

## **Rapport du jury**

**Concours : Agrégation externe**

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

**Session 2024**

Rapport de jury présenté par : Cécile ROBIN, Professeure des Universités  
Présidente du Jury

# Rapport de jury Agrégation de SV-STU Session 2024

Cécile ROBIN, professeure des universités  
Présidente du Jury

## **1. Présentation du concours**

- 1.1. Organisation et modalités du concours
  - 1.1.1 Épreuves écrites d'admissibilité
  - 1.1.2 Épreuves d'admission
- 1.2. Le déroulement du concours 2024
  - 1.2.1 Le calendrier
  - 1.2.2 Le déroulement pratique des épreuves d'admission du concours

## **2. Quelques éléments statistiques**

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

## **3. Programme du concours**

## **4. Épreuves écrites**

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



#### 4.3.3 Grille de notation

## 5. Les épreuves pratiques

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

## 6. Les Épreuves Orales

- 6.1 Déroulement des épreuves
  - 6.1.1 Conditions de préparation
  - 6.1.2 Présentation et entretiens de la leçon d'option
  - 6.1.3 Présentation et entretiens de la leçon de contre-option
- 6.2 Constats et conseils pour les épreuves orales
  - 6.2.1 La leçon d'option : une épreuve de haut niveau scientifique visant à répondre à une problématique
  - 6.2.2 Le recul nécessaire pour traiter des thèmes plus ou moins classiques
  - 6.2.3 L'exploitation des documents imposés dans la leçon d'option
  - 6.2.4 Le choix et l'exploitation du matériel au service de la leçon (option et contre-option)
  - 6.2.5 Une démarche scientifique incontournable
  - 6.2.6 Un véritable travail de synthèse et de choix
  - 6.2.7 Une communication d'une qualité suffisante
  - 6.2.8 Une indispensable réactivité
  - 6.2.9 Les critères d'évaluation des leçons
- 6.3 Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur A
  - 6.3.1 Maîtriser les connaissances
  - 6.3.2 Intégrer de nouvelles connaissances pendant la préparation de la leçon
  - 6.3.3 Organiser l'exposé
  - 6.3.4 Travailler à toutes les échelles et construire le sens biologique
  - 6.3.5 S'appuyer sur du réel pour illustrer la leçon
  - 6.3.6 Adopter une démarche scientifique dans l'exploitation des documents
  - 6.3.7 Adopter une démarche didactique
  - 6.3.8 Maîtriser l'oral
  - 6.3.9 Rester mobilisé pour les entretiens
- 6.4 Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur B
  - 6.4.1 Des connaissances naturalistes à privilégier sans négliger les connaissances de base
  - 6.4.2 Exploitation du matériel et intégration dans l'exposé
- 6.5 Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur C
  - 6.5.1 Connaissances scientifiques
  - 6.5.2 Organisation de l'exposé / Démarche
  - 6.5.3 Exploitation des documents fournis et des documents complémentaires
  - 6.5.4 Communication
- 6.6 Liste des leçons d'option de la session 2024
- 6.7 Liste des leçons de contre-option de la session 2024

# 1. Présentation du concours

## 1.1. Organisation et modalités du concours

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

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

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

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

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

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

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

### 1.1.1 Épreuves écrites d'admissibilité.

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

Elles peuvent comporter ou non une analyse de documents :

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

### 1.1.2 Épreuves d'admission.

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

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

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

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

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

Le sujet porte :

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

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

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

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

Ces modalités sont résumées dans le tableau 1

	Durée	Coefficients	Nombre de points
<b>1. Épreuves écrites d'admissibilité</b>			
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
<b>Total des épreuves écrites</b>			<b>120</b>
<b>2. Épreuves d'admission</b>			
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
<b>Total des épreuves pratiques</b>			<b>100</b>
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
<b>Total des épreuves orales</b>			<b>180</b>
<b>Total général</b>		<b>20</b>	<b>400</b>

Tableau 1. Les modalités du concours

## 1.2. Le déroulement du concours 2024

### 1.2.1 Le calendrier

#### Admissibilité : épreuves écrites

- lundi 20 février 2024 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A,
- mardi 21 février 2024 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B,
- mercredi 22 février 2024 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C.

Les résultats de l'admissibilité ont été publiés le 22 avril 2024 à 11 h 15

### **Admission : épreuves pratiques**

- vendredi 31 mai 2024 : accueil des candidats des secteurs A, B et C,
- samedi 1 juin 2024 : travaux pratiques portant sur le programme de spécialité (secteur A, ou B, ou C),
- dimanche 2 juin 2024 : travaux pratiques portant sur le programme général des deux autres secteurs.

### **Admission : épreuves orales**

- du dimanche 16 juin 2024 au jeudi 27 juin 2024.

Les résultats de l'admission ont été publiés le vendredi 28 juin 2024 à 12 h.

#### **1.2.2 Le déroulement pratique des épreuves d'admission du concours**

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

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

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

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

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

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

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

## 2. Quelques éléments statistiques

### 2.1 De la candidature à l'admission

#### 2.1.1 Les candidats par secteurs

**Candidats inscrits 937**

**275 candidats se sont inscrits en secteur A**

**368 candidats se sont inscrits en secteur B**

**294 candidats se sont inscrits en secteur C**

**Candidats présents aux 3 écrits : 443 soit 47,3 %% des inscrits**

Candidats présents pour chaque épreuve écrite

Écrit secteur A	473	50,5% des inscrits
Écrit secteur B	452	48 % des inscrits
Écrit secteur C	452	48% des inscrits

**Candidats admissibles 160 soit 17 % des inscrits et 35 % des présents aux trois écrits**

Secteur A	38	23,8 % des admissibles
Secteur B	75	46,8 % des admissibles
Secteur C	47	29,4 % des admissibles

**Candidats admis 75 soit 46,9 % des admissibles**

16,9% des présents aux 3 écrits et 8 % des inscrits

Secteur A	14	18,7 % des admis
Secteur B	40	53,3 % des admis
Secteur C	21	28 % des admis

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.

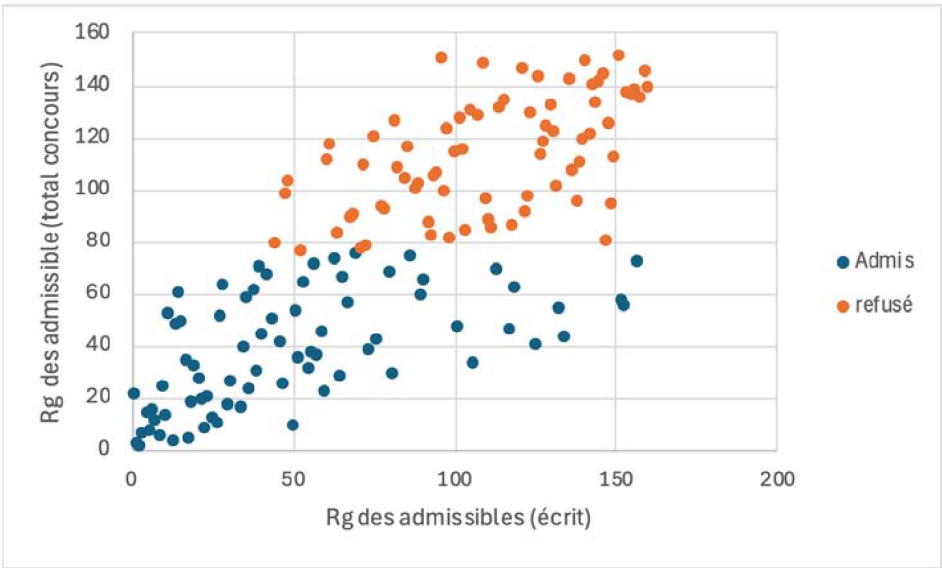
Pour cette session, la barre d'admissibilité est de 7,78/20. La moyenne des candidats qui ont présenté les trois épreuves écrites est de 6,50/20 et celle des admissibles est de 10,93/20. Les meilleurs candidats obtiennent de très bons résultats aux trois épreuves. Le jury souligne la grande homogénéité 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 8,94 et celle des candidats admis de 11,05. La barre d'admission a été de 8,51/20.

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

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

concours à la 40<sup>e</sup> place alors qu’il était au-delà de la 120<sup>e</sup> place à l’issue des écrits. A noter également cette année que le candidat classé 157<sup>e</sup> sur les 160 admissible a été reçu.



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

2.1.2 Les candidats par sexe

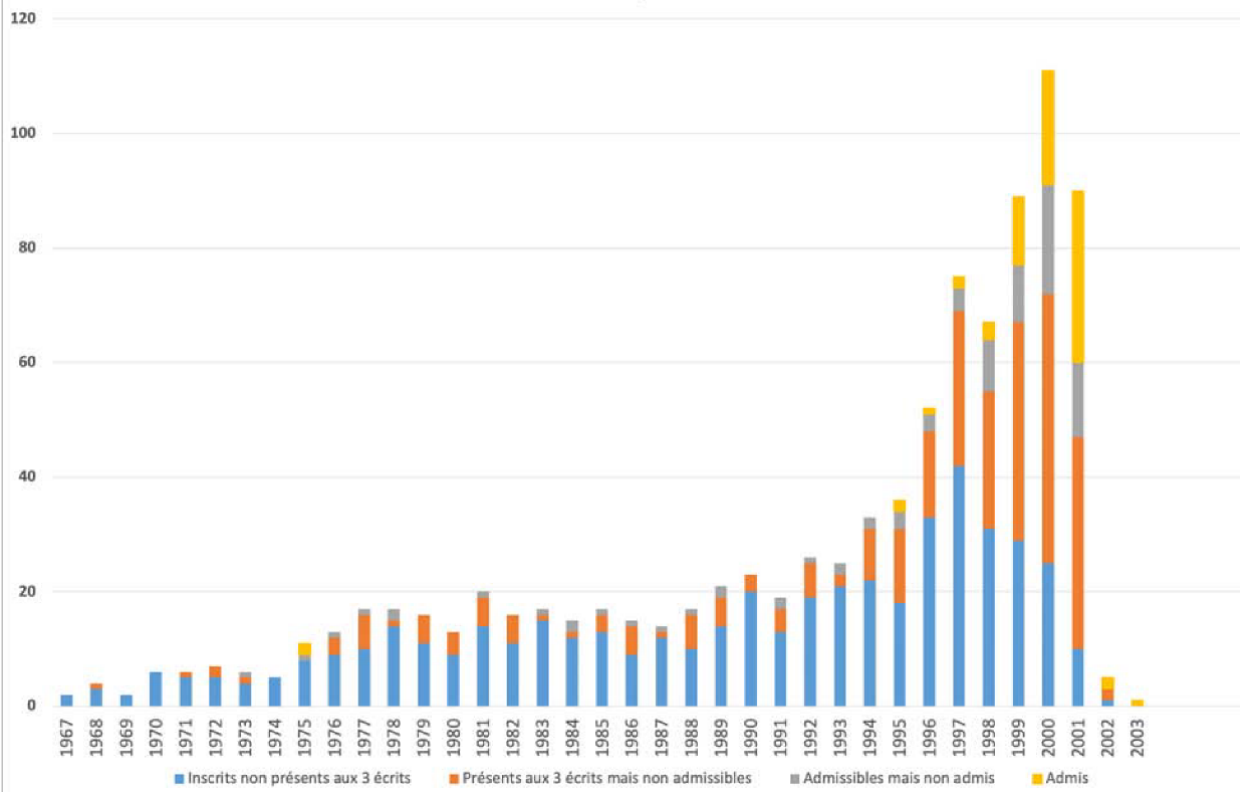
Répartition	Inscrits	Présents	Admissibles	Présents aux épreuves orales	Admis
♀	602 soit 64,2 %	274 soit 61,9 %	96 soit 60 %	90 soit 60 %	43 soit 57,3 %
♂	335 soit 35,8 %	169 soit 38,14 %	64 soit 40 %	60 soit 60 %	32 soit 42,7 %

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

2.1.3 Âges des candidats

Bien que les candidats se répartissent sur une large gamme d’âge, force est de constater que l’agrégation externe reste un concours réussi par des étudiants assez jeunes comme le montrent les histogrammes ci-dessous qui reprennent la distribution des âges en fonction des inscrits, des candidats éliminés (non présents aux trois épreuves écrites), des candidats admissibles et des candidats admis. En effet, l’immense majorité des lauréats sont soit en M2 (année de naissance théorique : 2002) soit en année de préparation à l’agrégation post-master (année de naissance théorique : 2001). Les lauréats plus âgés sont logiquement moins nombreux, mais des professeurs certifiés passent et réussissent le concours de l’agrégation externe.

