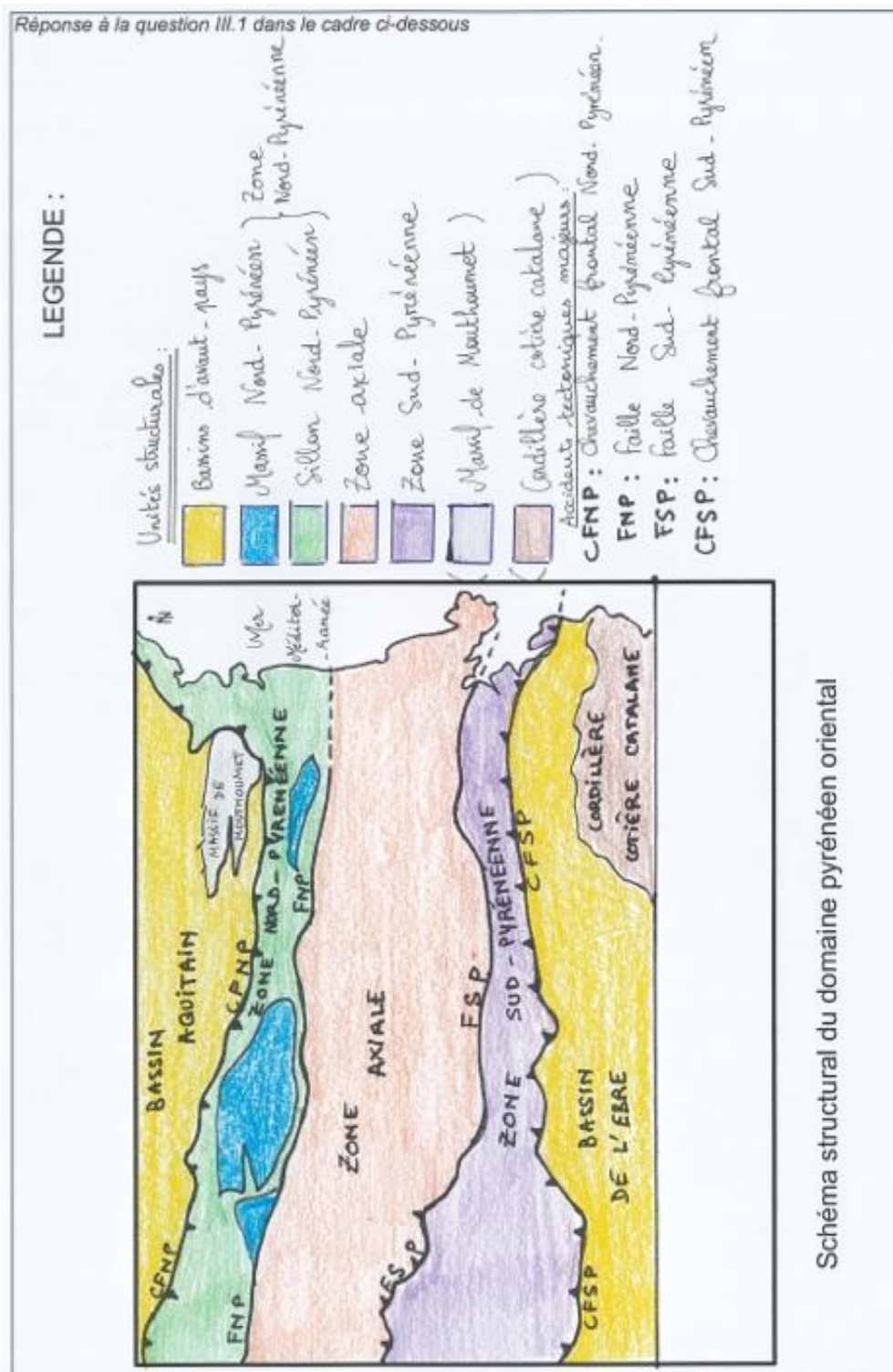
Question III.1. A partir de la carte géologique de la France au 1/1 000 000^{ème}, **réaliser** un schéma structural de la zone comprise dans le rectangle noir du document III.A. Pour cela, vous devez utiliser sur la carte géologique de la France disponible sur votre paillasse. Vous avez du papier calque à disposition si vous le souhaitez.

Réponse à la question III.1 —> page suivante, dans le cadre prévu à cet effet

Réponse à la question III.1 dans le cadre ci-dessous

De nombreux candidats confondent carte géologique simplifiée et schéma structural, produisant des documents qui ne permettent pas de distinguer les différentes unités structurales. En outre, les accidents tectoniques majeurs sont trop souvent absents des schémas structuraux proposés.

Un exemple de schéma structural attendu est présenté ci-dessous :



Question III.2. À quel ensemble morpho-structural correspond la région du Cap de Creus (localisée sur le document III.A) ?

Réponse à la question III.2

Tous les candidats ayant réalisé un schéma structural correct ont pu associer la région de Cap de Creus à la Zone Axiale.

Le document III.B présente la région de Cap de Creus avec les indications de localisation des affleurements ou roches présentés dans la suite de cette partie.

Document III.B : Localisation des photographies d'affleurements ou de roches présentées dans les questions III.3 à III.6.



Question III.3. Réaliser un schéma légendé des structures observées sur la photographie A (localisation A sur le document III.B) dans le cadre prévu à cet effet, en indiquant la cinématique associée à la déformation si cela est possible. Photographie vue de dessus, plan horizontal ©Carreras & Druguet, (2011).

Réponse à la question III.3



Cette photographie montre à la fois une déformation cassante (faille mineure avec une géométrie de rampe) et des cisaillements localisés, ces déformations se sont donc probablement produites à la limite ductile/cassant dans des métasédiments principalement quartzitiques de Cap de Creus (Quartzites de Rabassers).

A partir de cette photographie, il était attendu des candidats d'indiquer que le bloc au NE (en haut à gauche sur la photographie) se déplaçait vers le SSE le long de cette faille (ce mouvement correspond aux cisaillements tardifs observés dans la région de Cap de Creus et représentés en vert sur le Document III.C.)



Photographie B : Photographie d'affleurement vue de dessus, plan horizontal (localisation B sur le document III.B) ©S. Graul, *communication personnelle*.

Question III.4. Proposer une identification du type de roche affleurante sur la photographie B et **argumenter** votre proposition.

Réponse à la question III.4

Pour cette question, plusieurs réponses étaient possibles. Des points ont été attribués à toute proposition correctement argumentée et fondée sur des éléments d'observation pertinents.

Cette photographie représente des métapélites quartzitiques.

Question III.5. Réaliser un schéma légendé des structures observées sur la photographie B (localisation B sur le document III.B) dans le cadre prévu à cet effet, en indiquant la cinématique associée à la déformation si cela est possible.

Réponse à la question III.5



Il était attendu des candidats qu'ils identifient les différents plis visibles sur cette photographie, notamment les plis en fourreau, reconnaissables grâce à la présence de structures concentriques. Ces plis en fourreau étaient eux-mêmes replissés. Il était cependant difficile de préciser une cinématique à partir de cette photographie, l'orientation de la linéation n'étant pas indiqué.

Certains candidats ont relevé les différents axes de plis observés et les ont interprétés comme le témoin d'une déformation polyphasée. Cette interprétation a été valorisée. Toutefois, il est intéressant de souligner que ces variations peuvent résulter d'un continuum de déformation ductile, au cours duquel les structures sont progressivement déformées et subissent des rotations, sans qu'il soit nécessaire d'invoquer plusieurs phases de déformation.

Dans la Péninsule du Cap de Creus, deux principaux types de roches affleurent : des métasédiments d'âge Néoprotérozoïque à Cambrien Inférieur de couleur foncée, intrudés par des filons pegmatitiques leucocrates. Ces 2 principaux types sont visibles sur la photographie C.

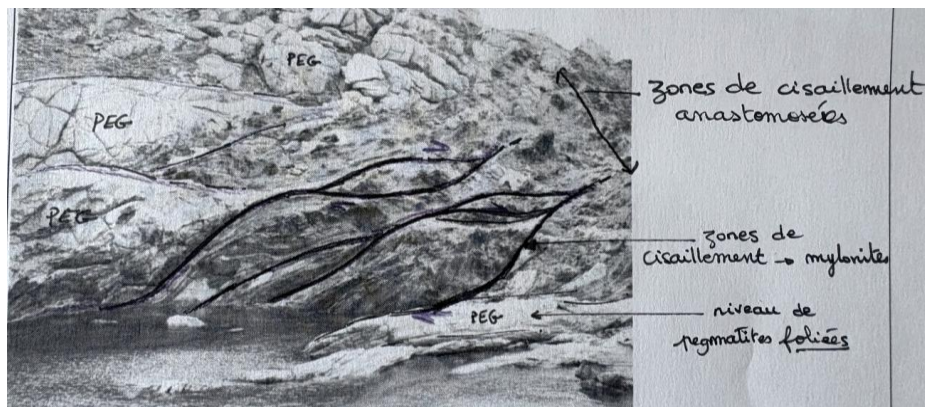
Photographie C : Photographie d'affleurement à Cala Cullaró (localisation C sur le document III.B) ©A. Robert, *communication personnelle*.



Question III.6. Identifier, souligner et légender les structures tectoniques observées sur la photographie C imprimée en niveaux de gris ci-dessous, puis les **interpréter** en termes de déformation

Réponse à la question III.6

Il était attendu des candidats qu'ils identifient les structures sigmoïdes, qui permettent de proposer un sens de cisaillement du haut vers le SSE (« top-to-the-SSE », jeu apparent dextre sur cette photographie). À cette échelle, les bandes de cisaillement sont nettement visibles grâce au développement de roches mylonitiques.



Très peu de candidats ont répondu à cette question.

Question III.7. En vous appuyant sur vos observations et vos interprétations des photographies A, B et C, **présenter** les arguments attestant d'une déformation polyphasée dans la région du Cap de Creus.

Réponse à la question III.7

Pour cette question, plusieurs arguments pouvaient être avancés. La majorité des candidats a considéré que la coexistence de déformations cassantes et ductiles témoignait d'une histoire de déformation polyphasée. Si cet argument a été pris en compte, il ne constituait toutefois pas, à lui seul, une démonstration suffisante. Il était attendu que les candidats étayent leur interprétation par plusieurs arguments, notamment en mettant en évidence des cinématiques distinctes associées aux différentes phases de déformation.

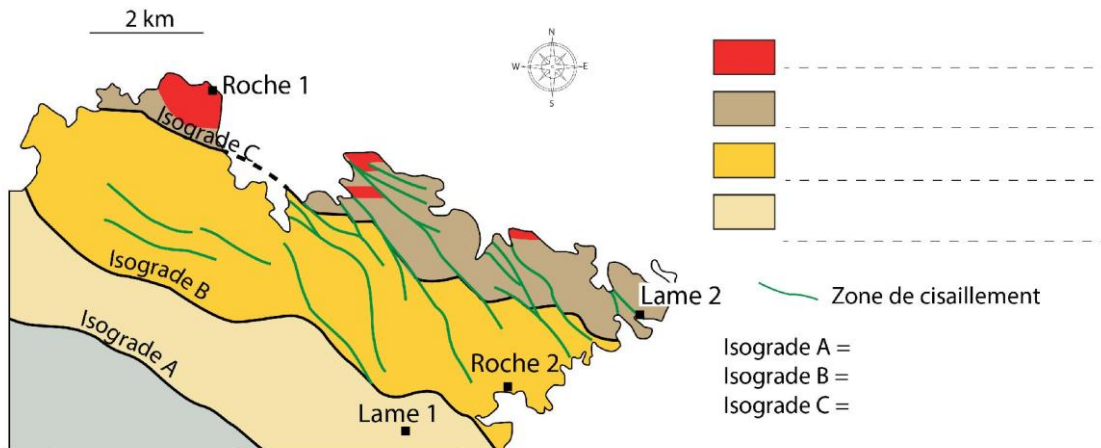
Assez peu de candidats ont répondu à cette question

Pour compléter l'analyse structurale, une étude pétrologique a été réalisée.

ATELIER 3 : ROCHES ET LAMES MINCE

Poste 1 : 1 échantillon macroscopique de roche (Roche 1) et 2 lames minces (Lame 1 et Lame 2) vous sont fournis, tous proviennent de la région de Cap de Creus.

Document III.C : Carte simplifiée de la région de Cap de Creus où sont localisés les échantillons de roche et lames de l'atelier 3. Les trois principaux isogrades sont représentés.



Question III.8. Réaliser un dessin légendé de la roche 1, **proposer** une possible composition minéralogique et **présenter** brièvement les processus de formation et/ou de déformation de ces roches.

Réponse à la question III.8

Les candidats ont souvent été capables de reconnaître cette roche migmatitique et d'expliquer qu'elle résulterait d'un processus de fusion partielle mais les arguments permettant d'aboutir à cette identification sont rarement énoncés avec rigueur. Les dessins légendés d'échantillons macroscopiques sont souvent trop simplifiés et peu précis

Photographie de la Roche 1 (métapélite migmatitique) :



Question III.9. À partir de l'identification de la roche 1, **formuler** une hypothèse quant à la présence des deux principales lithologies au Cap de Creus (métasédiments et filons de pegmatites leucocrates) ?

Réponse à la question III.9

Cette question a été globalement bien traitée. La plupart des candidats ont correctement établi le lien en proposant que les pegmatites résultaient de la fusion partielle des métasédiments.

Question III.10. Identifier les différents minéraux observés sur la lame 1, **estimer** leurs proportions relatives et **proposer** une identification de la roche correspondante.

Réponse à la question III.10

Il s'agissait ici d'un micaschiste à biotite (Qz-Fd-Bi +/- Mu). De nombreux candidats ne présentent pas les arguments de détermination des minéraux et font des erreurs majeures d'identification minéralogique

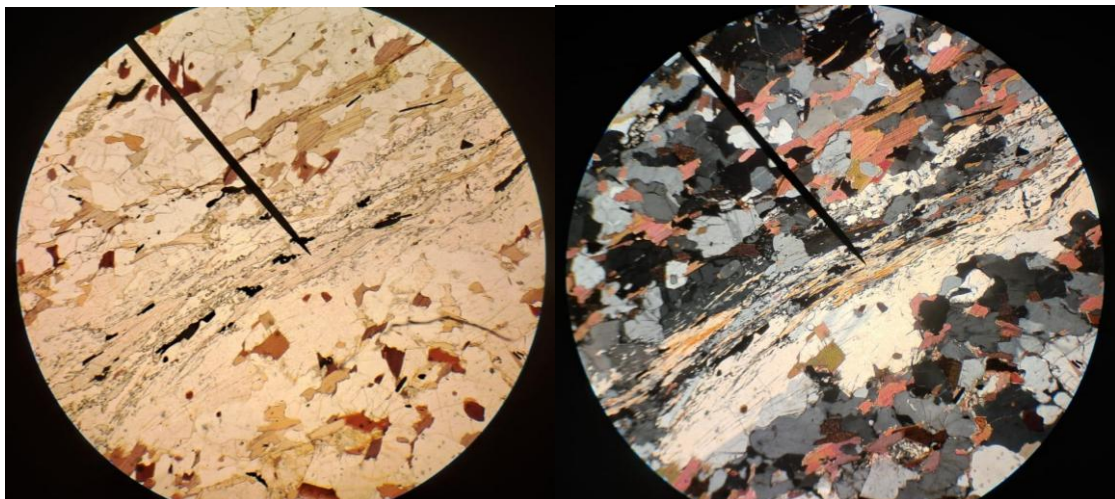
Question III.11. Réaliser un dessin d'observation de la lame n°2.

Réponse à la question III.11

Les dessins manquaient fréquemment de rigueur, de soin et de précision, certains candidats représentant une observation uniquement en LPA.

La lame n°2 correspondait à un micaschiste à sillimanite,

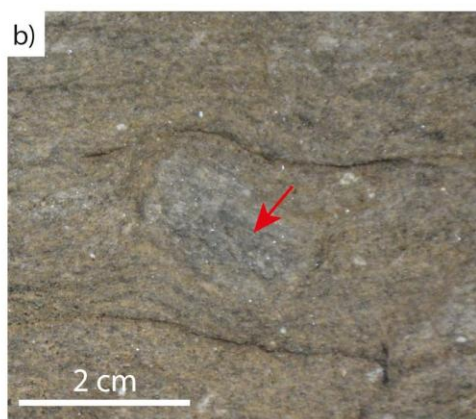
Photographies des lames en LPNA et LPA :



Document III.D : a) et b) photographies de la roche 2 (localisation sur le document III.C) et c) résultats d'une analyse

- FIN DE L'ATELIER 3 -

Caractéristiques principales de cette roche



c)

Analyse chimique par microsonde électronique (EPMA), exprimée en pourcentages massiques d'oxydes pour le minéral indiqué par la flèche rouge sur le zoom présenté en b).

	(1)
SiO ₂	36.74
TiO ₂	0.01
Al ₂ O ₃	62.70
Fe ₂ O ₃	0.36
FeO	0.05
CuO	0.02
MgO	0.03
K ₂ O	0.07
H ₂ O ⁺	0.15
H ₂ O ⁻	0.01
Total	100.14

Question III.12. A partir du document III.D, **proposer** une probable identification de la roche 2 et **présenter** brièvement les processus de formation et/ou de déformation de ces roches.

Réponse à la question III.1

La roche 2 était caractérisée par une schistosité et la présence de porphyroblastes centimétriques. Les analyses chimiques suggéraient une composition riche en silicium et aluminium pour ce minéral porphyroblastique, indiquant donc un probable silicate d'alumine. Le silicate d'alumine le plus probable compte tenu de sa forme était donc l'andalousite.

Il s'agit donc probablement d'un schiste à andalousite formé lors du métamorphisme régional (basse pression-moyenne à haute température) de roches pélitiques.

Cette question a été très peu traitée par les candidats, et plusieurs confusions entre roche et minéral ont été relevées.

Question III.13. Définir le terme isograde.

Réponse à la question III.13

Moins de la moitié des candidats est capable de définir rigoureusement le terme isograde.

Question III.14. Compléter la légende du document III.C en vous appuyant sur les identifications des échantillons macroscopiques et lames minces effectuées lors de l'atelier 3. **Indiquer** le minéral index du métamorphisme associé à chaque isograde représenté.

Réponse à la question III.14 sur le document III.C

Pour cette question, les erreurs d'identification aux questions précédentes n'étaient pas pénalisées. L'essentiel consistait à reporter les différentes observations sur le document III.C. Malgré cela, de nombreux candidats n'ont pas complété le document III.C.

Question III.15. À partir du document III.C, **proposer** une chronologie relative entre le métamorphisme observé et le développement des zones de cisaillement, en indiquant le ou les argument(s) étayant votre proposition.

Réponse à la question III.15

Cette question a été très bien réussie par les candidats ayant atteint cette question.

Il convenait de mobiliser le principe de recoupement afin de proposer que les zones de cisaillement étaient postérieures au métamorphisme BP-MT, à l'origine des isogrades.

Question III.16. Quel contexte géodynamique - ou quels contextes géodynamiques - permet(tent) d'expliquer la présence de ces différentes roches ?

Réponse à la question III.16

Cette question et toutes les suivantes de la partie III ont été très peu traitée par les candidats (moins de 25% des candidats)

Ces roches traduisent un métamorphisme régional cohérent avec un contexte géodynamique de collision avec une augmentation du degré de métamorphisme (faciès schiste vert puis amphibolite jusqu'à la fusion partielle conduisant à la formation de migmatites).

Afin de mieux caractériser l'histoire géologique des roches du Cap de Creus, différents auteurs ont réalisé des datations.

La phase magmatique primaire de cristallisation et d'emplacement des pegmatites leucocrates du Cap de Creus (localisation C sur le document III.A) ont été datées par géochronologie U-Pb sur zircons et minéraux du groupe columbite entre $\sim 296 \pm 2,5$ Ma et $302 \pm 3,8$ Ma (Van Lichtenvelde et al., 2017).

Question III.17. A quel épisode géodynamique des Pyrénées l'emplacement des pegmatites peut-il être associé ?

Réponse à la question III.17

L'emplacement des pegmatites, daté à ~ 300 Ma correspondait à l'orogénèse varisque.

Monié et al., (2025) ont effectué des datations $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sur micas dans plusieurs roches du secteur de Cap de Creus.

Question III.18. Rappeler le principe de la datation $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$.

Réponse à la question III.18

Méthode de géochronologie isotopique dérivée du K-Ar, basée sur la désintégration du ^{40}K en ^{40}Ar .

Principe : l'échantillon est irradié afin de convertir une fraction du ^{39}K en ^{39}Ar . Le ^{39}Ar sert de proxy du potassium. On mesure alors par spectrométrie de masse le rapport $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ ($^{40}\text{Ar}^*$ = argon radiogénique, corrigé de l'argon atmosphérique), ce qui permet ensuite d'obtenir l'âge de cristallisation du minéral analysé selon l'équation:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + J \frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{39}\text{Ar}} \right)$$

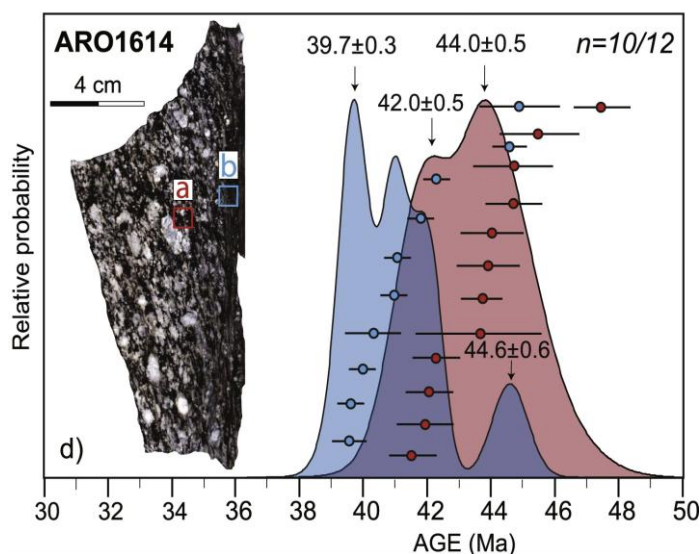
où J est calibré par un standard co-irradié d'âge connu.

Le chauffage par paliers produit un spectre d'âges apparents. L'obtention d'un plateau d'âge indique que le système K-Ar est resté fermé depuis l'événement daté (généralement la fermeture isotopique, souvent proche de la cristallisation dans les roches volcaniques), alors qu'une perturbation (perte ou excès d'Ar) est détectable

Très peu de candidat ont su répondre à cette question et des confusions avec d'autres méthodes géochronologiques sont très fréquentes.

Monié et al. (2025) ont effectué des datations in situ sur des échantillons prélevés à ~10km au sud-ouest de Cap de Creus, considérés comme ayant subi une déformation similaire et synchrone de celle affectant les pegmatites.

Document III.E: Résultats des datations $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ in-situ sur muscovite pour l'échantillon ARO1614, affecté par des cisaillements synchrones à ceux affectant les pegmatites (Monié et al., 2025)



Question III.19. Décrire et interpréter le document III.E.

Réponse à la question III.19

Les résultats de datation in situ sur muscovite indiquent, dans un premier temps, des âges de fermeture du système à l'Éocène, compris entre $39,7 \pm 0,3$ Ma et $44,0 \pm 0,5$ Ma. Par ailleurs, les datations réalisées dans la zone a) fournissent des âges légèrement plus anciens que ceux obtenus en zone b) (zone plus mylonitisées, au cœur de la bande de cisaillement), ce qui permet de relier ces âges éocènes à un épisode de déformation (ces grands cisaillements étaient jusqu'alors interprétés comme varisques). Ces données suggèrent ainsi l'existence d'une déformation cisailante tardive d'âge éocène dans la région de Cap de Creus, en lien avec la convergence entre l'Ibérie et l'Europe.

Question III.20. En vous appuyant sur toutes les données présentées et collectées dans cette partie III, **retracer** l'histoire géodynamique de la région du Cap de Creus

Réponse à la question III.20

La région du Cap de Creus enregistre une histoire géodynamique polyphasée dominée par l'orogénèse varisque, puis remaniée lors d'une réactivation cénozoïque liée à l'orogénèse pyrénéenne.

Dans un premier temps, les séries sédimentaires protolithes sont enfouies et métamorphisées (micaschistes à biotite, andalousite, sillimanite) témoignant d'un gradient thermique élevé associé à la collision et à l'épaississement crustal. La présence de migmatites atteste de conditions d'anatexie liées à l'évolution tardi-orogénique de la chaîne varisque, vers 300 Ma, lors de la transition vers l'effondrement gravitaire de l'orogène.

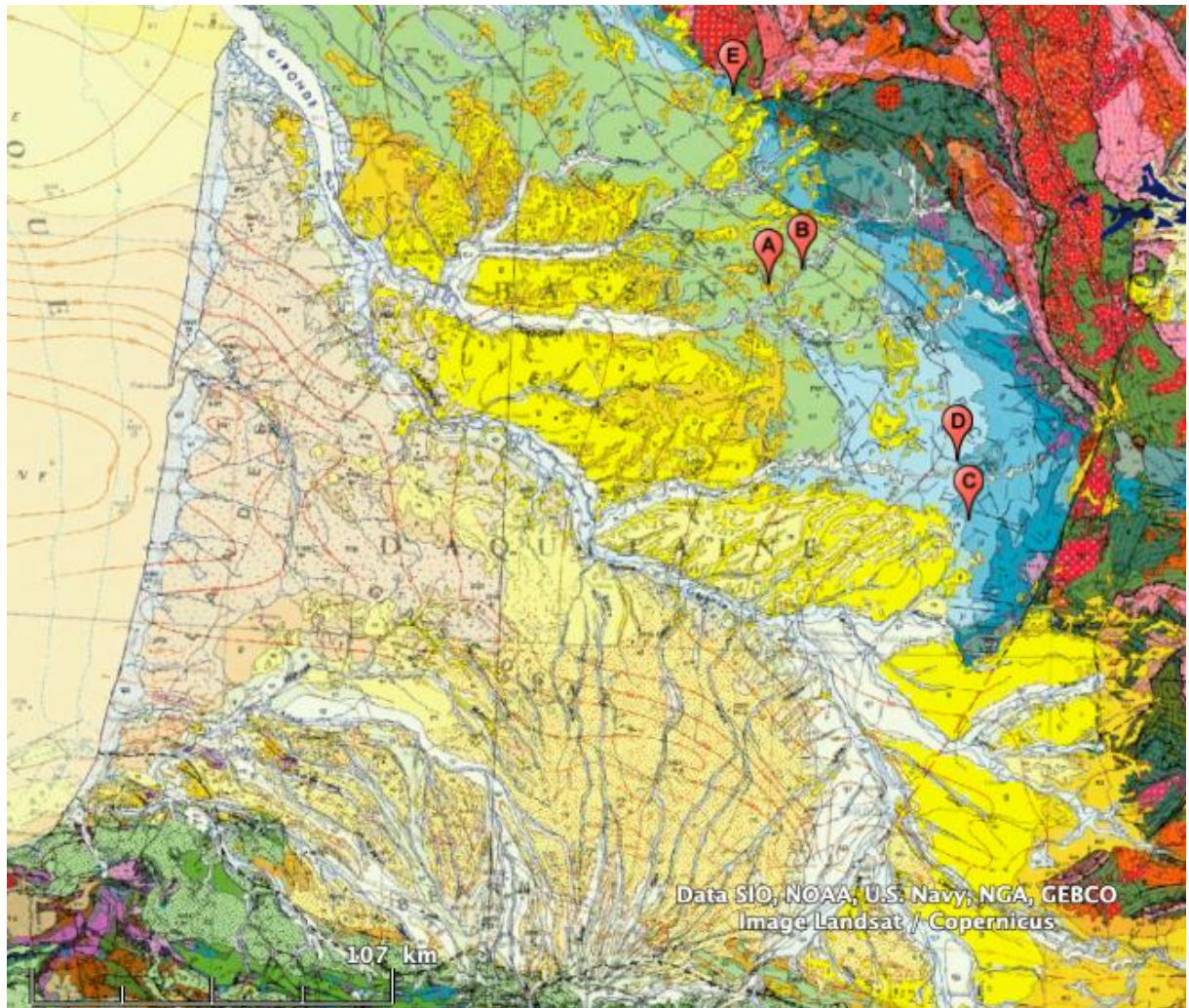
Parallèlement à cette évolution métamorphique, la croûte est fortement déformée en régime ductile non coaxial. Cette déformation s'exprime par le développement de zones de cisaillement à différentes échelles, de structures plissées, ainsi que de plis en fourreau, témoignant d'un étirement important associé au cisaillement.

Enfin, les données géochronologiques obtenues sur les muscovites indiquent un événement cénozoïque à l'Éocène, autour de 40-45 Ma. Ces âges sont interprétés comme la signature d'une réactivation des zones de cisaillement varisques dans le contexte de la convergence pyrénéenne, accompagnée d'une déformation cisailante tardive et de l'exhumation des unités profondes.

Partie IV. Les grottes du sud-ouest : entre processus géologiques et occupations humaines

Document IV.A : Extrait de la carte géologique de la France au 1/1 000 000^{ème} et localisation de différentes grottes et abris sous roche du sud-ouest.

A : Abri sous roche de la Ferrassie – B : Abri sous roche du Moustier – C : Grotte du Cloup d'Aural – D : Grotte de Pech Merle – E : Grotte de Villars



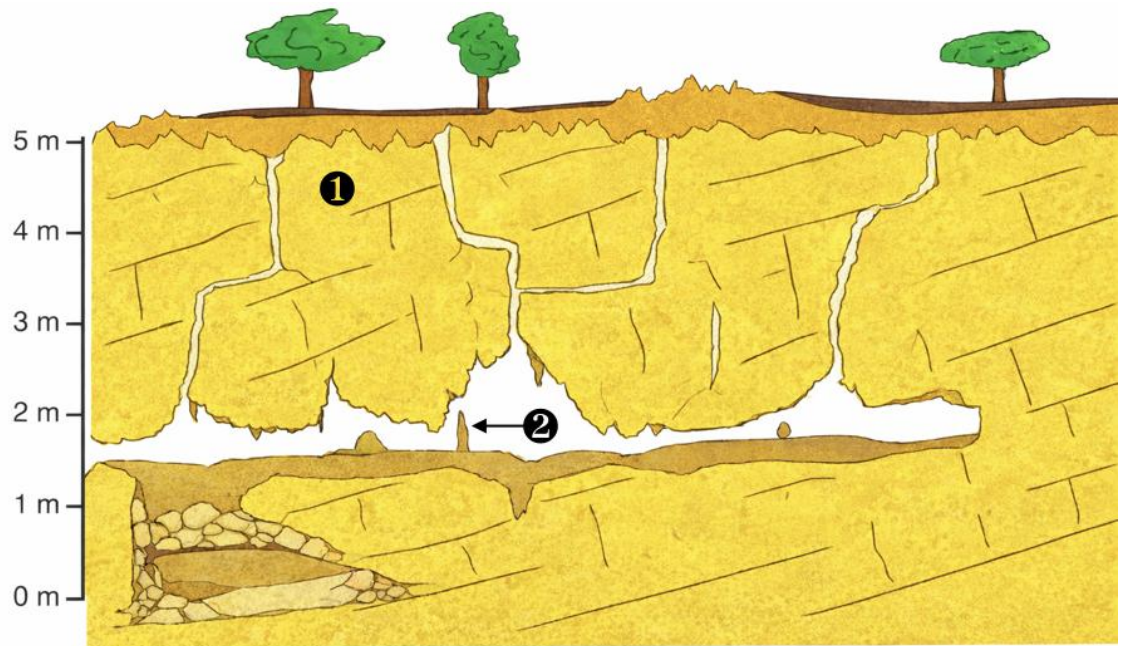
Le Bassin d'Aquitaine abrite plusieurs milliers de grottes, d'abris sous roche et de cavités karstiques, qui constituent de remarquables archives naturelles où se côtoient objets géologiques, traces des processus karstiques et vestiges de la lignée humaine. Nous étudierons différents aspects de ces structures géologiques.

IV – A Caractérisation du milieu karstique et des traces d'occupation humaine

ATELIER 4 : OBJETS GEOLOGIQUES DES GROTTES DU SUD-OUEST

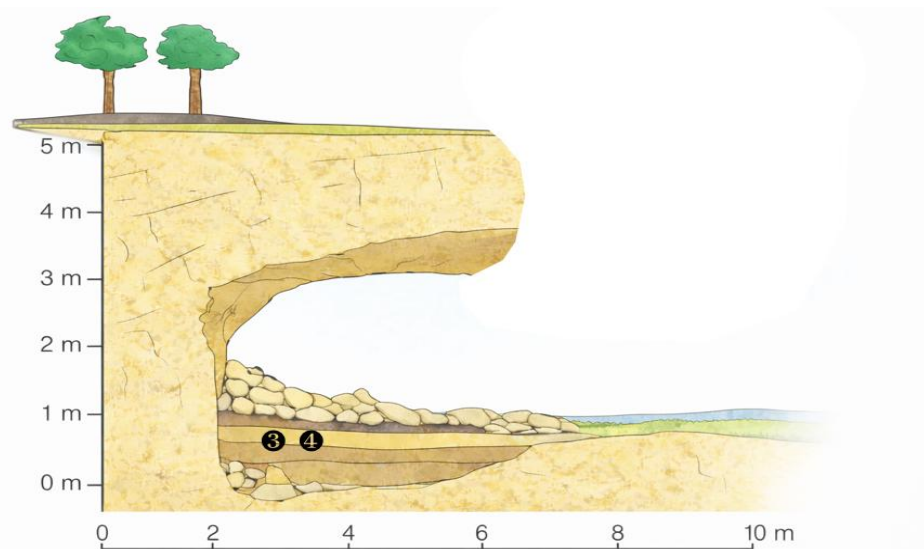
Document IV.B : Coupe théorique de grottes-types du sud-ouest et localisation de deux objets géologiques (échantillons 1 et 2).

L'**échantillon 1** correspond à la roche encaissante de la grotte du Cloup d'Aural (cf. document IV.A), au sein de laquelle se développe l'**échantillon 2**.



Document IV.C : Coupe théorique d'abris sous roche-types du sud-ouest et localisation de deux objets géologiques (échantillons 3 et 4).

Les **échantillons 3 et 4** ont été retrouvés lors de fouilles dans les abris sous roche de La Ferrassie et du Moustier (cf. document IV.A).



Question IV.1. Réaliser un dessin d'observation légendé de l'**échantillon 1** (étude macroscopique et microscopique) puis **proposer** un paléoenvironnement de dépôt en utilisant la classification de Dunham.

Réponse à la question IV.1.

Cette question est bien réussie par les candidats. La plupart identifient correctement un calcaire oolithique de type *grainstone* et mobilisent de manière pertinente la classification de Dunham pour proposer un environnement de dépôt. Les meilleures copies associent les observations macroscopiques et microscopiques, justifient la présence d'une sparite et relient l'ensemble à un environnement marin peu profond, chaud et énergétique, de type plateforme carbonatée, en s'appuyant sur le principe d'actualisme.

Les principales difficultés concernent la qualité des dessins d'observation, parfois insuffisamment soignés ou incomplets, ainsi que la justification du paléoenvironnement, qui reste parfois trop descriptive et insuffisamment argumentée.

Question IV.2. Réaliser un dessin d'observation légendé de l'échantillon 2 puis **proposer** un schéma explicatif des processus physico-chimiques ayant conduit à sa formation. Quelles sont les différentes origines possibles du carbone de cet échantillon?

Réponse à la question IV.2.

Cette question est globalement peu réussie. Si la plupart des candidats reconnaissent une stalagmite et décrivent correctement les principales étapes de sa formation par dissolution, transport puis précipitation du carbonate de calcium, les explications restent souvent descriptives. Les copies les plus faibles ne discutent pas les processus physico-chimiques contrôlant la croissance de la structure ni les mécanismes à l'origine de la succession des lamines observées (variations des conditions hydrologiques, climatiques ou de la chimie des eaux).

De même, l'origine du carbone est fréquemment énoncée sous forme d'une simple liste, sans mise en relation avec les différents réservoirs de carbone impliqués dans le fonctionnement du système karstique.

Question IV.3. Expliquer les processus géologiques à l'origine de la formation des deux structures karstiques (grotte et abri sous roche) présentées dans les documents IV.B et IV.C.

Réponse à la question IV.3.

Cette question est globalement peu réussie.

Si certains candidats décrivent correctement les mécanismes de dissolution à l'origine des cavités karstiques, beaucoup peinent à expliquer la genèse d'une grotte dans sa globalité et, plus encore, celle d'un abri sous roche.

Les réponses se limitent souvent à une description de la dissolution du calcaire, sans prendre en compte le rôle de la circulation des eaux dans le réseau de fractures ni l'intervention des processus mécaniques (érosion, gélifraction, éboulements, recul de paroi) dans l'ouverture des cavités vers l'extérieur. Les meilleures copies articulent ces différents processus et montrent que la formation d'un abri sous roche résulte de la combinaison de mécanismes chimiques et mécaniques intervenant à différentes échelles de temps.