Distribution des candidats par année de naissance





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

Professions	Inscrits	Présents aux 3 écrits	Admissibles	Admis
Accompagnant des élèves en situation de handicap (AESH)	1	1		
Agent non titulaire de la fonction territoriale	4			
Agent non titulaire fonction hospitalière	1			
Agent non titulaire fonction publique	7	3		
Artisans / commerçants	2	1		
Assistant d'éducation	13	9		
Cadres secteur privé convention collective	17	1		
Certifié	378	121	32	2
Contractuel 2nd degré	54	21		
Contractuel apprentissage(CFA)	1			
Contractuel enseignant supérieur	6			
Contractuel formation continue	2			
Contractuel MEN Administratif ou technique	1	1		
Élève d'une ENS	21	21	20	17
Emploi avenir prof.2nd d.privé	1	1	1	
Ens.stagiaire 2e deg. col/lyc	41	29	6	2
Enseignant du supérieur	1			
Etud.hors inspe (prépa cned)	4	2		
Etud.hors inspe (prépa mo.univ)	108	103	78	49
Etud.hors inspe (prépa privée)	2	2	1	
Etud.hors inspe (sans prépa)	16	10	5	
Etudiant en inspe en 1ere année	3	2	1	
Etudiant en inspe en 2eme année	99	72	11	3
Fonctionnaire stagiaire de la fonction hospitalière	1			
Formateurs dans secteur privé	1			
Maître auxiliaire	14	2		
Maître contr.et agréé rem ma	1	1	1	1
Maître contr.et agréé rem tit	12	1		
Maître délégué	3			
Personnel de la fonction hospitalière	1			
Personnel de la fonction publique	5	2		
Personnel de la fonction territoriale	1			
Personnel enseignant non titulaire fonction publique	3	1		
Personnel enseignant titulaire fonction publique	11	4	1	
PLP	3	1		
Professeur associé 2nd degré	27	9	3	1
Professeur des écoles	4			
Professions libérales	5	3		
Salariés secteur industriel	4			
Salariés secteur tertiaire	9	2		
Sans emploi	42	15		
Vacataire du 2nd degré	5	1		
Vacataire enseignant du sup.	2	1		

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 : 69 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 un seul professeur certifié a été reçu à l'agrégation externe.

### 2.1.5 Répartition géographique des candidats :

Professions	Inscrits	Présents aux 3 écrits	Admissibles	Admis
ACADÉMIE D'AIX MARSEILLE	62	33	16	9
ACADÉMIE D'AMIENS	22	12	2	1
ACADÉMIE D'ORLÉANS-TOURS	26	6	1	1
ACADÉMIE DE BESANCON	13	7	1	
ACADÉMIE DE BORDEAUX	42	24	13	3
ACADÉMIE DE CLERMONT-FERRAND	9	7	2	1
ACADÉMIE DE CORSE	3	1		
ACADÉMIE DE DIJON	14	4		
ACADÉMIE DE GRENOBLE	25	8	3	2
ACADÉMIE DE LA GUADELOUPE	25	8		
ACADÉMIE DE LA GUYANE	6	2		
ACADÉMIE DE LA MARTINIQUE	11	2		
ACADÉMIE DE LA NOUVELLE CALÉDONIE	1			
ACADÉMIE DE LA POLYNÉSIE FRANCAISE	1			
ACADÉMIE DE LA RÉUNION	10	2	1	
ACADÉMIE DE LILLE	44	23	8	
ACADÉMIE DE LIMOGES	4	1		
ACADÉMIE DE LYON	72	56	33	23
ACADÉMIE DE MAYOTTE	7	1		
ACADÉMIE DE MONTPELLIER	28	15	11	3
ACADÉMIE DE NANCY-METZ	22	13	3	
ACADÉMIE DE NANTES	14	7		
ACADÉMIE DE NICE	18	8		
ACADÉMIE DE NORMANDIE	35	18		
ACADÉMIE DE POITIERS	36	22	2	
ACADÉMIE DE REIMS	16	9	1	
ACADÉMIE DE RENNES	58	34	4	2
ACADÉMIE DE STRASBOURG	39	27	18	14
ACADÉMIE DE TOULOUSE	32	13	1	1
SIEC - ACADÉMIES DE CRETEIL PARIS VERSAILLES	242	80	40	15

Les candidatures se répartissent dans de très nombreuses académies. Cependant, il est frappant de constater le contraste entre ce nombre et celui, beaucoup plus modeste, des académies qui présentent des candidats admis. Sur les 30 secteurs géographiques qui présentent des candidats, 18 ont des candidats admissibles et seuls 12 ont des admis.

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

## 2.1.6 L'évolution du concours sur le long terme

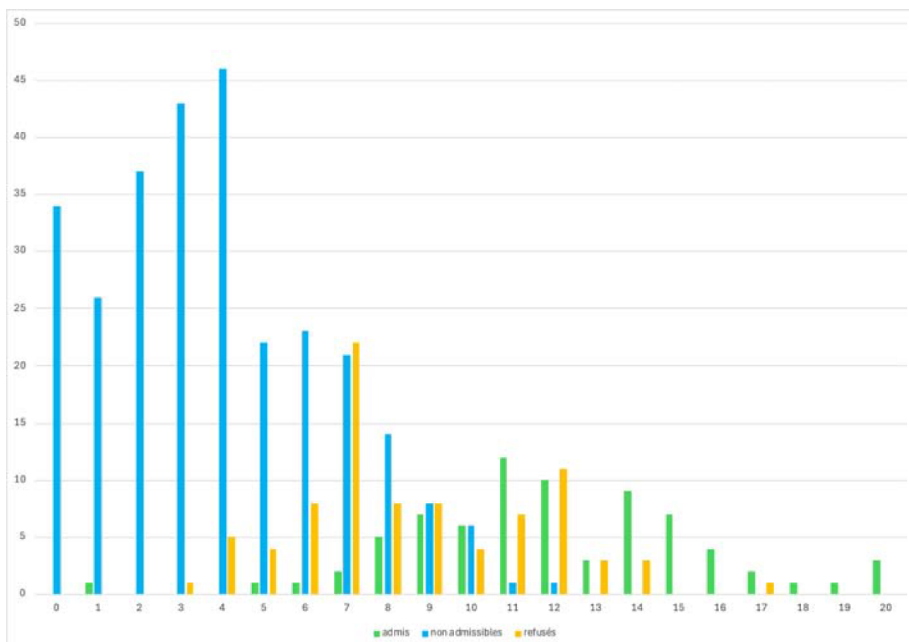
année	nombre de postes mis au concours	nombre d'inscrits	nombre de présents	nombre d'admissibles	nombre d'admis	liste complémentaire
1993	154	1439	819	233	148	Non
1994	154	1581	950	241	154	Non
1995	154	1770	1034	242	142	Non
1996	154	2041	1252	245	154	Non
1997	130	2273	1473	245	130	Non
1998	150	2416	1413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

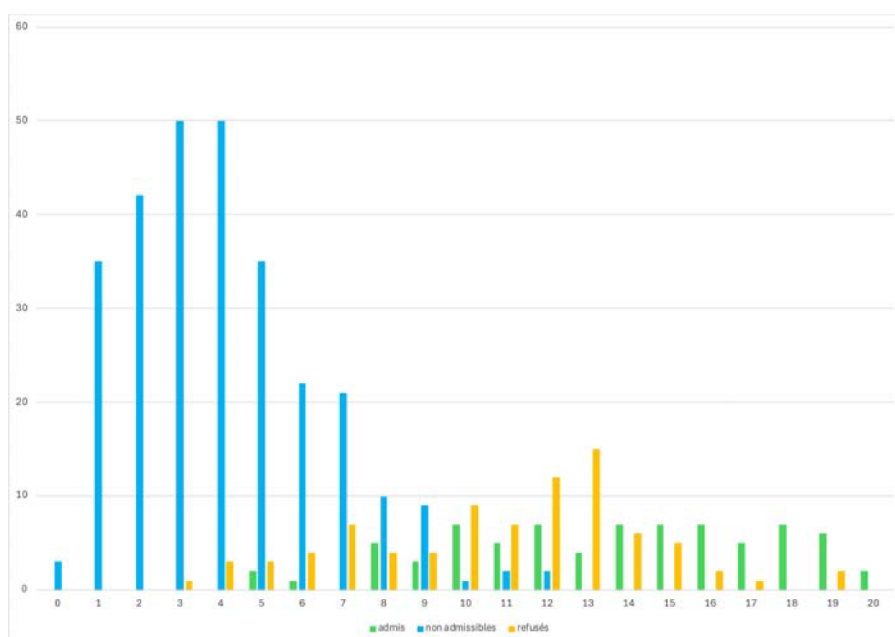
### 2.2.1 Épreuve écrite de secteur A

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



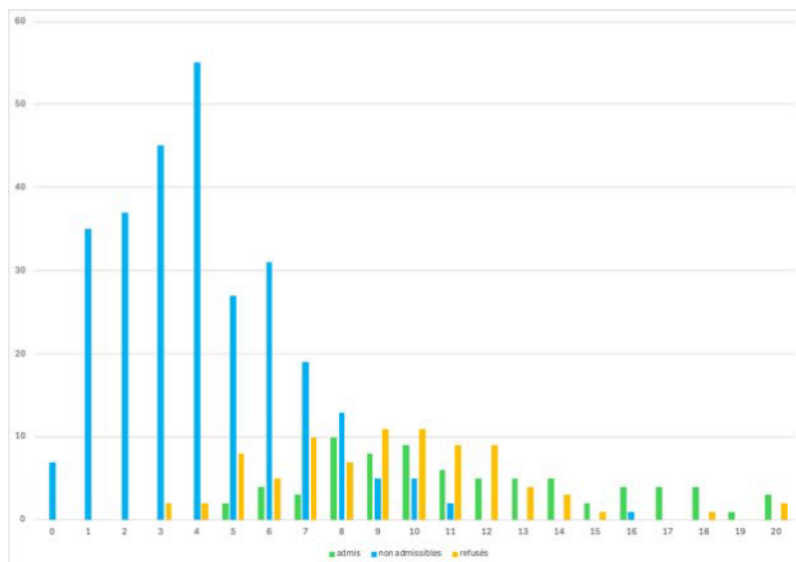
## 2.2.2 Épreuve écrite de secteur B

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



## 2.2.3 Épreuve écrite de secteur C

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



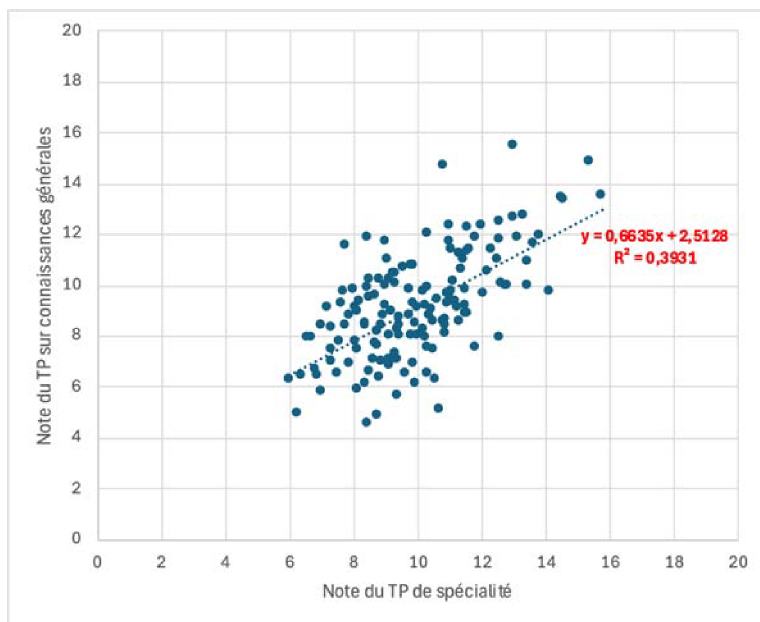
## 2.3 Quelques données statistiques concernant les épreuves pratiques

	TP sur le programme de spécialité secteur A	TP sur le programme de spécialité secteur B	TP sur le programme de spécialité secteur C	TP sur le programme de connaissances générales secteur A	TP sur le programme de connaissances générales secteur B	TP sur le programme de connaissances générales Secteur C
<b>Moyenne</b>	10	10	10	10	10	10
<b>Écart type</b>	2,04	1,83	2,17	2,89	2,33	2,03
<b>Max</b>	14,55	15,77	15,35	17,87	15,48	15,41
<b>Min</b>	6,55	6,29	6	4,07	6,19	5,61

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

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

Le jury note la forte cohérence entre les deux notes obtenus ( $R^2=0,39$ ). Cela traduit les compétences similaires qui sont à mettre en œuvre au cours de ces deux épreuves. Le jury rappelle que la somme des coefficients des épreuves de travaux pratiques atteint 5 et que celles-ci jouent un rôle important pour l'admission.