Question IV.4. Nommer l'échantillon 3 en justifiant sa caractérisation. **Identifier** les caractères diagnostiques permettant de le rattacher à la lignée humaine.

Réponse à la question IV.

L'identification de l'échantillon est le plus souvent correcte, mais l'argumentation est trop souvent absente, incomplète ou imprécise. Les caractères morphologiques sont fréquemment énumérés sans être exploités pour justifier la détermination de l'espèce ni pour distinguer les caractères diagnostiques propres à *Homo neanderthalensis* de ceux permettant de rattacher le fossile à la lignée humaine.

Question IV.5. Pour l'échantillon 4, **identifier** la matière première utilisée et le type de pièce façonnée. **Proposer** une ou plusieurs fonctions possibles en vous appuyant sur la forme de l'objet. **Indiquer** enfin la période au cours de laquelle ce type d'objet est susceptible d'avoir été façonné.

Réponse à la question IV.5.

Cette question est globalement bien réussie. La plupart des candidats identifient correctement le silex comme matière première, reconnaissent un racloir et proposent des fonctions cohérentes, principalement liées au travail des peaux, mais également du bois ou de l'os.

En revanche, la datation de cet objet est plus souvent imprécise ou erronée. Les meilleures copies situent le racloir dans le Paléolithique moyen et l'associent aux industries développées par les populations néandertaliennes.

- FIN DE L'ATELIER 4 -

IV – B Datation d'une peinture rupestre de la grotte de Pech Merle

La grotte du Pech Merle (cf. document IV.A) est célèbre pour son art pariétal, associant peintures, gravures et mains négatives.

Document IV.D: La fresque des chevaux de la grotte de Pech Merle.

Bloc orné de 3,6 m de long pour 1,65 m de haut. Il montre deux chevaux adossés, un grand poisson (esturgeon ou brochet), un troisième cheval partiel, six mains négatives, sept empreintes de pouces et un motif circulaire enfermant un ovale.



Le panneau présente une superposition de tracés appartenant à des phases graphiques distinctes : certains motifs ont été réalisés avec de l'ocre, un pigment rouge minéral, tandis que d'autres, plus sombres, comme pour les chevaux, ont été ajoutés ultérieurement à l'aide de charbon de bois. Cette stratification graphique témoigne d'une chronologie relative interne au panneau, impliquant des techniques et des matières premières variées.

Données : demi-vie du carbone 14 = 5730 ans. L'activité massique du carbone 14 mesurée sur l'échantillon est de 0,0115 Bq par gramme de carbone. L'activité massique de référence moderne (1950) est de 0,226 Bq par gramme de carbone.

Question IV.6. En vous appuyant sur la nature des pigments observés, **indiquer** sur quel(s) type(s) de tracés une datation au carbone 14 peut être envisagée. **Justifier** votre réponse.

Réponse à la question IV.6.

Cette question est globalement bien réussie. La plupart des candidats identifient correctement que seule une peinture réalisée au charbon de bois peut faire l'objet d'une datation par le carbone 14, contrairement aux pigments minéraux tels que l'ocre. En revanche, la justification est souvent absente ou trop succincte. Les meilleures copies rappellent que la datation au carbone 14 ne s'applique qu'à la matière organique contenant du carbone radioactif, ce qui exclut les pigments minéraux.

Question IV.7. Rappeler la loi de décroissance radioactive puis **déterminer** l'âge radiocarbone de la fresque analysée en expliquant les étapes du calcul.

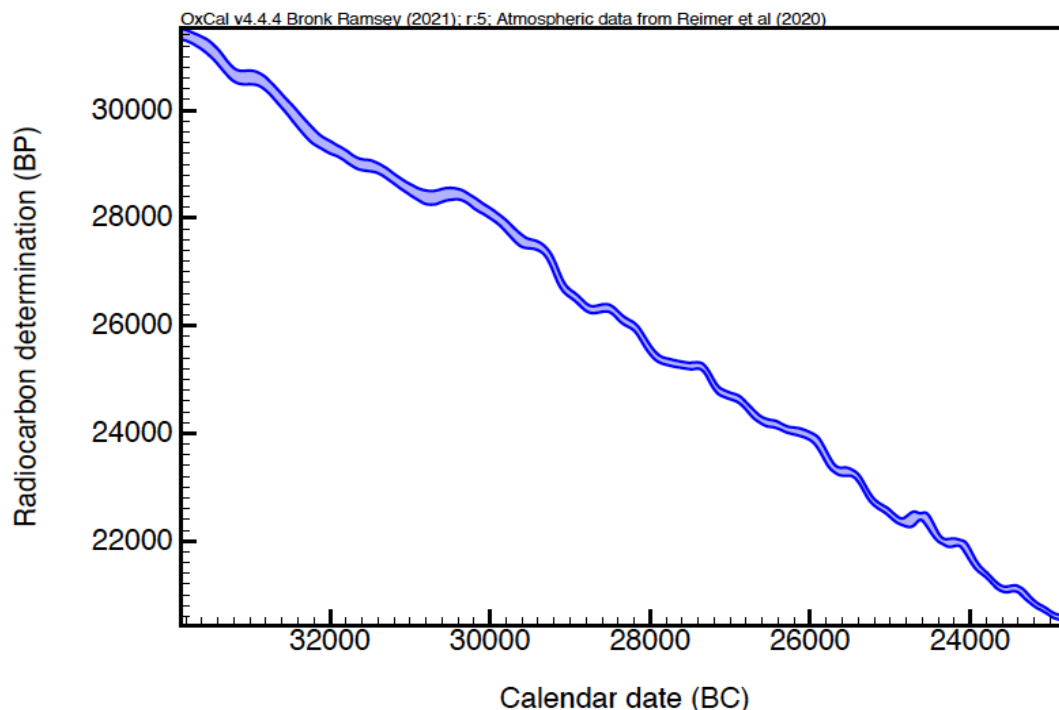
Réponse à la question IV.7.

Cette question est peu réussie. Si certains candidats rappellent correctement la loi de décroissance radioactive et parviennent à mettre en œuvre le calcul de l'âge radiocarbone, ces réussites restent minoritaires. Le jury constate un très faible nombre de copies traitant correctement l'ensemble de la question, alors qu'il s'agit d'une application classique du programme de lycée.

Les difficultés portent principalement sur la mobilisation de la loi de décroissance radioactive et sur la rigueur de la démarche de calcul. Les étapes intermédiaires sont souvent insuffisamment détaillées ou mal justifiées, notamment l'expression de la constante de désintégration, l'utilisation de la relation de décroissance et les transformations algébriques conduisant au résultat final. Les meilleures copies se distinguent par un raisonnement structuré et explicite.

Document IV.E : Courbe de calibration radiocarbone IntCal20 (hémisphère Nord)

Relation entre l'âge radiocarbone (^{14}C BP) et l'âge calendaire (cal BP) établie à partir de la courbe de calibration IntCal20. Cette courbe intègre les variations passées de la teneur atmosphérique en carbone 14 et permet de convertir un âge radiocarbone conventionnel en un âge calendaire, exprimé sous forme d'un intervalle de probabilité.



Question IV.8. Expliquer la nécessité d'une calibration en datation au carbone 14. À l'aide du document IV-E, **convertir** l'âge radiocarbone obtenu à la question IV.7 en un âge calendaire. **Expliquer** pourquoi le résultat est exprimé sous la forme d'un intervalle de probabilité plutôt que d'une valeur unique.

Réponse à la question IV.8.

Cette question est très rarement réussie, en grande partie parce que peu de candidats ont correctement traité la question précédente. Au-delà de cette difficulté, la nécessité de calibrer un âge radiocarbone est souvent mal comprise ou insuffisamment expliquée. Les candidats justifient rarement les variations de la concentration atmosphérique en carbone 14 au cours du temps et peinent à interpréter une courbe de calibration. Enfin, l'expression du

résultat sous la forme d'un intervalle de probabilité est fréquemment évoquée sans être reliée aux incertitudes de mesure et aux irrégularités de la courbe de calibration.

IV – Grotte de Villars et variations climatiques

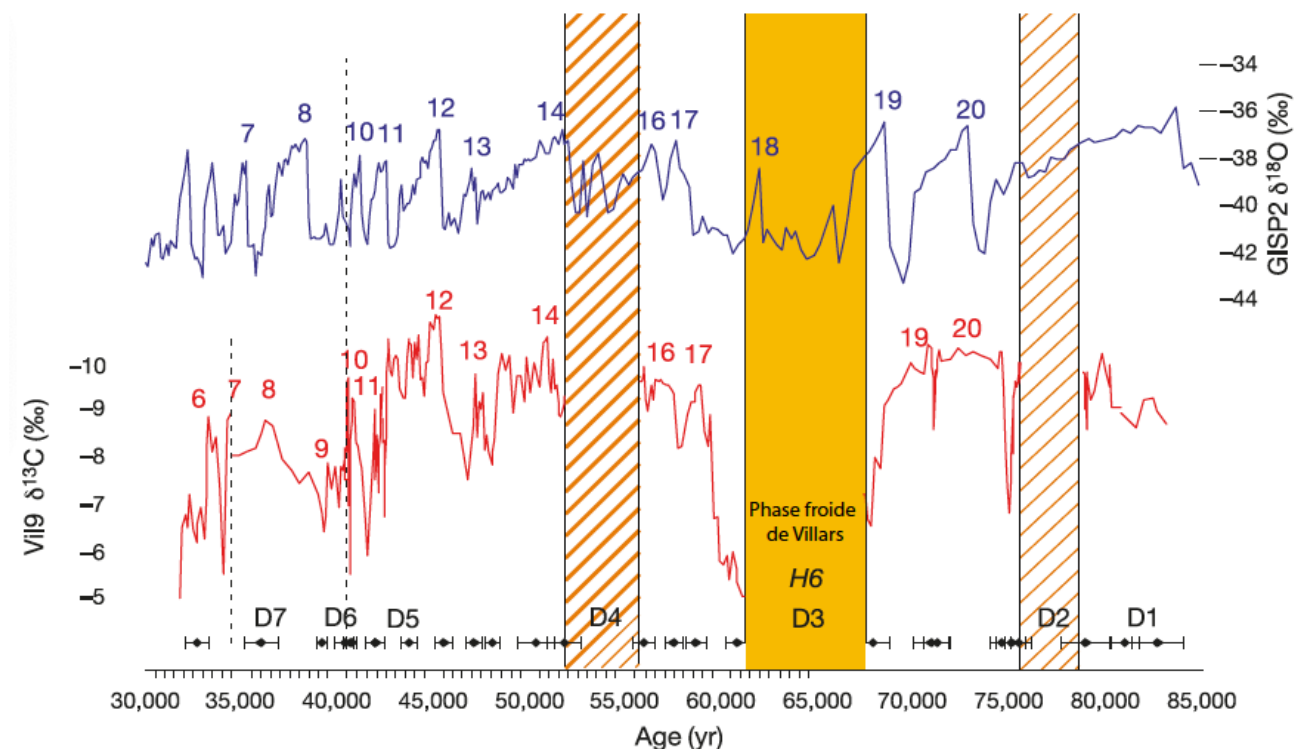
Si les grottes sont souvent étudiées pour les traces laissées par les sociétés humaines, elles peuvent également être abordées comme des systèmes enregistrant les variations climatiques au cours du temps. Nous nous intéresserons ici à la grotte de Villars (cf. document IV.A).

Document IV.F : Comparaison des enregistrements isotopiques des glaces du Groenland GISP2 ($\delta^{18}\text{O}$) et des spéléothèmes de la grotte de Villars Vil9 ($\delta^{13}\text{C}$) - Genty et. al (Nature - 2003)

Les travaux de Genty et al. (2003) ont montré que le carbone incorporé dans les spéléothèmes est majoritairement d'origine biogénique : environ 80 à 90 % provient du CO_2 produit par la respiration des racines et des micro-organismes des sols, tandis que la contribution du carbone issu de la dissolution du calcaire reste minoritaire.

D = Discontinuités de croissance du spéléothème (hiatus). H = Événement de Heinrich. Numéros (6, 7, 8, 12, 17, 19, 20, etc.) = Événement de Dansgaard–Oeschger (DO).

Les décalages de datation des événements de Dansgaard–Oeschger entre GISP2 et Vil9 s'expliquent par les incertitudes propres aux méthodes de datation utilisées et ne traduisent pas un décalage réel du signal climatique.



Question IV.9. Définir les marqueurs géochimiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ en donnant leur expression mathématique et en précisant le standard de référence utilisé. En quoi leur comparaison est pertinente pour l'étude des paléoclimats (5 lignes maximum).

Réponse à la question IV.9.

Cette question est globalement bien traitée. La plupart des candidats définissent correctement les marqueurs géochimiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ et expliquent l'intérêt de leur comparaison pour la reconstitution des paléoclimats. En revanche, les standards isotopiques

de référence (VPDB pour le carbone et généralement VPDB ou VSMOW selon la nature de l'échantillon pour l'oxygène) sont souvent méconnus ou confondus.

Question IV.10. Indiquer ce que permettent d'interpréter les variations de $\delta^{13}\text{C}$ dans les spéléothèmes continentaux et de $\delta^{18}\text{O}$ dans les glaces groenlandaises.

Réponse à la question IV.10.

Cette question est globalement peu réussie. De nombreux candidats connaissent les deux marqueurs isotopiques, mais peinent à distinguer les informations paléoenvironnementales qu'ils apportent. Les variations du $\delta^{13}\text{C}$ dans les spéléothèmes sont souvent interprétées à tort comme un indicateur direct de la température, alors qu'elles renseignent principalement sur les conditions environnementales locales (activité biologique des sols, végétation, humidité et origine du carbone). À l'inverse, le $\delta^{18}\text{O}$ mesuré dans les glaces groenlandaises constitue un proxy des variations de température au moment des précipitations. Les meilleures copies mettent clairement en évidence la complémentarité de ces deux rapports isotopiques, l'un documentant les réponses des écosystèmes continentaux, l'autre les variations climatiques à haute latitude.

Question IV.11. En quoi la comparaison de ces deux marqueurs est-elle pertinente pour l'étude des paléoclimats.

Réponse à la question IV.11.

Cette question est globalement peu réussie, pour des raisons similaires à celles observées à la question précédente. De nombreux candidats ne distinguent pas clairement les informations apportées par les deux marqueurs isotopiques et peinent à expliquer l'intérêt de leur comparaison. Les meilleures copies montrent que le $\delta^{18}\text{O}$ des glaces renseigne sur les variations climatiques à grande échelle, tandis que le $\delta^{13}\text{C}$ des spéléothèmes enregistre la réponse des environnements continentaux. Elles mettent ainsi en évidence la complémentarité de ces deux proxys pour relier les changements climatiques globaux à leurs conséquences régionales.

Question IV.12. À partir du document IV.F, **analyser** les variations du $\delta^{13}\text{C}$ enregistrées dans les spéléothèmes de la grotte de Villars en les comparant aux variations du $\delta^{18}\text{O}$ mesurées dans les glaces continentales du Groenland. **Expliquer** :

- ce que traduisent les phases de $\delta^{13}\text{C}$ élevé et de $\delta^{13}\text{C}$ faible,

Réponse à la question IV.12.

Les candidats devaient mettre en évidence la forte concordance entre les variations du $\delta^{13}\text{C}$ enregistrées dans les spéléothèmes de la grotte de Villars et celles du $\delta^{18}\text{O}$ mesurées dans les glaces groenlandaises, traduisant une synchronisation entre les changements climatiques globaux et la réponse des environnements continentaux.

Les phases de $\delta^{13}\text{C}$ faible correspondent à des périodes plus chaudes et plus humides, caractérisées par une activité biologique élevée des sols, une végétation plus développée et une plus forte contribution du carbone biogénique. À l'inverse, les phases de $\delta^{13}\text{C}$ élevé traduisent des conditions plus froides et/ou plus sèches, associées à une diminution de

l'activité biologique des sols et à une contribution relative plus importante du carbone issu de la dissolution des roches carbonatées.

- ce que représentent les événements de Dansgaard–Oeschger (DO) et les événements de Heinrich identifiables sur GISP2

Réponse à la question IV.12

Les candidats devaient identifier les événements de Dansgaard–Oeschger (DO) comme des épisodes de réchauffement rapide survenus durant la dernière période glaciaire, suivis d'un refroidissement plus progressif. Ils devaient également reconnaître les événements de Heinrich comme des épisodes plus rares de refroidissement marqué, liés à des décharges massives d'icebergs dans l'Atlantique Nord, perturbant la circulation océanique. L'identification de ces événements sur l'enregistrement isotopique du Groenland permettait de replacer les variations observées dans un contexte climatique global.

- et en quoi ces événements climatiques permettent d'interpréter les variations observées dans l'enregistrement continental de Villars.

Réponse à la question IV.12. (suite)

Les événements de Dansgaard–Oeschger, correspondant à des réchauffements rapides, sont associés à des phases de $\delta^{13}\text{C}$ faible à Villars, traduisant une augmentation de l'humidité, du développement de la végétation et de l'activité biologique des sols. À l'inverse, les événements de Heinrich, liés à des refroidissements marqués, coïncident avec des phases de $\delta^{13}\text{C}$ élevé, indiquant des conditions plus froides et/ou plus sèches et une diminution de l'activité biologique des sols.

La comparaison des deux enregistrements permet ainsi de montrer que les variations climatiques rapides affectant l'Atlantique Nord ont eu des répercussions sur les environnements continentaux du sud-ouest de l'Europe, enregistrées dans les spéléothèmes de la grotte de Villars.

IV – D Grotte du Cloup d'Aural et ressource géologique

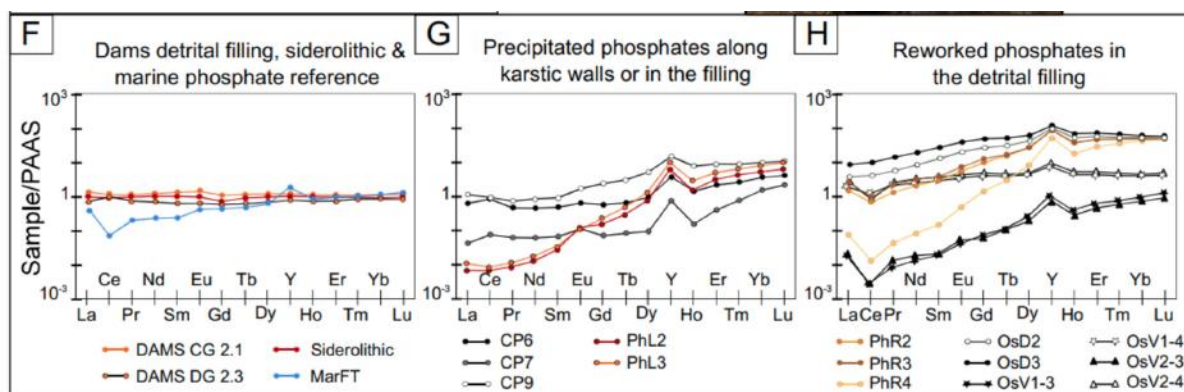
La grotte du Cloup d'Aural est une cavité karstique des Causses du Quercy (cf. document IV-A), qui s'est formée dans des calcaires jurassiques. Riche en phosphates, cette grotte a fait l'objet d'une exploitation minière aux XIX^{ème} et début du XX^{ème} siècle, au même titre que d'autres « phosphatières du Quercy ».

Question IV.13. En vous appuyant sur vos connaissances, **expliquer** pourquoi les phosphatières ont été exploitées.

Réponse à la question IV.13.

Cette question est très rarement traitée. Les candidats devaient mobiliser leurs connaissances sur les usages du phosphate, en expliquant que les phosphatières ont principalement été exploitées pour l'extraction de phosphates destinés à la fabrication d'engrais, en raison du rôle essentiel du phosphore dans la nutrition des végétaux. Les meilleures copies mentionnent également d'autres usages industriels plus ponctuels des phosphates.

En général, les gisements de phosphates sont majoritairement associés à des paléoenvironnements marins. La présence d'un gisement de phosphates dans un contexte continental karstique constitue donc une situation originale. L'étude des documents ci-dessous vise à comprendre l'origine du phosphore et les mécanismes ayant permis sa concentration dans la grotte du Cloup d'Aural.



Document IV.G : Signature géochimique en terres rares (REE) des phosphates de la grotte du Cloup d'Aural et comparaison avec des références continentales et marines (Lézin et al., 2025).

Ce document présente des spectres de terres rares (REE) normalisés au PAAS (référence de la croûte continentale moyenne), permettant de comparer la signature géochimique de différents matériaux présents dans la grotte du Cloup d'Aural.

Le panneau F présente les signatures REE des sédiments détritiques continentaux (DAMS DG 2.1 et 2.3), des altérites sidérolithiques continentales et d'une référence marine (dent de poisson, MarFT).

Le panneau G présente les signatures REE de phosphates de différents échantillons précipités in situ dans le karst (croûtes phosphatées sur les parois ou au contact du remplissage).

Le panneau H montre les signatures REE de phosphates de différents échantillons remaniés et accumulés dans le remplissage détritique de la cavité (fragments de croûtes phosphatées, nodules, os ayant subi une phosphatation).

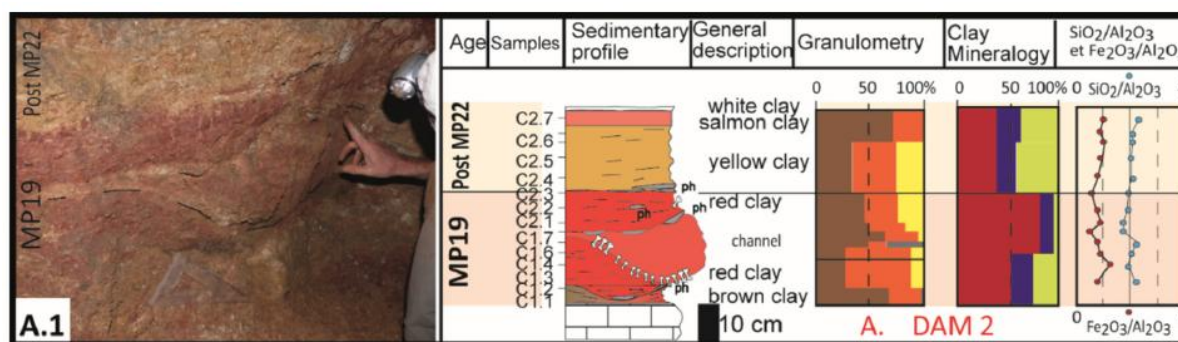
Question IV.14. À partir de la comparaison des signatures des phosphates et des témoins continentaux et marins, **déterminer** l'origine du phosphore accumulé au Cloup d'Aural.

Réponse à la question IV.14.

Cette question est très rarement traitée. Les candidats devaient comparer les signatures en terres rares des phosphates avec celles des témoins continentaux et marins afin d'en déduire l'origine du phosphore. Les meilleures copies identifient une signature géochimique proche de celle des témoins marins, caractérisée notamment par un enrichissement en terres rares lourdes et une anomalie négative en cérium. Elles concluent ainsi que le phosphore accumulé au Cloup d'Aural est d'origine marine, bien que sa précipitation et sa concentration se soient produites ultérieurement en contexte karstique continental.

Document IV.H : Organisation sédimentaire et minéralogique des remplissages de la grotte du Cloup d'Aural (Lézin et al., 2025).

Ce document présente une coupe des remplissages sédimentaires de la grotte du Cloup d'Aural, associant observations de terrain, organisation stratigraphique, granulométrie et minéralogie des argiles.



Question IV.15. À partir de l'analyse du document IV.H, **montrer** que les remplissages de la grotte du Cloup d'Aural résultent d'une altération chimique intense, et **expliquer** en quoi ce contexte a favorisé la mobilisation puis la concentration du phosphore.

Réponse à la question IV.15

Cette question est très rarement traitée. Les candidats devaient montrer que les caractéristiques minéralogiques et géochimiques des remplissages témoignent d'une altération chimique intense, notamment par hydrolyse, conduisant à la formation de kaolinite, à une désilicification et à un enrichissement relatif en aluminium et en fer. Ils devaient ensuite expliquer que ce contexte favorise la dissolution des roches carbonatées, la mobilisation du phosphore par les eaux de circulation karstique, puis sa précipitation et sa concentration progressive sous forme de phosphates au sein des remplissages de la cavité.

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

L'épreuve de contre-option de travaux pratiques visait à évaluer des compétences manipulatoires ainsi que la compréhension et l'analyse de résultats théoriques de biologie moléculaire et cellulaire.

Le sujet permettait également de tester des compétences organisationnelles des candidats afin de couvrir l'ensemble des questions posées malgré des temps d'attente imposés, ce qui a été réalisé par les meilleures copies.

Il s'agissait également de vérifier que les candidats manipulaient dans les règles d'hygiène et de sécurité convenables. De nombreux items du secteur A ont ainsi pu être évalués par ce TP.

La première partie avait pour but de déterminer la concentration en protéines de l'œuf par la méthode de Bradford. La plupart des candidats sont correctement préparés à l'utilisation du matériel de laboratoire. La gamme étalon obtenue et les mesures d'absorbance des échantillons sont convenables dans la majorité des cas même si le jury a constaté une utilisation parfois imprécise des micropipettes. Malheureusement la grande majorité des candidats n'exploite pas les mesures réalisées pour en donner une signification biologique pertinente. Cela est causé généralement par des difficultés calculatoires relatives à des calculs simples et à des difficultés de compréhension du protocole dans son entièreté.

La deuxième partie visait à caractériser l'action du lysozyme contenu dans le blanc d'œuf. L'analyse des documents n'est pas assez rigoureuse. Les conditions témoins ne sont presque jamais analysées et les conclusions sont souvent erronées à cause d'une méconnaissance des techniques de bases (électrophorèse, western blot, culture bactérienne) ou à cause de lacunes conceptuelles (organisation de la paroi bactérienne, reconnaissance de monomères glucidiques).

La troisième partie permettait d'étudier simplement les propriétés de la membrane coquillière. La plupart des candidats ont judicieusement commencé par cette partie, du fait des temps d'attente imposés. Cette partie a été traitée de façon inégale par les candidats : de façon rigoureuse et soignée ou de façon incohérente et approximative.

La quatrième partie permettait de tester la capacité des candidats à schématiser et identifier des structures embryonnaires caractéristiques d'un embryon de poule. Les candidats ont réalisé des schémas globalement soignés et réalistes. Cette partie est globalement bien réussie, mis à part quelques confusions et approximations d'anatomie embryonnaire.

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – Session 2026

**TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DU SECTEUR A
CANDIDATS DES SECTEURS B ET C
Durée totale : 2 heures**

Caractérisation de quelques propriétés biochimiques d'un œuf

Le sujet est composé de 4 parties indépendantes :

- **Partie I. Dosage et analyse des protéines de l'œuf**
 - **Partie II. Étude des propriétés du lysozyme**
 - **Partie III. Étude de la perméabilité de la membrane coquillière**
ATTENTION, cette partie comprend un temps d'attente incompressible de 40 minutes
 - **Partie IV. Étude du développement de l'embryon de poule**
ATTENTION, cette partie comprend un temps d'observation de 10 minutes

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

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

Vous disposez de 2 œufs de poule pour réaliser plusieurs expériences dans les parties I et III. Ouvrir l'œuf avec précaution pour la partie 1 car la coquille sera utilisée dans la partie III.

L'utilisation d'une calculatrice non programmable est autorisée. Celle-ci est fournie au candidat.

Avant de remettre votre dossier, vérifiez que vous avez bien indiqué vos nom, prénom et numéro de salle sur tous les documents que vous rendrez. **Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier.**

Partie I. Dosage et analyse des protéines de l'œuf

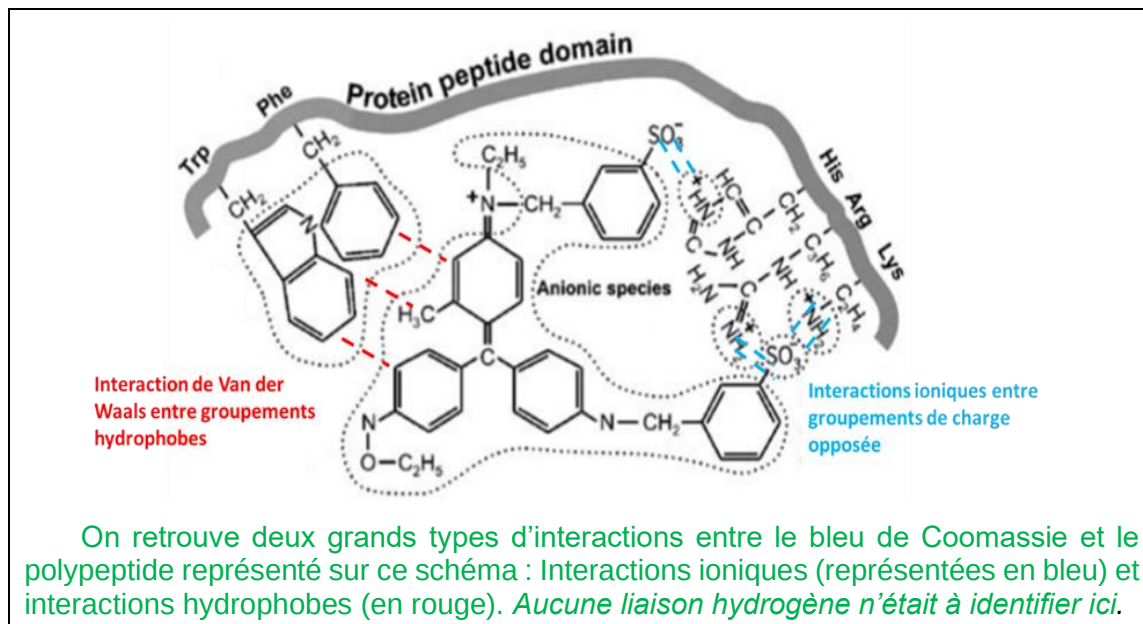
Afin de caractériser les différentes protéines contenues dans le blanc et le jaune d'œuf, on désire effectuer une électrophorèse en conditions dénaturantes.

A) Dosage protéique

On cherche dans un premier temps à déterminer la concentration protéique dans le blanc et le jaune d'un œuf de poule grâce à la méthode de dosage protéique de Bradford. Elle recourt au bleu de Coomassie qui a la capacité de s'associer aux polypeptides.

QI.A.1 : Mettre en évidence de façon explicite les différentes interactions entre le bleu de Coomassie et un polypeptide théorique représenté dans le cadre ci-dessous. Vous préciserez le type d'interaction.

Réponse à la question QI.A.1



La **figure 1** présente le spectre d'absorption du bleu de Coomassie (1) libre en solution sous forme anionique à pH>1,2 et (2) complexé à de la BSA (albumine sérique bovine).

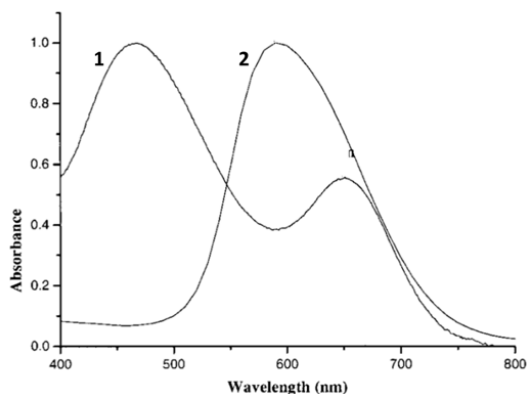


Fig 1. Spectre d'absorption du bleu de Coomassie en solution (1) ou complexé à la BSA (2)

QI.A.2 : D'après la figure 1, déterminer en le justifiant la longueur d'onde la plus adaptée au dosage spectrométrique d'une solution de BSA par le bleu de Coomassie.

Réponse à la question QI.A.2

Pour mesurer la quantité de protéines, on choisit la longueur d'onde pour laquelle on a le l'absorbance maximale de BSA-complexé ET un minimum d'absorbance de BSA sans protéine : 595 nm.

Le choix de 450 nm n'est pas optimal car cette longueur d'onde correspond à un minimum d'absorbance Coomassie-Protéine. Elle permet néanmoins de faire un dosage. Le choix de 550 nm n'est pas pertinent car la présence de protéine ne modifie par l'absorbance du bleu de Coomassie. Cette longueur d'onde ne permet pas de doser les protéines.

- Ouvrez l'œuf de poule à l'aide de ciseaux du côté pointu de l'œuf à quelques centimètres de la pointe. Versez le blanc d'œuf dans un premier b cher et le jaune dans un second. Conservez la coquille pour la partie III.
- **Attention**, si vous n'utilisez pas la coquille immédiatement pour la partie III, versez quelques mL d'eau distillée à l'intérieur de la coquille pour éviter que la membrane coquill re ne sèche.
- Pesez le blanc et le jaune d'œuf en les versant dans une coupelle de pesée.

QI.A.3 : Complétez le tableau ci-dessous.

Réponse à la question QI.A.3

Le jury rappelle qu'il est essentiel de tarer une balance avant de l'utiliser (seuls 50% des candidats ont fait cela). Il faut également indiquer l'unité utilisée lors d'une mesure.

	Blanc d'�uf	Jaune d'�uf
Poids	30g	20g

Préparation de la gamme étalon :

Vous disposez de 2 mL d'une solution de BSA (albumine sérique bovine) concentrée à 1 mg/mL (*tube annoté BSA*). **Préparez les 5 tubes de volume final 500  L** de la gamme étalon dont les concentrations finales sont indiquées ci-dessous. Les dilutions se font dans l'eau distillée (*flacon annoté H₂O*d).

QI.A.4 : Complétez le tableau avec les volumes de solution de BSA utilisés pour chaque tube. Détaillez le calcul pour le tube 3.

Réponse à la question QI.A.4

	Concentration finale (mg/ml)	Volume de solution mère de BSA (µL)	Volume d'eau distillée (µL)
Tube 1	1,0	500	0
Tube 2	0,8	400	100
Tube 3	0,6	300	200
Tube 4	0,4	200	300
Tube 5	0,2	100	400

Formule de dilution : $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$

Pour le tube 3 : $C_1 = 1,0$ mg/mL, $C_2 = 0,6$ mg/mL et $V_2 = 500$ µL

$V_1 = (C_2 \times V_2) / C_1 = (0,6 \times 500) / 1,0 = 300$ µL de solution mère ; compléter avec 200 µL d'eau distillée pour obtenir 500 µL de volume final.

Préparation des solutions diluées de blanc et jaune d'œuf :

Le blanc et le jaune d'œuf doivent être dilués.

- Versez 9 mL d'eau distillée dans chacun des 2 tubes de 15 mL à l'aide d'une pipette de 10 mL.
- Avec une micropipette P1000, prélevez délicatement 1 mL de blanc ou de jaune d'œuf pour les diluer dans les 9 mL d'eau distillée précédemment prélevés. **ATTENTION, le blanc et jaune d'œuf sont visqueux, pipetez lentement.**
- Homogénéisez les tubes en les retournant 1 à 2 fois.
- Préparez de nouveau 2 tubes 15 mL contenant chacun 9 mL d'eau distillée puis ajoutez-y 1 mL de la solution de blanc ou de jaune d'œuf précédemment diluée. Ces dernières solutions seront celles utilisées pour le dosage.

QI.A.5 : Quel est le facteur de dilution des solutions de blanc et de jaune d'œuf utilisées pour le dosage ?

Réponse à la question QI.A.5

On réalise deux fois la dilution suivante : 1 mL de solution dans 9 mL d'eau. On fait donc deux dilutions d'un facteur 10. Le facteur de dilution total est donc de $10 \times 10 = 100$.

Dosage Bradford :

Les solutions de blanc et de jaune diluées à doser seront mélangées avec le réactif de Bradford directement dans les cuves de spectrométrie.

- Versez 980 µL d'eau distillée dans chaque cuve puis ajoutez 20 µL de solution à doser.
- Ajoutez 1 mL de réactif de Bradford (*tube annoté Brad*).
- Homogénéisez le contenu de la cuve en la retournant une fois en utilisant le papier de parafilm (*Parafilm*) afin d'assurer l'étanchéité lors du retournement.
- Attendre 5 minutes puis réalisez la mesure d'absorbance à la longueur d'onde que vous aurez déterminée à la question QI.A.2.

Appelez un examinateur lors de votre première mesure.

QI.A.6 : Complétez le tableau ci-dessous avec les absorbances mesurées

Réponse à la question QI.A.6

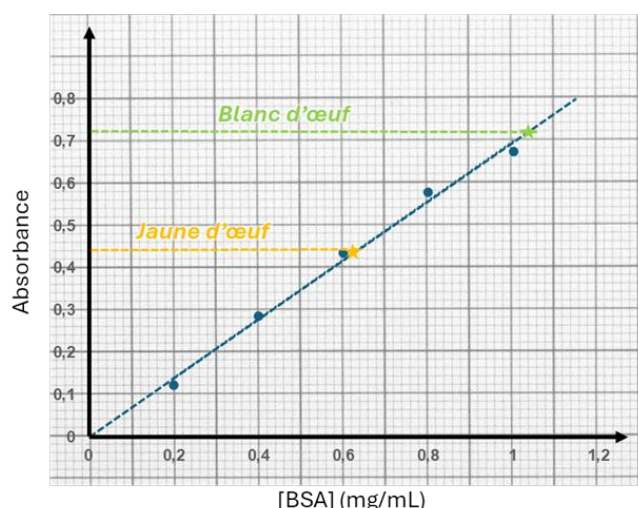
L'utilisation d'un spectrophotomètre ou d'un colorimètre nécessite de faire un blanc. Le blanc le plus pertinent consistait à utiliser 1 mL d'eau + 1 mL de solution de Bradford.