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

	Spécialité des candidats admissibles			Ensemble des candidats admissibles
	A	B	C	
Moyenne générale par secteur candidat écrit	10,94	10,85	11,03	10,93
Moyenne pour l'écrit « A »	10,39	9,91	10,54	10,21
Moyenne pour l'écrit « B »	11,85	12,71	11,56	12,17
Moyenne pour l'écrit « C »	10,59	9,95	10,59	10,4
Moyenne TP Option	10	10	10	10
Moyenne TP contre option	9,53	8,78	9,45	9,15
Moyenne Oral Option	6,8	7,4	6,44	6,98
Moyenne Oral contre option	7,55	8,1	6,49	7,5

### 3. Programme du concours

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

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

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

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

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

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

# 4. Épreuves écrites

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

## 4.1 Épreuve écrite du secteur A :

### 4.1.1 Le sujet proposé

**Après avoir rappelé les différentes fonctions du membre chiridien, vous traiterez sa formation et son fonctionnement en vous attachant plus particulièrement aux aspects cellulaires et moléculaires et en vous appuyant sur la démarche expérimentale.**

### 4.1.2 Commentaires généraux sur l'épreuve

#### **Rappels sur les attendus du secteur A**

Il est utile de rappeler que le secteur A a pour thématique la biologie cellulaire et moléculaire. Il était donc attendu la présentation de mécanismes moléculaires et mécanistiques précis. Pour prendre l'exemple du potentiel d'action, une simple description des différentes phases du potentiel d'action sans expliciter les variations des perméabilités ioniques qui les sous-tendent est insuffisante.

Les sciences de la vie sont des sciences expérimentales. L'énoncé du sujet appelait le candidat à s'appuyer sur une démarche expérimentale complète. Celle-ci répond à une question scientifique qui doit être clairement énoncée. La démarche expérimentale doit comprendre une hypothèse, une présentation succincte du protocole, des résultats expérimentaux et leur analyse ainsi qu'une conclusion. Pour la présentation des résultats sous la forme de figures, il convient de rappeler qu'il est nécessaire de porter une attention particulière aux titres, aux légendes et aux axes (notamment les unités). Il est à noter que peu de candidats ont été en mesure d'appliquer cette démarche expérimentale dans leur copie. Par ailleurs, il faut rappeler qu'il n'était pas pertinent ou trop chronophage de présenter une démarche expérimentale pour toutes les notions du sujet, et il était attendu du candidat de faire des choix afin de présenter des démarches expérimentales pertinentes en lien avec le sujet.

#### **Points relatifs au sujet**

##### Introduction

L'introduction doit permettre au candidat de contextualiser le sujet et d'en analyser les termes pour aboutir à une problématique logique, sous la forme de questionnement, ou non, et d'explicitier le fil directeur de la composition en lien avec la problématique énoncée. Il faut éviter les accroches « passe-partout » dans les introductions. L'amorce d'une introduction doit être l'occasion de montrer l'intérêt du sujet.

Il était attendu que les candidats définissent le membre chiridien, principal terme du sujet. De nombreux candidats ne semblent pas en mesure d'en donner une définition correcte. Dans de nombreuses copies, la structure des trois éléments de base du membre chiridien était présentée globalement de manière erronée. Par ailleurs, il est surprenant de constater que des candidats n'ont pas connaissance que les membres chiridiens sont des éléments anatomiques caractéristiques des tétrapodes : cette méconnaissance les a amenés à produire des copies hors-sujet en décrivant leur formation et leur fonction chez d'autres organismes tels que les arthropodes. Enfin, les fonctions du membre chiridien ont été dans un grand nombre de copies résumées à la fonction de motricité sans mention des fonctions de préhension, contrôle de la posture, toucher et nociception.

La problématique ne doit pas être une simple transformation du sujet en question mais doit être construite à partir de l'analyse du sujet tout en précisant ses limites. Enfin l'annonce du plan permet de



montrer la démarche qui sera suivie par le candidat pour répondre au sujet et résoudre la problématique énoncée.

### Morphologie du membre chiridien

La morphologie de ce membre selon l'axe proximo-distal a été décrite dans la majorité des copies mais de façon incomplète ou erronée. Très peu de candidats ont mentionné les autres axes de ce membre et les structures retrouvées sur ces axes (différents doigts/orteils selon l'axe antéro-postérieur, paume/dos de la main selon l'axe dorso-ventral). La comparaison du membre antérieur et postérieur était également attendue. Une grande majorité des candidats ont longuement décrit la morphologie du membre chiridien dans le règne animal dans un contexte de secteur B et non A.

### Développement précoce embryonnaire et son contrôle

Cet aspect n'a été que très peu abordé dans les copies, ce qui est regrettable puisque ceci constituait une notion importante du sujet. Les candidats auraient dû présenter les centres organisateurs et leurs rôles dans la croissance des membres selon les 3 axes ainsi que les différentes protéines impliquées dans le contrôle de leur croissance. Lorsque cet aspect était décrit, le jury a constaté que les schémas produits étaient très incomplets et la notion de *crosstalk* entre ces différents centres organisateurs, essentielle pour assurer une croissance coordonnée du membre chiridien, n'a été mentionnée que dans de rares copies. Certains candidats ont présenté le rôle des gènes Hox dans le positionnement du membre selon l'axe antéro-postérieur de l'animal mais très peu lors de la croissance des membres. Il était également attendu des candidats qu'ils mentionnent les mécanismes moléculaires à la base de la distinction des membres antérieurs et postérieurs lors de leur formation. En effet, malgré la conservation des 3 éléments de base du membre, ces membres antérieurs et postérieurs sont différents. La notion de morphogène et la description de son mode d'action lors de la croissance du membre selon l'axe antéro-postérieur étaient également attendus. Le développement des membres lors de la vie post-embryonnaire était également attendu, avec notamment le cas des amphibiens lors de la métamorphose ou régénération.

### Différenciation et croissance cellulaire

De nombreuses copies ont présenté la différenciation des cellules musculaires mais les aspects moléculaires et mécanistiques régulant cette différenciation étaient absents de la majorité de ces copies. Ainsi il était attendu de décrire l'implication des facteurs MRF, tels que MyoD, lors de cette différenciation. Par ailleurs, bien que la notion de croissance des os ait été mentionnée dans une majorité des copies, peu de ces candidats ont décrit la différenciation osseuse.

### Anatomie et origine embryonnaire des cellules

En ce qui concerne la description anatomique d'un muscle strié squelettique, le jury a constaté que les schémas produits par les candidats comportaient souvent de nombreuses approximations et erreurs, tant sur le plan macroscopique que sur le plan moléculaire. En particulier, les os, les tendons, les nerfs et les vaisseaux étaient rarement mentionnés sur les schémas. Par ailleurs, une confusion entre les myocytes et les myofibrilles a été constatée. La majorité des candidats a présenté la structure d'une myofibrille sous une forme schématique et erronée : par exemple, une strie Z directement connectée à des myofilaments fins, ou des myofilaments fins composés de têtes globulaires.

### Réflexe myotatique

De nombreuses copies ont présenté le réflexe myotatique sous forme schématique, et cette description pouvait comporter de grandes imprécisions, telles qu'une absence de mention de la relaxation du muscle antagoniste. De même, certains candidats n'ont pas fait figurer sur leur schéma les interneurons inhibiteurs responsables de cette relaxation. Par ailleurs, il est important de mentionner que peu de candidats ont présenté les récepteurs du fuseau neuromusculaire qui sont constitués des terminaisons périphériques des fibres nerveuses afférentes entourées par des fibres intrafusales. Ces derniers jouent pourtant un rôle crucial en initiant le réflexe myotatique. De même, les organes tendineux de Golgi qui

sont situés dans les tendons et qui sont impliqués dans le réflexe myotatique inverse n'ont été que peu abordés par les candidats. En outre, dans le cadre de ces récepteurs sensoriels, il était attendu des candidats qu'ils développent des notions telles que le potentiel de récepteur, le champ de récepteur et le codage de l'information sensorielle en potentiels d'action. Il est regrettable que celles-ci n'aient été que développées dans de rares copies.

#### Voie efférente motrice et jonction neuro-musculaire

Une grande majorité des candidats a présenté les différentes étapes conduisant à la libération d'un neurotransmetteur dans la fente synaptique (telles que l'arrivée du potentiel d'action déclenchant l'ouverture de canaux calciques dépendants du voltage et l'augmentation consécutive de la concentration intracellulaire en calcium qui provoque l'exocytose des vésicules contenant le neurotransmetteur), et le potentiel de plaque. Il faut cependant noter que lorsqu'ils ont abordé le potentiel d'action, les candidats l'ont bien souvent décrit de façon très superficielle, sans développer les mécanismes moléculaires sous-jacents des différentes phases et qui font intervenir les variations d'activité des canaux ioniques sodium et potassium voltage-dépendants de la membrane plasmique des neurones. Il faut également noter que le nom du neurotransmetteur (acétylcholine) n'a été que très rarement cité. Par ailleurs, il aurait été intéressant de présenter le rôle du cytosquelette et des moteurs moléculaires dans le transport des vésicules d'acétylcholine vers la terminaison synaptique, et celui des v- et des t-SNAREs dans l'exocytose de celles-ci.

#### Couplage excitation – contraction musculaire

Certaines notions telles que la libération du calcium dans le sarcoplasme depuis les citernes du réticulum sarcoplasmique par le potentiel d'action musculaire, et le cycle de contraction actine-myosine ont été fréquemment abordées mais de manière parcellaire. En effet la description du rôle du récepteur aux dihydropyridines de la membrane des tubules T dans la stimulation du récepteur à la ryanodine de la membrane du réticulum sarcoplasmique a été peu développée, de même que la description du rôle du calcium dans l'interaction actine – myosine (liaison à la Troponine C puis changement de conformation de la tropomyosine permettant le démasquage des sites de fixation des têtes de myosine sur les molécules d'actine). Il faut par ailleurs noter que le jury a très souvent constaté des erreurs dans le cycle actine-myosine (telles que des oublis d'étapes, une liaison actine-myosine possible en présence d'ATP sur les têtes de myosine, une possible fixation d'ATP sur l'actine).

#### Relaxation musculaire

Cet aspect n'a été que très peu abordé dans les copies. Les candidats auraient dû présenter les mécanismes provoquant l'interruption de la réponse de la fibre musculaire : rôle de l'acétylcholine estérase dans la dégradation du neurotransmetteur, et de la calcium-ATPase (SERCA) de la membrane du réticulum sarcoplasmique et de l'échangeur  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  de la membrane plasmique dans la diminution de la concentration en calcium du sarcoplasme.

#### Métabolisme du muscle squelettique

Il était attendu des candidats qu'ils développent les différentes voies métaboliques permettant la synthèse d'ATP nécessaire à la contraction musculaire. Lorsque cette partie a été traitée, la phosphorylation oxydative et la glycolyse anaérobie ont particulièrement été peu développées. Peu de copies ont présenté la synthèse d'ATP à partir de la créatine phosphate. Les différentes fibres musculaires et leur métabolisme n'étaient que rarement présentés.

#### Aspects physiopathologiques

Les atteintes développementales telles que la polydactylie ou la syndactylie ont été abordées. Cependant, d'autres facteurs pouvant les provoquer ont été globalement omis : agents tératogènes, mutations des gènes Hox. Les aspects thérapeutiques ont été très peu développés. Bien que ne figurant pas au

programme de la session 2024, la myopathie de Duchenne a été présentée dans plusieurs copies, et a donc été valorisée.

4.1.3 Grille de notation

Il s’agit d’une version modifiée de la grille utilisée pour la notation. Elle ne constitue en aucun cas un plan type ou un corrigé, mais elle propose les notions attendues et des développements et exemples qui pouvaient expliciter ces notions.

Introduction	# analyse du sujet qui débouche sur des fils directeurs ancrés dans un sens biologique ou géologique # contexte # analyse des termes du sujet # problématique		
	annonce du plan = axe directeur en lien avec la problématique		
Développement	Sous-parties	Contenu et items possibles	
Présentation anatomiquement parlant. Fonctions du membre chiridien	Morphologie du membre chiridien	Axes et régionalisation Axe proximo distal (stylopode, zeugopode, autopode) Axe antéro-postérieur (pouce/gros orteil, auriculaire) Axe dorso-ventral (dos, paume de la main) Comparaison membre antérieur et postérieur	
	Anatomie et origine embryonnaire des cellules	Origine embryonnaire des structures osseuses, nerfs, tendons, articulations et vascularisation	
		Description des structures osseuses, nerfs, tendons, articulations et vascularisation muscles (faisceau et fibre musculaire)	
	Aspects évolutifs	Conservation de l'organisation (aile, pattes antérieures et postérieures, palette natatoire)	
	Fonctions	Motricité, préhension, contrôle de la posture, toucher, nociception	
Formation du membre chiridien	Développement précoce embryonnaire et son contrôle	Formation du bourgeon avec positionnement sur l'axe antéro-postérieur de l'animal (gènes Hox)	
		Description des centres organisateurs et croissance selon les 3 axes Crête apicale ectodermique (axe proximo-distal : FGF8) Zone de progression (axe proximo-distal : FGF10) Zone d'activité polarisante (axe antéro-postérieur : Sonic hedgehog (SHH)) Ectoderme dorsal (axe dorso-ventral : WNT7A)	
		Crosstalk	
		Notion de morphogène	
		Gènes homéotiques Hox et croissance le long des axes proximo-distal et antéro-postérieur du membre	
		Formation des doigts par apoptose	
		Distinction des membres antérieurs et postérieurs (gènes TBX4 et TBX5)	
		Différenciation et croissance	Cellules souches et différenciation des cellules musculaires
			Différenciation des cellules osseuses et croissance des os
	Innervation et vaisseaux		
	Contrôle hormonal (hormone de croissance)		
	Métamorphose	Cas des amphibiens	
	Régénération	Amphibiens	
	Fonctionnement : contraction des muscles	Réflexe myotatique	Description de l'arc réflexe
		Récepteurs sensoriels Synapse neurone-neurone Codage du potentiel d'action	

	Voie efférente motrice et jonction neuro-musculaire (ou plaque motrice)	Motoneurone (axone myélinisé) avec description schématique de la jonction neuro-musculaire Potentiel d'action pré synaptique Libération du neurotransmetteur (Ach) dans la fente synaptique (calcium, SNARES, cytosquelette) Liaison de l'Ach aux récepteurs-canaux de la fibre musculaire et activation du récepteur- canal (PPM)
	Couplage excitation - contraction musculaire	Potentiel d'action le long des tubules T Libération du calcium du réticulum sarcoplasmique Démasquage des sites de fixation de la myosine sur l'actine (tropomyosine, troponine C) Cycle actine-myosine (pont, relargage ADP=basculer, ATP=rupture du pont)
	Relaxation musculaire	Diminution de la concentration du calcium et dégradation de l'Ach
	Métabolisme du muscle squelettique	Métabolisme de l'ATP
		Métabolisme des différentes fibres
<b>Aspects pathophysiologiques</b>	Atteintes développementales	Agents tératogènes (talidomide, pesticides) Mutations des gènes Hox Polydactylie Syndactylie
	Maladies dégénératives	
	Thérapie	Prothèses, greffe des membres, thérapie cellulaire
<b>Qualité des démonstrations et de l'argumentation</b>		
<b>Qualité du plan et de l'organisation de la copie</b>	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	
<b>Illustrations</b>	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	
<b>Orthographe/syntaxe</b>		
<b>Clarté/concision/soin</b>		
<b>Conclusion</b>	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	
<b>Bonus</b>	Items développés pertinents non attendus dans le barème	

## 4.2. Épreuve écrite du secteur B

### 4.2.1 Le sujet proposé

#### **DISTRIBUTION DES POPULATIONS DANS LA BIOSPHERE**

*Cette distribution sera envisagée à différentes échelles écologiques, spatiales et temporelles.*

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

Le sujet s'inscrivait dans la rubrique 5 du programme du concours « Biodiversité, écologie, éthologie, évolution » et invitait, explicitement par son sous-titre, à considérer différentes échelles pour (i) donner les outils et méthodes permettant d'établir la distribution des populations à l'aide d'exemples d'organismes actuels ou passés, (ii) bâtir les grandes caractéristiques de cette distribution et révéler son dynamisme, (iii) établir les facteurs expliquant cette distribution et son évolution spatiale et temporelle, sans oublier (iv) d'ancrer cette construction dans le cadre des grandes théories actuelles de l'écologie évolutive.

Construit avec des termes de base des sciences de la vie (distribution, population écologique, biosphère), le sujet ne posait aucun problème de compréhension. La problématique scientifique soulevée se justifiait par sa place centrale à la fois dans les préoccupations sociétales actuelles (comprendre la répartition des espèces pour mieux enrayer le déclin des populations) et dans les programmes du secondaire, qu'il s'agisse du collège ou du lycée.

Les attentes du jury portaient sur plusieurs aspects :

1. **Maîtrise des concepts fondamentaux de l'écologie scientifique** : Les candidats devaient démontrer une compréhension approfondie des concepts de population (et métapopulation), d'espèce, de distribution (spatiale et temporelle), de niche écologique, de facteurs écologiques (abiotiques et biotiques), et des relations (intra- et inter) spécifiques à mobiliser pour décrire, analyser, comprendre et modéliser la répartition des populations et son évolution.
2. **Capacité à articuler plusieurs échelles spatiales et temporelles** : Ce sujet, vaste, appelait à mobiliser de façon séquentielle, et donc artificielle, des processus écologiques agissant simultanément et s'influençant continuellement. Il était attendu des candidats qu'ils discutent des dynamiques de populations à des échelles locales (ex : micro-habitats) jusqu'aux échelles globales (biomes), ainsi que de l'influence de la spéciation ou l'extinction sur ces dynamiques.
3. **Utilisation d'exemples concrets et diversifiés** : La capacité à illustrer la théorie par des exemples précis (avec nom des espèces impliquées, leur localisation géographique et période géologique d'existence le cas échéant) et issus de différents écosystèmes (terrestres et aquatiques) a été particulièrement valorisée.

Les effets des actions de l'espèce humaine sur la répartition des populations devaient nécessairement être abordés. Les intégrer dans la présentation ou l'analyse des processus biologiques, écologiques et évolutifs impliqués dans la répartition des organismes permettait de montrer une réelle maîtrise de ces concepts.

4. **Mobilisation des modèles** : L'explicitation d'un petit nombre de modèles (en particulier : modèles de dynamique des populations, biogéographie insulaire de Mc Arthur et Wilson) étaient attendus, en prenant bien soin de les relier aux paramètres biologiques ou écologiques dont ils entendent rendre compte et de présenter leurs limites.
5. **Capacité de problématisation et de synthèse** : Le sujet offrait une opportunité aux candidats de démontrer des capacités de synthèse sur un champ disciplinaire large. Une problématisation claire du sujet et une organisation rigoureuse de l'argumentation étaient essentielles pour structurer la réflexion, avec une attention particulière portée aux transitions entre les différentes parties.

Quelques copies ont traité le sujet avec de réelles qualités et obtenu de très bonnes notes. Celles-ci se démarquent par leur capacité à circonscrire le sujet, à s'appuyer sur des exemples et expériences précis pour établir avec rigueur les notions et théories de l'écologie scientifique sous-tendues par ce sujet.

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 de jury.

Principales erreurs et insuffisances identifiées - commentaires associés :

- Délimitation du sujet, organisation des idées et construction du plan :

Nous l'avons dit, une attention particulière avait été portée à expliciter les attentes du sujet en le complétant d'un sous-titre, visant à aider les candidats à construire leur questionnement, à clarifier le cadre de l'étude et à n'oublier aucune échelle d'étude pour traiter le sujet. Le jury est resté perplexe face aux copies construites selon un plan suivant ce sous-titre (quel sens donner à une considération successive des échelles écologiques, spatiales et temporelles ?). Il s'agit sans doute de mettre à nouveau en garde les candidats contre l'application de règles universelles pour la construction des copies : les sous-titres constituent parfois, mais sûrement pas toujours (et notamment dans le cas du sujet dont il est question ici), une proposition de plan à suivre (sans interdire des plans alternatifs bien sûr).

Dans la copie, il est vivement encouragé d'explicitement le plan. D'un côté, le plan apparent permet de jouer le rôle de « garde-fou » pour le candidat durant l'épreuve (les idées développées dans le corps d'un paragraphe devant correspondre à son titre et non à une récitation de cours ou de chapitres d'ouvrages plus ou moins en lien avec le sujet) et, de l'autre, il permet aux correcteurs de mieux suivre le cheminement du candidat et d'apprécier la capacité de celui-ci à construire une notion ou un modèle. En revanche, il est regrettable que quelques candidats continuent, malgré les recommandations récurrentes formulées explicitement dans les rapports de jury, de recopier leur plan sur une feuille à part ou en préambule. C'est inutile et chronophage. Par ailleurs, les paragraphes introductifs intitulés « notion de » ("notion de niche écologique", "notion de facteur écologique", etc.) ou "généralités sur la spéciation" sont à proscrire absolument.

Les termes du sujet ont posé un problème à bon nombre de candidats. Biosphère est confondue avec « écosystème » et plus de la moitié des copies réduit une population à un "ensemble d'individus d'une même espèce" et peine ensuite à démêler les échelles de l'individu, de la population, de l'espèce. Les concepts de « métapopulation » et « communauté écologique » pouvaient avantageusement être établis plus tard, dans le corps de la copie, mais malheureusement, beaucoup de candidats n'ont pas intégré ces échelles dans leur analyse du sujet. Cette lacune importante s'est nécessairement accompagnée, chez les candidats concernés, d'une impossibilité à aborder l'ensemble du sujet. Au contraire, l'échelle individuelle (répartition des individus au sein des populations) a occupé une place démesurée dans un petit nombre de copies.

Prérequis à toute étude visant à caractériser la distribution d'une population, les outils et méthodes permettant l'identification taxonomique puis l'établissement de stratégies d'échantillonnage adaptées n'ont été que très peu traités. Le rôle de l'observateur (définition et choix) n'a été que très rarement abordé. Un petit nombre de copies a néanmoins permis de dégager de façon très pertinente l'importance de cette partie du sujet, à l'aide d'exemples précis et ont été naturellement valorisées. Rappelons alors que l'écologie scientifique, structurée comme telle depuis près de 150 ans, repose sur des protocoles rigoureux dont il s'agissait de présenter ici les enjeux dans le cadre de la problématique posée.

Par ailleurs, se contenter de citer une notion ne peut pas constituer une fin en soi : dans de trop nombreuses copies, la spéciation est abordée, ses différents types sont illustrés (malheureusement de façon essentiellement théorique) mais sans indiquer les mécanismes biologiques et écologiques conduisant à l'isolement reproducteur des populations, empêchant ainsi les candidats de fournir une démonstration de la pertinence de ce concept dans leur composition.

S'agissant des hors-sujet, rappelons qu'ils ne sont pas sanctionnés en tant que tels par la grille d'évaluation mais qu'ils représentent une perte de temps pour le candidat.

- Rigueur des définitions et importance des exemples :

Certaines notions de base de l'écologie ne sont clairement pas maîtrisées par bon nombre de candidats. Beaucoup trop souvent encore, la notion de niche écologique d'une espèce -un des attendus importants du sujet (voir grille) - est confondue avec un optimum écologique ou, plus souvent encore, avec son habitat. Par ailleurs, si les termes de "niches fondamentales" et "niches réalisées" sont souvent cités, l'explicitation des différences qu'ils sous-tendent est très souvent approximative et théorique et n'est jamais reliée à des exemples concrets dont les processus écologiques seraient analysés. Pourtant l'application de ces notions dans la gestion anthropique de populations d'intérêt était, par exemple, attendue. Construire la notion de niche permettait par la suite d'établir la « théorie de la niche écologique », de poser ses applications (ex : colonisation assistée) et ses limites (ex : absence de prise en compte des capacités de dispersion).

Un exemple précis de succession écologique était attendu (ex : série du chêne vert). L'échelle écologique à mobiliser alors étant celle de la communauté il était impératif d'illustrer cette notion en mentionnant

des assemblages d'espèces partageant des caractéristiques communes (ex : essences forestières pionnières héliophiles (bouleau, pin, etc.), post-pionnières et dryades sciaphiles (chêne, hêtre, etc.)). À ce sujet, notons que la compréhension des mécanismes des successions écologiques est parfois très lacunaire.

Ce sujet se prêtait volontiers à de nombreux exemples, issus :

- De l'histoire des sciences : par exemple, dans le cadre de l'influence de la compétition sur la distribution, expériences historiques de laboratoire de Gause, ou sur « le terrain » de Connell ;
- De différentes disciplines de l'écologie - dynamique et génétique des populations, biologie de la conservation, agronomie, etc.- en envisageant des organismes macro- ou microscopiques, terrestres ou aquatiques, actuels ou fossiles.

Rappelons, néanmoins, que la multiplication d'exemples ne peut remplacer la formulation explicite d'un concept bâti sur une généralisation.

S'agissant de la précision des exemples, le manque de culture naturaliste présenté par bon nombre de copies est loin du niveau master attendu (« une espèce d'oiseau migre en Afrique à la fin de l'été » ou « un champignon en symbiose avec le chêne »).

- Apport des modèles :

Un certain nombre de modèles faisaient partie des attendus de ce sujet et de nombreuses copies ont pris le soin de les expliciter. Cependant, les modèles de dynamique des populations (croissance exponentielle et logistique par exemple) ont souvent été abordés de manière très détaillée mais en attachant généralement plus d'importance au paramétrage du modèle qu'à l'explicitation des processus biologiques fondamentaux sous-jacents.

L'explicitation du modèle de la biogéographie insulaire de MacArthur & Wilson était attendue mais n'a été traitée que dans un petit nombre de copies. La dimension prédictive de cette théorie n'a que très rarement été évoquée.

- Place des illustrations :

Les illustrations font partie des attendus incontournables. Cependant, une illustration n'est pas une décoration de la copie : elle doit aider à la compréhension, ou compléter avantageusement le texte qui y fait référence. Tout schéma doit être soigné et doit se suffire à lui-même : pour ce faire, il est systématiquement accompagné d'un titre et d'une légende explicites.