	Gamme étalon BSA					Solution d'œuf	
Tubes	Tube 1	Tube 2	Tube 3	Tube 4	Tube 5	Blanc	Jaune
Absorbance	0,67	0,58	0,44	0,29	0,12	0,73	0,44

Analyse des mesures d'absorbance :

QI.A.7 : Tracez la courbe étalon sur le papier millimétré fourni ci-dessous.

Réponse à la question QI.A.7



Courbe étalon de dosage de protéine : Absorbance à 595nm du bleu de Coomassie en fonction de la concentration en protéine

QI.A.8 : À l'aide de cette courbe, déterminer le coefficient directeur de la droite en détaillant la démarche.

Réponse à la question QI.A.8

La courbe obtenue suit la loi de Beer-Lambert, il s'agit donc d'une droite affine d'équation $y = ax + b$.

On peut calculer le coefficient directeur :

$$a = \frac{0,73 - 0,44}{0,73 - 0,44} = 0,70 \text{ mL.mg}^{-1}$$

En fonction du blanc utilisé lors de la mesure, on obtient une droite passant par l'origine ($b=0$) ou non ce qui ne change pas la valeur du coefficient directeur. Les courbes étalons obtenus à la question I.A.7 sont de qualité variable et démontrent des erreurs de pipetage ou de suivi du protocole.

QI.A.9 : Après avoir rappelé la loi de Beer-Lambert, calculez la concentration protéique dans le blanc et le jaune d'œuf. Vous devez faire apparaître vos calculs.

Réponse à la question QI.A.9

La loi de Beer-Lambert relie l'absorbance d'une solution à sa concentration selon la relation suivante : $A = \epsilon \cdot l \cdot C$

A = Absorbance ; C = concentration de la solution ; ϵ = coefficient d'extinction ; l = longueur de la cuve.

D'après la question QI.A.9, on a $A = 0,7 \cdot C$ donc $C = 1,43 \cdot A$

Donc, $C_{\text{SolBlanc}} = 1,43 \times 0,73 = 1,04 \text{ mg/mL}$ et $C_{\text{SolJaune}} = 0,44 \times 0,73 = 0,63 \text{ mg/mL}$

Une lecture graphique directe est aussi possible, mais n'a presque jamais été utilisée par les candidats.

Le blanc et le jaune d'œuf ont été dilués d'un facteur 100 pour le dosage (QI.A.5), donc les concentrations en protéine dans le blanc et le jaune d'œuf sont les suivantes :

$C_{\text{Blanc}} = C_{\text{SolBlanc}} \times 100 = 104 \text{ mg/mL}$ et

$C_{\text{Jaune}} = C_{\text{SolJaune}} \times 100 = 63 \text{ mg/mL}$

QI.A.10 : Déduisez-en la masse totale de protéine dans le blanc d'œuf, le jaune d'œuf et l'œuf total.

Données : Densité du jaune d'œuf : $1,045 \text{ g.cm}^{-3}$; Densité du blanc d'œuf : $0,926 \text{ g.cm}^{-3}$

Réponse à la question QI.A.10

Notons la masse volumique m_v et la masse m . Rappelons que $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$

$C_{\text{Blanc}} = m_{\text{prot blanc}} / V_{\text{Blanc}}$ d'où :

$m_{\text{prot blanc}} = C_{\text{Blanc}} \times V_{\text{Blanc}} = C_{\text{Blanc}} \times (m_{\text{blanc}} / m_v \text{ blanc}) = 104 \times (30 / 0,926) = 3369 \text{ mg}$

La masse de protéine totale du blanc d'un œuf est de $m_{\text{prot blanc}} = 3,37 \text{ g}$

Selon le même raisonnement :

$m_{\text{prot jaune}} = 63 \times (20 / 1,045) = 1206 \text{ mg}$

La masse de protéine totale du blanc d'un œuf est de $m_{\text{prot jaune}} = 1,2 \text{ g}$

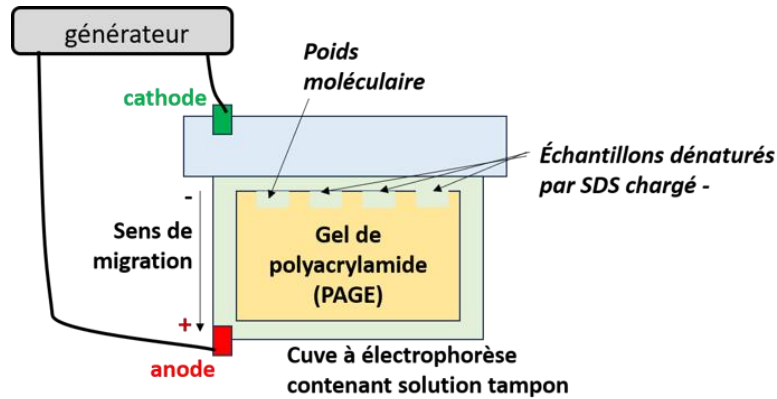
Protéines totales dans un œuf = $4,57 \text{ g}$

Remarque : Cette technique de dosage est assez efficace pour évaluer la quantité de protéines dans le blanc d'œuf. Elle sous-estime en revanche la quantité de protéine dans le jaune. Ceci est dû au fait que le jaune contient de nombreuses autres molécules (en particulier des lipides) qui modifient l'interaction protéine-Coomassie. La masse réelle de protéine dans un jaune d'œuf est environ de $2,9 \text{ g}$.

B) Analyse par électrophorèses des protéines du blanc d'œuf

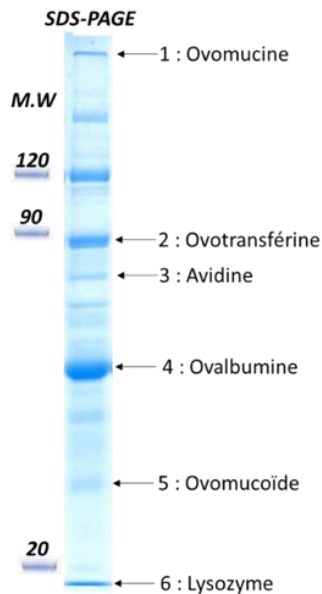
QI.B.1 : Schématisez le montage expérimental permettant de réaliser une électrophorèse en conditions dénaturantes de type SDS-PAGE.

Réponse à la question QI.B.1



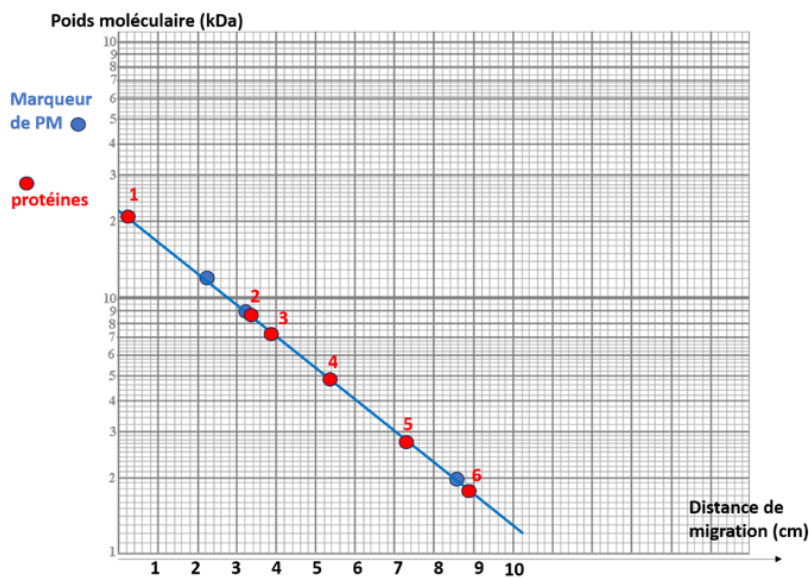
Cette question a révélé plusieurs confusions et erreurs chez les candidats : anode et cathode sont souvent inversées tout comme le sens de migration des échantillons. On rappelle qu'ils migrent vers la borne + car le SDS charge négativement les protéines ; le marqueur de poids moléculaire n'est pas un témoin de charge.

Un mélange de blanc et de jaune d'œuf a été soumis à une électrophorèse SDS-PAGE. Les principales protéines du blanc d'œuf sont indiquées par des flèches noires sur la figure 2. M.W. : masse moléculaire en KDa.



QI.B.2 : Utilisez le papier semi-log ci-dessous afin de déterminer graphiquement la masse moléculaire des protéines du blanc d'œuf. Complétez le tableau.

Réponse à la question QI.B.2



protéine	1	2	3	4	5	6
Poids moléculaire (KDa)	200	85	73	50	28	18

L'utilisation du papier semi-log a été délicate pour la majorité des candidats. Il est pourtant couramment utilisé dans l'analyse des migrations d'électrophorèse étant donné que la distance de migration des échantillons n'est pas proportionnelle à leur poids moléculaire.

On réalise une électrophorèse bidimensionnelle à partir d'une solution de blanc d'œuf. Les protéines sont mises à migrer dans un champ électrique en condition native sur une bandelette présentant un gradient de pH, puis cette bandelette est incubée en présence de SDS, puis placée sur gel PAGE et mise à migrer dans un champ électrique. La résolution du gel permet d'identifier les protéines de masse moléculaire inférieure à 100KDa. Le gel est coloré au bleu de Coomassie. Le tableau ci-dessous indique les pH isoélectriques des différentes protéines.

protéine	1	2	3	4	5	6
pH isoélectrique	~3,5	~5,9	~10	~5,1	~4,7	~10,7

QI.B.3 : Rappelez la définition du pH isoélectrique d'une protéine.

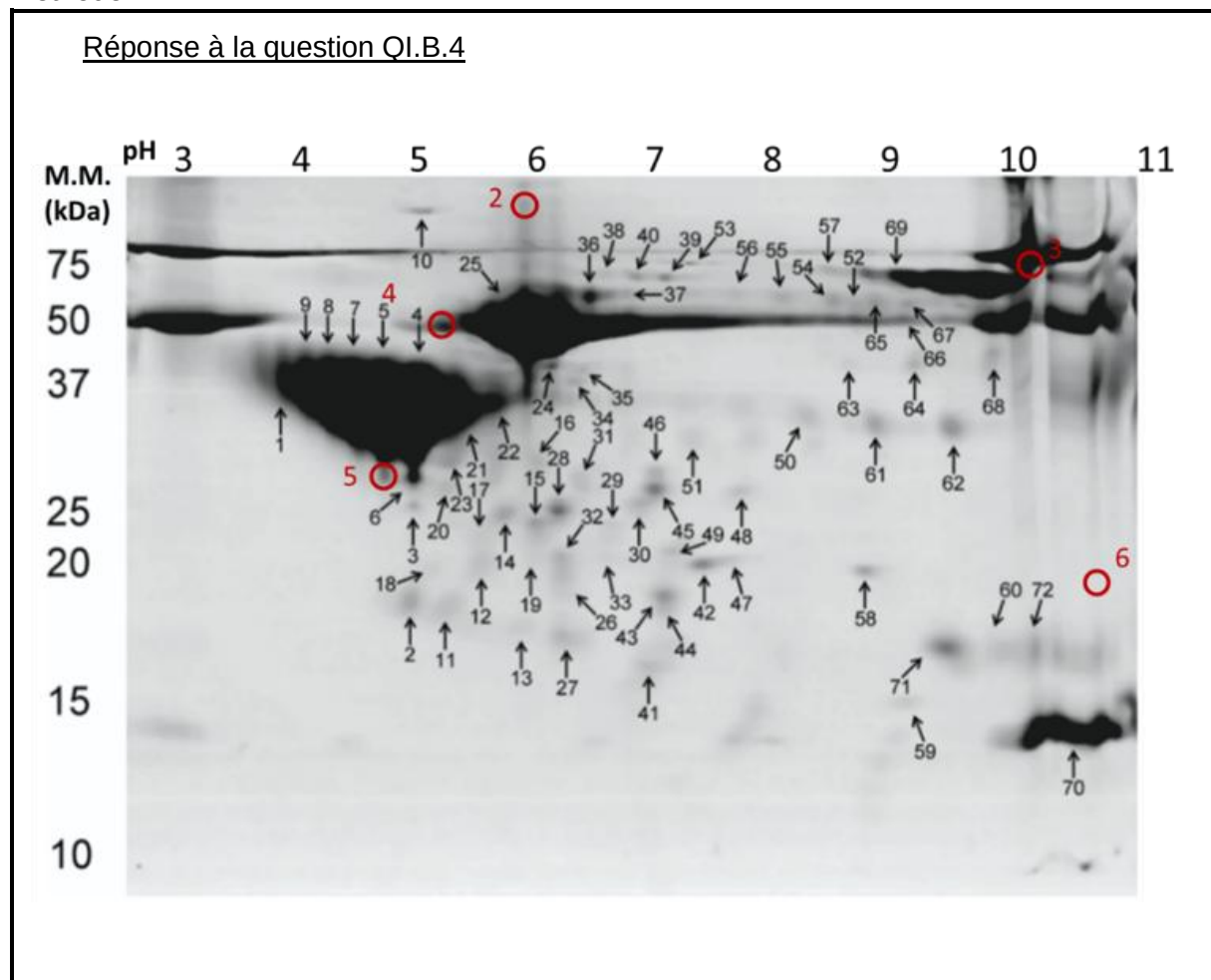
Réponse à la question QI.B.3

Il s'agit du pH pour lequel la protéine présente une charge globale nulle.

Le raisonnement a trop souvent été effectué à partir d'un acide aminé et de ses charges NH_3^+ et COO^- .

Le gel ci-dessous présente la position théorique des protéines du blanc d'œuf identifiables par cette méthode.

QI.B.4 : À partir de la réponse à la question **QI.B.2** et des pH isoélectriques, localisez sur le gel ci-dessous la position théorique des protéines du blanc d'œuf identifiables par cette méthode.



QI.B.5 : Comment expliquer que certaines protéines ne se situent pas à l'endroit attendu dans le gel ? Comment pourrait-on détecter spécifiquement les 6 protéines d'intérêt ?

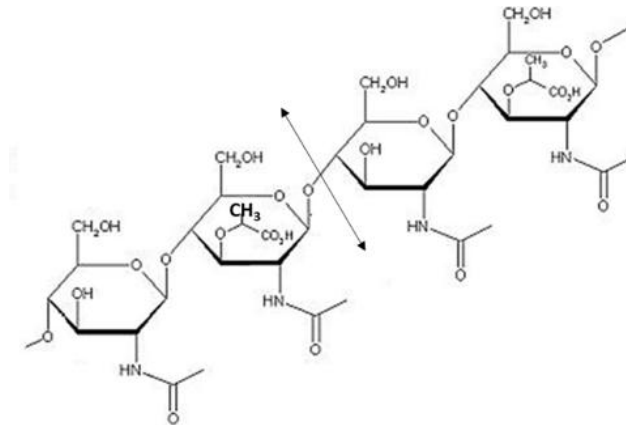
Réponse à la question QI.B.5

Les protéines peuvent établir des interactions entre elles dans le mélange ce qui perturbe l'étape de focalisation isoélectrique. Certaines protéines peuvent avoir des modifications post-traductionnelles comme des glycosylations qui modifient le poids moléculaire par rapport à celui attendu. Certaines isoformes protéiques peuvent aussi présenter des poids moléculaires différents de ceux attendus.

On peut recourir à une immunodétection par un western blot avec des anticorps détectant spécifiquement les protéines d'intérêts.

Partie II. Étude des propriétés du lysozyme

Le lysozyme est une des protéines du blanc d'œuf. Cette hydrolase catalyse la rupture de la liaison covalente comme représenté ci-dessous par la double flèche.



QII.1 : Quel nom donne-t-on à cette liaison covalente ? Identifiez les 2 monomères constitutifs du polymère substrat du lysozyme en précisant leurs groupements caractéristiques.

Réponse à la question QII.1

Il s'agit d'une liaison O-glycosidique.

D-glucose β portant un groupement acétylamine sur le carbone 2 : NAG (N-acétylglucosamine)

D-glucose β portant un groupement acétylamine sur le carbone 2 et un groupement lactyl sur le carbone 3 : NAM (N-acétylmuramique)

Cette question a parfois donné lieu à des réponses fantaisistes. Il ne s'agissait pas d'un polypeptide d'acides aminés ou de liaisons phosphodiesteres. Les bases de biochimie élémentaires doivent être maîtrisées pour traiter convenablement les sujets de contre-option.

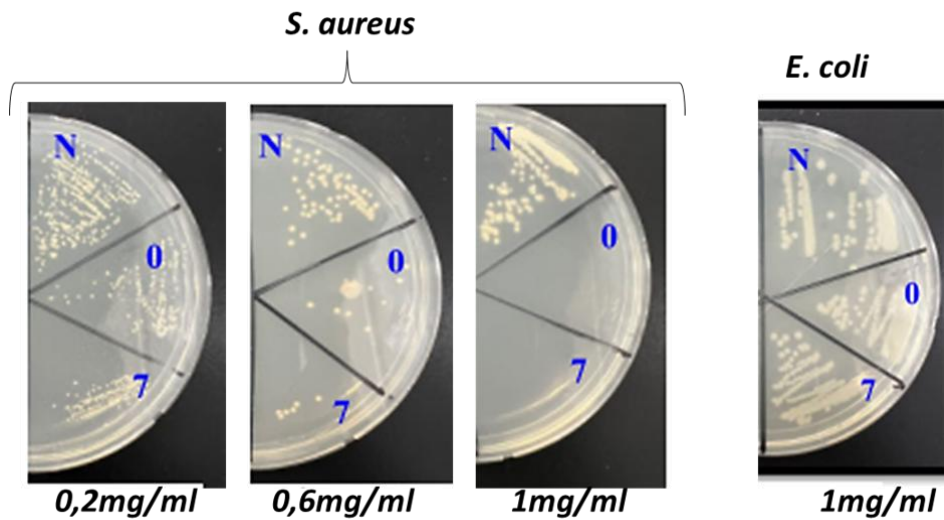
Le lysozyme d'œufs fécondés de poule a été purifié à partir du blanc d'œuf.

Différentes quantités de lysozymes sont ajoutées à un bouillon de culture contenant la bactérie *Streptococcus aureus* (Gram +) à une concentration de 10^6 CFU/mL. La concentration de lysozyme dans le bouillon est alors de 0,2 mg/ml, 0,6 mg/ml ou 1mg/ml. Du lysozyme est également ajouté à un second bouillon de culture contenant la bactérie *Escherichia coli* (Gram -) à une concentration de 10^6 CFU/mL. La concentration de lysozyme dans ce bouillon est alors de 1 mg/ml.

1 μ l de chaque bouillon est étalé sur une boîte de Pétri et mis à incuber 24 h à 37°C.

Le lysozyme utilisé est extrait de l'œuf le jour de la fécondation (condition 0), ou 7 jours après la fécondation (condition 7). Une condition sans ajout de lysozyme est également réalisée (condition N).

QII.2 : Comment peut-on expérimentalement purifier le lysozyme à partir d'une solution de blanc d'œuf ?



QII.2 : Comment peut-on expérimentalement purifier le lysozyme à partir d'une solution de blanc d'œuf ?

Réponse à la question QII.2

En réalisant une chromatographie d'affinité recourant par exemple à des billes portant des NAG à leur surface ou des anticorps anti-lysozyme ou une chromatographie par échange d'ions (pH de 10,7)

Trop de candidats proposent des méthodes inapplicables et incohérentes recourant par exemple à des chauffages et des dénaturations ou à une succession de centrifugations.

QII.3 : Après avoir rappelé la signification de CFU, indiquez le nombre théorique de colonies bactériennes que l'on devrait dénombrer dans la boîte de Pétri dans la condition N. Discutez ce nombre.

Réponse à la question QII.3

Colony Forming Unit : Unité Formant Colonie. Cela correspond au nombre de bactéries capables de former une colonie après ensemencement sur milieu solide, généralement dans une boîte de Pétri.

On ajoute 1 µl de bouillon concentré à 10^6 CFU/mL soit 10^3 CFU. On s'attend donc à avoir 1000 colonies par boîte.

Ce nombre est un peu trop élevé, certaines colonies trop proches peuvent se recouvrir ce qui empêche le comptage rigoureux. De plus, une trop forte densité de colonies peut inhiber le développement bactérien. On préférera classiquement un nombre aux alentours de 300 colonies à décompter par boîte.

QII.4 : Analysez les résultats pour déterminer l'effet du lysozyme. Proposez une hypothèse expliquant les différences observées entre les 2 espèces bactériennes.

Réponse à la question QII.4

Sans lysozyme, les bactéries se multiplient ce qui aboutit à de nombreuses colonies.

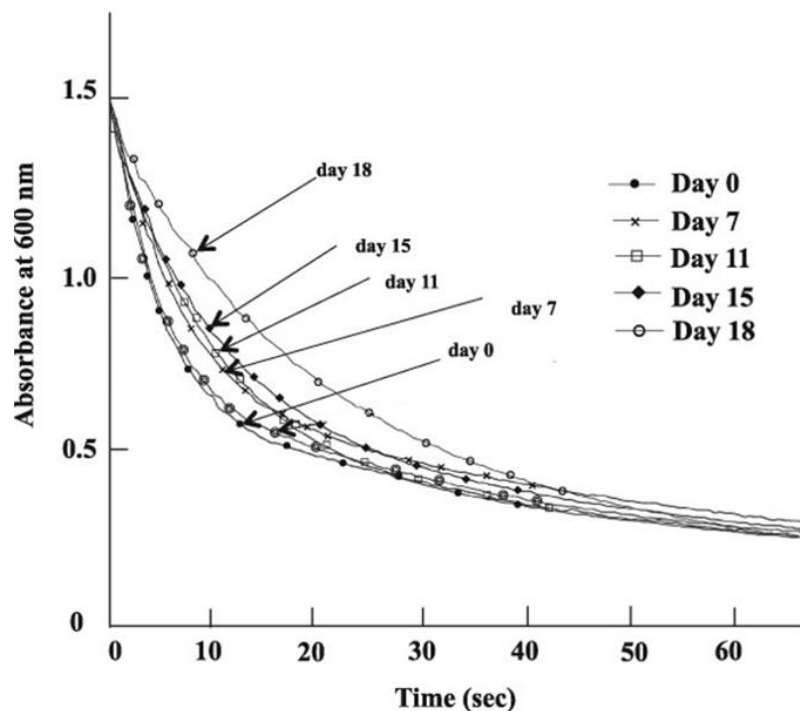
Avec lysozyme, le développement des colonies bactériennes Gram + est inhibé de façon dose dépendante. Le lysozyme d'un œuf fécondé ou d'un œuf 7 jours après la fécondation ont des effets similaires.

Le lysozyme n'a pas d'effet sur le développement des colonies bactériennes Gram –

Hypothèse : Le peptidoglycane des bactéries Gram –, substrat du lysozyme, est moins accessible que celui des bactéries Gram + du fait de l'organisation de la paroi bactérienne.

L'analyse de ces résultats est souvent partielle ou désorganisée. À ce stade, on ne pouvait conclure quant à l'action du lysozyme, bactéricide ou bactériostatique. Des imprécisions importantes ont concerné l'organisation des enveloppes bactériennes. Les termes : enveloppe, paroi, capsule, membrane doivent être employés de façon rigoureuse.

Dans une seconde expérience, on prépare une suspension bactérienne contenant des bactéries *Micrococcus lysodeikticus*. On ajoute à 1,9 mL de suspension bactérienne, 100µl d'une solution de lysozyme purifié à partir d'œufs fécondés le jour même (Day 0) ou plusieurs jours après fécondation (Day 7, Day 11, Day 15, Day 18). Ces cultures sont analysées en mesurant la déviation optique à 600nm qui rend compte de la turbidité des solutions. Aucune modification d'absorbance n'est observée au cours des 60 secondes après l'ajout de 100 µl de la solution tampon contenant le lysozyme.



QII.5 : Quel est l'intérêt de mesurer l'évolution de la turbidité au cours du temps ?

Réponse à la question QII.5

La turbidité est proportionnelle au nombre de particules en suspension. Elle rend donc compte ici du nombre de bactéries en suspension et permet d'estimer la concentration.

La turbidité est bien causée par les bactéries en suspension et non pas par le contenu cellulaire ou les composants pariétaux, ce qui conduisait à des conclusions erronées.

QII.6 : Analysez les résultats de cette expérience.

Réponse à la question QII.6

L'ajout de lysozyme provoque une chute instantanée de la turbidité qui est divisée par 3 après 60 secondes. Le lysozyme provoque donc la destruction des bactéries en suspension, il a un effet bactériolytique.

Cet effet est d'autant plus important que l'œuf est jeune.

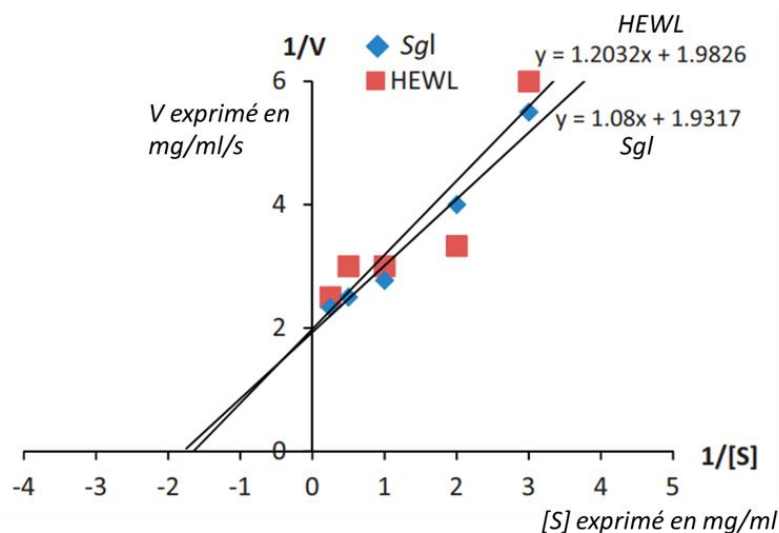
QII.7 : Ces résultats sont-ils cohérents avec résultats précédents obtenus par l'encensement des boîtes de Pétri ? Quel autre test aurait-on pu effectuer pour mettre en évidence un effet similaire ?

Réponse à la question QII.7

Oui, ils sont cohérents avec l'absence de développement des colonies. Cet effet était donc dû à l'effet bactériolytique du lysozyme.

On aurait pu réaliser un antibiogramme.

On cherche à comparer les propriétés enzymatiques du lysozyme issu du blanc d'œuf noté HEWL à celui que l'on trouve dans le plasma du criquet pèlerin, noté Sgl. Pour cela, on mesure par spectrométrie la turbidité de suspensions bactériennes ayant des concentrations initiales de *Micrococcus lysodeikticus* différentes après 30 minutes d'incubation à 37°C en présence de lysozyme HEWL ou Sgl. Les résultats de mesures de vitesse initiale de réaction sont présentés ci-dessous.



QII.8 : Comment peut-on estimer la vitesse de réaction catalysée par le lysozyme à partir de la mesure de turbidité de suspensions bactériennes ?

Réponse à la question QII.8

La vitesse de réaction est estimée grâce à la vitesse à laquelle les bactéries sont lysées. Cette vitesse de lyse est elle-même proportionnelle à la diminution de turbidité au cours du temps.

QII.9 : Sachant que le lysozyme est une enzyme michaelienne, déterminez en explicitant le raisonnement les valeurs de K_m et V_{max} de ces deux enzymes puis concluez quant à leurs différences. On rappelle l'équation de Michaelis-Menten :

Avec V_o , la vitesse initiale ; V_{max} , la vitesse initiale maximale ; $[S]$ la concentration en substrat

$$V_o = \frac{V_{max} [S]}{K_m + [S]}$$

Réponse à la question QII.9

D'après l'équation de Michaelis-Menten, il vient que

$$\frac{1}{V_o} = \frac{K_m}{V_{max} \cdot [S]} + \frac{1}{V_{max}}$$

D'après les équations de droites fournies, les ordonnées à l'origine ont pour valeur ($1/V_{max}$). Ainsi, V_{max} de HEWL = 0,505 mg/ml/s et V_{max} de Sgl = 0,518 mg/ml/s

Les droites du graphique ont pour coefficient directeur K_m/V_{max}

Ainsi, K_m de HEWL = 0,606 mg/ml et K_m de Sgl = 0,56 mg/ml

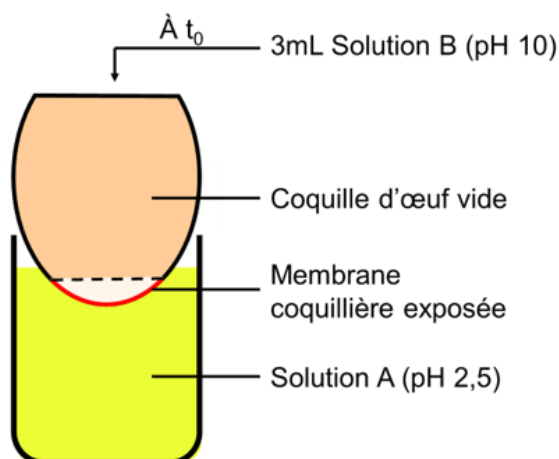
Le lysozyme de cricket a donc une V_{max} légèrement plus élevée et une affinité apparente plus élevée que le lysozyme d'œuf. *Il est regrettable que presque aucun candidat n'ait utilisé les équations de droite fournies. La détermination graphique de V_{max} et K_m étaient très approximatives et ne permettaient pas de conclure rigoureusement. Étonnamment, un grand nombre de candidats ont conclu quant à l'effet d'un inhibiteur compétitif ou non compétitif, révélant ainsi une incompréhension totale du document. Les unités des K_m et V_{max} ne sont hélas presque jamais précisées.*

Partie III. Étude de la perméabilité de la membrane coquillière

Réalisez le montage suivant :

- Ouvrez l'œuf de poule à l'aide de ciseaux du côté pointu à quelques centimètres de la pointe. Versez le blanc d'œuf dans un premier bécher et le jaune dans un second (utilisation dans la Partie I).
- Rincez l'intérieur de l'œuf avec de l'eau distillée.
- Avec une pince fine, à l'opposé de l'ouverture, cassez et retirez délicatement la coquille de l'œuf au niveau de la poche à air afin de mettre à nu la membrane coquillière. **Attention celle-ci doit être intacte.** Continuez jusqu'à avoir dégagé environ 1 cm^2 de membrane.
- Posez l'œuf sur le pot contenant la solution A à pH 2,5 afin que toute la membrane coquillière soit au contact du liquide, comme indiqué sur le schéma.
- Versez 3mL de solution B à pH 10 dans l'œuf.
- Mesurez le pH de la solution B à l'aide des bandelettes pH puis complétez le tableau ci-dessous.

Appelez un examinateur pour vérifier le résultat de vos bandelettes pH.



QIII.1 : Complétez le tableau.

Réponse à la question QIII.1

Temps	0 min	40 min
pH	10	8

Dans de nombreux cas, des candidats ont réalisé cette expérience sur des œufs avec une membrane percée lors de la manipulation conduisant à un pH de 4 après 40 min. Dans d'autres cas, la membrane ne touche pas la solution A, le pH reste donc évidemment inchangé. Ces erreurs ne permettent pas de traiter de façon convenable les autres questions.

QIII.2 : Rappelez la formule du pH.

Réponse à la question QIII.2

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

QIII.3 : On considère le volume de la solution B constant au cours du temps et les mouvements d'eau négligeables. Déterminez la quantité d'ions H^+ ayant traversé la membrane au cours de l'expérience.

Réponse à la question QIII.3

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \text{ donc } [\text{H}_3\text{O}^+]_{t_0} = 10^{-10} \text{ mol/L et } [\text{H}_3\text{O}^+]_{t_{40\text{min}}} = 10^{-8} \text{ mol/L}$$

On peut donc calculer la quantité d'ions à t_0 et $t_{40\text{min}}$ dans le volume B de 3 mL :

$$n(\text{H}_3\text{O}^+)_{t_0} = [\text{H}_3\text{O}^+]_{t_0} \cdot V = 10^{-10} \times 3 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-13} \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_3\text{O}^+)_{t_{40\text{min}}} = [\text{H}_3\text{O}^+]_{t_{40\text{min}}} \cdot V = 10^{-8} \times 3 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{-11} \text{ mol}$$

$$\Delta n(\text{H}_3\text{O}^+) = n(\text{H}_3\text{O}^+)_{t_{40\text{min}}} - n(\text{H}_3\text{O}^+)_{t_0} = 2,97 \cdot 10^{-11} \text{ mol}$$

La lecture effectuée ici avec des bandelettes pH ne permet pas une lecture précise du pH mais permet de déterminer l'ordre de grandeur de la quantité d'ions.

QIII.4 : Déduisez-en le flux membranaire d'ions H^+ .

Réponse à la question QIII.4

On considère ici que la surface d'échange entre les deux solutions est d'environ 1 cm^2

$$\text{Flux}_{\text{H}_3\text{O}^+} = \Delta n(\text{H}_3\text{O}^+) / \Delta t \cdot S = 2,97 \cdot 10^{-11} / (40 \times 1) = 7,42 \cdot 10^{-13} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

- Réalisez le même montage que dans l'expérience précédente. Vous pouvez réutiliser le même œuf après un rinçage rapide à l'eau distillée ou utiliser un autre œuf.
- Placez l'œuf avec la membrane coquillière à nu sur le pot contenant la solution C d'empois d'amidon puis versez 3 mL de solution D d'iodure de potassium à l'intérieur. Attendez 10 minutes et observez.

Appelez un examinateur pour vérifier votre résultat

QIII.5 : Décrivez les résultats obtenus après 10 minutes et interprétez-les afin de discuter de la perméabilité de la membrane coquillière de l'œuf de poule vis-à-vis de ces deux molécules.

Réponse à la question QIII.5

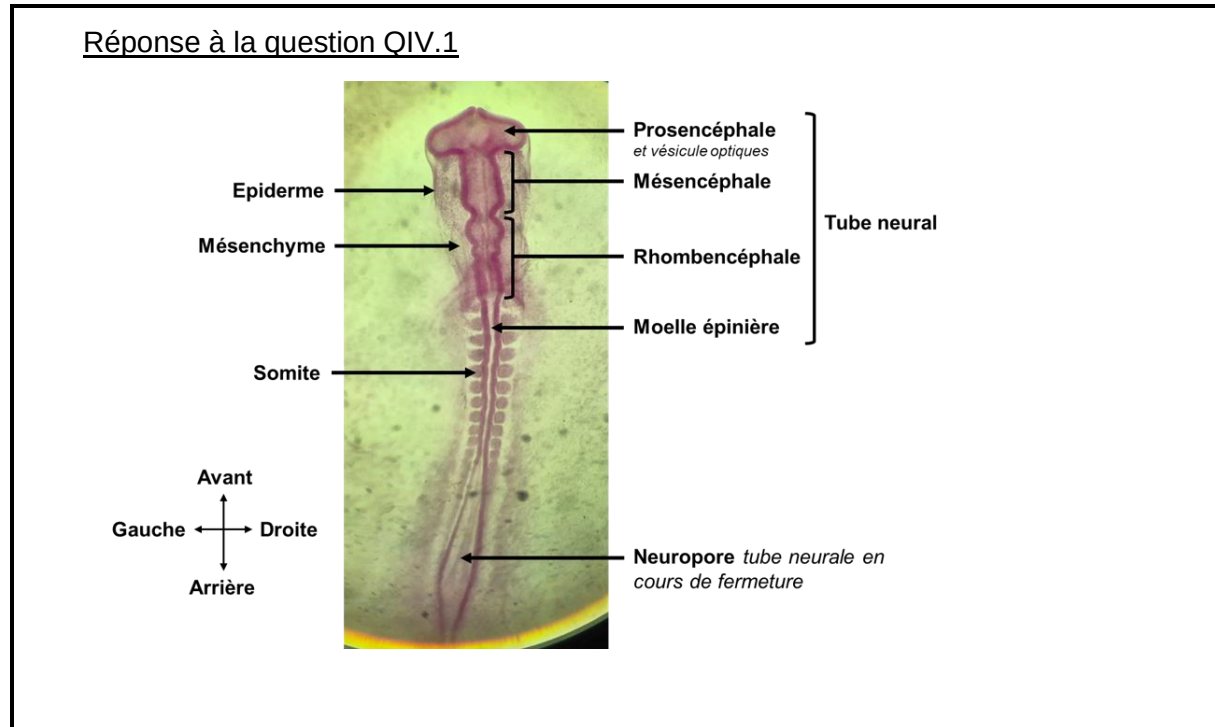
La solution contenant l'amidon se teinte de bleu-violet. Une partie de l'iodure de potassium a donc traversé la membrane coquillière. La membrane coquillière est donc perméable aux ions iodures. En revanche, la solution d'iodure de potassium présente dans l'œuf n'est pas violette, la membrane coquillière est donc imperméable à l'amidon.