Beaucoup de candidats choisissent de clore leur devoir par des schémas bilans. Ce choix peut s'avérer payant, dès lors que le schéma révèle une synthèse des idées développées dans la copie dans l'objectif de répondre à la problématique initiale. Mais encore une fois, gardons-nous de retenir des recettes « miracles » : sauf explicitation contraire, un schéma-bilan n'est pas obligatoire. Le recours à une carte mentale peut être utile au candidat, dans la phase préparatoire de « brainstorming », sur son brouillon, pour s'assurer de n'oublier aucune notion, concept ou théorie associés au sujet, mais n'est pas pertinent dans une copie : des mots-clés reliés par des flèches de significations diverses, sans explication ne peut pas valoriser la synthèse des propos construits au cours du devoir.

- Transitions, synthèse finale et ouverture

L'ultra majorité des transitions, quand elles existent se résument à « après avoir vu telle idée, nous allons voir l'idée suivante », empêchant d'explicitier au jury le lien logique entre les parties.

La conclusion est trop souvent bâclée et rares sont les copies dans lesquelles cette partie clef permet de reprendre de façon synthétique les idées principales du développement. Très peu de copies proposent une ouverture du sujet vers un prolongement pertinent, alors que beaucoup se contentent de clore leur copie par une tentative de changement d'échelle sans intérêt, à l'image de « après avoir considérée l'échelle des populations, on pourrait s'intéresser aux communautés écologiques ». N'oublions pas que l'ouverture est la dernière impression laissée au jury par le candidat.

Quelques erreurs conceptuelles graves et souvent récurrentes

- Jugement de valeur :

Dans les phénomènes biologiques ou écologiques décrits, il ne peut pas être question de « bien » ou de « mal », de « meilleur » ou « moins bon ». En leur qualité de scientifiques, les candidats à l'agrégation de SV STU doivent se garder de tout jugement de valeur ou vision manichéenne du vivant. Il s'agira de proscrire toute idée selon laquelle la nature serait « bien faite », la symbiose serait une relation « harmonieuse entre populations », les individus agiraient pour « le maintien des espèces » ou encore les espèces interagiraient pour « maintenir le bon fonctionnement/équilibre du milieu ». Dans le même registre, les successions écologiques progressives sont présentées comme positives pour le « bon équilibre de l'écosystème », tandis que les perturbations, comme l'établissement d'une espèce invasive,

sont connotées négativement. Ces commentaires ne relèvent nullement d'un raisonnement scientifique et n'ont donc pas ici leur place !

- Finalisme :

Le finalisme est un raisonnement dans lequel les phénomènes tendent vers une finalité ou un but. Orthogonal au raisonnement scientifique en sciences du vivant, il est à proscrire absolument dans une copie traitant d'un sujet d'écologie.

Quand on écrit « le système respiratoire des animaux aériens est internalisé pour éviter les pertes en eau » ou « les populations de l'algue se répartissent dans le milieu de sorte à maximiser leurs chances de survie. », l'adaptation à l'environnement ou la dispersion sont présentées comme intentionnelles, alors qu'il s'agit, pour l'une comme l'autre, de résultats de mécanismes écologiques et évolutifs. Par ailleurs, les expressions « survie » ou « pérennité des espèces » sont encore trop souvent retrouvées. Dès lors qu'il doit être clair pour les candidats que les populations évoluent au cours du temps, il est évident que les expressions "pérennité/survie de l'espèce" renvoient nécessairement à une vision fixiste orthogonale à ce qui est exigible des candidats quant à leur compréhension des mécanismes de la dynamique du vivant puisque les espèces évoluent. Comme chaque année, le jury engage fortement les candidats à lutter contre ces formulations finalistes délétères.

- Quand le « bon sens » remplace la science :

L'écologie scientifique ne relève pas du « bon sens » ou de constats faussement triviaux. On n'établit pas la distribution d'une espèce ni sa niche écologique ou encore ses relations interspécifiques à la faveur d'une simple promenade sur un estran rocheux ou dans une forêt, mais à l'aide d'un ensemble d'observations et d'expériences déroulées au sein de protocoles rigoureux et répétables. L'approche méthodologique de l'écologie scientifique est fondamentale et devait être mise en lumière à la faveur de ce sujet.

#### 4.2.3 Grille de notation

Une version modifiée de la grille d'items utilisés pour la notation des copies est présentée. Elle ne constitue en aucun cas un plan type ou un corrigé, mais elle propose les notions pouvant être abordées avec quelques commentaires précisant des attendus et des remarques du jury sur le contenu des copies corrigées et des pistes concernant l'organisation ou les transitions possibles d'une copie.



<p>Agrégation externe Épreuve du secteur B</p>	<p>Sujet : LA DISTRIBUTION DES POPULATIONS DANS LA BIOSPHERE <i>Cette distribution sera envisagée à différentes échelles écologiques, spatiales et temporelles.</i></p>	<p>Compléments sur les attendus</p>	<p>Commentaires</p>
<p>Introduction</p>	<p>Analyse du sujet (dont les termes) qui débouche sur un/des fils directeurs ancrés dans un sens biologique Annonce du plan = axe directeur en lien avec la problématique</p>	<p>Idées d'introduction : constat d'une importante biodiversité qui peut être appréhendée à différentes échelles (intraspécifique, spécifique, écosystémique). Mais dans lesquelles le concept d'espèce est central. Plusieurs définitions sont possibles mais elles sont, pour la plupart, non opérationnelles en écologie de terrain (exemple de la définition biologique : ensemble d'individus qui peuvent effectivement ou potentiellement se reproduire entre eux et engendrer une descendance viable et féconde, dans des conditions naturelles) où ce qui accessible à l'observateur correspond à différents individus d'une population (ensemble d'individus de la même espèce qui coexistent dans le même espace et la même période). L'assemblage de populations forme des communautés (ensemble de populations d'espèces différentes qui vivent dans une aire donnée, à un moment donné, et qui interagissent) dont l'ensemble constitue une biocénose (l'ensemble des populations d'espèces différentes occupant, à un moment donné une zone géographique donnée présentant des conditions physicochimiques</p>	<p>Analyse du sujet : Aborder la distribution nécessitait de définir les échelles écologiques se déclinant selon deux axes : un axe population-métapopulation-espèce (axe spécifique) d'une part et un axe population-communauté-écosystème (axe écosystémique) d'autre part. L'identification de ces deux axes permettait d'aborder les échelles spatiales et temporelles pertinentes pour décrire les processus affectant la répartition des populations. Aborder de manière successive et déconnectée les différentes échelles écosystémiques, spatiales et temporelles ne permettait pas d'expliquer ces processus de manière rigoureuse et argumentée. Cette explication devait s'appuyer sur la présentation d'exemple précis et des illustrations (celles considérées comme « incontournables » sont mentionnées dans les cases rose de ce document) Les effets des actions anthropiques sur la répartition des populations (identifiés en bleu dans ce document) devaient être abordés. Les intégrer dans la présentation et/ou l'analyse des processus biologiques, écologiques et évolutifs impliqués dans la répartition des organismes permettait de montrer une réelle maîtrise de ces concepts.</p>

		particulières dont l'ensemble constitue le biotope). Ces populations peuvent être décrites à l'aide de paramètres qualitatifs (répartition géographique par exemple) et quantitatifs (effectifs des populations, composition des biocénoses etc.) caractérisant leur distribution. Comment caractériser la distribution des populations ? Quelles sont les caractéristiques de cette distribution à différentes échelles ? Quels sont les facteurs expliquant la distribution observée ?	La difficulté principale du sujet consistait à structurer les idées de manière à aborder de manière successive des processus qui agissent de manière imbriquée et simultanée.
La distribution des populations peut être caractérisée dans l'espace et dans le temps	La caractérisation de la distribution des populations nécessite l'emploi de méthodes d'identification des espèces en adéquation avec les caractéristiques des espèces étudiées	Les méthodes d'identification des espèces peuvent reposer sur l'observation de - caractères phénotypiques (incluant des caractères du phénotype étendu : chant par exemple) d'unicellulaires ou pluricellulaires (phytoplancton, végétaux, animaux) - et/ou de caractères moléculaires (barcoding : OTU ou ASV) pour distinguer des taxons présentant une faible diversité phénotypique comme les bactéries et les archées ou les espèces cryptiques.  A l'échelle d'une population locale elle est basée sur la définition par l'observateur des limites spatiales, d'une stratégie d'échantillonnage adaptée à l'espèce (collecte, piégeage, écoute, etc.) et à sa distribution temporelle (migration journalière, saisonnière etc.) et la détermination de paramètres démographiques de cette population (effectif, effectif efficace, migrations, sex ratio, pyramide des âges etc.)	La notion d'espèce représentant un concept fondamental dans ce sujet, il était attendu que les différentes méthodes d'assignation des individus à une espèce soient mises en lien avec les définitions d'espèce qu'elles impliquent (définition typologique basée sur le partage de caractères phénotypiques, moléculaire selon un pourcentage d'identité de séquence)
	La caractérisation de la distribution spatiale des populations nécessite un échantillonnage en adéquation avec l'échelle écologique envisagée.		La notion du rôle de l'observateur (définition et choix) n'a été que très rarement abordée. La méthode de capture –marquage- recapture a souvent été présentée de manière pertinente.

		<p>A l'échelle des métapopulations (ensemble de populations locales dont les individus conservent la possibilité de se reproduire entre eux grâce à des connexions entre elles) elle repose sur la caractérisation des populations (paramètres démographiques) et de l'habitat (matrice, parcelles occupées, inoccupées et connectivité des parcelles)</p>	<p>Une illustration permettant d'identifier les trois composantes : la matrice, les taches ou patches qui constituent des habitats potentiels pour les populations et les corridors permettant la dispersion des individus était attendue.</p>
		<p>A l'échelle de l'espèce, un échantillonnage à grande échelle géographique permet d'établir son aire de répartition. Celle-ci peut être cosmopolite ou endémique. Les aires espèces migratrices ont des aires disjointes.</p>	<p>Des exemples précis comportant un nom d'espèce avec une indication géographique de son aire de répartition étaient attendus. Indiquer qu'une espèce d'oiseau migre en Afrique à la fin de l'été » est insuffisant.</p>
		<p>A l'échelle des communautés, elle nécessite la définition de l'objet d'étude par l'observateur, la mise en œuvre d'un effort d'échantillonnage optimisé (courbe richesse spécifique en fonction de la surface ou du volume prospecté permettant de définir la surface/volume minimal ) et l'obtention d'informations synthétiques comme S: la richesse spécifique (nombre d'espèce de la communauté), indice de diversité (Shannon ou Simpson), la diversité stationnelle (<math>\alpha</math>), inter-habitat (<math>\beta</math>) et sectorielle (<math>\gamma</math>)</p>	<p>La distinction entre richesse spécifique et indice de diversité devait être explicitée. On relève un manque de rigueur dans l'emploi de ces deux termes scientifiques La présentation détaillée d'un indice de diversité était attendue.</p>
	<p>Les variations de la distribution à différentes échelles temporelles.</p>	<p>Les échelles de temps pertinentes sont celle de processus : -démographiques (natalité, mortalité, émigration, immigration) -écologiques (colonisation, successions), -évolutifs (plusieurs générations d'individus) -climatiques (épisodes de glaciation ou de réchauffement)</p>	<p>Les échelles temporelles ont généralement été abordées sans faire un lien explicite avec les processus pouvant affecter les populations.</p>

			-géologiques (tectonique : rifting, mégacontinents)	
Transition possible	<p><i>La combinaison de différentes méthodes permet de caractériser la distribution des populations dans l'espace et son utilisation répétée permet d'apprécier les changements temporels affectant cette/ces distributions. Quels sont les principaux résultats obtenus par l'application de ces méthodes ?</i></p>			
La distribution des populations est dynamique dans l'espace et dans le temps			<p>L'effectif d'une population dépend de la natalité et de la mortalité locale et des processus de migration (émigration et immigration (<math>N=n-n+i-e</math>)).</p> <p>Ces processus dépendent :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-de facteurs intrinsèques décrits par les traits d'histoire de vie (âge de la maturité sexuelle, fécondité, sex-ratio de la descendance, longévité, sénescence, taux d'hétérozygotie etc.)</li> <li>-de facteurs extrinsèques comme les interactions avec les autres populations (prédation, compétition, mutualisme) et des événements « catastrophiques » d'origine climatique, géologiques ou anthropique.</li> </ul> <p>La probabilité d'extinction d'une population est d'autant plus élevée que son effectif efficace est faible et qu'elle présente une faible diversité génétique affectant sa fécondité et/ou survie.</p>	<p>Des modèles de dynamique des populations (croissance exponentielle et logistique) ont souvent été abordés de manière très détaillée mais généralement trop formelle <i>i.e.</i> sans précisions sur les processus biologiques fondamentaux impliqués</p> <p>La présentation des stratégies démographiques pouvait permettre de présenter quelques un de ces facteurs en lien avec leurs effets sur la dynamique des populations: lien natalité/traits d'histoire de vie, compétition intra et interspécifique /capacité limite du milieu etc.)</p> <p>Des exemples de surexploitation des ressources par exemple halieutiques et/ou d'uniformisation génétique des populations cultivées/élevées pouvaient être mobilisés pour faire une présentation argumentée de cette notion.</p> <p>La présentation du renforcement, une stratégie de conservation consistant à ajouter des individus (ou une forme de leur cycle de vie : propagule au sens large) dans une population relictuelle pour augmenter ses effectifs, introduire de la diversité génétique, et ainsi accroître la valeur sélective globale trouvait toute sa pertinence dans cette partie</p>
	Une population locale présente une dynamique propre			

La distribution des populations est dynamique dans l'espace et dans le temps	La dynamique des populations locales explique l'évolution spatio-temporelle des métapopulations	<p>L'arrêt des échanges d'individus entre les différentes populations peut conduire à une extinction locale. Ces parcelles d'habitat disponibles peuvent alors être recolonisées si la matrice de l'habitat présente des corridors écologiques pouvant être empruntés par des individus d'une autre population.</p> <p>Différents types de métapopulations sont distingués : à populations équivalentes (dynamiques locales comparables), de type puits-source ou continent-île (vaste population source et populations périphériques de moindre effectif), de type archipel etc.</p>	<p>La notion de recolonisation médiée par des flux d'individus entre populations a trop souvent été oubliée.</p> <p>Le changement d'échelle devait être explicite afin d'argumenter que l'évolution spatio-temporelle des métapopulations résulte de l'équilibre entre les dynamiques des populations locales</p> <p>Dans certaines copies, des représentations schématiques pertinentes ont permis d'illustrer la diversité des métapopulations</p>
La dynamique des métapopulations entraîne des modifications spatio-temporelle de la distribution des espèces		<p>Certaines espèces sont caractérisées au cours du temps par une :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- réduction de leur aire de répartition du fait de la disparition d'habitat favorables ou de la compétition avec des espèces envahissantes.</li> <li>- ou une extension de leur aire de répartition : exemple des espèces allochtones envahissantes.</li> </ul> <p>Disparition d'espèces : espèces fossiles et éteintes (enregistrées respectivement dans les paléontologiques et historiques)</p>	<p>Des exemples précis (Nom d'espèce avec indication de la modification de l'aire de répartition) étaient attendus.</p> <p>La définition d'une espèce envahissante (espèce qui à la suite de son introduction volontaire ou fortuite par l'espèce humaine en dehors de son aire de répartition naturelle (espèce allochtone), connaît un développement explosif souvent au détriment du maintien des espèces originaires présentes) pouvait permettre une présentation argumentée de nombreuses notions attendues dans cette partie.</p> <p>Rq: La réduction importante de l'aire de répartition d'une espèce est un des critères de classement d'une espèce dans la catégorie des espèces menacées</p> <p>De nombreux exemples paléontologiques pouvaient être mobilisés. Pour les espèces éteintes de nombreuses copies ont fait référence célèbre Dodo (<i>Raphus cucullatus</i>) disparu de l'île Maurice dans les années 1680.</p>

La distribution des populations est dynamique dans l'espace et dans le temps	La richesse spécifique des communautés est hétérogène dans l'espace et variable dans le temps	<p>L'hétérogénéité spatiale peut être argumentée par l'observation du gradient latitudinal : la biodiversité d'un grand nombre de groupes taxonomiques est maximale à l'équateur et diminue au fur et à mesure que l'on se rapproche des pôles ou du gradient altitudinal de biodiversité observable pour de nombreux taxa : la biodiversité maximale au niveau de la mer diminue avec l'altitude</p> <p>Certaines aires continentales ou marines de surface/volume réduits concentrent une grande richesse spécifique et, en particulier, d'espèces endémiques : elles sont considérées comme des « oasis de biodiversité »</p> <p>Notion de Hots spots ou point chaud de biodiversité (N. Myers 1988) : un des critères de priorisation des mesures conservatoires</p>	<p>Un exemple précis d'hétérogénéité spatiale liée à un gradient était attendu : (diversité aviaire en fonction de la latitude en Amérique du Nord, diversité des lépidoptères en fonction de l'altitude à la réunion etc.)</p> <p>Un exemple d'oasis de biodiversité en milieu aquatique (ex : récif corallien, herbier à Posidonie etc.) et continental (ex : forêt tropicale) était attendu</p> <p>Une référence explicite à la biologie de la conservation in situ était pertinente dans cette partie du devoir : les oasis de biodiversité localisées dans des sites présentant des risques importants de dégradation liés aux activités anthropiques sont des zones prioritaires où mener des actions de conservation</p>
		<p>La variabilité temporelle peut être argumentée par l'observation suivante : la composition et la structure des communautés changent au cours des successions écologiques (changement directionnel de la structure et de la composition des biocénoses à un endroit donné au cours du temps). Les biocénoses se succèdent et constituent une série dont l'évolution tend vers une biocénose stable, appelée climax, considérée en équilibre dynamique avec les conditions abiotiques du milieu.</p> <p>Les successions sont qualifiées de primaires lorsqu'elles débutent par une phase de colonisation et de secondaires lorsqu'elles reprennent suite à une perturbation de grande ampleur. Les successions primaires et secondaires peuvent présenter des différences.</p>	<p>Un exemple précis de succession écologique était attendu (ex : série du chêne vert).</p> <p>L'échelle écologique étant celle de la communauté il était impératif d'illustrer cette notion en mentionnant des assemblages d'espèces partageant des caractéristiques communes : ex des essences forestières pionnières héliophiles (bouleau, pin etc.), post-pionnières et dryades sciaphiles (chêne, hêtre etc.) qui forment les communautés climaciques</p> <p>Cette notion pouvait être illustrée en représentant l'évolution de la richesse spécifique de communautés (forestières, mycorhizienne, etc.) en fonction des stades d'une succession</p>

		La richesse spécifique est maximale lors des stades intermédiaires des successions. Certaines activités anthropiques constituent des perturbations qui affectent les successions écologiques. Certaines pratiques culturales maintiennent les successions écologiques à un stade intermédiaire et peuvent conduire, suite à leur arrêt, à des stades climaciques dont la composition s'écarte de celle du stade climacique des successions primaires	Un champ cultivé ou une prairie pâturée pouvait être utilisé comme exemple de stade intermédiaire de succession écologique
Transition possible	<i>La dynamique des populations peut s'apprécier à différentes échelles spatiales et temporelles. Quels sont les principaux mécanismes impliqués dans la genèse et l'entretien de cette dynamique ?</i>		
La distribution des êtres vivants résulte de l'action de différents processus qui agissent à différentes échelles spatiales et temporelles	La distribution des populations résulte d'une adéquation entre exigences écologiques des individus et facteurs du milieu ( <i>Echelle d'une population</i> )	<p>Mise en évidence de l'adéquation entre exigences écologiques et facteurs du milieu.</p> <p>Notion de facteur écologique et définition de la valence écologique (<i>amplitude des variations d'un facteur écologique permettant le maintien d'une population</i>).</p> <p>Définition d'organismes eury- ou sténo-èces en les illustrant avec des exemples précis en fonction du facteur écologique choisi</p> <p>L'habitat d'une population pouvait alors être défini comme <i>une portion délimitée de la biosphère caractérisée par une ensemble de facteurs écologiques biotiques et abiotiques permettant le maintien de cette population</i>.</p> <p>Les facteurs dits limitants sont ceux qui sont situés le plus loin de la valeur optimale pour la population étudiée, et qui limitent la croissance, le développement ou le maintien de cette population (Loi du minimum ou loi du facteur limitant Liebig 1950)</p>	<p>Au moins UN exemple précis impliquant des facteurs biotiques ou abiotiques était attendu.</p> <p>Des présentations pertinentes de la zonation altitudinale de la végétation en lien avec les effets physiologiques d'une baisse de température, des limites supérieures des zones intertidale en lien avec les effets physiologiques de l'émersion prolongé, etc. ont été proposées dans les copies.</p> <p>La notion de valence écologique pouvait être définie et illustrée avec des exemples précis et pertinents d'espèces euryèces et sténoèces.</p> <p>Toutefois, la multiplication d'exemples ne peut remplacer la formulation explicite d'un concept bâti sur une généralisation. Certaines copies comportaient des illustrations pertinentes de la loi de tolérance de Shelford)</p> <p>L'image, utilisée par Liebig, du tonneau avec des douelles de taille différente a été réinvestie à bon escient dans plusieurs copies.</p>



		Application dans la gestion anthropique de populations d'intérêt	Un exemple concret d'application agronomique sous forme d'apports d'engrais trouvait toute sa pertinence ici
		<p>La prise en compte des gammes de tolérances pour n facteurs (biotiques et abiotiques) régissant la répartition d'une population, a conduit G.E. Hutchison a construire le concept de niche écologique.</p> <p>La niche écologique est un attribut de l'espèce qui lui est propre et la caractérise (une espèce peut ainsi être définie par la niche écologique qu'elle occupe). C'est une abstraction à distinguer de l'habitat de l'espèce qui est une portion délimitée de la biosphère.</p>	<p>La niche écologique est ainsi décrite dans un hyperspace à n dimension (espaces des variables environnementales biotiques et abiotiques) dont certaines valeurs représentent les limites de viabilité de l'espèce. Toute schématisation tentant de représenter cet espace multidimensionnel a été valorisée.</p> <p>Dans de trop nombreuses copies la distinction entre niche et habitat n'est pas maîtrisée.</p>
La distribution des êtres vivants résulte de l'action de différents processus qui agissent à différentes échelles spatiales et temporelles	La distribution des populations résulte d'une adéquation entre exigences écologiques des individus et facteurs du milieu ( <i>Echelle d'une population</i> )	<p>Le concept de niche réalisée se construit en prenant en compte les relations interspécifiques.</p> <p>Elle peut être :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-plus étendue que la niche fondamentale lorsque que les relations interspécifiques ont des effets positifs sur la population étudiée : Les relations mutualistes élargissent la niche écologique d'une population donnée en permettant son installation, son développement ou sa reproduction impossibles en l'absence du ou des partenaires de ou de l'autre(s) espèce(s).</li> <li>-plus étroite que la niche fondamentale lorsque que les relations interspécifiques ont des effets négatifs sur la population étudiée.</li> </ul> <p>Les relations de prédation ou parasitisme illustrent des relations de dépendance à une ressource (monophagie et oïxénie)</p> <p>Les relations compétitives illustrent le resserrement et glissement de niche par</p>	<p>La notion de niche écologique réalisée a généralement été abordée. Nombreux sont les candidats qui ont perdu du temps à définir de manière théorique la diversité des relations interspécifiques en oubliant de les recontextualiser dans le sujet. UN exemple pertinent de relation mutualiste (hôte/pollinisateur par exemple) et UN exemple pertinent de relation antagoniste (prédation ou compétition) étaient suffisants pour argumenter le propos avant d'en tirer une généralisation.</p> <p>Dans de nombreuses copies les expériences d'élimination et transplantations d'individus de populations occupant différents étages de la zone intertidale (balanes et chitamales ou algues brunes) ont été exploités judicieusement</p> <p>L'utilisation d'intrants permet de limiter l'impact de compétiteurs (herbicides) et de</p>



		exploitation d'une même ressource trophique ou spatiale par des populations d'espèces différentes L'application de ces notions dans la gestion anthropique de populations d'intérêt était attendue.	prédateur ou parasites (insecticides, fongicides etc.) sur les espèces d'intérêt
		La théorie de la niche écologique est une théorie de la distribution des populations au sein des communautés que l'on peut qualifier de déterministe : selon celle-ci l'adéquation entre les exigences de la niche écologique d'une espèce et les caractéristiques d'un site permet d'expliquer sa présence et son maintien à l'échelle locale. Dans ce contexte théorique, en admettant une hypothèse de conservatisme de niche, la caractérisation de la niche d'une espèce permet de prédire sa présence potentielle dès lors que les conditions sont favorables, de prédire l'évolution des populations face à des changements du milieu et d'élaborer des stratégies conservatoires comme la colonisation assistée qui consiste en l'introduction intentionnelle d'individus d'une espèce dans un milieu identifié comme favorable à celle-ci en dehors de son aire de répartition actuelle. De plus, la présence d'individus appartenant à des espèces particulièrement sensibles à certains paramètres environnementaux peut être utilisé en tant qu'indicateur des caractéristiques d'un environnement actuel (indice biologique) ou passés.	Cette théorie n'a quasiment pas été présentée alors que ses applications potentielles pour l'espèce humaine ont parfois été abordées. Certains candidats ont ainsi mentionné la projection de répartition de certaines espèces forestières (chêne et châtaignier en particulier) dans un contexte de changement climatique. La colonisation assistée a été abordée de manière pertinente dans un petit nombre de copies. La reconstitution d'environnements à l'aide de fossiles de facies ou d'approches palynologiques ont ainsi été évoquées dans les copies
La distribution des populations résulte d'une adéquation entre exigences écologiques des individus et facteurs du milieu ( <i>Echelle des communautés</i> )	A des échelles écologiques plus larges, on peut constater que les communautés/biocénoses/biomes résultent en partie d'assemblages d'espèces aux exigences abiotiques chevauchantes.	Dans certaines copies, la présentation des preferendums thermo-pluviométriques de différentes espèces a été utilisée pour identifier différents types de formations végétales soit à l'échelle de biocénoses	