Partie IV. Étude du développement de l'embryon de poule

Des œufs fécondés de poule ont été incubés pendant 33 h à 38°C en milieu humide. Les embryons ont été prélevés, colorés, puis montés sur lame. Le résultat est visible au poste A (temps d'observation : 10 minutes).

QIV.1 : Réalisez un schéma légendé de l'embryon, sans oublier de l'orienter et de préciser ses axes.



QIV.2 : Rappelez les grandes étapes du développement embryonnaire des oiseaux et précisez dans quelle étape se trouve l'embryon que vous avez observé.

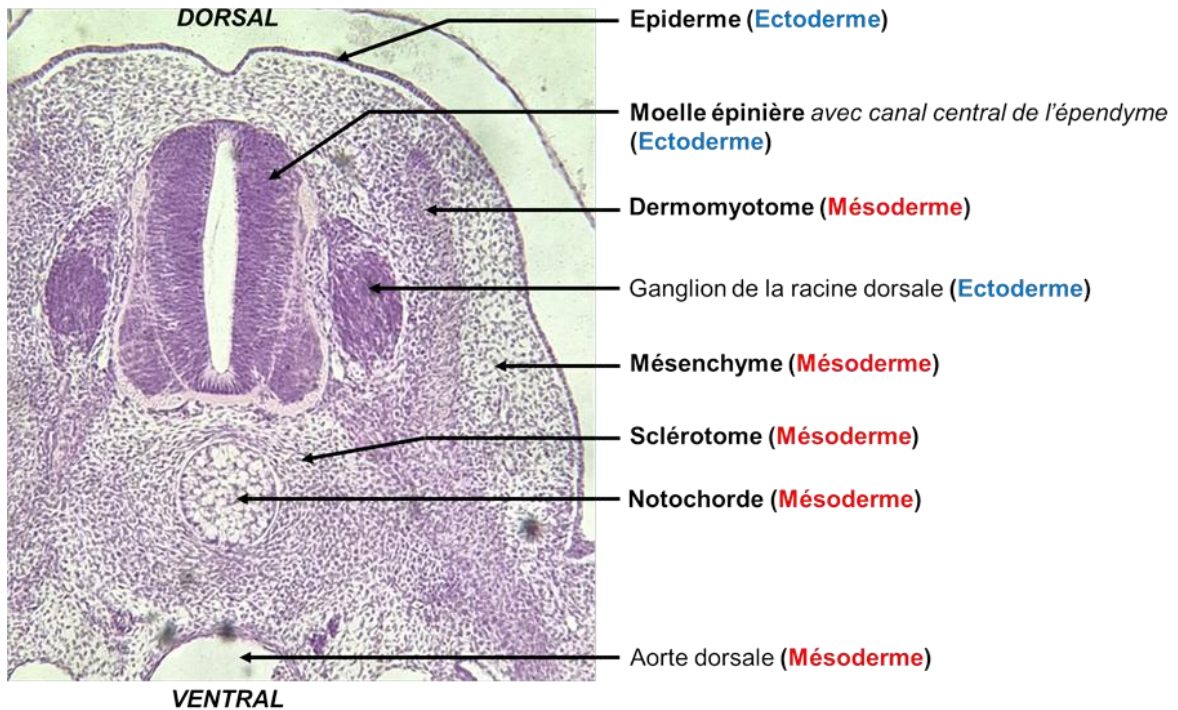
Réponse à la question QIV.2

Chez les oiseaux, le développement embryonnaire fait intervenir les étapes suivantes : Segmentation, Gastrulation, Neurulation / Somitogenèse, Organogenèse, Croissance et éclosion.

Ici, l'embryon présente un tube neural et des somites en cours de formation. Il est donc au stade de la neurulation.

QIV.3 : Légendez le plus précisément possible la coupe transversale d'embryon d'oiseau présentée ci-dessous. Pour chaque légende, vous indiquerez le feuillet embryonnaire à l'origine du tissu.

Réponse à la question QIV.3



Les ganglions de la racine dorsale (Système nerveux) sont souvent confondus avec des somites (mésoderme). La distinction dermatome/myotome/sclérotome n'était pas attendue.

5.5. Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur B :
Sujet et commentaires

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2026

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

Durée totale : 2 heures

Une recette de cuisine : la ratatouille



Les parties et sous-questions sont indépendantes.

Certaines parties contiennent des manipulations, prévoyez donc votre **organisation en conséquence**. Un planning de passage est prévu pour les ateliers.

L'évaluation de plusieurs manipulations et de leur exploitation sera réalisée pendant l'épreuve par un examinateur avec lequel il ne vous sera pas possible de communiquer oralement.

La mention

« **Appelez l'examineur pour évaluation** » vous invite ainsi à présenter sur votre paillasse vos croquis et autres analyses par écrit sur des feuilles blanches mises à votre disposition ou par tout autre moyen pédagogique puis à appeler un examinateur.

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

**N'oubliez pas d'appeler les examinateurs 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 : Les liens entre les propriétés des végétaux et la réalisation d'une recette de cuisine (durée conseillée 1h30)

Extrait d'une recette de ratatouille :

« Dans une poêle, versez un peu **d'huile d'olive** et faites-y revenir les uns après les autres les différents légumes pendant 5 minutes pour qu'ils colorent »

L'huile d'olive



Planche d'illustration de l'olivier :
Olea europaea par Franz Eugen Köhler

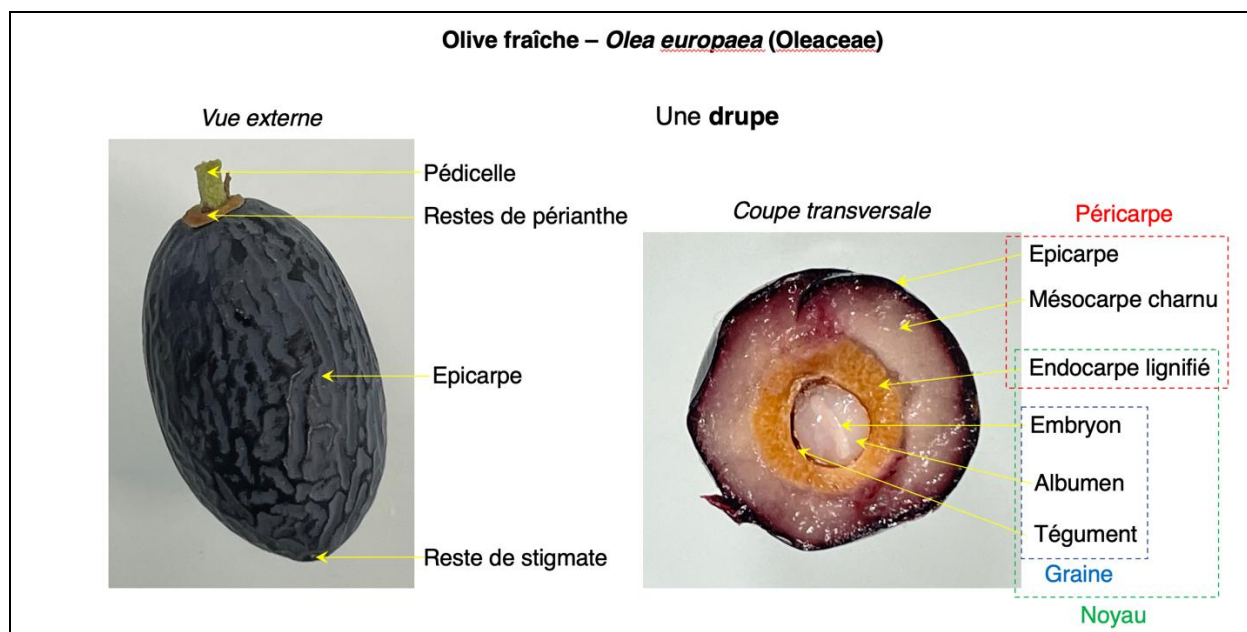
Des olives fraîches, congelées après récolte en novembre 2025 puis décongelées, sont à votre disposition, ainsi qu'une mini-scie à main et une planche à découper.

- Donnez de manière la plus précise possible la position phylogénétique de l'olivier.

Eucaryote – Bicontes – Chlorobiontes – Embryophytes – Angiospermes – Eudicotylédone

Le maximum de points était obtenu pour 5 niveaux taxonomiques parmi ces derniers.

- A partir d'une coupe transversale de l'olive, dont vous réaliserez un dessin légendé, identifiez le type de fruit auquel elle appartient, en justifiant votre réponse.



Les coupes d'olive ont été inégalement réussies, certains candidats renonçant à couper le noyau. Les légendes sont rarement complètes notamment pour la partie la plus interne (albumen et téguments de la graine ne sont qu'exceptionnellement mentionnés). Le soin apporté à la présentation des coupes d'olives demeure améliorable pour de nombreux candidats. Cette dernière remarque reste valable pour l'ensemble des présentations réalisées dans ce sujet.

- Le document ci-dessous présente différentes formes de ce fruit. Précisez l'origine de ces différentes formes.



Les différences observées proviennent de stades différents de **maturation du fruit**.

Le fruit augmente de taille **car l'accumulation de réserves lipidiques** est plus importante sur les formes matures. La différence de couleur est due à **des pigments différents** (chlorophylles et anthocyanes).

Rares sont les candidats qui ont complètement répondu à la question, en précisant l'origine des différences observées entre les différents stades de maturation.

- Par les moyens de votre choix, localisez les tissus riches en lipides dont l'extraction permet d'obtenir l'huile d'olive. Indiquez quelle méthode vous avez employée et justifiez-la.

- Frottis de mésocarpe charnu sur papier filtre : les lipides laissent une tache translucide

- Ou : coloration d'un fragment de mésocarpe au Soudan III, colorant en rouge les lipides + observation à la loupe binoculaire, ou mieux sur une préparation microscopique de mésocarpe :

Observation microscopique
de mésocarpe d'olive fraîche
+ Rouge Soudan III

→ Localisation des lipides
dans le mésocarpe charnu

Gouttelettes lipidiques
colorées en rouge
orangé par le Soudan III



👉 **Appelez l'examineur pour évaluation.**

La localisation des réserves lipidiques est souvent réalisée sur une seule partie du fruit qui n'est pas toujours précisée par les candidats. Certains ont réalisé la mise en évidence des lipides avec les deux méthodes en parallèle. Certains candidats concluent à des réserves lipidiques majoritairement localisées dans l'épicarpe ou la graine. Un recul critique devrait conduire les candidats à confronter leurs conclusions et leurs connaissances en faisant preuve de bon sens (il est peu vraisemblable que l'huile d'olive soit extraite de la « peau » ou des noyaux des olives !)

L'ail et l'oignon

Extrait d'une recette de ratatouille :

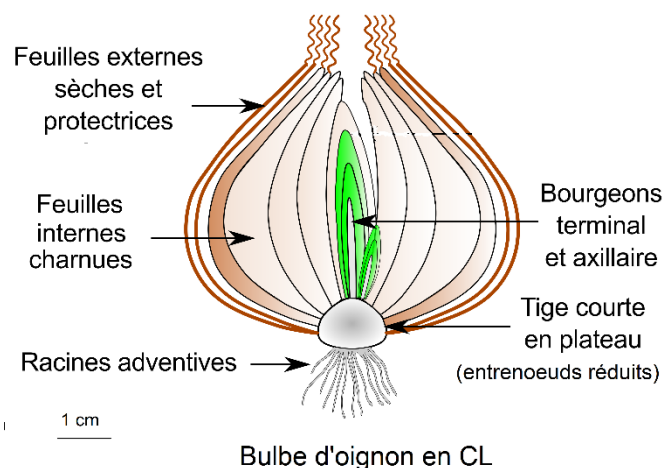
« Dans une poêle, versez un peu d'huile d'olive et faites-y revenir **l'ail et l'oignon**. »

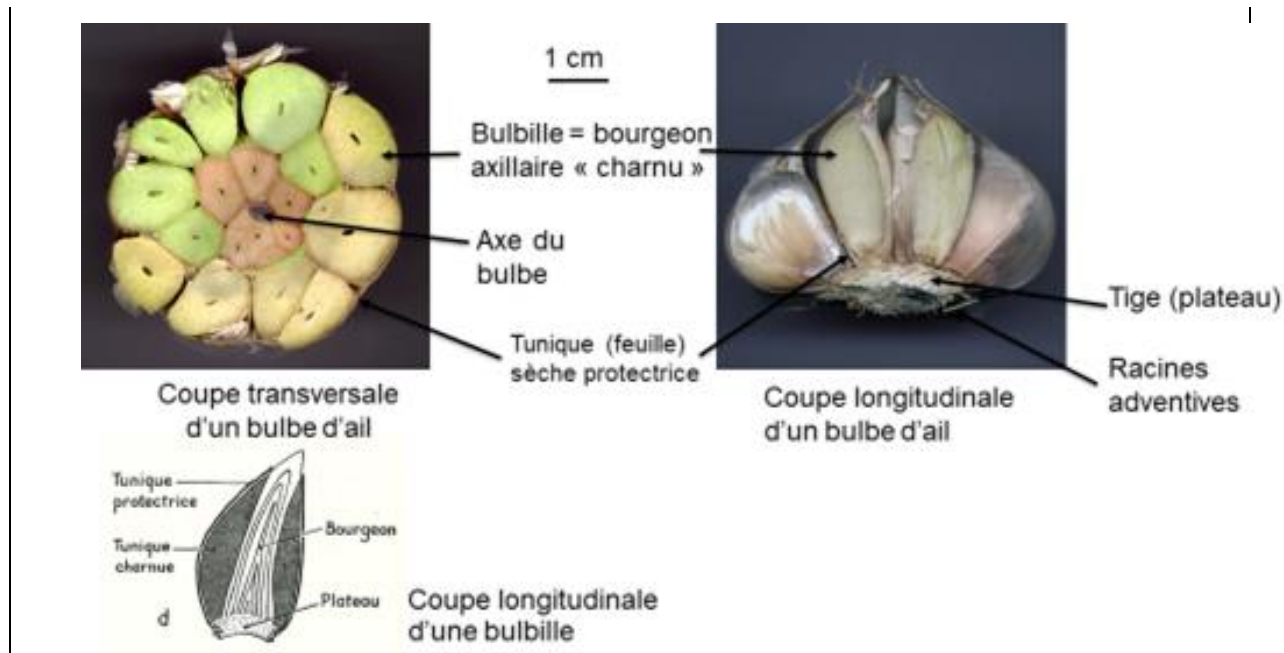
- A partir des échantillons d'ail et d'oignon à votre disposition, réalisez une étude comparative sous la forme de dessins légendés. Dans cette étude, vous montrerez à la fois la nature des différentes pièces qui composent ces organes et en préciserez les relations structures-fonction.

Attention : vous disposez d'un seul oignon qui sera utilisé à plusieurs reprises au cours de l'épreuve.

Étaient attendus des dessins en coupe longitudinale et/ou transversale pour montrer les éléments suivants :

- **Bulbe** : tige en plateau avec racines adventives, tuniques sèches, écailles = feuilles charnues, entre-nœuds réduits, bourgeon apical.
- **Bulbilles/caïeux** : tuniques sèches, bourgeons avec réserves, tige en plateau avec racines adventives.
- Les deux sont des **organes de réserve et de protection** (forme de passage de l'hiver) + **multiplication végétative dans le cas de l'ail** (car plusieurs bulbilles), mais pas pour l'oignon.





Le soin apporté aux représentations graphiques est souvent perfectible : gestion de l'espace de la page, absence d'échelle graphique (i.e. une barre d'échelle avec une valeur numérique !), la précision du trait est améliorable, et attention à l'orthographe.

Trop de candidats indiquent un plan de coupe transversal, alors qu'ils ont réalisé une coupe longitudinale. Les structures sont rarement mises en relation avec leur fonction. Les termes utilisés se placent trop fréquemment dans le registre du langage courant (la « peau » des oignons, « gousse » d'ail...) : les candidats gagneraient à veiller à la rigueur des termes scientifiques employés.

La « sueur » des oignons en début de cuisson

Extrait d'une recette de ratatouille :

« Pour éviter que les oignons brûlent et attachent, avant de les faire revenir dans l'huile d'olive, ajouter un peu de sel. Les oignons vont alors "suer". »

Mode opératoire :

Vous disposez d'une gamme de 11 solutions de NaCl de différentes concentrations (indiquées sur les contenants) et d'un oignon rouge.

- Préparer une série de 11 verres de montre contenant chacun une des différentes solutions de la gamme.
- A l'aide de pinces fines, prélever des lambeaux d'épiderme externe d'écaïlle de bulbe d'oignon rouge.
- Placer les lambeaux d'épiderme d'oignon dans les différentes solutions au fur et à mesure de leur préparation, en veillant à bien les immerger. Laisser incubé quelques minutes.
- Monter les différents fragments entre lame et lamelle, **dans une goutte de leur solution d'incubation**.

- Réalisez deux croquis comparatifs légendés de cellules à deux concentrations de votre choix pour lesquelles les cellules se trouvent dans deux états distincts que vous nommerez. Les annotations de vos croquis mettront en évidence le mécanisme à l'origine des changements observés à l'échelle cellulaire, que vous nommerez et expliquerez.

paroi

Vacuole plus foncée

Cellules en turgescence

Vacuole plus foncée

Cellules en plasmolyse

Le mécanisme responsable est l'**osmose** : si l'osmolarité diffère entre deux compartiments séparés par une membrane perméable à l'eau, celle-ci **diffuse du compartiment où l'osmolarité est moindre vers celui où l'osmolarité est la plus élevée**.

Dans un milieu hyperosmolaire une sortie d'eau occasionne une diminution du volume de la cellule, et donc un décolllement de la membrane plasmique par rapport à la paroi : c'est l'état de **plasmolyse**.

Dans un milieu hypoosmolaire, une entrée d'eau occasionne une augmentation du volume de la cellule, dont la membrane se trouve plaquée contre la paroi : c'est l'état de **turgescence**.

Les remarques précédentes concernant le soin des représentations graphiques restent valables pour cette question. Si le processus est fréquemment décrit comme un « échange » ou une diffusion d'eau au travers de la membrane, le terme d'osmose est parfois manquant, les explications restantes alors partielles et floues.

- Complétez le tableau suivant en indiquant l'état des cellules observées puis, en justifiant les étapes de votre raisonnement, estimez le potentiel hydrique des cellules de l'épiderme d'oignon.

[NaCl] mol/L	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
État des cellules	T	T	T	T	T	P	P	P	P	P	P

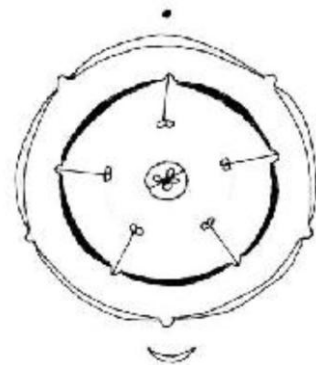
Selon les oignons utilisés, les premiers décolllements de membrane ont été observés entre 0,4 et 0,6M : c'est l'état de plasmolyse limite.

Le potentiel hydrique de la cellule Ψ_w s'assimile à sa composante osmotique Ψ_s qui est égale à l'opposé de la pression osmotique $\Pi_s = RTC_s$ avec C_s l'osmolarité intracellulaire.

- Ajout de pièces sur le côté (dissection partielle) pour montrer l'ovaire supère, les étamines soudées aux pétales, les pétales soudés entre eux, les sépales soudés entre eux à la base, et les étamines soudées par les anthères.

Critères pour le diagramme floral :

- Orienté
- Symétrie radiale
- Tous les verticilles complets
- Position relative des verticilles correcte
- Sutures des sépales / pétales / des étamines aux pétales indiquées



👉 **Appelez l'examineur pour l'évaluation de votre production.**

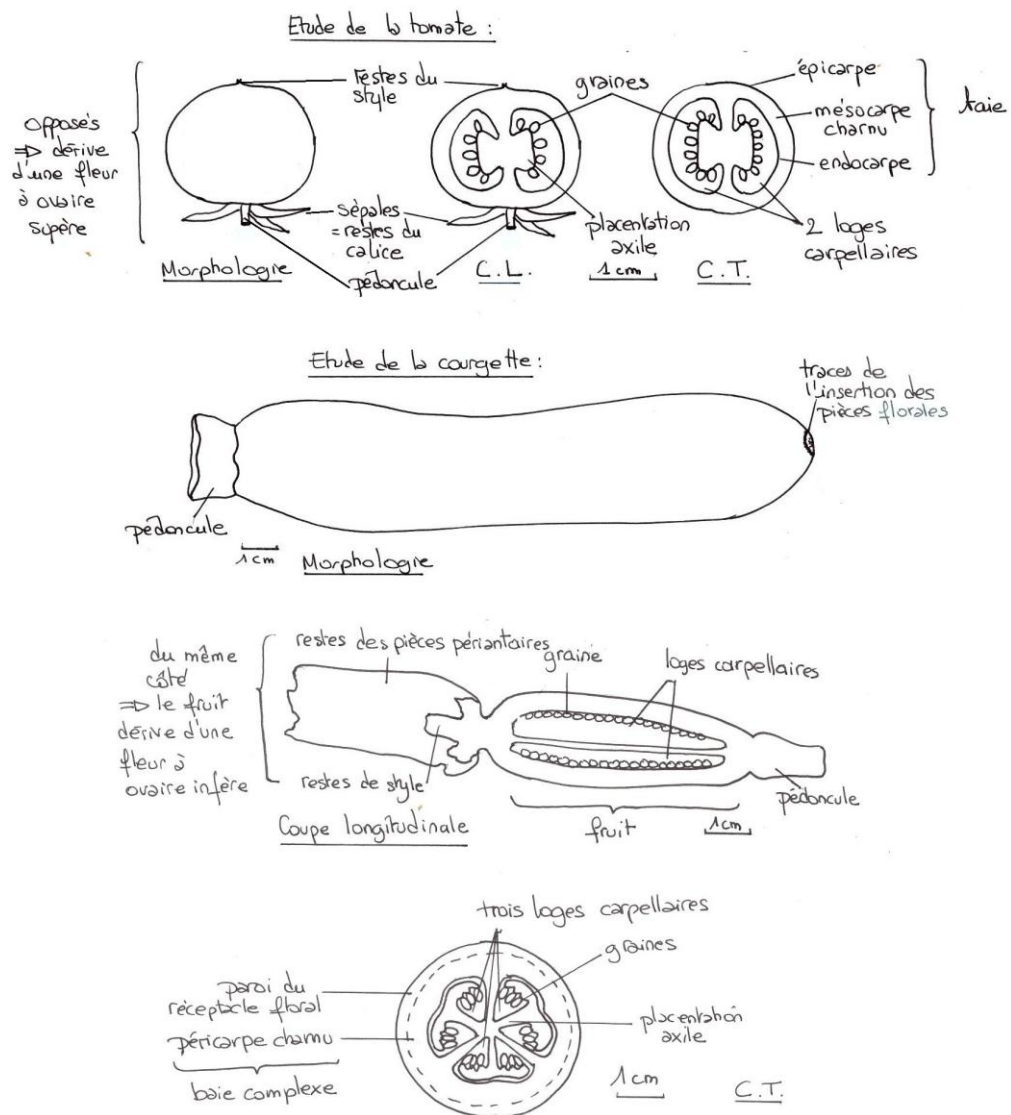
Les dissections florales, lorsqu'elles sont réalisées, sont généralement correctes, mais rares sont les candidats qui ajoutent des pièces florales sur le côté pour montrer les soudures et la position de l'ovaire.

Les diagrammes floraux sont généralement cohérents avec les dissections réalisées.

- A partir des documents photographiques fournis, réalisez une analyse morphologique et anatomique comparée de la tomate et de la courgette sous la forme de croquis.

Les légendes feront apparaître :

- les arguments montrant qu'il s'agit de fruits,
- les structures rendant compte de l'organisation de l'ovaire dont ces fruits sont issus,
- le type de fruit.



Attendus sur les schémas	Tomate	Courgette
Arguments montrant qu'il s'agit de fruits	Structure présentant des restes de pièces florales, donc dérivant d'une fleur, et contenant des graines	
Caractéristiques de l'ovaire de la fleur	Restes de sépales opposés aux restes de style : ovaire supère 2 carpelles Placentation axile	Restes de sépales du même côté que les restes de style : ovaire infère 3 carpelles Placentation pariétale
Type de fruit	Mésocarpe charnu, endocarpe non lignifié □ baie	Idem + dérive d'une fleur à ovaire infère □ baie complexe
Titre du schéma	La tomate : une baie / étude de la tomate	La courgette : une baie complexe / étude de la courgette

Les remarques précédentes concernant le soin des représentations graphiques restent valables pour cette question. Les candidats gagneraient à véritablement argumenter leurs

interprétations, en les reliant explicitement aux légendes structurales apportées aux dessins.

Attention pour la question suivante un planning de passage sur un poste dédié est affiché sur le tableau de la salle.

- Des espèces peuvent compromettre les cultures des fruits. Identifiez les différentes espèces présentées :

	Nom de l'organisme	Position systématique	Modalités d'exploitation du végétal
A	Puceron	Hexapodes/Insectes, Hémiptères	Prélèvement de la sève élaborée
B	Cochenille	Hexapodes/Insectes, Hémiptères	Prélèvement de la sève élaborée
C	Doryphore	Hexapodes/Insectes Coléoptères	Consommation des organes producteurs de matière organique
D	Mildiou	Hétérocontes/ Straménopiles, Oomycètes	Destruction des tissus chlorophylliens
E	Oïdium	Opisthocontes, Eumycètes/Fungi, Ascomycètes	Destruction des tissus chlorophylliens

Cette année encore, le jury déplore le manque manifeste de culture naturaliste chez les candidats, tant dans l'identification des organismes proposés (le doryphore est régulièrement identifié comme une coccinelle, les pucerons comme des « moucheron », les cochenilles comme des champignons parasites...) que dans la connaissance des grandes lignes de la classification phylogénétique.

Les aromates

Extrait d'une recette de ratatouille :

« Après avoir fait cuire les légumes, ajoutez-les tous aux tomates et aux oignons, baissez le feu puis mélangez. Ajoutez un beau bouquet garni, salez, poivrez, puis couvrez pour laisser mijoter 40 minutes en remuant régulièrement. »

- Donnez le nom des deux échantillons d'aromates (A et B) dont vous disposez.

A : Romarin (*Salvia rosmarinus* ou *Rosmarinus officinalis*)

B : Laurier (*Laurus nobilis*)

Le jury rappelle que l'écriture des noms scientifiques obéit à quelques règles simples, en tête desquelles le fait que le nom latin de genre prend une majuscule, et l'épithète spécifique une minuscule. Comme précédemment, des lacunes préoccupantes ont parfois été constatées : le romarin est identifié comme du thym, voire du sapin ! Et le laurier comme du basilic...

- Réalisez des coupes transversales de feuilles de l'échantillon A afin de mettre en évidence :
 - des structures qui expliquent son utilisation comme aromate,

- des adaptations à son milieu de vie.
- Présentez ces structures à l'examineur accompagnées d'un schéma simple légendé permettant de localiser et de nommer ces structures.

Utilisez la feuille annexe 2 prévue à cet effet (que vous pouvez détacher du livret).

☞ **Appelez l'examineur pour l'évaluation de votre production.**



Parenchyme palissadique



Epiderme adaxial
Dépourvu de stomates
à cuticule épaisse

Epiderme abaxial
avec stomates

Revêtement dense de
trichomes épidermiques

Poils sécréteurs

« crypte » pilifère

Marge foliaire enroulée
sur la face abaxiale

Vue adaxiale :



Nervure II^{re}

Xylème I^{re} et II^{re}

Phloème I^{re} et II^{re}

Sclérenchyme

Parenchyme +
collenchyme

Nervure principale

- L'identification des principaux tissus ;

- Les poils épidermiques sécréteurs mis en lien avec l'utilisation comme plante aromatique ;

- Les adaptations aux conditions xériques du milieu de vie : cuticule épaisse sur l'épiderme adaxial, trichomes épidermiques sur l'épiderme abaxial qui porte les stomates, enroulement des marges du limbe sur la face abaxiale augmentant l'enfoncement des stomates.

De très belles préparations de feuilles de romarin ont été réalisées par certains candidats. Ces derniers ont généralement bien identifié les différents tissus foliaires. Il est regrettable qu'une part non négligeable d'entre eux n'aient pas répondu de manière pertinente à la question posée en ne présentant pas de manière claire les adaptations au milieu de vie. De très rares candidats ont mis en lien les poils sécréteurs et l'utilisation des feuilles comme aromate.

La face abaxiale des feuilles de l'aromate B observée à la loupe binoculaire montre la présence de structures particulières.

- Après avoir repéré leur emplacement, réalisez une coupe transversale à ce niveau pour observer leur organisation au microscope.
- Choisissez un champ d'observation pertinent permettant de montrer ces structures à l'examineur.
- Indiquez quelques caractéristiques de ces structures.

☞ **Appelez l'examineur pour l'évaluation de votre production.**

Coupes transversales réalisées sans coloration sur des feuilles de *Laurus nobilis* au niveau de la nervure médiane à proximité d'une domatie :



Étaient attendues ;

- La présentation d'un champ d'observation permettant d'observer une ou des domaties.

- Les caractéristiques suivantes : cavités munies de poils / tapissées d'une cuticule épaisse et dépourvue de stomate / contenant des organismes / Les organismes sont des Métazoaires (Acariens)

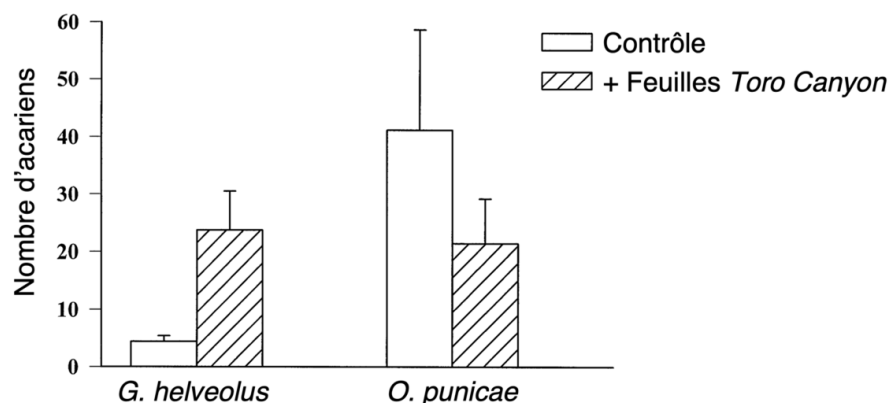
Très peu de candidats ont réalisé la coupe de la feuille de Laurier. Les domaties lorsqu'elles étaient visibles n'ont qu'exceptionnellement été identifiées comme telles.

Afin de préciser la fonction de ces structures, fréquemment observées sur les feuilles de nombreuses espèces de la famille de l'aromate B, l'expérience suivante a été réalisée sur l'avocatier (*Persea americana*).

Des plants d'avocatiers de la variété Hass, connue pour être dépourvue des structures foliaires étudiées, ont été infectés au début de l'expérience par l'acarien herbivore *Oligonychus punicae*, ravageur des cultures d'avocatier. Sur certains de ces plants, des feuilles prélevées sur des plants de la variété Toro Canyon, pourvues des structures foliaires étudiées, ont été collées aux tiges feuillées.

Après un mois, on récolte les feuilles des plants contrôle ou ayant reçu des feuilles de la variété Toro Canyon, et on compte par plant le nombre d'acariens de l'espèce herbivore *O. punicae*, ainsi que d'une autre espèce d'acarien, *Galendromus helveolus*. On précise que cette dernière espèce est prédatrice d'autres espèces acariens.

Les résultats de ces dénombrements sont présentés sur le graphique suivant (les barres sont des intervalles de confiance à 95 %) :



Modifié d'après Agrawal (1997), *Ecological Entomology* 22: 371-376

- A partir de l'analyse de ces résultats, proposez une hypothèse quant au rôle des structures foliaires étudiées chez l'aromate B. Qualifiez le type de relation interspécifique en jeu.

La « greffe » de feuilles de la variété pourvue de domaties provoque, par rapport aux plantes contrôle :

- une forte augmentation d'effectif de la population de l'acarien *G. helveolus*
- une réduction d'environ 50% de la population de l'acarien phytophage *O. punicae*

Hypothèses :

- Les domaties de la variété Toro Canyon abritent une population de *G. helveolus*
- Les acariens *G. helveolus* sont des prédateurs des acariens phytophages *O. punicae*

La relation entre les avocats de la variété Toro Canyon et *G. helveolus* peut donc être qualifiée de **mutualiste** (et non symbiotique, car la relation reste facultative)

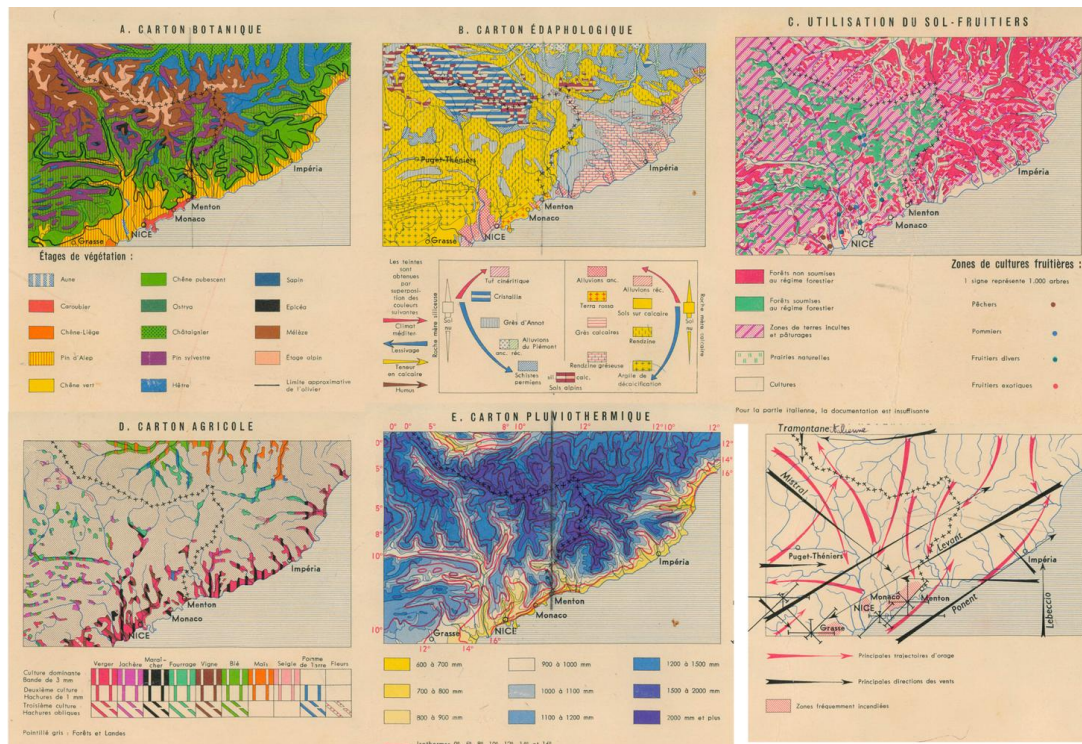
Les réponses qui évoquaient un effet de compétition interspécifique ont également été valorisées. Les candidats qui n'avaient pas ou mal répondu à la question précédente auraient certainement gagné à la mettre en lien avec les données fournies ici.

Partie II : La ratatouille : une recette d'origine méridionale (durée conseillée 0h30)

Facteurs abiotiques et présence de l'olivier

Les documents présentés sur la page couleur tirée en format A3 sont extraits de la carte de la végétation de Nice (carte de 1956 – Paul Ozenda).

Les « cartons » de la carte de végétation qui étaient fournis avec le sujet sont reproduits ci-dessous :



- Exploitez les différents cartons pour préciser les facteurs abiotiques qui peuvent expliquer la répartition géographique de l'Olivier.