			(hétraie-sapinière par exemple) soit à l'échelle de la biosphère (biomes continentaux par exemple). Ces derniers sont globalement bien présentés alors que les biomes océaniques ne sont presque jamais évoqués.
La distribution des êtres vivants résulte de l'action de différents processus qui agissent à différentes échelles spatiales et temporelles		Par leur présence et leurs activités, les populations modifient les conditions du milieu (effets directs/indirects) et exercent une influence sur la biocénose. Ces effets sont particulièrement visibles pour certaines espèces ce qui a conduit à l'émergence du concept d'espèce ingénieure ou architecte.	La présentation d'UN exemple de communauté qui modifie le milieu par sa présence (exemple des coraux) et d'UN exemple d'espèce modifiant l'environnement par son activité (espèce fouisseuse / bioturbatrice ou élaborant des constructions) permettrait de distinguer les ingénieurs autogéniques et allogéniques. L'espèce humaine pouvait être utilisée comme exemple d'espèce ingénieure.
	Par leurs activités, les populations modifient les conditions du milieu et exercent une influence dynamique sur les assemblages	Les exigences de différentes populations ainsi que les interactions qu'elles entretiennent permettent d'appréhender les mécanismes impliqués dans la dynamique des successions écologiques a savoir, les processus de facilitation, d'inhibition et de tolérance. L'Homme peut modifier cette dynamique, notamment par le retour (évolution régressive) et le maintien de communautés dans des stade intermédiaires par des pratiques agricoles.	Les peuplements pionniers pouvait être utilisés afin de préciser les caractéristiques des espèces impliquées (espèces euryèces, à stratégie r etc.) et dont les activités permettent l'établissement de conditions écologiques favorables à l'installation et au maintien (augmentation de la disponibilité en nutriment, formation d'un sol etc.) d'espèces plus exigeantes (espèces sténoèces à stratégie K) Les pratiques agricoles basées sur un export de biomasse (pâturage et fauchage) limitent le recyclage des éléments nutritifs et ralentissent la formation des sols matures
	Par leurs activités, les populations modifient les conditions du milieu et exercent une influence dynamique sur les assemblages	Les interactions entre populations conditionnent en partie les réponses aux perturbations. La notion de stabilité d'un écosystème comprend à la fois la capacité des écosystèmes à absorber les perturbations (avoir un état qui change peu suite	Si la notion de stabilité a rarement été définie par les candidats, nombreux sont ceux qui ont mobilisé des exemples pertinents (Etoile de mer, Loutre de mer etc.) pour présenter la

		à une perturbation résistance) et la capacité à revenir à leur état initial (résilience). La relation existant entre stabilité et diversité écosystémique a fait l'objet de nombreuses hypothèses ayant conduit à la formulation des concepts d'espèces complémentaires versus redondantes et d'espèce clef de voute (espèce qui a un effet important et disproportionné par rapport à son abondance sur la stabilité et la diversité spécifique d'une communauté) Les notions d'effets descendant (bottom-up) ou ascendant (top down) sur les communautés pouvaient être abordées à la faveur de la description des effets sur les communautés d'un changement d'effectif dans une population d'individus d'une espèce clef de voute. La gestion anthropique des populations nécessite prise en compte de ces effets en cascade.	notion d'espèce clef de voute et de contrôle top-down. Il est regrettable que, dans de nombreuses copies, la présentation de ces exemples n'aboutisse pas à une généralisation permettant par exemple d'aborder les espèces ressources clef de voute et les contrôles bottom-up. Certains candidats ont bien exploité ces exemples pour souligner que les activités humaines, dès lors qu'elles impactent des espèces clef de voute, peuvent entraîner des effets en cascade.
Transition possible			
La distribution des êtres vivants résulte de l'action de différents processus qui agissent à différentes	La répartition des populations dépend des capacités de DISPERSION des organismes dans un paysage plus ou moins fragmenté	La dispersion ( <i>mouvements d'individus dans le temps et l'espace</i> ) peut être active à la faveur de la mobilité de l'organisme ou d'une de ses formes de vie ( <i>propagules au sens d'unité de propagation</i> ) ou passive, lorsqu'elle fait intervenir un agent de dispersion, ce dernier pouvant être de nature abiotique (vent, pluie etc.) ou biotique (le plus souvent animal).	Des exemples pertinents comme les formes larvaires de Métazoaires fixés, les spores fungiques, les graines et les fruits ont été présentés dans de nombreuses copies.

échelles spatiales et temporelles		Une métapopulation est une « population de populations qui s'éteignent localement et recolonisent les sites inoccupés ». L'équilibre dynamique extinction-recolonisation est donc déterminant. Les métapopulations sont menacées par la réduction de l'effectif efficace ( <i>nombre d'individus qui participent réellement à la reproduction</i> ) sous l'effet d'épidémies, de la chasse, etc. et/ou l'augmentation de la fragmentation de l'habitat Les actions humaines peuvent impacter la connectivité de l'habitat par fragmentation d'habitat ou en assurant, au contraire, la mise en place de corridors écologiques ( <i>voies permettant le mouvement d'individus entre habitats</i> ). Certains aspects de biologie de la conservation tels que la réintroduction et le renforcement devaient être abordés en établissant ces liens avec la dynamique des métapopulations.	L'exemple des Mouflons du Canada pouvait être mobilisé pour définir la notion d'effectif efficace. La fragmentation de l'habitat a été abordée avec des exemples pertinents relatifs au changement d'usage des terres dans certaines copies. La distinction entre renforcement et réintroduction a rarement été explicitée : stratégies d'installation artificielle d'individus dans des zones respectivement occupées par des populations de faible effectif ou inoccupées suite à la disparition ou l'éradication de populations.
La distribution des êtres vivants résulte de l'action de différents processus qui agissent à différentes échelles spatiales et temporelles	La répartition des populations dépend des capacités de DISPERSION des organismes dans un paysage plus ou moins fragmenté	La colonisation de nouveaux territoires dépend des capacités de dispersion des organismes face aux barrières géographiques de l'environnement. L'espèce humaine intervient de diverses façons sur la dispersion et la colonisation de nouveaux territoires par les populations. On parle d'introduction pour décrire l'arrivée d'une espèce sur un nouveau territoire en conséquence d'actions humaines. Ces introductions peuvent être volontaires ou fortuites. La colonisation assistée désigne une stratégie de biologie de la conservation qui consiste en l'introduction intentionnelle d'espèces dans des territoires se trouvant en dehors de leurs aires de répartition originelles du fait de l'absence de	UN exemple d'espèce introduite volontairement comme par exemple la Vanille Bourbon (Vanilla planifolia) introduite a Madagascar et UN exemple d'espèce introduite involontairement comme par exemple Sargassum muticum suffisait pour aborder la notion de colonisation de nouveaux territoires. De très nombreux candidats ont mobilisés des exemples pertinents d'espèces envahissantes (Caulerpa taxifolia, Ludwigia peploides, etc.) mais là encore la multiplication d'exemple demeure bien moins pertinente qu'une généralisation explicite conduisant à la formulation précise d'un concept.

		<p>solution pour les réintroduire dans leurs territoires d'origine.</p> <p>Certaines espèces introduites, à forte capacité de dispersion, peuvent devenir des espèces très compétitrices avec les populations locales (autochtones) et conduire à l'épuisement de ressources et la disparition des communautés : ce sont des espèces envahissantes.</p>	
Transition possible			
	<p>Sur un temps long, l'évolution des populations peut conduire à de nouvelles distributions par spéciation ou extinction</p>	<p>L'apparition de nouvelles espèces influence la répartition des populations. On appelle spéciation l'ensemble des processus conduisant à la formation de nouvelles espèces. Au sein de populations, des barrières s'opposant aux flux de gènes entre sous-ensembles d'individus conduisent à leur évolution indépendante ou divergence (accumulation de mutations filtrées par sélection et dérive) et peuvent conduire à leur isolement reproducteur. On distingue les types de spéciation en fonction du lien entre barrière géographique et isolement reproducteur (allopatrique, péripatrique, sympatrique, effet fondateur etc.).</p>	<p>La spéciation a été abordée dans de nombreuses copies cependant, de nombreux candidat ont simplement illustré les différents types de spéciation sans indiquer les mécanismes conduisant à l'isolement reproducteur des populations.</p>
		<p>L'extinction de toutes les populations signifie extinction de l'espèce. C'est un phénomène naturel, dont on estime un rythme moyen sur la base des archives paléontologiques. Plusieurs crises biologiques majeures marquées par un taux et une vitesse d'extinction importants sont identifiées (5 crises). Les causes de ces extinctions massives sont plurifactorielles.</p> <p>Le rythme d'extinction actuel documenté dans les archives historiques et contemporaines est beaucoup plus important que par le passé. La</p>	<p>Les crises majeures de biodiversité ont été abordées dans de nombreuses copies ainsi que les causes responsables de ces extinctions à grande échelle.</p> <p>Les impacts directs et indirects des activités anthropiques sur la biodiversité actuelle ont généralement été cités mais rarement de façon « complète ».</p> <p>Toute comparaison pertinente des taux d'extinction passé et actuel a été valorisée.</p>

		<p>biodiversité subit une érosion dont les causes principales sont identifiées comme étant liées aux activités humaines : changements dans l'utilisation des terres et des mers, changements climatiques, la pollution, l'exploitation directe des ressources naturelles et les espèces invasives</p>		
	<p>Sur un temps long, l'évolution des populations peut conduire à de nouvelles distributions par spéciation ou extinction</p>	<p>Les notions construites sur les exigences des espèces et de leurs interrelations permettent d'aborder l'évaluation du statut des espèces (catégories de l'union internationale pour la conservation de la nature UICN). Les critères quantitatifs retenus sont basés notamment sur l'effectif des populations, leurs taux de déclin, l'étendue de leur aire de répartition géographique ou encore le degré de fragmentation des habitats des métapopulations etc.</p> <p>Plusieurs stratégies pour enrayer cette spirale de l'extinction (protection, mitigation, restauration etc.) pouvaient être soit remobilisées soit abordées dans cette partie.</p>	<p>Aborder ces critères d'évaluation du statut des espèces permettait de montrer une vision intégrative des processus abordés dans les différentes parties du devoir et témoigner d'une réelle maîtrise du sujet.</p> <p>La mise en relation explicite de quelques stratégies de protection s.l. de la biodiversité avec les critères d'évaluation était attendue.</p>	
Transition possible	<p>Ces différents processus ont été intégré au sein d'un modèle : la théorie de la biogéographie insulaire de MacArthur &amp; Wilson.</p>	<p>Le modèle de MacArthur et Wilson ou modèle de la biogéographie insulaire intègre les capacités de dispersion - la compétition - la connectivité des habitats (et la spéciation) pour prédire le nombre d'espèces dans des assemblages locaux. Le modèle repose sur deux hypothèses : le taux d'immigration vers une île diminue à mesure que le nombre d'espèces sur l'île augmente et le taux d'extinction augmente avec le nombre d'espèces (effet de la compétition). À l'équilibre, les taux d'immigration et d'extinction se compensent et le nombre d'espèces sur l'île se stabilise.</p>	<p>Une illustration du nombre d'espèce prédit par le modèle permettant de montrer les effets de la taille de l'île sur le taux d'extinction et les effets de la distance au continent sur le taux d'immigration était attendue. Ceci a été fait dans un petit nombre de copies.</p> <p>La dimension prédictive de cette théorie a rarement été évoquée.</p>	

		<p>Sa portée dépasse le cas des îles au sens géographique et peut s'appliquer en écologie du paysage et conduire à des applications concrètes en biologie de la conservation comme par exemple la détermination de la taille et de la forme des zones centrales, des zones périphériques et des corridors écologiques les reliant.</p>	
Conclusion	<p>synthèse (qui n'est pas une simple redite) des idées fortes développées au long de l'exposé avec ou pas un schéma de synthèse</p> <p>ouverture de qualité vers un prolongement intéressant du sujet/remise en perspective</p>	<p>Idée de conclusion :  Les populations sont hétérogènes dans l'espace et dynamiques dans le temps. Les facteurs expliquant ces répartitions spatiales et temporelles impliquent des processus déterministes (ex : théorie de la niche) et stochastiques (ex : théorie de la biogéographie insulaire).</p> <p>Les activités anthropiques affectent les populations et provoquent une crise biologique différente des autres par sa vitesse et son ampleur. La compréhension des facteurs et mécanismes responsables des patrons de distribution des populations peut permettre de prédire les impacts des activités anthropiques et de mettre en œuvre des mesures permettant d'en limiter les effets.</p>	<p>Rares sont les copies dans lesquelles les idées principales sont reprises de manière synthétique dans la conclusion.  Certains candidats ont tenté de faire des schémas bilan. Toute tentative pertinente a été valorisée par le jury.</p>
		<p>Idée d'ouverture :  Le développement durable représente un défi societal, économique et culturel engageant la responsabilité humaine envers les générations futures.</p>	<p>Très peu de copies proposent une ouverture du sujet vers un prolongement pertinent.</p>



### 4.3 Épreuve écrite du secteur C

#### 4.3.1 Le sujet proposé

#### **L'hydrosphère et ses interactions avec les autres enveloppes terrestres : une fenêtre sur l'évolution passée et future de notre planète**

*L'hydrosphère se définit comme l'ensemble des eaux qui enveloppent la Terre sous ses trois états (liquide, solide et gazeux) ce qui inclut la cryosphère. La notation favorisera la présentation d'exemples détaillés plu-tôt qu'une approche exhaustive se résumant à citer des généralités et/ou des mots clés.*

#### 4.3.2 Commentaires généraux sur l'épreuve et grille de notation

Le sujet devrait être traité à travers le prisme des interactions hydrosphère-enveloppes terrestres et non pas en traitant d'abord l'hydrosphère puis ensuite ses interactions avec les autres enveloppes. Toutefois la seconde approche reste acceptable même si peu conforme à l'énoncé. En anticipation d'une telle approche par une part important des candidat.e.s la première partie de la grille de correction s'intitule « **Généralités sur l'hydrosphère** ». Toutefois cette partie ne devrait en théorie pas exister sans être rattachée aux autres enveloppes (via des interactions). Sa présence dans la grille de correction assure une notation minimale aux candidat.e.s ayant traité séparément l'hydrosphère de ses interactions.