Comparaison visuelle des cartons botanique (montrant la distribution des végétations potentielles) et pluviothermique :

On remarque une concordance approximative entre :

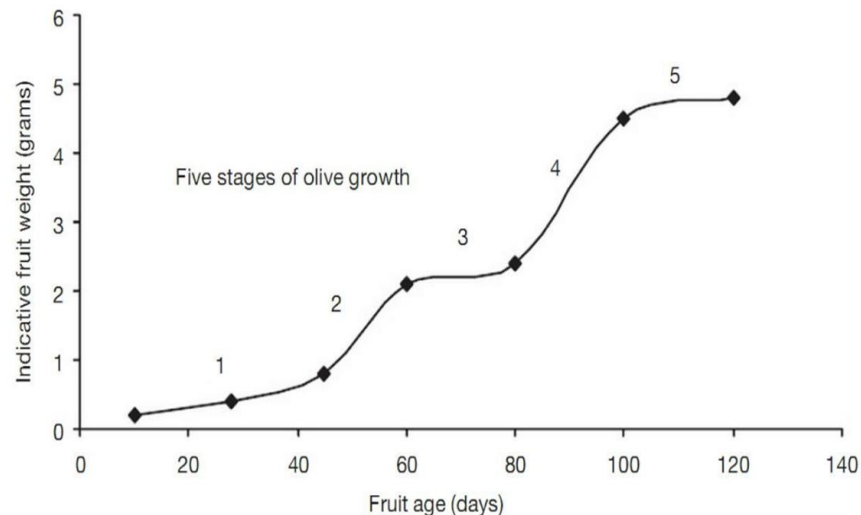
- La limite de l'aire de l'olivier (trait noir plein sur le carton botanique) ;
- Les courbes isothermes entre 12 et 14°C (en fait température moyenne du mois de janvier) sur le carton pluviothermique ;
- Les lignes de niveau (entre 200 et 500 m environ) sur le carton physique.
 - Les températures trop basses limitent l'expansion de l'olivier aux hautes altitudes.
 - Probable tolérance à la sécheresse estivale caractéristique du climat méditerranéen (cantonné aux plaines littorales et aux fonds de vallées).

→ En revanche l'olivier est indifférent à la chimie du substrat (présent aussi bien en Provence calcaire qu'en Provence cristalline).

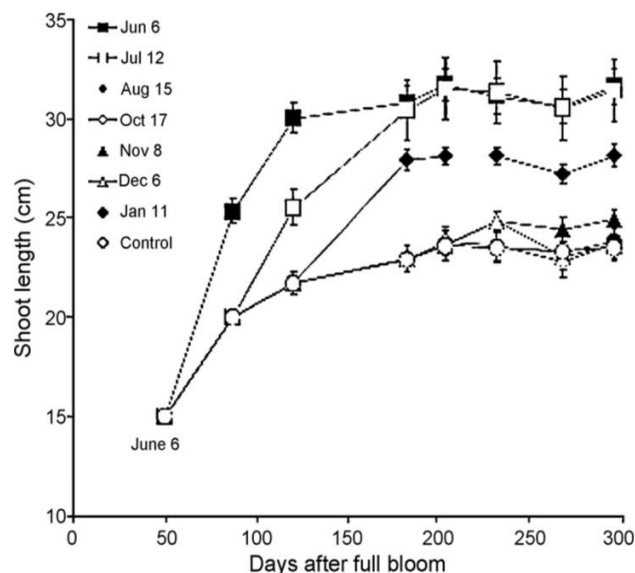
Les informations utiles ont trop rarement été extraites par les candidats. De ce fait, les réponses proposées restent très souvent floues et/ou partielles.

Pratique culturale et production d'olives

Les 4 documents suivants sont issus de travaux de recherche¹ sur l'effet de la récolte des olives sur la phénologie de l'olivier.

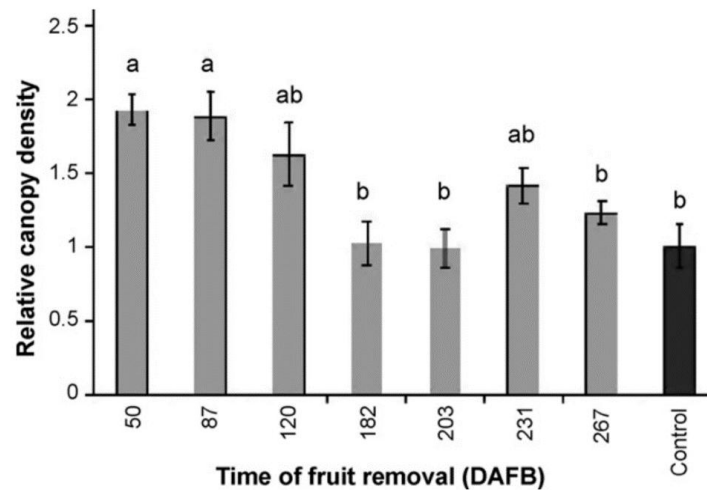


Document 1 : Les cinq stades de croissance des olives : (1) Division intense des cellules des fruits, (2) Développement de l'embryon et du noyau, (3) Durcissement de l'endocarpe, (4) Développement du mésocarpe et accumulation des lipides, (5) Maturation des olives. (Source : World Olive Encyclopaedia, 1996).

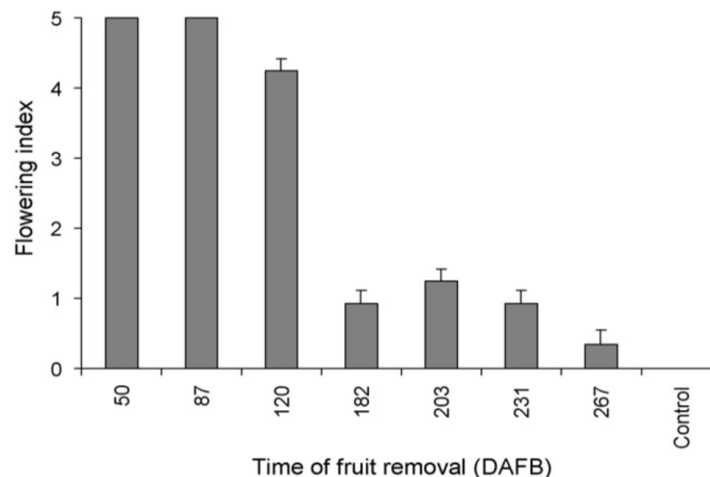


Document 2 : Effet de l'élimination manuelle des fruits à différentes dates après la pleine floraison (Days after full bloom) sur l'allongement des pousses des oliviers.

¹ Dag et al. (2010) Timing of fruit removal affects concurrent vegetative growth and subsequent return bloom and yield in olive (*Olea europaea* L.). *Scientia Horticulturae* 123: 469-472.
Ben Sadok (2013) *Developmental changes of the Olive tree from juvenility to maturity and Genetic basis of vegetative and reproductive traits*. Thèse de doctorat, Montpellier Sup Agro.



Document 3 : Effet de l'élimination manuelle des fruits à différents moments après la pleine floraison au cours d'une année, à partir du 6 juin 2006 (= 50 jours après la pleine floraison - DAFB) sur la densité relative de la canopée (RCD) des oliviers au printemps suivant (12 mars 2007). Les valeurs sont des moyennes sur six arbres. Les moyennes accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes à P 0,05 (test de comparaisons multiples de Tukey-Kramer).



Document 4 : Effet de l'élimination manuelle des fruits à différents moments après la pleine floraison dans une année, à partir du 6 juin 2006 (= 50 jours après la pleine floraison - DAFB), sur la floraison suivante des oliviers (de 0 - pas de floraison à 5 - floraison lourde) le 15 avril 2007. Les valeurs sont des moyennes de six arbres.

- Présentez les conseils qui seraient à prodiguer auprès de producteurs d'olives pour maximiser leurs rendements. Justifiez ces conseils à partir d'arguments issus de l'exploitation des 4 documents.

- Document 1 : Le développement des olives mobilise fortement les ressources de l'arbre, notamment lors des phases de développement du mésocarpe et d'accumulation des lipides.

- Document 2 : Plus l'élimination des fruits est tardive après la floraison, plus l'allongement des pousses est inhibé.

- Document 3 : La suppression précoce des fruits augmente la densité du feuillage (canopée) au printemps suivant.

- Document 4 : La suppression précoce des fruits favorise une floraison abondante l'année suivante.

Il semble donc que la récolte ou l'élimination précoce des olives stimule la croissance végétative, ce qui favorise la reproduction sexuée et donc le rendement de la récolte l'année suivante.

Ainsi, pour maintenir la régularité des rendements de récolte des olives, il est conseillé aux producteurs de pratiquer une récolte précoce et/ou une élimination partielle des olives, avant les derniers stades de maturation.

Les remarques formulées à la question précédente restent valables pour cette question. Le jury souligne néanmoins la qualité d'argumentation de certaines réponses.

Des espèces qui menacent la culture des légumes

De nouvelles populations d'espèces « vermiformes » ont récemment été découvertes dans plusieurs régions de France : *Obama nungara*, *Humbertium covidum* découvert en Nouvelle Aquitaine, ou encore *Platydemus manokwari*. Ils sont qualifiés « d'espèces invasives ».

- Rappeler la définition d'une « espèce invasive ».

Espèce introduite par l'être humain (volontairement ou fortuitement) en dehors de son aire de répartition naturelle et dont l'implantation et la propagation ont des conséquences écologiques, économiques et/ou sanitaires négatives (Définition UICN).

La figure ci-dessous montre des échantillons de *Platydemus manokwari*.

1 : Vue dorsale d'un spécimen vivant collecté à Caen. 2 : Photo d'une expérimentation de prédation sur un escargot méditerranéen *Eobania vermiculata* (Photos : Pierre Gros in Justine et al 2024).



- Donnez, de manière la plus précise possible la classification de *Platydemus manokwari*.

Métazoaire – Bilatérien – Lophotrochozoaire – Spiralien - Plathelminthe

- En vous appuyant sur la planche de photos à votre disposition sur la pailasse, expliquez en quoi ces espèces pourraient déstabiliser les cultures de légumes en France

Les photos montrent que *P. manokwari* se nourrit par prédation sur de nombreux groupes d'invertébrés du sol : lombriciens, gastéropodes, isopodes sont représentés sur les photographies.

Si certaines de ces proies ont un effet négatif sur les cultures maraîchères (e.g. escargot), des espèces-clés du fonctionnement des écosystèmes peuvent subir cette prédation non spécifique et massive, ce qui conduit à un impact négatif sur les écosystèmes, dont les agrosystèmes maraîchers.

On peut notamment citer les effets suivants (liste non exhaustive) :

- Modification des paramètres physico-chimiques du sol :

- * Diminution du bio-décompactage des sols (notamment par l'action de vers anéciques et endogés), d'où altération de l'hétérogénéité structurelle dans les sols et la limitation de la croissance des racines.

- * Limitation de l'infiltration de l'eau dans les sols (qui participe à la protection des cultures face aux événements climatiques extrêmes : inondations, déclenchement de coulées d'eau boueuse, mobilisation des stocks hydrique des sols lors d'épisodes de stress hydrique)

- Diminution / Altération des processus de dégradation de la matière organique :
Fragmentation des litières végétales et décomposition de la matière organique (e.g. : Isopodes, vers épigés)

- Altération des flux de matière et des cycles biogéochimiques :

* diminution des transferts verticaux de M.O. (vers anéciques)

* Modification des cycles du C et N (mobilisation, transfert, minéralisation etc.)

* Modification du cycle du Ca (glandes de Morren des Lombriciens)

=> Globalement baisse de la fertilité des sols et donc diminution de la croissance / survie des plantes cultivées

- Dérégulation des interactions biotiques :

* Effets sur la diversité et l'abondance des micro-organismes du sol ;

* Effets sur la biomasse des invertébrés du sol, conduisant à une diminution des effectifs de leurs prédateurs (e.g. oiseaux auxiliaires des cultures), et donc une altération de régulation des ravageurs des cultures.

5.6. Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur C : Sujet et commentaires

Commentaires généraux :

Le thème général du TP portait sur l'évolution géologique et géomorphologiques des Massifs Cristallins Externes et des massifs subalpins des Alpes françaises. Des documents très divers devaient être analysés (cartes, roches, lames minces, photographies d'affleurements, coupes géologiques et données géochronologiques) dans quatre parties indépendantes qui pouvaient être traitées dans le désordre. La partie II contenait deux ateliers permettant d'évaluer les compétences pratiques des candidats dans les domaines de la pétrologie magmatique macroscopique et la pétrologie microscopique. Toutes les parties contenaient à la fois des questions sur des notions de bases, des analyses de documents et de photographies, et des questions de synthèse.

Le sujet était long et la réussite de cette épreuve nécessitait une bonne gestion du temps ainsi qu'une lecture préalable du sujet pour discerner les questions simples des questions plus complexes. La majorité des questions étaient de niveau L2 à L3 ou faisait appel à l'observation et au « bon sens ». Dans l'ensemble du lot de copies, chaque question a au moins vu une réponse correcte avec le maximum des points, ce qui montre la faisabilité du TP pour un niveau de « Contre Option » Agrégation SV-STU. Aucun candidat n'a répondu à toutes les questions du sujet. Au maximum, 25 questions sur 28 ont été abordées (réponse partielle a minima) par copie, et au minimum 5 questions sur 28 (réponse partielle a minima). En moyenne, les parties I et II ont été celles qui ont vu le plus grand nombre de réponses, avec un pourcentage de réussite de l'ordre de 20 à 24 % pour environ 65 % de réponses. Les parties III et IV ont été moins abordées avec 35 % de réponses uniquement, probablement à cause d'un manque de temps et/ou de lacunes dans les domaines abordés dans ces parties.

Dans la première partie, les candidats devaient effectuer un schéma structural, calculer un âge du massif du Pelvoux, et proposer une histoire géologique du Dévoluy à partir d'analyses de photographies et de coupes géologiques. Les bases de géochronologie sont peu connues, et la synthèse a été peu abordée par les candidats.

La seconde partie se focalisait sur les informations géologiques et géomorphologiques que nous pouvons extraire des enregistrements morphologiques et sédimentaires dans le karst du Dévoluy. Généralement, le fonctionnement théorique du karst est connu dans les grandes lignes, mais l'interprétation morphologique des éléments karstiques est très peu connue, voir confondue avec les morphologies fluviales. Peu de candidats sont arrivés à calculer correctement la vitesse d'incision long terme.

Dans la troisième partie, les candidats devaient décrire la morphologie du réseau hydrographique actuel du Drac. Les notions de terrasses alluviales et des processus associés semblent peu connues des candidats. Les questions III.3, III.4 et III.5 ont reçues moins de 15 % de réponses (même partielles).

Dans la quatrième partie, les candidats devaient reconstituer des paléoenvironnements à partir d'un diagramme pollinique à reconstruire. Les deux dernières questions ont été très peu abordées (<12 % de réponses).

Les capacités d'analyse et de raisonnement scientifique des candidats étaient généralement sollicitées. Le jury rappelle que tous les documents proposés dans le sujet apportent des informations utiles et nécessaires à la résolution des questions et qu'il est toujours préférable de bâtir un raisonnement à partir des données observées qu'à partir des seules connaissances sur le sujet. Beaucoup de candidats montrent d'importantes difficultés à mener une réflexion argumentée à partir d'observations et de documents, et se raccrochent souvent à des concepts approximatifs tirés de cours ou d'ouvrages, sans lien concret avec les données et documents proposés.

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE OPTION DU SECTEUR C

Candidats des secteurs A et B

Durée totale : 2 heures

Évolution du relief alpin au cours du Cénozoïque dans les zones
externes alpines

Exemple du nord Dévoluy

Les différentes parties sont indépendantes. Certaines questions nécessitent des observations (échantillons macroscopiques et lames minces). Un ordre de passage, affiché au tableau, vous permettra d'accéder aux postes de travail. Organisez-vous en conséquence. Cependant, la réalisation des ateliers ne conditionne pas la finalisation des différentes parties.

Partie I. Contexte régional p 3 à 12

Durée conseillée : 40 min. → 33 % des points

Partie II. L'Obiou et son paléo-réseau hydrographique p 13 à 20

Durée conseillée : 40 min. → 33 % des points

Partie III. Le Réseau hydrographique actuel p 21 à 25

Durée conseillée : 25 min. → 21 % des points

Partie IV. Paléoenvironnement P 26 à 28

Durée conseillée : 15 min. → 13 % des points

Les réponses aux questions figureront dans les cadres réservés à cet effet. Vous pouvez disposer d'une calculatrice non programmable. N'hésitez pas à illustrer vos réponses à l'aide de schémas.

AVANT DE REMETTRE VOTRE DOSSIER, VERIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUE VOS
NOM, PRENOM ET NUMERO DE SALLE EN TETE DE TOUS LES DOCUMENTS.

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier

La dynamique des Alpes occidentales européennes au cours du Cénozoïque a entraîné l'exhumation des massifs cristallins externes, la propagation des chevauchements vers l'avant-pays, la réorganisation du réseau de drainage et d'importantes variations climatiques. Cette histoire reste encore mal comprise dans le détail. En effet, les zones intra-orogéniques ont été soumises aux érosions météorique et glaciaire pendant le Quaternaire, qui ont effacé la plupart des marqueurs géomorphologiques. Pour ces raisons, la compréhension de la genèse des principales caractéristiques du paysage moderne, telles que les grandes vallées et le réseau hydrographique, nécessite l'étude de roches préservées de l'érosion. Le but de ce TP est d'illustrer ces phénomènes à partir de l'étude d'un site récemment découvert dans le Dévoluy. Le massif du Dévoluy est un domaine des Hautes Alpes formé d'une vallée haute (1 100 m d'altitude) entourée par des reliefs calcaires élevés (dépassant fréquemment les 2 700 m, 2 783 m pour le pic de l'Obiou). Ce massif est situé au sud est des massifs cristallins externes du Pelvoux et des Écrins.

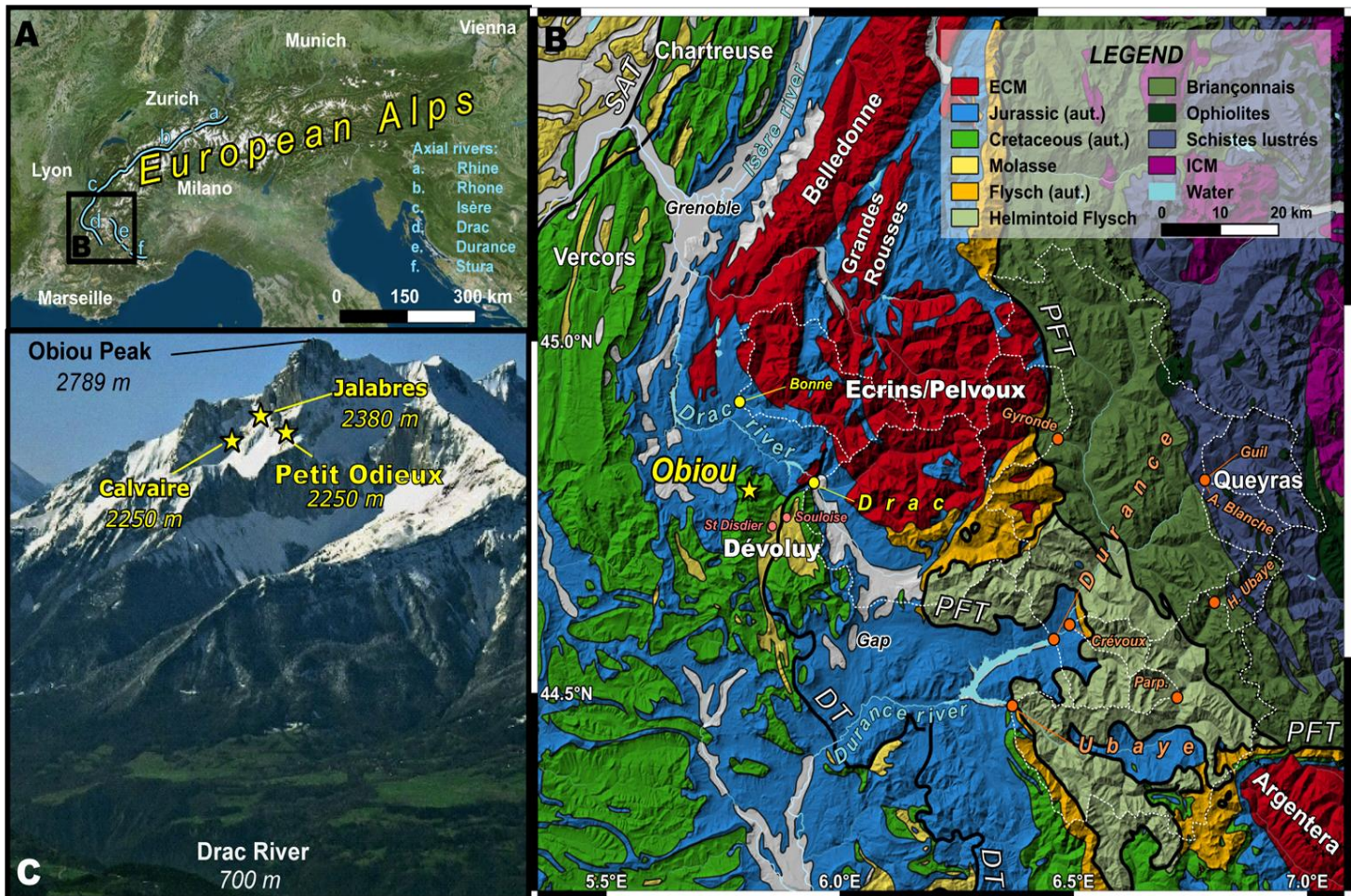


Figure 1 : A) Image satellite et localisation de la zone étudiée ; B) Carte géologique régionale des unités présentées dans le TPs ; Les lignes noires épaisses représentent les chevauchements principaux ; C) Photographie du pic de l'Obiou depuis la vallée du Drac, les étoiles jaunes localisent les grottes étudiées. (Lemot et al., 2023)

I Contexte régional

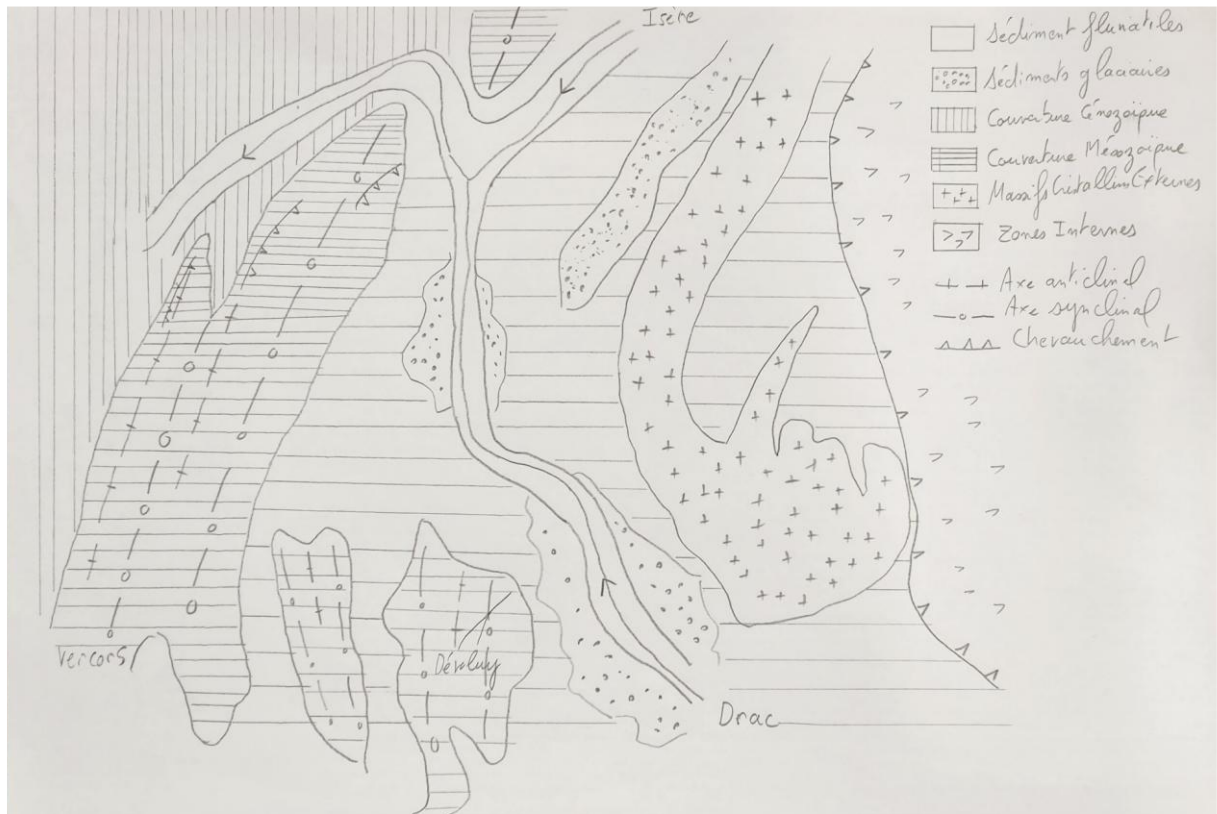
Le contexte régional peut-être abordé à partir de l'extrait de carte géologique au 1/250 000 fourni. Attention, les failles ne sont pas interprétées.

Question I.1 : Utilisez l'extrait de la carte géologique au 1/250 000 pour proposer un schéma structural (p 4) légendé de la région d'étude.

Structures attendues : plis et chevauchements du Vercors, plis du Dévoluy, massif du Pelvoux, vallée de l'Isère, système alluvial entre le Pelvoux et le Dévoluy

Parmi les structures non attendues mais valorisées : système de blocs basculés dans le Pelvoux, chevauchement pennique, sédiments glaciaires

Schéma structural



Les granites du Pelvoux ont été datés par la méthode Rb-Sr. Des analyses sur la roche totale et les biotites donnent les résultats suivants.

$X = {}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}$	$Y = {}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$
1,9225938	0,72203
2,3981563	0,72376
2,8735	0,72579
3,4255156	0,72861
3,6899844	0,73011
4,0719219	0,73133
4,4952031	0,7339

La constante de désintégration du ${}^{87}\text{Rb}$ est de $1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$.

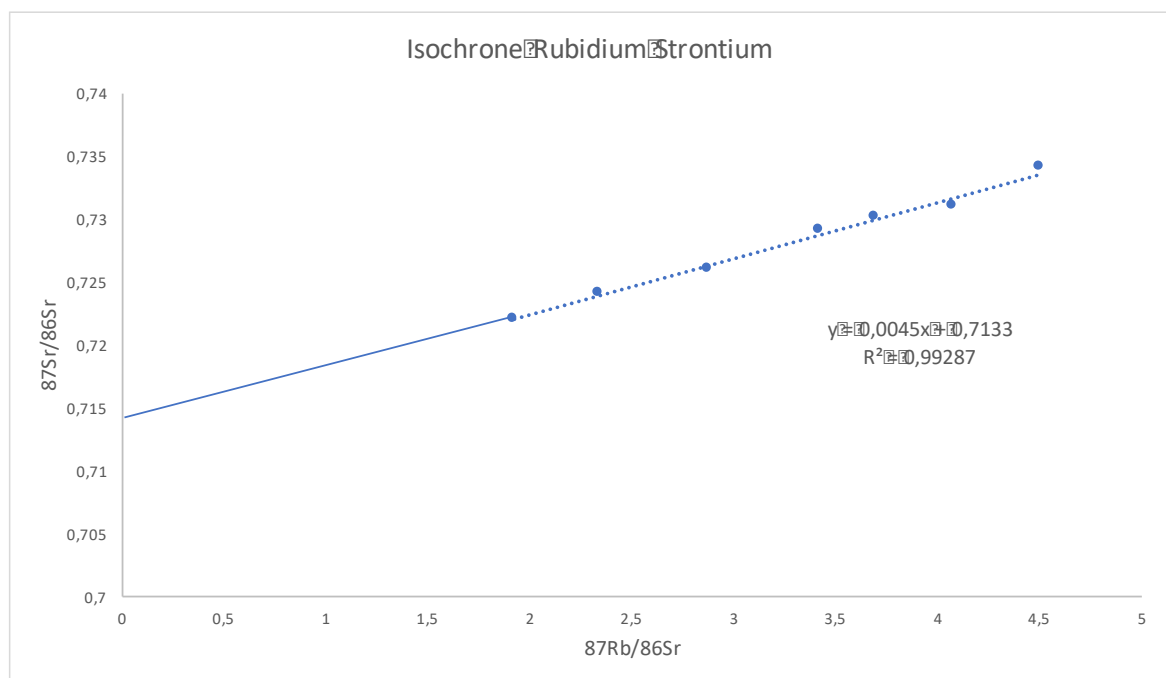
Figure 2 : résultats des analyses isotopiques des granites du Pelvoux (Arnold & Jager, 1965).

Question I.2 : Rappelez les principes de la datation Rubidium Strontium

Système radioactif père-fils ${}^{87}\text{Rb} \rightarrow {}^{87}\text{Sr}$. Construction d'une courbe isochrone en normalisant par rapport au ${}^{86}\text{Sr}$ qui n'est ni radioactif, ni radiogénique ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr} = f({}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr})$. Etablissement de la pente de l'isochrone = λt , extraction de l'âge de clôture du système

Question I.3 : A partir des données, calculez l'âge du granite échantillonné. Donnez le nom de l'orogénèse correspondante.

Réponse à la question I.3 et I.4 : Le papier millimétré est à rendre avec votre copie



Les mesures donnent un âge d'environ 320 Ma, clairement lié à la fin de l'orogénèse varisque. Les âges compris entre 290 et 350 Ma ont été acceptés.

(>0,710) tracent une origine crustale (continentale). Déterminez à partir de votre isochrone le rapport initial ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₀, et proposez une origine probable pour ce granite.

Le rapport initial ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₀ est donné par l'intersection de l'isochrone avec l'axe des ordonnées. Ce rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ est élevé ce qui indique un granite d'anatexie crustale.

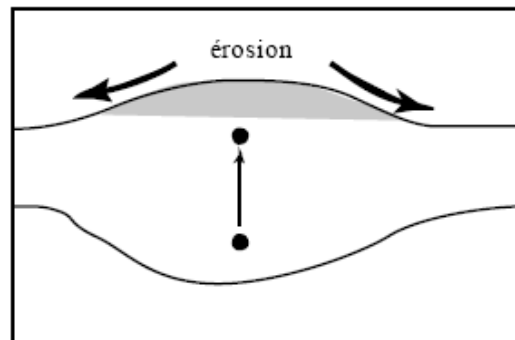
Le granite se met en place à une dizaine de kilomètres de profondeur. Les massifs cristallins des Ecrins et du Pelvoux sont actuellement à des altitudes comprises entre 1 150 m et 3 943 m.

Question I.5 : Présentez les mécanismes qui ont pu permettre l'exhumation des Massifs Cristallins Externes. Développez les processus en les accompagnant de schémas explicatifs.

Plusieurs mécanismes permettent d'expliquer l'exhumation des massifs cristallins externes, parmi lesquels des combinaisons surrection / érosion paraissent les plus probables.

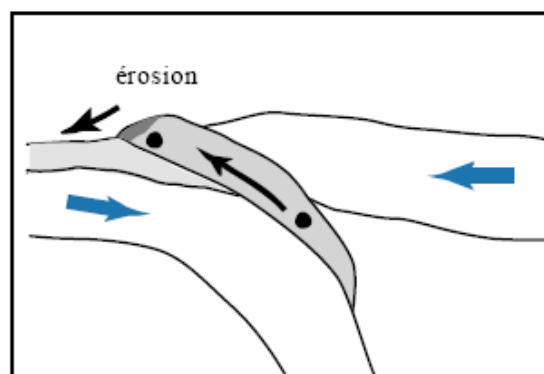
Des schémas explicatifs étaient attendus (schémas suivants d'après Chemenda et al., 1996).

Isostasie



Raccourcissement

Ecaillage croûte supérieure



Très peu de schémas ont été fournis.

Dans le Champsaur, il a été observé des conglomérats d'âge Priabonien (38-34 Ma) contenant des galets de granite du Pelvoux.

Question I.6 : Précisez ce qu'apporte la présence de galets de granite pour expliquer à la fois les mécanismes en lien avec l'exhumation des massifs cristallins externes et la période d'exhumation.

La présence de galets implique de l'érosion et du transport : l'exhumation des MCE a dû avoir lieu au moins dès le Priabonien (38-34 Ma)

Cette question n'a mystérieusement pas été traitée par beaucoup de candidats.

Les sommets du massif du Dévoluy sont formés de calcaires à silex pauvres en fossiles, et donc non datables par des fossiles stratigraphiques, qui reposent sur des roches datées du Jurassique supérieur (Tithonique) ou Crétacé inférieur (Figure 3 et 4). Ces calcaires à Silex présentent une épaisseur de 700 m avec au sommet des occurrences de l'huître *Pycnodonta vesicularis*. Ces calcaires à huîtres sont recouverts de manière non conforme par des calcaires et des marnes contenant les fossiles représentés dans la figure 5.

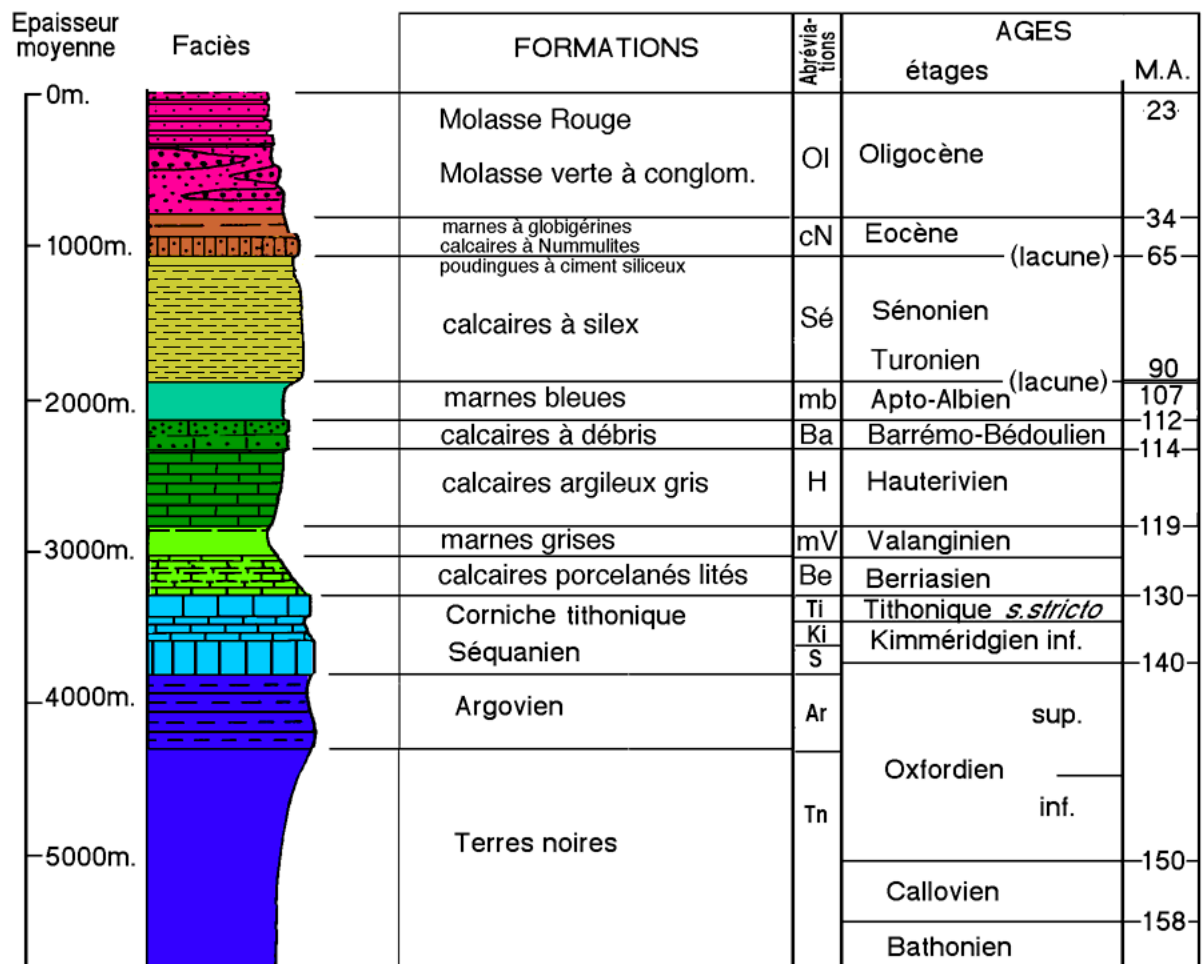
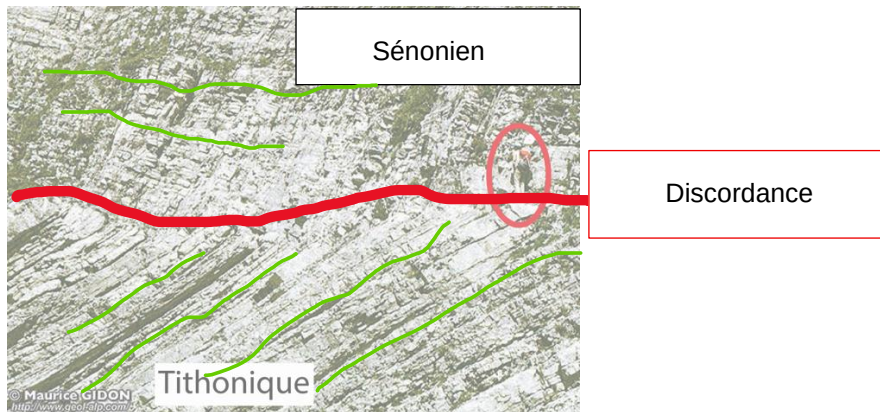


Figure 3 : Log stratigraphique simplifié du Dévoluy (<http://www.geol-alp.com/>).



Figure 4 : contact entre le Tithonique (Jurassique supérieur) et les calcaires à silex constituant la crête de l'Obiou (<http://www.geol-alp.com/>).

Question 1.7 : Annotez la photo de la figure 4. Indiquez les informations qui peuvent être déduites d'un tel affleurement.



Une discordance très nette a été remarquée par la plupart des candidat-es. Cette discordance implique une déformation (basculement post-tithonique,) érosion puis le dépôt non conforme des calcaires à silex.



Figure 5-A) Fossiles rencontrés dans les calcaires (van Gorsel et al., 2014).

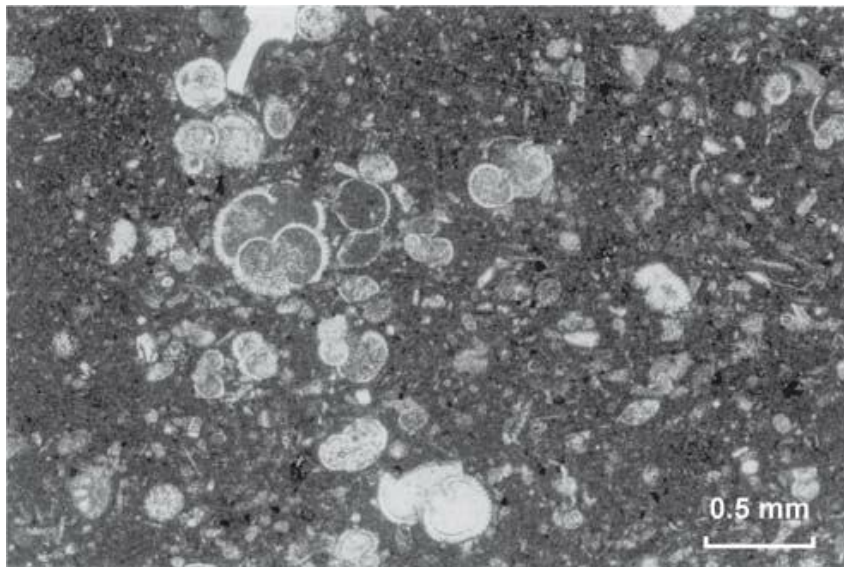


Figure 5-B) Fossiles rencontrés dans les marnes surmontant les calcaires à silex du Dévoluy (Nazik et al., 2006).

Question 1.8 : Légendez les photos 5 et nommez les fossiles. En vous aidant du log stratigraphique fourni (figure 3), proposez un âge pour les calcaires et marnes surmontant les calcaires à silex du Dévoluy, et donc par encadrement pour ces calcaires à Silex.

Les calcaires à Nummulites et marnes à Globigérines sont clairement Cénozoïque. Si la base des calcaires à silex va du Jurassique supérieur au Crétacé inférieur, nous pouvons proposer un âge Crétacé supérieur.

Les âges Crétacé supérieur et Paléocène ont été acceptés.

Les Nummulites ont été généralement bien reconnu-es, les Globigérines ont souvent été confondues avec des Globotruncana.

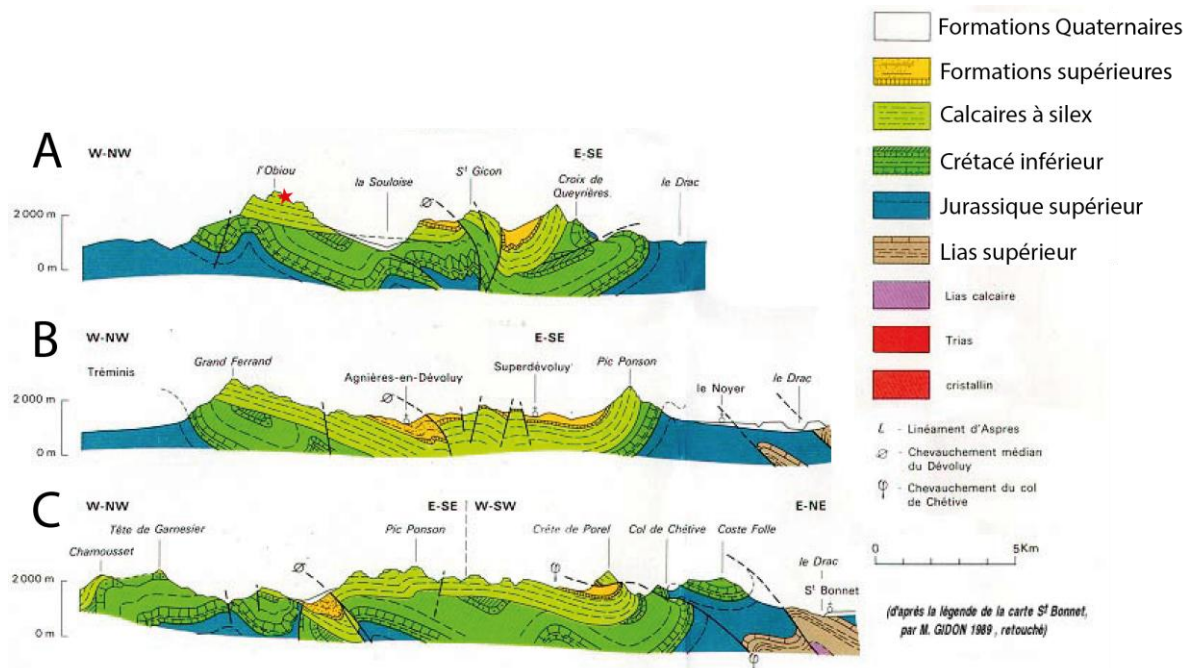


Figure 6 : Trois coupes dans le massif du Dévoluy, la coupe A étant la plus au nord et la coupe C la plus au sud (<http://www.geol-alp.com/>). L'étoile rouge positionne la grotte des Jalabres.

Question I.9 : D'après les coupes (figure 6) et vos réponses aux questions I.7 et I.8, complétez la légende de la figure 3 et établissez l'histoire géologique de la région à partir du Lias supérieur.

Ces trois coupes permettent de proposer l'histoire suivante.

Des dépôts marins se font au Jurassique et Crétacé inférieur. Ces dépôts sont déformés et érodés avant le retour du milieu marin au Crétacé supérieur.

Les calcaires à silex sont ensuite plissés par une deuxième phase de déformation, les formations supérieures se déposant de manière non conforme.

Une troisième phase de déformation Cénozoïque reprend l'ensemble des formations du Dévoluy.

Question bien traitée par les candidats qui s'y sont essayés.

II L'Obiou et son paléo-réseau hydrographique

Le massif du Dévoluy présente une morphologie de surface caractéristique. Certaines de ces caractéristiques sont présentées dans la figure :

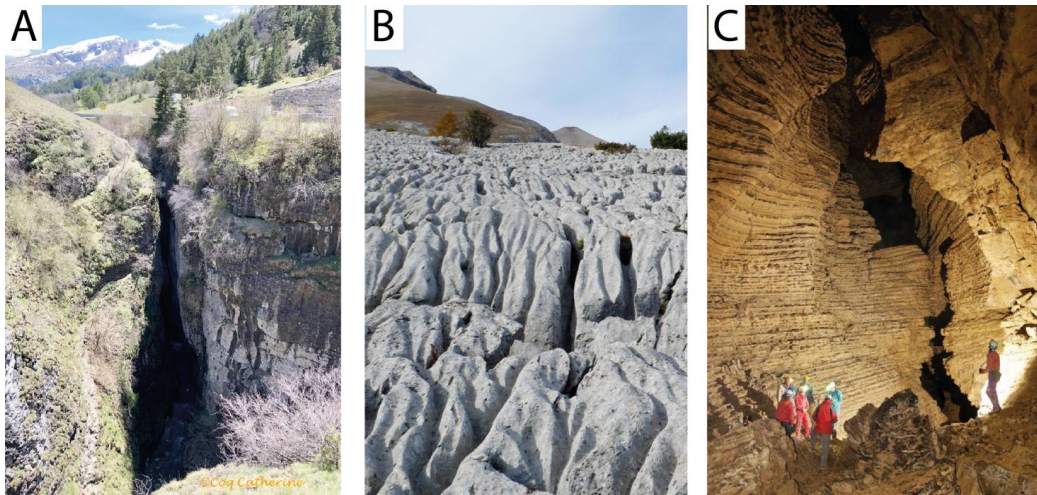


Figure 7 : photos prises dans le Dévoluy ; A) Gorges de la Souloise (<https://voyagepassions.com/>) ; B) Surface en altitude (B. Lips) ; C) Méandre fossile de la grotte des Jalabres (X. Robert)

Question II.1 : Identifiez le modelé illustré par les photos de la Figure 7. Précisez les processus re

La photo A) présente un canyon fortement incisé, la photo B) un karst nu d'altitude, et la photo C) une galerie de grotte avec une forme de méandre. C'est un modelé karstique issu de la dissolution de la calcite (équation équilibre de la calcite) par l'action de l'eau de pluie avec le développement d'un réseau hydrographique souterrain. La morphologie souterraine en méandre implique un écoulement libre. Bonus si discussion climat responsable de ce modelé

Généralement bien traité

En 2011, des sédiments ont été trouvés dans la grotte des Jalabres se développant sous la grande tête de l'Obiou, à 2 350 m d'altitude (figure 1). La figure 8 montre le contexte de ces affleurements, ainsi qu'un détail de ces sédiments.

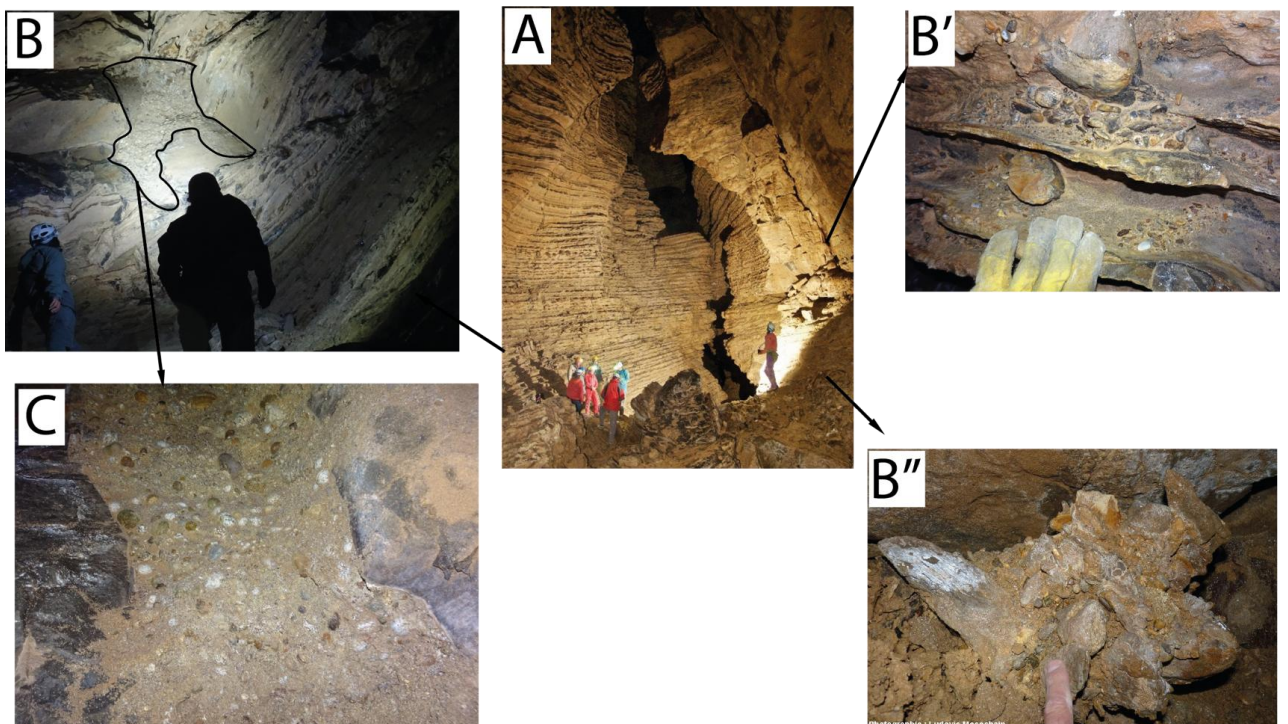


Figure 8 : Affleurements de sédiments dans la grotte des Jalabres. A- morphologie de la galerie principale et positionnement des affleurements B, B' et B''. C- Détail de l'affleurement B (F. Lemot).

Question II.2 : Décrivez les dépôts sédimentaires.

Toutes ces photos montrent un dépôt sédimentaire en plaquage contre les parois (en place) ou en amas au pied des parois. Ils sont indurés.

Ils contiennent des éléments arrondis (galets) de 1 cm à 10 cm de diamètre environ et de différentes couleurs dans une matrice indurée argilo-sableuse. Ce sont des conglomérats. Il ne semble pas y avoir de grano-classement. La nature des galets semble variée (différentes couleurs, difficile à déterminer à cause de la patine), mais différente de la roche dans laquelle se développe la grotte, indiquant une origine alloctone.

Généralement bien fait, mais souvent, le lien entre les photos est non compris

Ce sont des galets pluri-décimétriques nécessitant un processus énergétique avec probablement un transport important car ils sont bien arrondis. Etant donné le contexte géographique, leur origine pourrait être glaciaire ou fluviale. Il est difficile de trancher entre ces deux processus, mais la morphologie fluviale du conduit associée à la forme des galets (plus ronds qu'aplatis) suggérerait plutôt un processus fluviale.

Le contexte fluviale est généralement donné, mais peu argumenté.

Question II.4 : Interprétez cette formation pour en déduire l'histoire de ce méandre actuellement fossile.

Ces sédiments sont dans une galerie aujourd'hui sans écoulement (fossile) et témoignent d'un paléo-écoulement énergétique libre.

Les conglomérats sont en plaquages sur les parois, ils traduisent très probablement un épisode de ré-incision des archives sédimentaires postérieure au dépôt des galets. La galerie a ensuite été abandonnée par les écoulements et est devenue fossile. La galerie présentée possédant une morphologie de méandre, nous pouvons proposer qu'elle a été abandonnée par l'eau soit à cause d'un assèchement de la zone drainée, soit par abaissement du niveau de base (karst étagé), ou soit par l'isolation du réseau karstique de sa zone source.

Cette question a été mal traitée. Beaucoup de confusion avec la notion de méandre de rivière. Ici, dans le karst, un méandre est une caractéristique morphologique de la galerie qui est plus haute que large, traduisant un écoulement à l'air libre

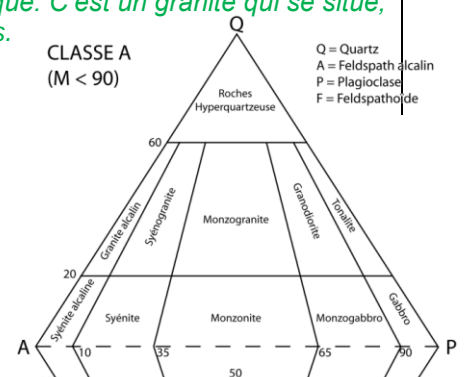
Deux échantillons issus de la grotte des Jalabres sont à votre disposition : un échantillon macroscopique et une lame mince.

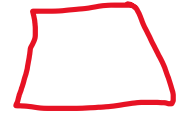
Question II.5 : Effectuez une diagnose de l'échantillon macroscopique ; estimer la proportion des différents minéraux et utilisez le diagramme de Streckeisen pour déterminer la roche.

C'est un galet arrondi de quelques centimètres de diamètre, sans stries, et donc d'origine plutôt fluviale avec un transport sur grande suffisamment importante pour lui donner cette forme arrondie.

Les minéraux visibles à l'œil nu sont par ordre d'importance : quartz, feldspath plagioclase, feldspath alcalin, quelques rares biotites et parfois quelques minéraux verts (épidotes ?). De manière générale, les minéraux clairs sont prépondérants. La taille des minéraux est millimétrique. C'est un granite qui se situe, dépendamment des échantillons, dans les Monzogranites à granodiorites.

Question mieux réussie





Question II.6 : Effectuez un schéma de la lame mince et diagnostiquez la roche

Cette détermination a posé plus de problèmes, les minéraux du métamorphisme (disthène, staurotide) n'étant pas connus des candidats.

Lame mince de micaschiste contenant du quartz, quelques rares feldspaths (plagioclase), des micas abondants (muscovite et biotite), staurotide et disthène. Selon les lames, quelques occurrences de tourmalines.

Il était attendu un schéma légendé à l'échelle en LPA et en LPNA présentant la majorité des minéraux présents, une quantification relative de leur abondance et une diagnose de la roche.

Les galets sont arrondis et variés. Ils ne présentent pas de stries glaciaires.

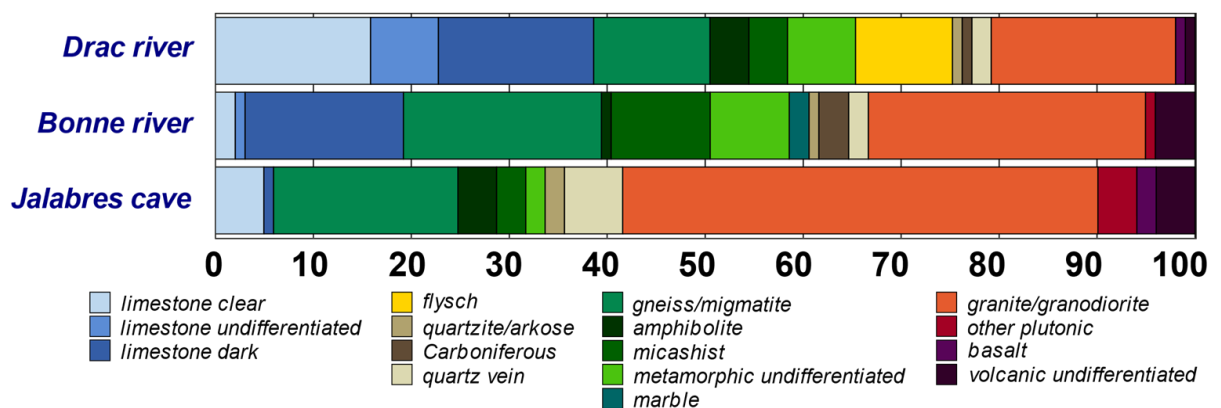


Figure 9 : Proportion (en %) des différents types de roches présentes dans les galets de la grotte des Jalabres et des rivières du Drac et de la Bonne (affluent rive droite du Drac), actuellement drainant le massif du Pelvoux ; Limestone (en.) = calcaire (fr.) (Lemot et al., 2023).

Question II.7 : A l'aide de la figure 9, proposez une source pour les galets de la grotte des Jalabres. Discutez des implications probables de la zone source à l'époque du dépôt.

Le types de roches présents à la grotte des Jalabres sont similaires aux types de roches trouvés dans les rivières du Drac et de la Bonne qui drainent le massif du Pelvoux. Mais leurs proportions sont différentes, avec une importance plus forte des roches plutoniques au détriment des roches calcaires dans les sédiments de la grotte des Jalabres, signifiant que la source des sédiments de la grotte des Jalabres était probablement plus proximal au massif du Pelvoux, avec une prépondérance des roches granitiques et magmatiques à l'affleurement.

Question bien traitée

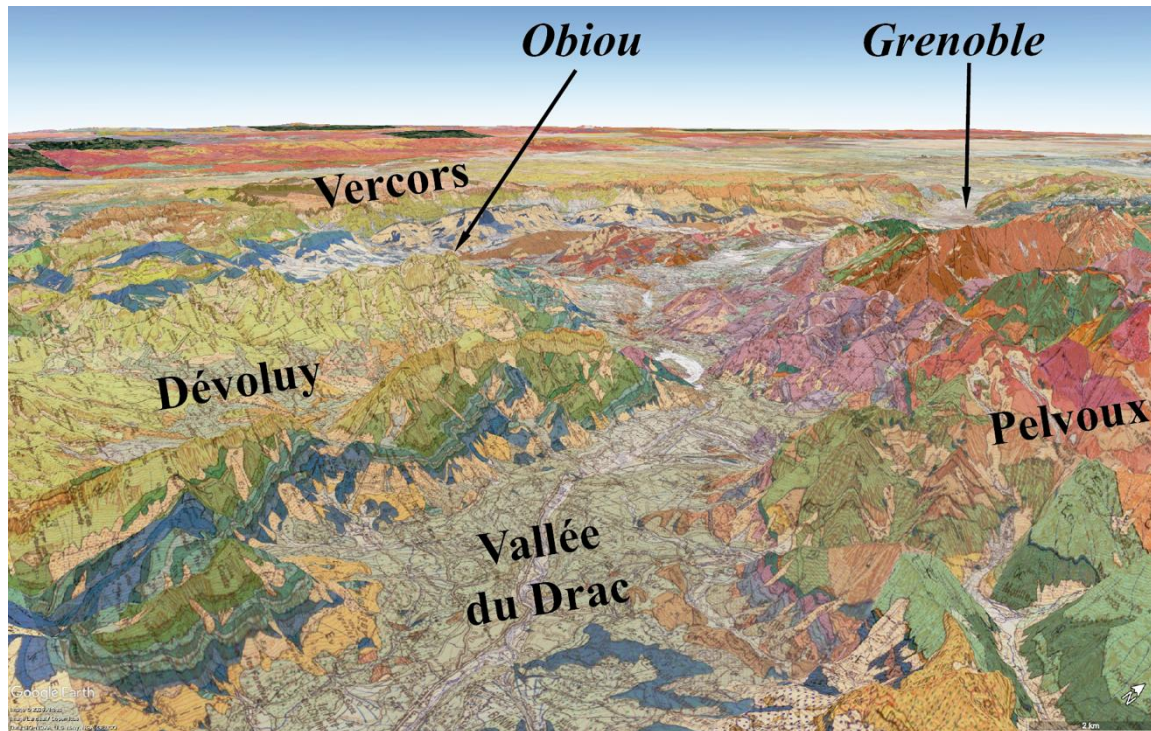


Figure 10 : carte géologique BRGM au 1/50 000 du Dévoluy et du massif du Pelvoux projetée sur le Modèle Numérique de Terrain de la région et centrée sur la vallée du Drac (X. Robert).

Question II.8 : En utilisant vos réponses aux questions précédentes et la figure 10, expliquez pourquoi cet affleurement pose des questions aujourd'hui.

A l'heure actuelle, la figure 10 montre que le massif du Dévoluy est déconnecté hydrologiquement du massif du Pelvoux à cause de l'incision de la rivière Drac entre ces deux massifs. La source des sédiments de la grotte des Jalabres indiquent que le massif du Dévoluy était à cette époque hydrologiquement connecté au massif du Pelvoux. La vallée du Drac n'existait donc pas à ce moment-là, et le massif du Pelvoux était déjà à l'affleurement.

Les sédiments de la grotte des Jalabres tracent donc un réseau hydrographique ancien, avec un drainage plutôt de type radial (globalement perpendiculaire à l'orientation de la chaîne alpine) avec absence de l'incision du Drac et non un drainage semblable à l'actuel de type longitudinal (globalement parallèle à la chaîne alpine).

Les questions qui se posent : quel âge à ce drainage radial ? Quand et comment est-ce passé à un système de drainage longitudinal ?

Question très peu traitée

Question II.9 : Pour améliorer l'interprétation de l'histoire de la géomorphologie des Alpes de l'ouest à partir des sédiments des grottes sous l'Obiou, il serait intéressant d'obtenir l'âge de ces dépôts sédimentaires. Précisez les méthodes qui permettraient d'obtenir des informations sur le moment de mise en place de ces sédiments.

Si le matériel le permet (présence de roches riches en quartz) et si ce n'est pas trop vieux (<~10-12 Ma), il est possible de dater l'enfouissement des galets en utilisant deux isotopes cosmogéniques de demi-vies différentes comme les couples $^{10}\text{Be}/^{26}\text{Al}$ ou $^{10}\text{Be}/^{21}\text{Ne}$.

Une autre solution possible est de dater en U-Th (si <~450 ka) ou U-Pb (si >~1-2 Ma) des calcites celant ou encadrant le dépôt sédimentaire.

Si le dépôt sédimentaire est suspecté jeune, une datation de résidus carbonés (si nous en trouvons) en ^{14}C peut être tentée, ou une datation d'enfouissement d'un sable en OSL (Optically Stimulated Luminescence).

Enfin, une étude palynologique des parties argileuses permettrait peut-être d'obtenir une gamme d'âges pour ce dépôt.

Question très peu traitée

Question II.10 : Le dépôt des sédiments dans les grottes sous l'Obiou est estimé entre 13 et 10 Ma (Tortonien) en prenant en compte les barres d'erreur. Connaissant les altitudes actuelles du Drac et de la grotte de Jalabres (figure 1), estimez la vitesse d'incision long terme du Drac. Donnez le résultat en millimètres par an.

$(2380-700)/10$ ou $13 = 130 - 170 \text{ m.Ma}^{-1} = 0.13 - 0.17 \text{ mm.an}^{-1}$

Question assez peu traitée, avec de nombreuses erreurs, notamment de conversion.

III Le réseau hydrographique actuel

La vallée de la rivière Drac présente des objets permettant de reconstruire une partie de l'histoire récente du relief alpin et des processus géomorphologiques responsables de l'évolution du relief, comme montré par la photo de la figure 11.



Figure 11 : Le Drac entre le Pelvoux et l'Obiou au niveau de Pellafole et du lac artificiel du Sautet (<http://www.geol-alp.com/>).

Question III.1 : Décrivez les morphologies et légendez la photo de la figure 11. Précisez les processus responsables de ces morphologies.



Vallée incisée (stream Power law / loi de Flint), différentes générations de terrasses (processus fluviaux avec incision progressive), glissements de terrain (érosion, processus de versants)
Question peu et mal traitée

La figure 12 présente une coupe perpendiculaire à la rivière Drac et se focalisant sur les dépôts sédimentaires plio-quaternaires.

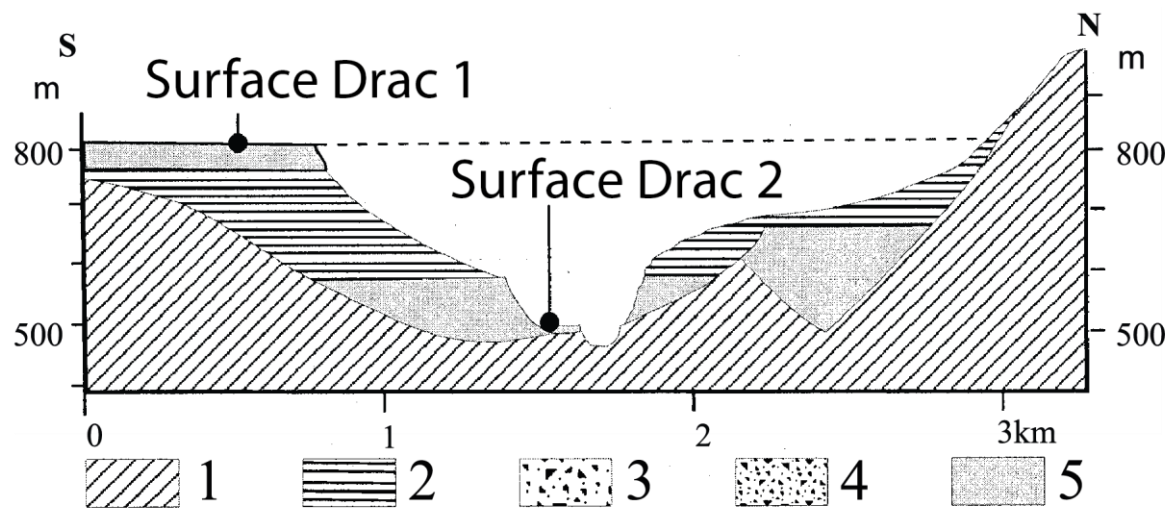


Figure 12 : Coupe simplifiée perpendiculaire à la rivière Drac montrant différentes terrasses.

1 = bedrock ; 2 = sédiments lacustres ; 3 et 4 = till glaciaire ; 5 = dépôts fluviaux

(Brocard et al., 2003)

Question III.2 : Identifiez à quoi correspondent les surfaces Drac 1 et Drac 2 et précisez leur dynamique de formation. A partir de la figure 12, proposez une chronologie de formation des dépôts et des surfaces Drac 1 et Drac 2.

Drac1 et Drac2 sont des terrasses fluviales. Drac 1 est une terrasse de remplissage dont le processus dominant est la sédimentation, alors que Drac 2 est une terrasse d'abrasion où les dépôts fluviaux 5 sont érodés par la rivière. Ces terrasses marquent un paléo niveau de la rivière Drac.

Chronologie : 1) incision du bedrock, puis 2) premier dépôt de sédiments fluviaux (5) en fond de vallée, puis 3) la vallée est bloquée en aval de la coupe (glissement de terrain ? confluence avec un glacier ?) avec formation d'un lac et dépôts de sédiments lacustres (2), 4) le lac est rempli, et une nouvelle terrasse alluviale (Drac 1) est formée, 5) ré-incision de la pile sédimentaire et formation de la terrasse Drac 2, et 6) nouvelle incision dans la terrasse Drac 2 et le bedrock.

L'histoire précoce est probablement plus complexe à cause de la présence d'une incision abandonnée (à cause d'un remplissage ?) sur la droite de la coupe

Question peu et mal traitée, même la chronologie relative

Les figures 13 et 14 présentent la cartographie des dépôts du Drac, ainsi que leurs datations.

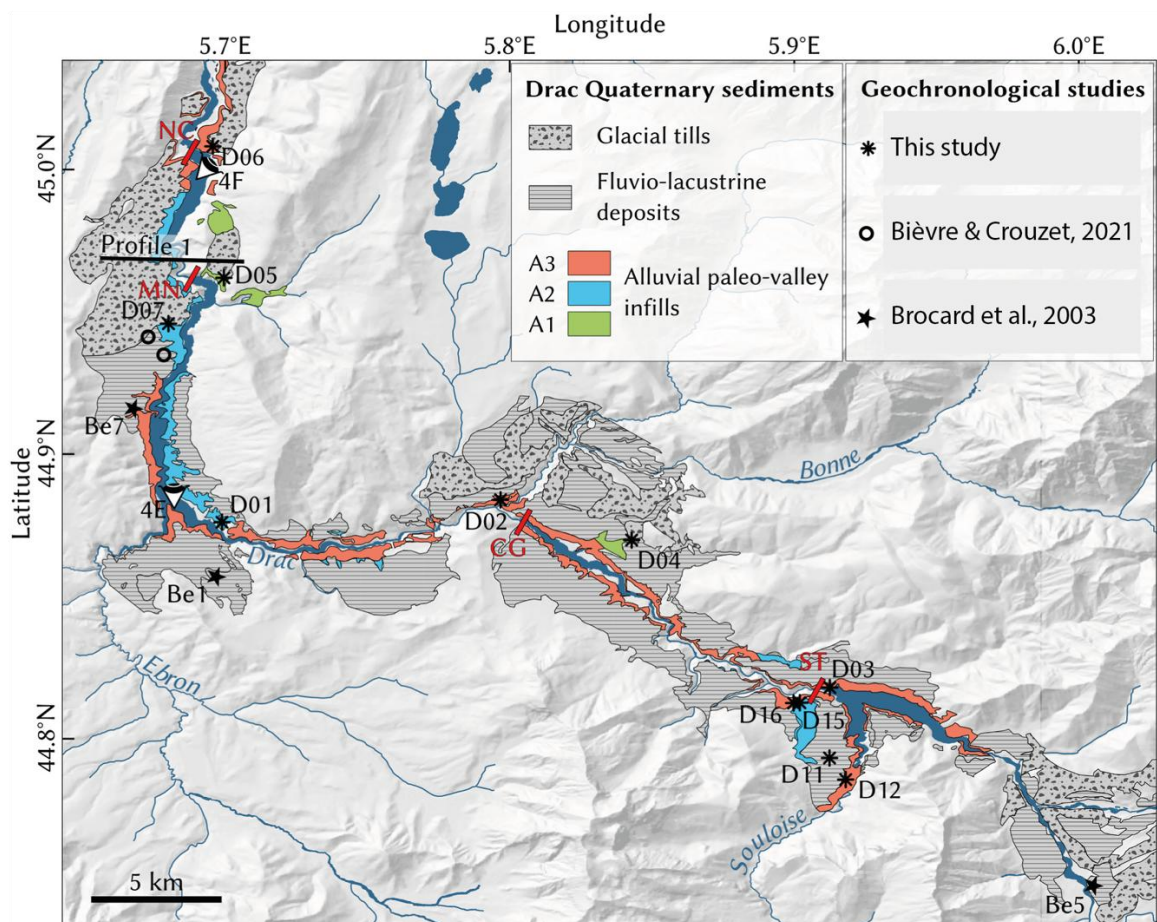


Figure 13 : cartographie des dépôts du Drac et études géochronologiques au niveau de la confluence avec la Bonne (Mai Yung Sen et al., 2024).

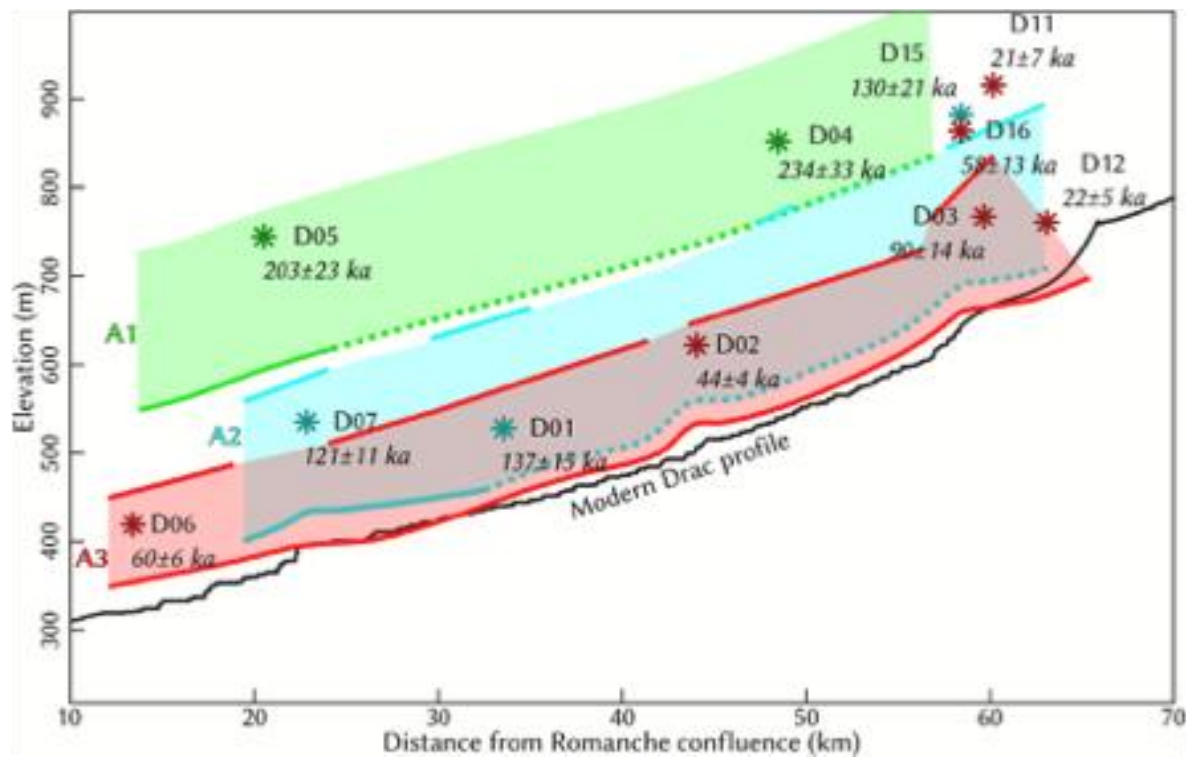


Figure 14 : Profil en long du Drac actuel, et des différentes générations (A1, A2 et A3) de dépôts datés (Mai Yung Sen et al., 2024).

Question III.3 : Proposez des méthodes pour dater ces dépôts.

Les terrasses peuvent être datées par un profil de datations par isotopes cosmogéniques (^{10}Be), par datation de matière organique piégée (charbons/résidus organiques) par ^{14}C , ou par datations d'enfouissement de lentilles de sable par OSL.

Question peu et mal traitée. De nombreux candidats ont proposé l'utilisation de fossiles stratigraphiques, ce qui n'est généralement pas applicable à cette échelle de temps.

Question III.4 : A partir de la figure 14, calculez le taux d'incision de la rivière Drac au cours du temps.

(mesures sur le graphique, mise à l'échelle, $tx_{\text{incision}} = (\text{hauteur par rapport à la rivière})/(\text{âge} \pm \text{erreur})$)

Terrasse A1 : D05 = $1.7 - 2.1 \text{ mm.a}^{-1}$; D04 = $1.2 - 1.6 \text{ mm.a}^{-1}$

Terrasse A2 : D07 = $1.1 - 1.3 \text{ mm.a}^{-1}$; D01 = $0.6 - 0.7 \text{ mm.a}^{-1}$; D15 = $1.7 - 2.3 \text{ mm.a}^{-1}$

Terrasse A3 : D06 = $1.7 - 2.1 \text{ mm.a}^{-1}$; D02 = $2.4 - 2.8 \text{ mm.a}^{-1}$; D03 = $1.0 - 1.4 \text{ mm.a}^{-1}$

Depuis ~environ 200 ka, le taux d'incision du Drac est de l'ordre de $2 \pm 1 \text{ mm.an}^{-1}$

Question peu et mal traitée

Question III.5 : Comparez ces taux d'incision au taux d'incision long-terme (votre réponse à la question II.10). Expliquez la différence constatée.

Le taux d'incision du Drac est plus fort à la fin du quaternaire que sur le long terme. Une explication possible est l'impact du changement d'intensité des cycles glaciaires à partir de ~1.8-2 Ma entraînant une augmentation de l'érosion, entraînant un rebond flexural de plusieurs centaines de mètres, ce qui favorise l'augmentation de l'incision des rivières.

Certaines copies ont proposé une baisse probable du niveau marin, mais au vu de la gamme d'âges, de l'altitude et de la position géographique de la zone d'étude, cette hypothèse est peu plausible.

IV Reconstitution du paléoenvironnement des grottes sous l'Obiou

La palynologie est la science qui permet la reconstitution des paléoenvironnements à partir de l'étude des grains de pollen déposés et fossilisés dans les sédiments. La végétation est en effet conditionnée par les caractéristiques climatiques et altitudinales des écosystèmes. En retour, il est possible de déduire les caractéristiques climatiques et topographiques d'une région via l'étude de la végétation.

Les hypothèses de base sont que la pluie pollinique représente fidèlement la végétation émettrice (la production différentielle des plantes en grain de pollen peut être corrigée par diverses méthodes) ; l'image de la pluie pollinique n'est pas modifiée par les traitements chimiques subis par l'échantillon, ni par la détermination et le dénombrement des grains sur la lame palynologique.



Figure 15 : Argiles et conglomérats de la grotte des Yeux/petit Obiou. (V. May Yung Sen).

Des argiles et sables scellant le conglomérat dans la grotte du Petit Odieux à proximité de la grotte des Jalabres (figure 15) ont été traités par des lavages à l'acide chlorhydrique puis fluorhydrique. Après filtration à 10 μm et concentration, les échantillons ont été observés au microscope pour la détermination des grains de pollen (et des spores de Bryophytes/Ptéridophytes/Champignons, kystes de Dinoflagellés).

Question IV.1 : Donnez l'intérêt d'une attaque du sédiment à l'acide chlorhydrique puis fluorhydrique. Précisez la particularité chimique du pollen qui rend cette attaque intéressante.

Le traitement à l'acide chlorhydrique permet la dissolution des carbonates. Le traitement à l'acide fluorhydrique entraîne la dissolution des argiles et autres minéraux, ce qui permet la concentration des pollens par centrifugation.

La sporollénine, molécule de la paroi des pollens très récalcitrante, ce qui permet la préservation des pollens lors des attaques acides.

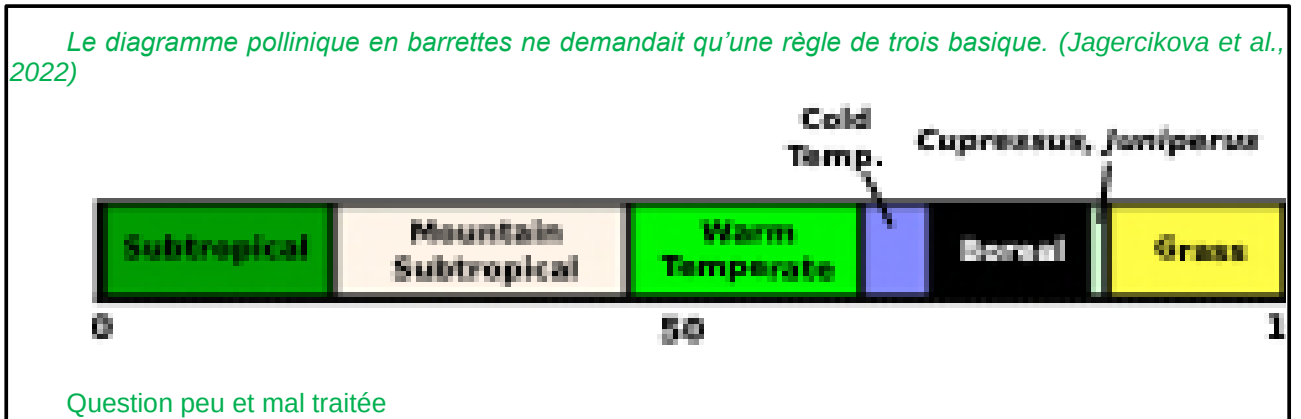
Question la mieux traitée de cette partie.

Le comptage et la détermination taxonomique des pollens observés donnent les résultats suivants (Figure 16).

<u>Taxon et signification écologique</u>	<u>Nombre de pollen</u>	<u>Pourcentage</u>
Végétaux subtropicaux		
<i>Engelhardia</i>	3	3.4
<i>Sequoia</i>	8	9.0
<i>Taxodium</i>	2	2.2
<u>Somme</u>		14.6
Arbres de moyenne altitude en domaine subtropical		
<i>Cathaya</i>	15	16.9
<i>Sciadopitys</i>	2	2.2
<u>Somme</u>		19.1
Arbres tempérés-chauds		
<i>Alnus</i>	2	2.2
<i>Carya</i>	1	1.1
<i>Liquidambar</i>	1	1.1
<i>Quercus</i>	6	6.7
<i>Zelkova</i>	3	3.4
<u>Somme</u>	-	14.6
Arbres tempérés-froids (mésomicrothermes)		
<i>Fagus</i>	3	3.4
<i>Tsuga</i>	1	1.1
<u>Somme</u>		4.5
Arbres boréaux (microthermes)		
<i>Picea</i>	9	10.1
<u>Somme</u>	-	10.1
Arbres sans signification (cosmopolites)		
<i>Pinus</i>	15	16.9
Pinaceae à pollen altéré	7	7.9
<i>Cupressus-Juniperus</i>	1	1.1
<u>Somme</u>	-	25.8
Herbes		
<i>Amaranthaceae (halophite littorale)</i>	1	1.1
<i>Compositae</i>	3	3.4
<i>Cyperaceae</i>	2	2.2
<i>Poaceae</i>	3	3.4
<i>Rumex</i>	1	1.1
<u>Somme</u>		11.2
Total des pollens identifiés	89	100

Figure 16 : Détermination et comptage des pollens des argiles de la grotte du Petit Odieux (Jagercikova et al., 2022).

Question IV.2 : Calculez le pourcentage de chaque groupe et complétez le tableau fourni, et établissez le diagramme pollinique en barrette de la grotte du Petit Odieux.



Question IV.3 : Précisez l'(es) information(s) qui vous est/sont donnée(s) par ce diagramme pollinique.

Le diagramme pollinique montre la présence simultanée de plantes adaptées à des conditions chaudes (subtropicales) et des plantes adaptées à des climats plus froids. La diffusion spatiale des pollens autorise l'hypothèse d'un paysage montagneux dans une région subtropicale.

Peu et mal traité

Question IV.4 : Des kystes de Dinoflagellés pouvant être disséminés par le vent ont également été retrouvés dans les argiles. Ces kystes sont d'origine marine. Comment concilier les informations issues du diagramme pollinique et la présence de taxons liés à des environnements marins au même endroit ? Intégrez cette information avec le diagramme pollinique pour proposer un paysage pour la région de la grotte au moment du dépôt des argiles.

Cette dernière information indique la proximité de la mer, qui se trouve actuellement à environ 250 km, au moment des dépôts.

Question peu et mal traitée

6. Les Épreuves Orales

Les épreuves orales sont au nombre de deux : une épreuve de spécialité (option) et une épreuve de connaissances générales (contre-option).

L'épreuve de spécialité (option) porte sur le secteur choisi par le candidat lors de son inscription au concours (secteur A, B ou C). Elle doit permettre de faire la preuve que le candidat possède des connaissances approfondies dans ce secteur (i.e. du niveau d'un Master 1).

Chaque titre de leçon de spécialité est accompagné d'un nombre limité de documents (classiquement 4 ou 5) qui correspondent à des documents fournis sur clé USB (diagramme, schéma, photo, carte, vidéo...) ou à des échantillons ou des protocoles concrets. Le jeu de documents est conçu de façon à ce que leur analyse/exploitation par le candidat ne dépasse pas 45 minutes et qu'il soit complémentaire des éléments à disposition dans la bibliothèque des ouvrages, documents et matériels. La totalité des documents et matériels imposés doit être intégrée à la leçon (leur ordre de présentation est laissé à l'appréciation du candidat).

L'épreuve de contre-option porte sur les domaines autres que la spécialité du candidat. Ainsi un candidat d'option A ou B aura une leçon de contre-option en Sciences de la Terre et de l'Univers, suivie d'une interrogation en Sciences de la Vie (respectivement en secteur B ou en secteur A), alors qu'un candidat d'option C aura une contre-option en Sciences de la Vie (secteur A ou secteur B) suivie d'une interrogation dans l'autre secteur des Sciences de la Vie (B ou A). Elle doit permettre d'évaluer les connaissances générales du candidat dans les domaines relevant des Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Univers (i.e. de niveau Licence 3). Il n'y a pas de document ni de matériel imposé par le jury : le candidat doit construire son exposé avec les ouvrages, spécimens et matériels proposés dans la bibliothèque du concours.

6.1. Déroulement des épreuves

6.1.1. Conditions de préparation

Après avoir pris connaissance du sujet, accompagné des documents imposés par le jury pour les leçons d'option, le candidat dispose de 4 heures pour préparer sa leçon. Après un premier temps de réflexion de 15 minutes, l'accès à la bibliothèque est autorisé. Le candidat remplit une fiche lui permettant d'obtenir les ouvrages, documents et matériels dont il estime avoir besoin. Le jury rappelle qu'il est impératif que le candidat indique correctement sur la fiche prévue à cet effet les ouvrages et le matériel demandés. Aucun matériel d'expérimentation n'est fourni durant les 30 dernières minutes de la préparation, et aucun document ou support n'est fourni durant les 15 dernières minutes de la préparation. Il est rappelé que tous les documents et matériels demandés aux préparateurs doivent être exploités par le candidat lors de sa présentation (le jury vérifie l'adéquation de la présentation à la fiche de demande de matériel lors de l'interrogation).

Durant son temps de préparation, le candidat doit construire sa leçon, réaliser le diaporama, et le cas échéant les montages expérimentaux, qui lui semblent nécessaires à sa démonstration, et analyser-interpréter l'ensemble des documents qui lui ont été fournis pour la leçon d'option.

Le support numérique à l'agrégation de SV-STU

Les candidats ont à leur disposition un ordinateur équipé avec les logiciels de la suite **Libre Office** et une clé USB leur permettant de sauvegarder leur préparation (même si un enregistrement automatique est programmé sur l'ordinateur mis à disposition, il est judicieux d'enregistrer régulièrement l'état de son travail).

Les documents demandés par le candidat sont fournis par le personnel technique et le candidat les scanne lui-même à l'aide d'un scanner à main présent dans la salle de préparation (mode d'emploi fourni, et facile d'usage).

Les documents imposés par le jury pour la leçon d'option sont fournis **uniquement** sur une clé USB. L'ordre des documents fournis dans le fichier peut être modifié, un même document peut apparaître plusieurs fois au cours de l'exposé, et être retravaillé.

Les documents doivent être insérés dans le discours. Les parties consacrées uniquement aux documents imposés introduites par "voici l'analyse des documents qui m'étaient imposés" sont à proscrire.

Quelques principes de base :

Les divers documents utilisés doivent être intégrés à un diaporama, constitué par le candidat.

L'inclusion des images dans le diaporama permet d'isoler celles-ci et de les exploiter avec les outils bureautiques de base (surlignage, encadrement statique ou dynamique, décomposition d'une image en plusieurs secteurs, délimitation d'une enveloppe, d'une courbe moyenne, mise en valeur de données chiffrées, etc...).

Rappelons quelques conseils de base :

- Une diapositive = une idée. Éviter de projeter en même temps plusieurs documents,
- Une diapositive doit être vue : veiller à ce que l'image projetée soit lisible.

Le plan construit au fil de la leçon ou rappelé aux différentes étapes de la leçon est à privilégier. Le candidat peut l'inclure dans son diaporama ou l'inscrire au tableau. Le tableau doit utiliser le tableau au cours de l'exposé.

Au cours de la préparation, le diaporama confectionné doit être régulièrement enregistré sur la clé fournie, pour éviter tout problème lors de la leçon.

L'utilisation du numérique dans les épreuves orales d'agrégation doit permettre à ces leçons de démontrer la capacité des candidats à utiliser les outils pédagogiques et didactiques du XXI^{ème} siècle. Elle doit permettre aux candidats de faire la preuve de la qualité scientifique et pédagogique de leur leçon.

6.1.2. Présentation et entretiens de la leçon d'option

À l'issue des 4 heures de préparation, le candidat dispose de 50 minutes pour présenter sa leçon d'option devant une commission composée de membres du jury de spécialité.

A la fin de son exposé, le candidat est interrogé en deux temps. Dans un premier temps, un entretien d'une durée de 10 minutes est conduit par le concepteur du sujet et porte sur la thématique de la leçon. Lors de cet entretien, le concepteur du sujet peut revenir sur des aspects traités durant l'exposé, sur la façon qu'a eu le candidat de le présenter au jury, la pédagogie mise en place, sur l'exploitation des documents fournis, sur des documents et du matériel présentés durant la leçon, ou encore interroger le candidat sur des aspects non traités du sujet mais liés à la thématique de la leçon. L'objectif de ce questionnement est de s'assurer que le candidat a bien compris les différents volets du sujet proposé et qu'il maîtrise les notions et les connaissances liées à ce sujet.

Dans un second temps, deux entretiens, chacun d'une durée de 7 minutes 30, sont menés par deux autres membres du jury. Ces entretiens portent sur des thématiques relevant du domaine de spécialité du candidat et visent à évaluer les aptitudes et connaissances du candidat sur ce secteur. Ils peuvent ou non débiter par l'étude d'un document ou d'un échantillon proposé par le jury comme document d'appel pour entamer la discussion.

6.1.3. Présentation et entretiens de la leçon de contre-option

A l'issue des 4 heures de préparation, le candidat expose pendant 40 minutes devant une commission de quatre membres du jury, deux dans chacune des deux contre-options.

A la fin de l'exposé, l'interrogation a lieu en trois temps :

- un premier échange de 7 minutes, conduit par le concepteur du sujet, porte sur le contenu de la leçon.
- une deuxième interrogation de 9 minutes, menée par un autre membre du jury, 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 questionnaire 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 questionnaire 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 mise 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 questionnaire. Au cours de la discussion qui s'engage, le membre du jury qui interroge explore différents domaines de la contre-option.

L'oral de contre-option est donc une épreuve qui nécessite une concentration permanente, une bonne réactivité et de solides connaissances générales.

6.2. Constats et conseils pour les épreuves orales

Les épreuves orales sont des épreuves pour lesquelles le jury se montre exigeant, et attend des candidats une réelle démarche et une rigueur scientifique dans leur démonstration.

Par exemple, lorsque le document présenté est une expérience, il est essentiel de l'analyser, de le décrire, d'indiquer la question posée et la (ou les) hypothèse(s) testée(s), puis d'interpréter le document afin de conclure si l'hypothèse est confirmée ou infirmée par les résultats.

Partir d'un modèle théorique issu d'un ouvrage et essayer de faire coïncider les données expérimentales avec ce dernier est contre-productif et s'apparente non pas à une démonstration mais à une illustration. En revanche, l'analyse d'un document peut permettre d'initier la construction d'un modèle, qui peut alors être complété en indiquant clairement ce que le document montre et ce qui n'a pas été démontré et qui est ensuite présenté pour gagner du temps dans l'exposé.

Les éléments détaillés ci-dessous s'appliquent tout d'abord aux leçons d'option mais sont transposables, pour la plupart aux leçons de contre-option, dont la démarche générale est identique.

6.2.1. La leçon d'option : une épreuve de haut niveau scientifique visant à répondre à une problématique

Cette épreuve porte sur les différentes rubriques du programme relevant du domaine de spécialité du candidat. Les champs disciplinaires concernés sont ceux qui doivent permettre aux candidats de démontrer leur maîtrise de la démarche scientifique et leurs aptitudes pédagogiques à présenter clairement des notions de haut niveau. Beaucoup de candidats cherchent en 50 minutes à tout dire sur un sujet en survolant les points abordés.

Le jury rappelle encore une fois qu'une contextualisation servant d'appui à la construction de la problématique est nécessaire en introduction. Souvent, elle est artificielle et sans lien avec le reste du sujet ou le plan énoncé par le candidat. Le candidat doit dégager une problématique claire dans son introduction qui sert de fil directeur à sa démonstration, et ce, à partir d'une analyse rigoureuse des termes de son sujet sans pour autant se contenter d'un catalogue de définitions. Pour rappel, l'objectif est d'apporter des réponses aux questions posées et non se limiter à une présentation de concepts.

Ainsi, les documents présentés et les connaissances apportées doivent être au service de la réponse à cette problématique. La présentation doit se terminer par une synthèse des éléments présentés et une ouverture visant à replacer le sujet dans un contexte plus général, tout en évitant une ouverture artificielle sur un autre sujet.

6.2.2. Le recul nécessaire pour traiter des thèmes plus ou moins classiques

Le titre de la leçon, que ce soit celle d'option ou de contre-option, renvoie le plus souvent à des thèmes classiques connus de la majorité des candidats mais il peut aussi faire référence à des thèmes *a priori* plus délicats à cerner ou à des synthèses transversales, et pour lesquels les candidats estiment leurs connaissances initiales plus limitées. Paradoxalement, les candidats ont souvent moins de difficultés à traiter des leçons jugées *a priori* ardues que des leçons jugées plus classiques : leurs connaissances plus restreintes les obligent à analyser les documents et à pratiquer une réelle démarche de raisonnement.

La leçon d'option ou de contre-option, est un exercice scientifique avec toutes les exigences de raisonnement et de justification que cela impose. Trop de leçons se limitent à une restitution de connaissances sans raisonnement et ne cherchant pas à répondre à une problématique.

6.2.3. L'exploitation des documents imposés dans la leçon d'option

Pour rappel, une analyse rigoureuse des documents fournis par le jury doit aider le candidat à dégager, au moins partiellement, la problématique de sa leçon. Les documents doivent être analysés dans leur globalité. La compréhension des documents doit être aboutie avant le début de la leçon, ce qui évite une perte de temps et une rupture de la fluidité de l'exposé quand un candidat découvre pendant sa présentation ce qui est présenté dans le document et tente alors une interprétation improvisée.

Le jury regrette que certains candidats fassent de trop longues descriptions orales de documents projetés, et qui conduisent bien souvent le candidat à perdre son fil directeur (et donc du temps) au détriment des résultats importants. Les conclusions vagues, sans précision, sont à éviter ("le facteur a un effet", "joue beaucoup", "a un impact", "une influence"...), au profit de termes tels que "activer/stimuler/provoquer/induire" ou "inhiber/ralentir/diminuer", plus précis. Des quantifications sont attendues ("la croissance double", "la prolifération est divisée par 10"...), plutôt que des jugements de valeur vagues ("beaucoup", "drastiquement", "un peu"...). Le jury rappelle qu'une quantification ne correspond pas à une simple paraphrase des valeurs brutes.

L'analyse des documents ne doit pas être séparée du contenu de la leçon, certains candidats ont analysé tous les documents dans un deuxième temps après avoir exposé les notions relatives au sujet.

Les documents fournis servent de support à l'argumentation de concepts en lien avec le sujet de la leçon. Le jury a valorisé les candidats qui s'appuient sur une analyse rigoureuse du document pour dégager une notion en lien avec le sujet, et ensuite, éventuellement, généraliser les concepts présentés.

Certains candidats n'hésitent pas à découper les documents fournis pour les incorporer progressivement à leur leçon ; cela est valorisé lorsque la démarche était pertinente.

A de nombreuses reprises, des candidats présentent des corrélations et en déduisent des relations de causalité ou ne prennent pas en compte les analyses statistiques associées, ce qui reste surprenant.

6.2.4. Le choix et l'exploitation du matériel au service de la leçon (option et contre-option)

Pour la leçon d'option, comme déjà souligné, les documents proposés par le jury ne couvrent pas tous les aspects du sujet. Ils sont destinés à orienter le candidat dans la construction de sa leçon. Le concepteur du sujet peut également choisir de ne pas aborder, par les documents qu'il propose, certains aspects importants du sujet afin de laisser au candidat l'initiative de certains documents et matériels. Même si tous les documents imposés doivent être intégrés à la leçon et analysés, l'exposé ne peut donc pas être construit exclusivement autour des thèmes que les documents permettent d'aborder. Il revient donc au candidat de compléter l'illustration de sa leçon par des expérimentations, matériel concret ou documents (y compris de courtes séquences vidéo) complémentaires.

L'exploitation du matériel complémentaire doit faire l'objet de la même rigueur que celle du matériel imposé, et elle est très clairement prise en compte dans l'évaluation de la leçon.

En contre-option, le candidat doit faire lui-même le choix du matériel illustrant sa leçon.

Cette année encore, le jury a valorisé les candidats qui privilégient les observations concrètes à des schémas théoriques qui ne s'appuient pas sur des données expérimentales ou des observations. En revanche, sortir un échantillon juste pour le nommer n'a guère d'intérêt.

Le jury rappelle à cette occasion que l'observation et l'analyse du réel sont fondamentales en Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Univers. Toutefois, le matériel sorti doit être utilisé de façon pertinente et doit apporter une plus-value pour la leçon. Le jury rappelle, une fois encore, que la présentation de matériel concret nécessite la réalisation de schéma(s) interprétatif(s).

6.2.5. Une démarche scientifique incontournable

Au cours de la leçon, la démarche scientifique doit s'appuyer sur une analyse rigoureuse des objets proposés par le jury ou apportés par le candidat. Cette démarche doit commencer par une mise en contexte, par exemple la question scientifique et l'hypothèse testée de l'expérience, puis une description des objets, spécimens ou faits expérimentaux, en lien avec la question posée. Une interprétation raisonnée permet alors soit de conclure un paragraphe et donc de répondre à une question, soit donner lieu à une nouvelle question, et sert alors de transition avec la suite de l'exposé.

Trop de candidats font encore preuve de démarche inversée, en donnant la conclusion avant l'analyse. Une démarche démonstrative est attendue, en particulier lors de l'analyse des documents imposés.

Le jury invite à nouveau les candidats à réfléchir au statut des modèles et de la modélisation dans leur raisonnement. Un modèle est une construction intellectuelle qui essaie de rendre compte d'une réalité complexe. Il convient donc de s'interroger sur sa place dans la démonstration, sur sa valeur prédictive ou explicative et sur son dimensionnement. Il est important de ne pas confondre les faits avec les modèles. Ces derniers peuvent apparaître sous forme d'un bilan de la leçon ou bien ils peuvent servir à poser des questions critiques lors de la démonstration.

Enfin, le jury rappelle que le finalisme ne constitue en aucun cas une argumentation satisfaisante. Il est important que les candidats bannissent de leur champ lexical les formulations du type "L'objectif du processus est de ..." "Pour que ...".

6.2.6. Un véritable travail de synthèse et de choix

Le jury est tout à fait conscient que 40 ou 50 minutes est un temps d'exposé limité. Le candidat sera généralement amené à faire un important travail de synthèse : il devra alors clairement justifier, dans son introduction, les différents aspects du sujet qu'il souhaite traiter et, inversement, les différents aspects du sujet qu'il souhaite délaisser. C'est la rigueur de la démarche qui justifiera la validité de ses choix, et il est impératif que le candidat présente au jury les raisons de ce choix. Si le jury entre en salle avec une idée claire de ce qui doit figurer dans la leçon, il n'arrive pas avec un plan préconçu et est prêt à entendre les propositions que pourra lui faire le candidat et à les accepter pour peu que ces choix assumés soient justifiés au cours de la présentation ou lors de l'entretien.

En fin d'exposé, la conclusion doit mettre en valeur les idées-clés dégagées au cours de la démonstration et déboucher sur une ouverture liée avec la thématique abordée durant la leçon. Elle peut s'appuyer sur un schéma bilan récapitulatif à la condition que celui-ci se justifie et soit réellement construit à partir des éléments de la leçon. Ce schéma bilan n'est en aucun cas une obligation.

6.2.7. Une communication d'une qualité suffisante

L'épreuve de leçon est aussi l'occasion d'évaluer par les membres du jury les qualités de communication des candidats et la pédagogie mise en place. Le jury note de nets progrès dans la présentation avec une bonne aptitude pour beaucoup de candidats à s'exprimer. Cependant, certains candidats restent encore trop proches de leurs notes durant leur exposé. Le vocabulaire scientifique doit être employé et explicité de manière appropriée. Le jury insiste sur le fait qu'il s'agit d'une leçon dont le niveau scientifique attendu est celui d'une personne diplômée de l'université à un niveau master, ce qui implique une maîtrise et un usage adéquat du vocabulaire et des concepts scientifiques. De même, il convient d'éviter une posture dogmatique en tant que futur enseignant.

Par ailleurs, le jury apprécie que le candidat utilise le matériel et support mis à sa disposition (vidéoprojecteur, tableau, feuilles de papier) afin de réaliser une présentation projetée et des schémas et/ou dessins de qualité. Ces derniers, lorsqu'ils sont approximatifs, illisibles ou ne reflétant pas les observations microscopiques desservent les candidats.

Enfin, il est préférable que les préparations de type dissection, coupes, colorations, ... soient réalisées pendant le temps de préparation de l'épreuve, afin que leur résultat et leur analyse puissent

être ensuite présentées au jury lors de la leçon. Le temps de la leçon étant contraint, il ne permet en général pas que ces manipulations soient réalisées durant celle-ci.

6.2.8. Une indispensable réactivité

Le premier entretien, consécutif à la leçon, a pour but de faire réfléchir le candidat à l'exposé qu'il vient de produire, et à l'aider à revenir sur d'éventuelles omissions, imprécisions ou erreurs. Il sert également à évaluer l'aptitude du candidat à raisonner et à exploiter ses connaissances en temps réel.

L'interrogation est ensuite ouverte à d'autres domaines du champ des SV-STU – elle peut revêtir des formes très variables qui visent à évaluer les connaissances du candidat et ses aptitudes à construire un raisonnement logique à la suite d'une question posée. Le jury insiste sur le fait qu'il est important que le candidat construise sa réponse, et qu'une juxtaposition de mots-clefs ne peut suffire. L'écoute et la réactivité sont des qualités indispensables pour une bonne réussite de cette partie de l'épreuve qui peut permettre au candidat de montrer que, malgré une leçon plus ou moins réussie, il maîtrise de larges connaissances.

Si le candidat ne connaît pas la réponse à la question posée, il est vivement conseillé qu'il n'essaie pas de gagner du temps en fournissant une réponse hors sujet ou en demandant à l'évaluateur de reformuler sa question. Cette attitude lui sera très préjudiciable. Il est préférable qu'il énonce clairement ne pas connaître la réponse.

Le jury observe souvent une baisse de réactivité très nette au cours des entretiens. Il est donc impératif de rester attentif jusqu'à la fin des entretiens. Il est ainsi important de profiter du temps proposé par le jury pour se désaltérer afin de se réhydrater mais aussi de bien se remobiliser avant de démarrer l'entretien.

6.2.9. Les critères d'évaluation des leçons

L'évaluation des leçons est faite autour d'items reprenant ces points fondamentaux :

- qualité de l'introduction, du plan et de la conclusion
- démarche scientifique, qualités pédagogiques/didactiques de la leçon
- maîtrise des concepts, notions et connaissances liées au sujet
- exploitation du matériel imposé (pour les leçons d'option)
- choix et exploitation du matériel complémentaire
- maîtrise des concepts et des connaissances, capacités de réflexion en temps réel aux différents entretiens
- communication, réactivité.

6.3. Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur A

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons par des commentaires spécifiques aux leçons de secteur A.

6.3.1. Maîtriser les connaissances

La réussite de cette épreuve nécessite de maîtriser des connaissances dans le secteur A : connaissances de niveau licence pour les leçons de contre-option et de niveau master 1 pour les leçons d'option. Le candidat doit également les mettre en perspective avec ses « fondamentaux » de biologie, qui sont souvent les bases d'une leçon bien construite.

Le niveau des candidats est hétérogène, que ce soit en option ou en contre-option. S'il n'est pas attendu d'un candidat qu'il connaisse parfaitement tous les intermédiaires d'une voie métabolique, ou la liste exhaustive des inducteurs embryonnaires, on rappelle que le niveau requis pour **cette leçon est au minimum d'un niveau de licence SV**. Il n'est pas possible d'acquérir des connaissances et de les mobiliser sans un travail de fond, d'appropriation, d'organisation, de recherche de sens et de curiosité scientifique.

Le jury s'étonne d'avoir encore rencontré des erreurs récurrentes sur des connaissances simples. Par exemple, de trop nombreux candidats sont incapables de raisonner en termes d'oxydoréduction sur une voie métabolique classique, d'identifier les organites et structures supramoléculaires sur une électrographie, de décrire correctement une division cellulaire, la réplication de l'ADN ou les principes de la régulation de l'expression des gènes, la diversité du monde viral, l'organisation des matrices extracellulaires, les principes fondamentaux de l'excitabilité cellulaire, etc... ou de démontrer les relations entre structure, propriétés et fonctions des molécules biologiques fondamentales. Le jury a également constaté que beaucoup de candidats ont des lacunes dans le domaine de la biologie cellulaire végétale.

Le jury a souvent observé une difficulté des candidats à hiérarchiser les connaissances. Certains candidats placent ainsi au même niveau des mécanismes fondamentaux et des détails de mécanismes biologiques : par exemple, connaître la séquence RGD de la fibronectine tout en étant incapable de décrire simplement la structure d'une lame basale.

6.3.2. Intégrer de nouvelles connaissances pendant la préparation de la leçon

Avec la leçon d'option le jury n'évalue pas seulement les connaissances du candidat. Les documents et la bibliographie apportent des informations qui ne sont pas forcément connues initialement du candidat ; celui-ci doit alors démontrer qu'il est capable d'intégrer rapidement ces nouvelles connaissances à son bagage scientifique. Les qualités d'analyse et de raisonnement à partir de ces données sont donc également évaluées.

De façon générale, **il est préférable pour un enseignant scientifique de comprendre et manipuler les notions de base et d'être capable de les compléter** par des détails recherchés dans des ouvrages ou sites Internet.

Que ce soit pour la leçon d'option ou de contre-option, la maîtrise de la bibliothèque mise à la disposition des candidats, dont le contenu est en adéquation avec les attendus du jury, permet de mieux appréhender l'ensemble des sujets posés. Ainsi, le jury a constaté que les candidats qui consultent un grand nombre d'ouvrages généralistes pour un sujet très pointu ont généralement du mal à faire ressortir les éléments essentiels de la leçon. *A contrario*, certains ouvrages plus spécifiques, qui auraient pu aider les candidats à traiter certains sujets, n'ont pas été consultés.

6.3.3. Organiser l'exposé

Dans l'introduction, il est conseillé d'exposer avec rigueur les définitions des différents mots du sujet pour ensuite les associer, ce qui amène à proposer une démarche construite. La plupart des problématiques proposées étaient satisfaisantes.

Les plans catalogues qui ne font pas suffisamment ressortir les concepts sont à proscrire. La recherche d'un plan original peut toutefois être contre-productive quand elle aboutit à l'oubli d'un pan majeur du sujet. De la même façon, dans la leçon d'option, lorsque le plan se limite à la succession des documents proposés, il est souvent incomplet. Les documents proposés par le jury doivent être intégrés dans une réflexion d'ensemble et il ne faut pas oublier qu'ils ne recouvrent en général qu'une partie du sujet. Mieux vaut faire la démonstration de sa maîtrise des concepts de base de la biologie dans un plan classique, en particulier quand le sujet n'est pas parfaitement maîtrisé par le candidat.

Au cours de l'exposé, la compréhension du plan par le jury est trop souvent perturbée par des titres de paragraphes annoncés et écrits *a posteriori*, plus souvent du fait d'un oubli du candidat que de sa volonté de ménager le suspense... **Rappelons qu'il n'est pas nécessaire d'écrire le plan au tableau** (ce qui représente une perte de temps pour le candidat et de place au tableau pour illustrer la leçon), **il peut être déroulé au fur et à mesure de la leçon en étant intégré au diaporama**. Si le candidat souhaite mettre en évidence une notion avant de la formaliser, ce qui est tout à fait pertinent, il doit choisir un titre qui le permet et pourquoi pas le compléter par la conclusion dans le plan ou sur un schéma bilan. Le jury a été surpris par l'inadéquation qui existe parfois entre le titre d'un paragraphe et son contenu.

Il n'y a aucun formalisme imposé pour les leçons. Ainsi, un schéma bilan n'est pas exigé, surtout si celui-ci n'apporte rien. Cependant, certains schémas, souvent construits progressivement, peuvent être intéressants s'ils synthétisent les notions développées au cours de l'exposé.

Certaines conclusions, qui ne se bornaient pas à une répétition des grandes lignes du plan, mais qui dégageaient une idée transversale et mettaient en perspective les notions développées, ont été particulièrement appréciées.

6.3.4. Travailler à toutes les échelles et construire le sens biologique

Dans le programme officiel de l'agrégation, le secteur A est désigné par le titre : « Biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire ; leur intégration au niveau des organismes ». Les candidats oublient trop souvent cette seconde partie de l'intitulé et se concentrent sur des mécanismes moléculaires précis sans les resituer au niveau physiologique. Par exemple, il est difficile de décrire les mécanismes immunitaires ou neurobiologiques sans les localiser dans les différents organes lymphoïdes ou les différents organes nerveux. On attend des candidats un certain recul sur les notions développées, qui doit leur permettre de les intégrer à différentes échelles et de leur donner du sens biologique.

6.3.5. S'appuyer sur le réel pour illustrer sa leçon

Même si le secteur A n'est pas celui où il est le plus facile de présenter des échantillons biologiques « réels », l'apport de ces éléments augmente fortement la plus-value de la leçon, lorsqu'ils sont bien évidemment utilisés à bon escient et dans une démarche explicative. Ce matériel peut être imposé dans les documents fournis par le jury ou proposés par le candidat pour illustrer les points-clés de son exposé. La liste des ouvrages, matériels, lames histologiques, matériel expérimental est disponible pendant la phase de préparation de la leçon et le candidat est accompagné durant cette phase par l'équipe technique qui lui fournit le matériel complémentaire qu'il souhaite. L'ensemble des documents et matériels, imposés et demandés, doit être intégré à la leçon (le jury vérifie l'adéquation de la liste des demandes du candidats avec le contenu de l'exposé).

Il semble encore nécessaire de rappeler qu'un échantillon ou un document ne doit pas être fourni au jury de façon brute : il doit être accompagné de tous les éléments permettant de rendre sa compréhension aisée (et que pour qu'une dissection soit exploitable, cela implique qu'elle soit recouverte d'eau).

Les préparations histologiques doivent toujours être exploitées/léguées (par tout moyen au choix du candidat : dessin, annotation d'une capture d'image...) afin de démontrer au jury la capacité du candidat à identifier (et retrouver) les structures présentes et à intégrer leur présentation à la problématique. C'est aussi l'occasion de rappeler que l'usage du microscope optique et de la loupe binoculaire doit être parfaitement maîtrisé par les candidats. Plus largement, les différentes échelles d'observation et le principe des différents microscopes doivent être connus. Les électrographies sont des supports trop peu exploités par les candidats.

Quand une manipulation est demandée, elle doit être réalisée au moins en partie devant les membres du jury, sauf si sa réalisation demande beaucoup de temps. C'est le cas de certaines manipulations de type ExAO. On note d'ailleurs que trop peu de candidats proposent spontanément ce type de mesures.

Enfin, on rappelle que toute situation expérimentale nécessite d'y inclure des témoins : ils doivent être présentés, ou au moins explicités, lors de la présentation des observations ou des résultats des expériences.

Des manipulations simples de biochimie ou de biologie cellulaire peuvent être appréciées, et ont tout leur intérêt si elles sont réalisées et analysées avec rigueur et que les interprétations sont en adéquation avec les résultats observés et le sujet de la leçon. En cas de résultat imprévu (qui aurait parfois pu être évité par un essai préalable pendant le temps de préparation), il ne faut pas s'arrêter au constat d'échec mais proposer des explications. Le jury y reviendra forcément lors de l'entretien, si cela n'a pas été fait spontanément par le candidat. L'utilisation de programmes de manipulation de modèles moléculaires doit être maîtrisée par les candidats ; elle est parfois imposée par les documents proposés par le jury, qui attend une véritable exploitation des modèles (et non leur simple présentation, qui n'a alors qu'un rôle illustratif).

Au-delà de l'exploitation de matériel réel pour illustrer les leçons, la mise en place d'une démarche démonstrative tout au long de l'exposé est absolument requise. Chaque partie doit être introduite par un questionnement, auquel le candidat doit proposer de répondre par l'observation, avant de dégager des notions générales qui peuvent alors être complétées de données plus théoriques. Cette démarche

s'applique particulièrement aux documents fournis par le jury dans le cas de la leçon d'option, mais doit être généralisée à l'ensemble des leçons (y compris contre-option).

S'appuyer sur une approche historique pour exposer l'évolution des connaissances dans un domaine donné peut être pertinent, il ne faut cependant pas en abuser ni y consacrer l'ensemble de la leçon.

6.3.6. Adopter une démarche scientifique dans l'exploitation des documents

On rappelle que les documents imposés par le jury pour la leçon d'option sont des supports d'une partie de la démarche que le candidat doit construire. Ainsi, certains aspects du sujet, souvent classiques, peuvent ne pas être abordés dans les documents proposés par le jury mais sont néanmoins attendus.

Que ce soit des documents imposés ou des documents choisis par le candidat, y compris dans les leçons de contre-option, il est judicieux d'introduire le document par un questionnement, et de justifier en quoi le protocole réalisé peut permettre d'y répondre. S'il est inutile de passer du temps à paraphraser le protocole décrit, un schéma expérimental peut parfois être très didactique. On attend que les documents soient analysés et interprétés avec précision. L'analyse proposée par le candidat doit être quantifiée lorsque c'est possible (travail sur des histogrammes, des graphiques, etc.). Indiquer que « tel paramètre mesuré augmente dans telle situation » est beaucoup moins informatif que de préciser que « tel paramètre mesuré est multiplié par 50 dans telle condition par rapport à telle autre ». Le jury a apprécié que certains candidats légendaient intelligemment les documents, c'est-à-dire leur donnent du sens. L'analyse doit se poursuivre par une conclusion clairement explicitée. Là encore, une phrase du type « le paramètre joue un rôle dans... » est imprécise : ce rôle peut être positif ou négatif. Un effort d'interprétation, c'est-à-dire une mise en perspective vis-à-vis de la démarche globale de la leçon, doit être fait. Lorsque cela s'y prête, la formulation d'hypothèses pour expliquer les observations est appréciée, de même que la critique de la démarche expérimentale ou des résultats obtenus.

Pour la leçon d'option, s'il n'y a pas de lien entre les différents documents proposés par le jury, il y a en revanche un lien entre les différentes parties d'un même document : il est donc dans ce cas recommandé de les étudier successivement et d'établir les liens entre les différentes données présentées. Dans certains cas, il peut toutefois être pertinent de faire appel et d'exploiter les différentes parties d'un même document à différentes étapes de la démarche globale de la leçon, pour illustrer différentes notions associées à un même phénomène biologique.

Idéalement, les documents doivent venir apporter des éléments de réponse à un questionnement explicité par le candidat et découlant des parties précédentes de l'exposé. Les documents sont trop souvent présentés dans le plan comme un exemple illustrant une situation particulière, alors que ce n'est pas spécifiquement cet exemple ou ces conditions qui importent mais le mécanisme cellulaire ou moléculaire mis en évidence.

6.3.7. Adopter une démarche didactique

La démarche didactique n'est souvent pas assez mise en avant par les candidats. Le candidat ne doit pas oublier que le jury teste ses capacités à faire passer un message clair et compréhensible. Les candidats passent souvent très rapidement sur des mécanismes thermodynamiques, moléculaires ou cellulaires complexes, faisant douter le jury de leur capacité à transmettre ce type de notion à leurs futurs élèves.

6.3.8. Maîtriser l'oral

Les candidats ont globalement des qualités de communication satisfaisantes (positionnement de la voix, occupation de l'espace, etc.) et la gestion du temps d'exposé est correcte. Le tableau, souvent délaissé ces dernières années, est de nouveau utilisé abondamment par les candidats pour compléter des schémas en direct, ce qui est positif. Le fait de recopier au tableau certaines voies métaboliques ou équations bilans à l'aide de ses notes, sans exploitation particulière, n'est toutefois pas judicieux et peut faire perdre un temps précieux pour le traitement de la leçon.

La plupart des candidats ont pris le temps de construire un diaporama, intégrant au fur et à mesure les documents, plus ou moins retravaillés (il ne faut pas hésiter à légender, ou mettre en exergue certaines parties de documents, au service de la démarche démonstrative de l'exposé). Les candidats doivent toutefois veiller à **passer l'affichage en mode « présentation »** au début de la leçon pour un résultat optimal.

Le jury attire l'attention sur des formulations inappropriées qui faussent la compréhension par l'auditoire et peuvent dénoter un problème de logique du candidat, par exemple l'usage du futur qui suggère faussement des successions d'événements. Le jury note que le finalisme, qui avait quasiment disparu des exposés, a malheureusement fait son retour lors des dernières sessions.

Enfin, rappelons que la conclusion en forme de schéma-bilan n'est pas obligatoire, tout comme les cartes mentales : ces éléments ne sont pertinents dans la conclusion que s'ils apportent à la démarche démonstrative inhérente à l'exposé.

6.3.9. Rester mobilisé pour les entretiens

Le jury est conscient que la durée totale de l'épreuve, leçon et entretien compris, est conséquente, mais il tient à souligner l'importance de rester mobilisé pour les entretiens. En effet, quelle que soit la qualité de la leçon présentée, les entretiens jouent un rôle essentiel dans l'évaluation du niveau scientifique et de la capacité de réflexion des candidats, et ont un poids assez important dans la note finale. Ainsi, il peut arriver qu'un candidat ait à traiter une leçon sur laquelle il n'est pas à l'aise, mais puisse tout de même montrer de très bonnes compétences scientifiques lors des entretiens.

Les entretiens permettent d'explorer les connaissances dans des domaines différents de celui de la leçon et sont l'opportunité pour les candidats de montrer leur expertise particulière sur tel ou tel aspect du secteur, indépendamment du sujet traité au cours de la leçon. Lors des entretiens, le jury constate que de trop nombreux candidats ne maîtrisent pas les notions associées aux mots qu'ils utilisent, en particulier des notions de base, et ne sont pas capables d'en proposer des définitions pertinentes. En revanche, il apprécie les candidats qui assument avec honnêteté de ne pas connaître une réponse et qui construisent alors un raisonnement en interagissant avec le jury pour élaborer cette réponse. Il ne faut donc pas se laisser déstabiliser par une discussion qui se ferait à partir d'un support volontairement inconnu : ce qui est alors évalué n'est pas la connaissance de ce support par le candidat mais sa capacité à réfléchir en mobilisant les connaissances appropriées. Les entretiens peuvent également être l'occasion d'estimer la culture scientifique des candidats. **Une bonne réactivité sur des sujets d'histoire des sciences, de santé publique ou d'actualité en lien avec le programme est appréciée.**

6.4. Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur B

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons d'option par des commentaires spécifiques propres aux leçons de secteur B.

6.4.1. Des connaissances naturalistes à privilégier sans négliger les connaissances de base

Une formation naturaliste est attendue des candidats pour le secteur B à l'Agrégation externe de SV- STU en tant que futurs enseignants.

Pour les leçons d'option, les dossiers proposés par le jury comprennent souvent du matériel concret comme des échantillons biologiques, des dissections à réaliser, des préparations histologiques ou des coupes à faire, des cartes de végétation ou même de courtes séquences vidéo. L'entretien avec le jury après l'exposé est aussi très souvent amorcé à partir d'un échantillon, d'une photographie ou d'un document.

Que ce soit en leçon de contre-option, et encore plus en leçon d'option, le jury attend un minimum de connaissances sur les organismes classiques de la faune et de la flore française. Plusieurs candidats présentent encore des lacunes importantes dans la diagnose des échantillons, la description de l'anatomie des organismes, de leur écologie et de leur positionnement dans les classifications phylogénétiques sur des échantillons classiques, y compris de la vie courante.

Les connaissances scientifiques sont à maîtriser au-delà d'une simple définition apprise par cœur. A l'inverse il peut être surprenant de voir certains candidats incapables de définir des termes courant de biologie. Par exemple, le jury s'étonne cette année que le concept de "carpelle" ait posé des difficultés à de nombreux candidats. Un carpelle peut être défini comme une feuille modifiée, portant les ovules, et constitutive du pistil. Le nombre de graines n'est directement lié au nombre de carpelles, de même que le "nombre de pistils".

Toutefois, certains candidats montrent des compétences naturalistes très appréciables ainsi que du recul sur les fondements théoriques des différents domaines. Le jury de secteur B encourage une fois de plus les futurs candidats à travailler leur culture naturaliste en zoologie, botanique, microbiologie, écologie et évolution tout en maîtrisant des connaissances de base en biologie et physiologie. Il veillera à continuer cette évaluation lors de la prochaine session.

6.4.2. Exploitation du matériel et intégration dans l'exposé

L'exploitation du matériel et des documents

Pour la leçon d'option, le dossier proposé par le jury comporte, souvent des supports concrets et des manipulations. Pour rappel, tous ces supports doivent être exploités. Les documents ne couvrent généralement pas la totalité du sujet et servent seulement, la plupart du temps, à illustrer des notions précises à intégrer dans la démarche ou encore à traiter un point plus complexe, peu illustré dans la bibliographie disponible. Le jury attend une exploitation rigoureuse et approfondie des éléments du dossier. Trop souvent, les documents sont décrits après les concepts, alors que leur analyse doit au contraire permettre de dégager un concept qui peut plus ou moins être généralisé selon les cas. De même, un manque de rigueur persiste dans l'observation, l'expérimentation et l'argumentation. Une démarche scientifique doit s'appuyer sur des faits qui permettent d'envisager des hypothèses dont les plus raisonnables sont testées et validées ou invalidées afin de dégager les notions qui peuvent parfois être généralisées.

Quel que soit le matériel présenté (complémentaire ou non), le jury y est attentif, que ce soit en termes de pertinence ou d'analyse. Cette année encore, ces supports sont simplement intégrés au déroulé de l'exposé sans qu'une réelle démarche scientifique soit adoptée. Le matériel demandé par le candidat doit être utilisé avec le même soin que les supports imposés. Sortir un échantillon ou une photographie juste pour mentionner son nom est peu productif, au contraire d'un échantillon exploité en lien avec le sujet.

D'une manière générale, les matériels doivent être exploités de manière rigoureuse et exploitable. Les échantillons, imposés ou choisis, doivent être utilisés pour illustrer certaines notions dans la leçon. Le jury attend, sauf indication contraire, que les candidats exploitent ces matériels en réalisant des préparations de qualité (dissections, coupes histologiques, colorations...) au service de la leçon et donc des questions scientifiques que le candidat pose en introduction ou au cours de sa démarche.

Les montages doivent être impérativement complétés de dessins légendés (ou de prises de photos projetées) et/ou de fléchages des structures d'intérêt pour le sujet (par exemple pour les dissections) afin de les rendre exploitables. Dans une approche expérimentale, il est nécessaire d'inclure des montages qui servent de témoins et qui permettent de conclure (par exemple des colorations mettant en évidence des réserves...).

6.4.3. L'exposé

Construction et organisation :

Si la plupart des candidats enracinent leur exposé sur une problématique scientifique clairement énoncée dans l'introduction, la suite de la leçon est trop souvent une juxtaposition de notions reliées par des transitions artificielles et sans lien avec la ou les questions initialement annoncées. Une mise en contexte n'a de sens que si elle permet logiquement de s'interroger sur les termes du sujet et déboucher sur une problématique cohérente. Le jury rappelle qu'une introduction réduite à une définition des termes et à l'annonce d'un plan ne répond pas aux attentes de l'épreuve : elle doit déboucher sur une question scientifique apportée avec une certaine cohérence dans les propos. Le jury a apprécié les efforts des candidats qui ont pris le temps de reprendre leur problématique afin d'y répondre dans la conclusion. Le jury insiste sur le fait que le travail de construction d'une leçon est une étape cruciale afin que celle-ci exploite au mieux les différents outils (ceux du dossier imposé, le matériel complémentaire, les ressources collectées dans les ouvrages et les connaissances scientifiques du candidat) dans une progression logique et articulée. Aussi, une approche naturaliste ne se limite pas à la description d'un objet ou l'évocation d'un exemple. Les leçons du secteur B reposent bien évidemment sur une démarche argumentée et une démonstration des concepts, à partir de faits, d'observations et d'expériences.

Les candidats ont accès à un certain nombre d'ouvrages figurant dans la bibliothèque de l'agrégation. Pour de nombreuses leçons, il ne faut pas se contenter des ouvrages généralistes, d'autant plus que certains sujets abordent des écosystèmes précis. Pour rappel, les coordonnées des livres demandés (auteurs et titre et non seulement le code) doivent être clairement indiquées sur une feuille qui est consultée par le jury pendant la leçon. Il faut mieux prendre un nombre limité d'ouvrages pertinents qu'une liste de plus de dix ouvrages que le candidat n'aura guère le temps de consulter ou d'assimiler pour illustrer sa leçon. Le jury invite donc les futurs candidats à mieux s'appropriier les ouvrages de la liste durant leur préparation.

Dimension pédagogique et didactique de l'exposé :

Au-delà des qualités scientifiques des candidats, le jury prête une attention marquée à leurs capacités à communiquer, à montrer, à expliquer, à la rigueur du vocabulaire utilisé, à l'utilisation du vidéoprojecteur et du tableau.

Les documents projetés doivent permettre aux candidats de faire ressortir par des couleurs, des cadres, ou des légendes complémentaires les éléments importants pour la démonstration. Toute démarche qui a facilité la lecture des documents ou le suivi de la démarche du candidat lors de l'exploitation du matériel, fourni ou demandé, a été valorisée. La communication est une qualité importante attendue d'un enseignant, et ce qui facilite la démarche de compréhension par un élève ou un étudiant est donc une qualité recherchée parmi les candidats. Le jury reste aussi attentif à la tenue du tableau et aux schémas réalisés. Il n'y a pas d'obligation de plan au tableau ni de schéma-bilan. En revanche, des schémas explicatifs de notions extraites des documents, des bilans intermédiaires de parties peuvent se révéler très pertinents. On observe encore des exposés où les schémas bilan sont squelettiques, non finalisés, voire en partie hors-sujet. Certains candidats le dessinent à la place de la conclusion alors qu'il devrait être construit au fur à mesure de l'exposé. Malgré ces réserves, le jury tient à souligner que la majorité des candidats montre des qualités de communication tout en sachant gérer le temps imparti pour les exposés d'option.

6.4.4. Les entretiens

Au cours du premier entretien, le jury revient sur certains points abordés pendant l'exposé pour lever certaines ambiguïtés, permettre au candidat de corriger des erreurs ou obtenir des explications ou des compléments sur des points choisis. Il est important que le candidat reste mobilisé pendant l'entretien et, ce, même s'il perçoit, avec les questions qui lui sont posées, certaines faiblesses de sa leçon. La capacité des candidats à revenir sur d'éventuelles erreurs faites ou à compléter des points restés flous lors de la leçon est une qualité appréciée.

Les autres entretiens permettent d'évaluer les connaissances du candidat dans d'autres domaines du secteur B et de tester ses capacités de raisonnement. Cette interrogation menée successivement par d'autres membres du jury est généralement initiée à partir d'un échantillon (coquilles de mollusque, crânes et squelettes, spécimens empaillés, échantillon végétal...) ou un document (photographie d'une coupe histologique, graphe montrant les résultats d'une expérience, tableaux de données...). Ces approches permettent de valoriser les qualités d'observations, d'analyse des candidats et l'exploitation de savoirs opérationnels au service de l'étude d'un échantillon ou d'un phénomène biologique. L'argumentation est un aspect fondamental des Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Univers, et le jury tient à rappeler qu'il attend alors un raisonnement argumenté à partir de l'échantillon ou du document fourni et non un placage de connaissances. L'entretien se poursuit ensuite par un questionnaire suivant un fil directeur orienté par les réponses du candidat. Les réponses attendues doivent être ni trop courtes, ni trop longues de manière à couvrir un champ de connaissances scientifiques suffisant et, lorsque l'échantillon soumis à l'analyse s'y prête, le jury apprécie particulièrement les candidats capables d'en mener une présentation construite, active et rigoureuse en lien avec la biologie, l'écologie, la physiologie ou l'évolution des organismes. Le jury tient à rappeler que ces entretiens, effectués dans des domaines complémentaires du secteur B, peuvent permettre de contrebalancer, dans une certaine mesure, d'éventuelles faiblesses révélées par l'exposé et le premier entretien. Ainsi, comme cela a déjà été dit, les candidats sont encouragés à rester totalement mobilisés pendant toute la durée des entretiens.

6.5. Commentaires particuliers concernant les leçons d'option C

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons d'option par des commentaires spécifiques propres aux leçons de secteur C.

6.5.1. Connaissances scientifiques

Le jury déplore un manque de maîtrise des bases scientifiques en général, non seulement en Sciences de la Terre et de l'Univers mais aussi sur des notions simples de chimie ou de physique : des notions de thermodynamique et de chimie (notamment isotopique) sont requises pour aborder le système Terre. Des connaissances quelquefois pointues sur des sujets d'actualité peuvent être mal valorisées en l'absence d'une culture géologique de base. Il est rappelé que préparer l'agrégation ne se fait pas uniquement au cours de l'année de préparation mais que cela implique d'avoir assimilé les enseignements fondamentaux de niveau Licence. L'application d'une méthode pédagogique standardisée ne suffit pas à remplacer les connaissances fondamentales approfondies.

Les connaissances de bases suivantes posent un problème de manière récurrente aux candidats :

Les notions faisant appel à une quantification ou une estimation de vitesse, débit, durée ou de la cinématique des processus géologiques ;

Le principe du fonctionnement du microscope optique et des propriétés utilisées pour la détermination des minéraux (biréfringence, pléochroïsme, réfringence...) ;

Les principes et acquis fondamentaux de la minéralogie (systèmes cristallins, formules chimiques, classification...) ;

L'analyse de roches et/ou d'échantillons macroscopiques et de lames minces (confusion entre péridotite-gabbro ; plagioclase-pyroxène ; organismes fossiles ; ciment-matrice) ;

L'exploitation de diagrammes de phase lors de l'étude de processus magmatiques ;

La confusion entre les trajets P-T-temps et les gradients, l'absence de lien entre les gradients métamorphiques et le contexte géodynamique ;

Les relations entre contraintes et déformations ;

La notion d'anomalie en géophysique (les candidats ne mentionnant souvent pas l'existence d'un modèle de référence et dans le cas particulier de la délimitation latérale des plaques, les anomalies gravimétriques sont quasi-systématiquement oubliées, les candidats ne se référant qu'aux données sismiques et thermiques) ;

La différence entre géoïde et ellipsoïde ;

La définition du $\delta^{18}O$, de même que la signification de ses variations dans la glace ou dans les organismes calcifiés ;

La signification des roches sédimentaires et des environnements de dépôts associés, souvent très approximative ;

Le principe et le fonctionnement des outils expérimentaux les plus classiques (GPS, radar, microsonde électronique, spectromètre) ;

L'utilisation des cartes géologiques adaptées par les candidats : utilisation correcte des cartes au millionième, au 1/50000 et au 1/250000 ;

L'utilisation des modèles analogiques (exploité mécaniquement et trop souvent sans compréhension des lois d'échelle, des limites et des biais).

Enfin, les membres du jury du secteur C souhaitent rappeler qu'une solide formation naturaliste est attendue des candidats à l'Agrégation externe de SV-STU. De solides connaissances géographiques sont également exigées en particulier pour situer certaines structures ou régions géologiques remarquables.

6.5.2. Organisation de l'exposé / Démarche

Les plans proposés par les candidats sont souvent scolaires et présentent des titres peu démonstratifs ou non homogènes. Si le plan est projeté, il n'est pas nécessaire de l'écrire une seconde fois au tableau. Par contre il reste indispensable de l'énoncer au fur et à mesure de la leçon.

Globalement la problématique est présente, mais il ne faut pas oublier qu'elle doit permettre la construction d'une leçon suivant un fil directeur bien identifié et elle ne doit pas simplement reprendre le titre.

Durant la leçon, un des problèmes majeurs reste que les candidats ne partent pas assez de l'observation et de l'exploitation du matériel et des documents pour construire des notions. Les supports ne doivent pas être de simples illustrations d'un propos mais une base pour discuter des processus, un modèle... Le jury constate que globalement les candidats ne partent pas suffisamment des objets géologiques, mais préfèrent traiter des processus de façon très théorique ; et qu'il y a un gros travail à faire sur la bibliographie, car les ouvrages sortis par les candidats sont souvent trop nombreux, et pas toujours les plus appropriés pour traiter de la leçon.

6.5.3. Exploitation des documents fournis et des documents complémentaires

Trop de documents (imposés ou non) ne sont pas exploités ou pas dans le sens de l'intitulé de la leçon. Il faut que le candidat ne perde jamais de vue sa problématique, et exploite les documents afin d'y répondre.

Les documents et objets géologiques (imposés et choisis en option) doivent être placés au cœur de l'argumentation. Concrètement, ils doivent être exploités.

Les recommandations du jury sont ainsi (1) de s'appuyer sur des supports concrets et (2) d'exploiter efficacement les documents sans multiplier de façon exagérée les documents complémentaires. L'exercice de présentation et d'exploitation des documents permet ainsi d'évaluer conjointement les capacités d'analyse scientifique et les qualités pédagogiques.

Les documents proposés par le jury sont souvent des données géophysiques ou géochimiques, des résultats d'expériences, mais cela peut également être des cartes géologiques, des échantillons de roches, des lames minces, des photos d'affleurements... Le candidat doit les présenter au jury, les décrire systématiquement avant de les interpréter. Rares sont les candidats qui pensent à encadrer, souligner les points importants de façon graphique. L'utilisation d'un pointeur ou du curseur n'est pas systématiquement utilisée. Traduire des données fournies (ex : tableau) en graphique est maintenant facile en utilisant un tableur, peu de candidat se sont néanmoins livrés à l'exercice.

Le jury a remarqué que certains candidats ne présentaient pas la globalité des documents imposés en leçon d'option ou occultaient certaines parties de ceux-ci, ce qui les pénalise lors de la notation.

Les échantillons et photos des lames minces sont inégalement exploités ; une présentation complète des échantillons à différentes échelles, accompagnée de schémas et croquis explicatifs soignés est fortement conseillée. Pour une analyse raisonnée d'échantillon, il convient d'utiliser des critères qui permettent de s'orienter vers le type de roche (magmatique, sédimentaire, métamorphique) puis d'affiner les observations afin de conclure sur la nature de la roche et son histoire. Dans cette démarche, l'analyse inclut la texture, la description précise et le nom des minéraux, la caractérisation morphologique des objets. Le vocabulaire qui permet de décrire les échantillons est souvent très approximatif, et on note de nombreuses confusions (matrice pour mésostase, confusion macle/clivage, teinte/couleur/pléochroïsme d'un minéral...).

De même, les cartes géologiques sont souvent présentées de manière trop superficielle sans réelle exploitation : une production autour des cartes est souhaitable (schéma structural, coupe...).

Les échantillons et les cartes utilisés doivent être replacés dans leur contexte géographique et géologique.

Les candidats présentent parfois des modèles analogiques, mais leur utilisation est très fréquemment maladroite. En effet, il ne faut pas confondre modèle et phénomène naturel. Le transfert d'échelle entre les objets naturels et le modèle doit être souligné. L'utilisation d'un modèle doit découler d'un certain cheminement qui pose préalablement une hypothèse. Les limites et les biais des modèles doivent être discutés.

Rares sont les candidats qui cherchent à quantifier les phénomènes par des calculs simples qui s'appuient sur des lois physiques et chimiques. Les ordres de grandeur des vitesses, débits, durées, concentrations ... sont rarement présentés.

6.5.4. Communication

Les candidats maîtrisent de mieux en mieux les différents moyens de communication parfois au détriment d'une bonne utilisation du tableau. L'occupation de celui-ci est souvent mal gérée et il serait bien de ne pas y trouver que le plan à la fin de la leçon.

Rares sont les leçons où le tableau se construit progressivement et à la fin desquelles le candidat présente un schéma de synthèse répondant au sujet ou, une représentation graphique des points forts de la leçon.

Tous les sujets ne se prêtent pas à un "schéma bilan" et il n'est donc pas nécessaire de vouloir à tout prix en réaliser un. Quand il peut être réalisé, ce schéma doit être construit au fur et à mesure de la leçon et présenter un aspect « fonctionnel » (relations de cause à effet, mécanismes de contrôle positif ou négatif). Un schéma qui consiste à écrire des mots clés reliés entre eux par des traits sans signification n'a strictement aucun intérêt et ne pallie pas le manque de connaissances approfondies sur le sujet. Il doit nécessairement présenter l'échelle à laquelle il s'applique (croûte, lithosphère...).

6.6. Leçon sur programme de spécialité

6.6.1. Secteur A

Maîtrise de la reproduction dans l'espèce humaine
Les cellules des crêtes neurales
VIH et SIDA
Modifications physiologiques et régulations hormonales associées à la grossesse, à l'accouchement et à la lactation dans l'espèce humaine
Homéostasie glucidique
La complémentarité des bases azotées
La régulation nerveuse et hormonale de la pression artérielle
Enzymes et biotechnologies
L'auxine
La recombinaison méiotique
Le diabète insipide
Les hormones stéroïdes chez les mammifères
Les protéines de transport membranaire
Le paludisme, une maladie infectieuse
Diversité structurale et fonctionnelle des ARN eucaryotes
L'amélioration des plantes par l'homme
Les génomes des organites semi-autonomes
Les canaux ioniques des cellules animales
Les morts cellulaires et leurs régulations moléculaires
Le foie, un organe de détoxification et d'interface avec l'extérieur

Les mécanismes de la cancérogenèse
Paroi cellulaire et développement végétatif des Angiospermes
Les cellules méristématiques
Migrations cellulaires durant le développement embryonnaire des Amphibiens
Les immunothérapies
Les cellules du système nerveux
La chromatine
Les chaînes membranaires de transporteurs d'électrons
Les besoins énergétiques de l'humain
Les récepteurs sensoriels
Les protéines fixatrices de dioxygène
Formes et déformations des cellules
Les enveloppes bactériennes
Les cellules souches
La maladie de Parkinson
Les protéines recombinantes
Amidon et glycogène
Les synapses neuronales
Les méthodes de transgénèse et leur utilisation en laboratoire
L'immunité innée chez les végétaux
Les méthodes d'études des génomes : principes et apports
Le code génétique
Le vieillissement cellulaire
Les inductions embryonnaires dans le règne animal

6.6.2. Secteur B

La feuille des Angiospermes et la fonction de nutrition
Les agrosystèmes
La circulation de l'eau dans la plante
Les vaisseaux sanguins chez les mammifères
La sélection sexuelle
Les systèmes à contre-courant
Autofécondation et allofécondation
La recherche de nourriture chez les animaux
Biologie et physiologie des végétaux des littoraux
Adaptation des angiospermes au milieu aquatique
Biologie et écologie des êtres vivants des milieux aquatiques lenticues
Les successions écologiques
Interrelation cœur-vaisseaux
Évolution du répertoire immunitaire au cours de la vie
Édification de l'appareil végétatif des Angiospermes
Écologie et conservation des tourbières
Le système nerveux des animaux
Les rôles du sang chez les mammifères
Pollen et pollinisation
Régulation neurophysiologique et hormonale de la pression artérielle
Les espèces exotiques envahissantes
Équilibre hydrique et milieu de vie aérien chez les angiospermes
Biologie écologie évolution des Poacées
Les interactions entre les champignons et les plantes
Les bourgeons chez les Angiospermes
La domestication
Les sèves et leur circulation
L'évolution en contexte insulaire
Le cycle biogéochimique du carbone
L'excrétion azotée et les milieux de vie des animaux
La dissémination chez les végétaux
Les couleurs chez les animaux
Modes de reproduction et diversification à différentes échelles
L'adaptation dans le cadre de l'évolution
Les êtres vivants du sol
Le passage de la mauvaise saison chez les végétaux en milieux tempérés
La perception de leur environnement par les animaux

Unité et diversité des mollusques
Communications hormonale et nerveuse dans l'espèce humaine
Les fonctions ovariennes chez les mammifères
Les microbiotes
Les relations plantes-champignons
Dynamique et conservation d'un écosystème forestier
Les poumons des vertébrés
Les constructions animales
L'érosion de la biodiversité
Oviparité et viviparité
L'autotrophie pour l'azote chez les angiospermes
Le polymorphisme
Les photosynthèses de type C4 et CAM
Homologies et homoplasies
L'homéostasie glucidique
La sélection naturelle
La vie dans la zone intertidale
Perturbations anthropiques et résilience écosystémiques
Les conséquences génétiques de la reproduction
Classer le vivant
Homéostasie et perturbations
L'érosion de la biodiversité

6.6.3. Secteur C

Les traceurs géochimiques des processus internes
De l'utilité des fossiles pour reconstituer les climats anciens
L'océan et ses interactions avec les autres enveloppes
Les dorsales océaniques
Le volcanisme dans le système solaire
Données géologiques, chimiques et biologiques sur la vie précambrienne
Comparaison géodynamique actuelle et géodynamique archéenne
La diversité des magmas
Les anomalies en géophysique
Le temps en géologie : apport des fossiles
Formation et différenciation des planètes telluriques
Les grandes étapes de la vie continentale
Les magmas basaltiques
Spécificité de la planète Terre et zone d'habitabilité du système solaire.
Reconstitutions des histoires Pression-Température-temps-déformation des roches métamorphiques
Rôle des organismes sur la genèse des sédiments
L'histoire géologique du Massif armoricain à partir de cartes géologiques et d'échantillons
Apports des archives sédimentaires pour la compréhension de l'histoire de la planète Terre
La température interne du globe terrestre
L'humain et la planète Terre
L'eau : une ressource du sous-sol en France
Les marqueurs de la déformation
Le manteau terrestre
Les subductions
Formation et évolution de la lithosphère continentale
La collision à partir de l'exemple de l'Himalaya-Tibet
Les Couplages Océan Atmosphère
Les apports de la géochimie en géodynamique interne
Expérimentation et modélisation en géologie
L'Océan Pacifique
Le magnétisme terrestre et ses apports aux géosciences
Les interactions entre la biosphère et les enveloppes terrestres
Le bassin rhénan et les Limagnes
Aléas et risques sismiques
Genèse et évolution des bassins sédimentaires
La France au Cénozoïque

Vitesses et déplacements des plaques lithosphériques
Les systèmes réservoirs pétroliers et aquifères
Altération et érosion des continents
Du sédiment à la roche : les différentes étapes de la diagenèse
Tectonique active et cycle sismique
Histoire géologique de La Corse à partir de cartes géologiques et d'échantillons
Les météorites
Le volcanisme en France
La fusion partielle des péridotites
Apports de la sismologie dans la structure et la dynamique interne de la Terre
Les processus de fossilisation
L'eau dans les processus géologiques

6.7. Leçon sur programme de connaissances générales

6.7.1. Secteur A et B

Classer les êtres vivants
Les plantes transgéniques
La feuille des Spermaphytes
Les diabètes
Les cycles de développement des Embryophytes
Le développement du membre chiridien
La croissance des Angiospermes
Les lymphocytes
Les symbioses mutualistes
Neurobiologie de l'addiction
La vie dans la zone intertidale
Évolution de la notion de gène
Autofécondation et allofécondation chez les Angiospermes
Le réflexe myotatique
La biologie de l'abeille
Lipides et vie cellulaire
Les êtres vivants et le cycle biogéochimique de l'azote
Les types trophiques des microorganismes
Cycles de vie chez les insectes
Les épithéliums
Les conséquences génétiques de la reproduction
Le cytosquelette
Impacts humains sur la biodiversité, aux différentes échelles
La gastrulation
Le polymorphisme
Les coenzymes d'oxydoréduction
Structure et dynamique des écosystèmes prairiaux
Les mutations
Les ressemblances entre les êtres vivants
Cellules souches animales
La coévolution
La plaque motrice
La lumière et les végétaux
Du sexe génotypique au sexe fonctionnel
Les successions écologiques

La sclérose en plaques
Le cœur des mammifères
Cancer et cycle cellulaire
Respirer dans l'eau
Les récepteurs couplés aux protéines G
Les réserves chez les végétaux
La double hélice d'ADN
Un écosystème au choix du candidat
L'audition dans l'espèce humaine
Les interactions entre les insectes et les plantes
Les couplages énergétiques
Biologie des orchidées
Les cellules musculaires

6.7.2. Secteur C

La Terre au Précambrien
Les grandes lignes de l'histoire géologique des Alpes
Rôle des organismes sur la genèse des sédiments
Les bassins sédimentaires observés sur la carte géologique de France au millionième dans leur cadre géodynamique
Le Bassin aquitain à partir de la carte géologique de France au millionième
Le magmatisme d'origine mantellique
La circulation thermohaline
Le Cycle de Wilson et ses implications sur la géodynamique externe
La composition chimique de l'atmosphère terrestre
La Réunion à partir de cartes géologiques de son choix
Les grands ensembles géologiques de France à partir de la carte au millionième
La chronologie relative
La tectonique active
Le modelé karstique et le karst, ressource en eau renouvelable dans les roches calcaires
La tectonique en décrochement
La ville de Clermont-Ferrand dans son cadre géologique
Les contextes métamorphiques à partir de cartes au choix du candidat
Le magmatisme tertiaire et quaternaire du Massif central
Les convections terrestres
Les marqueurs de la collision continentale
Les structures décrochantes à différentes échelles
La lithosphère océanique
Les magmas dans leur contexte géodynamique
Géoiïde et champ de pesanteur de la Terre
La reconstitution des chemins Pression — Température des roches métamorphiques
Les variations du niveau marin à différentes échelles de temps
La modélisation analogique en sciences de la Terre
La formation des roches par les organismes
Les microfossiles : outils pour le géologue
Les géo chronomètres
Les variations de la biodiversité au Phanérozoïque
La structure et la dynamique internes des planètes telluriques
La tectonique extensive
Radiochronologie : principes et application
La théorie astronomique des climats
Transferts sédimentaires du continent à l'océan

Les marges continentales de la France
Le magmatisme des chaînes de montagnes
La sismicité de la France dans son cadre géodynamique
Risques et aléas sismiques
Sédimentation et ressources énergétiques
Le bilan radiatif de la Terre et son évolution au cours du XXI siècle
Le volcanisme cénozoïque en France métropolitaine
Le Quaternaire
Cause(s) et conséquences de la crise Crétacé/Paléogène
Étude de processus géologiques (au moins deux) au choix du candidat à partir d'échantillons
Du plancton à la roche
Comportement rhéologique des matériaux géologiques et structures associées
De l'ouverture océanique à la naissance d'une chaîne de montagnes
Les ressources énergétiques fossiles
Comparaison des géodynamiques actuelle et archéenne
La chaîne varisque en France
Géochronologie du quaternaire : enjeux, méthodes, limites
La diagenèse
L'apparition de la vie sur la Terre primitive
L'effet de serre et son évolution au cours du 21e siècle
Désagrégation mécanique et altération chimique en domaine continental
Influence de la lithologie et du climat sur l'évolution des reliefs continentaux
Géodynamique interne et climat
La datation des roches magmatiques
Diversité des dynamismes éruptifs
La différenciation de la Terre
La géologie de la Corse à partir de cartes géologiques au choix du candidat
L'orogénèse hercynienne à partir de la carte géologique de la France au millionième
L'apport des données satellitaires en Sciences de la Terre
La formation des granites
Dynamismes éruptifs et risques associés
Croûte océanique et croûte continentale
L'oxygénation des enveloppes fluides terrestres
Expérimentation et modélisation en géologie/à partir d'un processus (ou 2) au choix du candidat
Apports de la géochimie à la compréhension des processus magmatiques
Comportement rhéologique des matériaux géologiques et structures associées
Le temps en géologie : apport des fossiles
Intérêts d'un groupe fossile au choix du candidat

Forme de la Terre et champ de pesanteur
Hausse du niveau de la mer et risques côtiers
Déformations associées aux chaînes de convergence
L'isostasie
Les relations Terre Soleil
L'apport des ondes sismiques
Genèse et évolution des magmas
Géologie de l'Océan Atlantique
Le bassin de Paris à partir de la carte géologique au millionième
La cinématique des plaques à différentes échelles de temps
Le carbone
Les bassins houillers
L'apport des données paléontologiques à la reconstitution paléo environnementale
De l'utilité des fossiles pour reconstituer les climats anciens
L'utilisation des isotopes stables dans l'étude des climats du Quaternaire
La radiochronologie
Le quaternaire
Déformations de la lithosphère : de l'échelle microscopique à l'échelle de la plaque
La structure et la dynamique interne des planètes telluriques
La sédimentation siliciclastique
Divergence lithosphérique
La circulation atmosphérique
La sédimentation en domaine océanique
La sédimentation carbonatée
L'arc des Petites Antilles
La dynamique des éruptions volcaniques
Genèse et évolution de la lithosphère continentale
Le modèle PREM : origine et application
La circulation océanique
Déformations de la lithosphère : de l'échelle microscopique à l'échelle de la plaque