Le sujet demande explicitement de ne pas adopter une démarche exhaustive et de privilégier l'approche démonstrative. C'est en suivant cette logique que le barème a été conçu. Pour cette raison la grille de correction est réduite autour de grandes notions avec 2 sous-items 1) observation et 2) mécanisme (ou interprétation passé/futur de la Terre). Cela suppose donc de hiérarchiser les notions essentielles et celles qui le sont moins. A cette fin le corrigé distingue les notions FONDAMENTALES et les autres notions attendues. Ces dernières ont un barème plus faible qu'une notion fondamentale. Enfin l'Homme ne constitue pas une enveloppe terrestre, donc les interactions entre l'hydrosphère et l'Homme ne font pas l'objet d'une partie dans le corrigé du sujet. Les éléments relevant des l'intérêt d l'Homme ont été mis en points bonus.

*Avant de présenter un exemple de correction, voici les points relevés par le jury. Par ordre d'importance :*

- 80 % des copies n'abordent pas le couplage avec la biosphère.
- à de très rares exceptions, aucun.e candidat.e ne parle de transport de chaleur. Exemple : si la circulation atmosphérique est très souvent présentée (souvent sans observation associée), le transport de chaleur latente est systématiquement oublié. Dans ce cas quel lien existe-t-il entre l'atmosphère et l'hydrosphère ? Bien souvent le ou la candidat.e ne se pose pas la question de la pertinence de la notion présentée avec le sujet.

- une erreur de compréhension grave a été relevée de manière trop récurrente. Le rapport isotopique en oxygène dans la glace n'enregistre pas la température globale (seulement une variation locale de la température. C'est la raison pour laquelle on présente toujours une anomalie de température lors des cycles glaciaires/interglaciaires dans les carottes de glace. Seule la composition de l'atmosphère en gaz (ex : pour le CO<sub>2</sub>) possède un sens à l'échelle globale (l'atmosphère est bien mélangée donc homogène en composition sur l'année).

- Beaucoup trop de candidat.e.s ont parlé d'ENSO ou des moussons sans discuter des couplages entre l'hydrosphère et l'atmosphère. Ex : ENSO peut facilement servir à illustrer l'effet de la tension du vent sur la couche d'eau de surface, toutefois un nombre significatif de candidat.e.s



*préfèrent une longue explication sur le couplage entre ENSO et l'économie du Pérou au couplage mécanique entre l'océan de surface du Pacifique équatorial/cellule de Walker ..*

*- la théorie astronomique n'est pas dans le sujet car les transferts d'eau entre la glace et l'océan s'opèrent au sein de la même enveloppe : l'hydrosphère (voir la définition donnée avec le sujet).*

*- plusieurs candidat.e.s ont traité le cycle du carbone. Même si une partie du sujet est lié à l'hydrosphère, les sujets ne sont pas équivalents.*

*- la définition de l'hydrosphère implique une enveloppe, pour cette raison les minéraux hydroxylés (voir correction dans les zones de subduction) ne constituent plus une enveloppe. Pour cette raison, il ne s'agit pas d'une notion fondamentale du sujet.*

---

### Exemple de correction possible

#### **Introduction :**

L'hydrosphère est un réservoir transversal (comme la biosphère) qui interagit avec plusieurs enveloppes (atmosphère, océan, lithosphère...). **Toutefois, les interactions avec l'hydrosphère ont toutes comme point commun d'être reliées à une des propriétés de la molécule d'eau** (ex c'est un solvant bipolaire, forte capacité calorifique, donneur d'électron (réducteur faible),...). Ces interactions sont le plus souvent des flux d'énergie ou de matière (dissoute et solide) entre les réservoirs. Il est donc nécessaire 1) de quantifier ces flux et 2) de connaître les facteurs qui régulent ces flux, ce qui permet de retracer l'évolution de ces paramètres (et donc le fonctionnement de la Terre) au cours du temps.

#### **I. les interactions entre l'hydrosphère/atmosphère Que nous enseigne les interactions hydrosphère/atmosphère sur le fonctionnement de notre planète et son évolution passée et future ?**

**Notion fondamentale.** Les interactions énergétiques atmosphère/hydrosphère contrôlent le bilan radiatif de surface. Cela implique un Transfert de chaleur de l'océan des basses vers hautes latitudes (donc un mouvement). Ce Transfert de chaleur peut prendre différentes formes. 1) **transport de chaleur sensible** (pas de changement d'état de l'eau) et 2) transport de **chaleur latente** (changements d'état physique de l'eau (atmosphère uniquement). La somme des transferts de chaleur latente (atmosphère) et sensible (océan) explique le paradoxe entre un bilan radiatif déséquilibré zonalement tout en maintenant des températures de surface stables au cours du temps (hors Anthropocène).

**Observation.** Les températures de surface de l'océan sont stables si on considère une moyenne annuelle (cf profil eq-pôle) avec une déformation sur les bordures Ouest des bassins océaniques. Paradoxalement le flux de chaleur au sommet de l'atmosphère (somme entre flux entrant (Vis) - sortant (IR)) est déséquilibré (ex : +40W/m. aux basses latitudes - soit une ampoule de 40W allumée en permanence/m<sup>2</sup>). En théorie, on devrait observer un réchauffement des eaux aux basses latitudes / refroidissement aux hautes latitudes, hors ces températures (hors Anthropocène) sont stables dans le temps.

**Notion fondamentale.** Montrer la dynamique des masses d'eau (mélange des masses d'eau de températures différentes) à travers une observation (nombreux exemple/méthodes : L'altimétrie satellitaire (Satellite comme Topex-Poseidon, le système de surveillance d'ENSO, ...) associé au mécanisme expliquant la dynamique observée (ex : le couplage entre l'atmosphère et l'océan de surface : mécanisme de la spirale d'Ekman).

**Notion fondamentale.** Le transfert de chaleur latente s'effectue grâce au cycle de l'eau. Illustrer les changements d'états de l'eau à la surface de la Terre et montrer les échanges énergétiques associés. Exemples possibles : à grande échelle, le bilan hydrique annuel global (précipitations - évaporation) montre des inégalités du bilan évaporation - précipitations (E-P) en fonction des latitudes (forte évaporation (E-P>0) vers 20-30° latitudes et des zones de précipitations (E-P <0) comme les moyennes latitudes. A petite échelle, il est possible de parler des cyclones (événements extrêmes associés à des fortes pluies). Ils résultent d'un transfert de chaleur latente dans un environnement anormalement chaud (couche d'eau suffisamment épaisse (50m) > 26°C).

**Autre notion utile.** A très grande échelle, pour que le transfert d'énergie équateur-pôle il est nécessaire qu'un transport des masses air/eau se mette en place. Ce transport a lieu grâce à la convection (transfert thermique à grande échelle) ce qui nécessite des mouvements horizontaux et des mouvements verticaux. Les mouvements horizontaux/ verticaux sont liés aux gradients de pression/densité qui sont eux même en partie liés aux changements d'états physiques de l'eau.

### Observations

**a) atmosphère** avec l'exemple d'une cellule convection comme la cellule de Hadley. Classiquement cette cellule est considérée comme ayant une branche ascendante à l'équateur et descendante vers 20-30° de latitudes. Les zones de fortes pluies sont associées à la branche ascendante (caractérisée par des basses pressions à la surface) - l'inverse pour les zones arides. Les basses pressions à l'équateur s'expliquent par le faible poids de la colonne atmosphérique souvent imputée aux fortes températures (dilatation thermique). Toutefois cette vision idéalisée ne résiste pas aux observations. En effet, si on considère que seule la température est la cause de la convection (chaud en bas, froid en haut, bref un classique) comment expliquer la subsidence des masses d'air au-dessus du Sahara. De la même manière comment expliquer la subsidence des masses d'air sur le bord Est du Pacifique (cellule de Walker associée à ENSO). Ces observations montrent qu'avoir de « l'air chaud en bas » n'est pas toujours une condition suffisante pour initier la convection. En effet un air sec est plus lourd qu'un air humide ! Cette différence s'explique par **le poids de la molécule d'eau** (18g/mol) < poids 1 mole de O<sub>2</sub> ou N<sub>2</sub>. Ainsi les eaux chaudes du bord Ouest du pacifique équatorial (la fameuse warm pool) est un lieu de forte évaporation, ce qui génère une forte humidité donc une baisse du poids de la colonne d'air.

**b) (Océan)** Un autre exemple concerne les masses d'eau de surface qui plongent dans l'Atlantique Nord. Elles ne sont pas plus froides que les masses d'eau profondes. Donc la température seule ne suffit pas pour initier une subsidence. Pour les masses d'eau, l'effet vient du passage eau liq/solide. La glace a un réseau cristallin peu compact basé sur les liaisons H. **Sa masse volumique est donc plus faible que celle de l'eau liquide.** Elle peut donc flotter ! De plus **ce réseau cristallin n'accepte pas le Na<sup>+</sup>** c'est pourquoi le sel est expulsé et augmente la salinité des eaux de surface environnante. De part la masse molaire du Na<sup>+</sup> (23 g/mol) > H<sub>2</sub>O (18g/ mol), la salinité augmente la densité des masses d'eau. Ces changements d'états physiques de l'eau induisent des hétérogénéités de la masse d'air/eau ce qui génèrent des gradients de densité (elles sont plus légères/lourdes que leur environnement), ce qui génère les mouvements verticaux et permet la convection (atmos/océan)

**Autre notion utile.** Les aires continentales soumises aux masses d'air « océaniques » montrent une faible variabilité de la température au cours de l'année (climat dit océanique) comparées aux territoires éloignés du littoral. En effet l'atmosphère est également réchauffée par le rayonnement émis par la surface des océans. Ce rayonnement dépend de la température à la surface. **Un petit calcul pour montrer à quel point la température de l'air est sensible à l'hydrosphère...** En considérant que l'épaisseur moyenne de l'atmosphère (H) est de 10km, que l'air possède une chaleur spécifique (C<sub>p</sub>), de 1000 J/kg/K; on peut calculer la capacité calorifique (C) par unité de surface C(atmos) = H \* ρ<sub>o</sub> \* C<sub>p</sub> = 10<sup>7</sup> J.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup> (où ρ<sub>o</sub> = 1,2 kg/m<sup>3</sup>) L'épaisseur de la couche de surface de l'eau permettant de stocker autant d'énergie (ρ<sub>o</sub> = 1027 kg/m<sup>3</sup>, C<sub>p</sub>(eau) = 4200 J/kg/K) est de 2m. L'eau est donc

insensible à la température de la masse d'air en surface mais l'inverse n'est pas vrai. Ce raisonnement a une limite si la température de l'eau passe sous l'isotherme 0°C au contact de masses d'air très froides.

**Notion fondamentale.** A partir des exemples illustrés précédemment, on peut construire le bilan radiatif terrestre à sa surface. Toutefois ce bilan est aussi dépendant des transferts de matière entre l'atmosphère et l'océan, notamment le carbone. Les interactions atmosphère/hydrosphère contrôlent la chimie de l'océan et de l'atmosphère à travers des transferts de matière.

**Observation:** Depuis la révolution industrielle au XIX<sup>ème</sup> siècle, l'espèce humaine dérégule le cycle du carbone. Cette perturbation peut paraître faible rapportée aux flux naturels (environ 7-9 GtC.an-1 d'émissions anthropiques sur la décennie 2000-2010 contre environ 120 GtC.an-1 de CO<sub>2</sub> émis par la respiration par exemple). Mais, à la différence des flux naturels, l'émission de CO<sub>2</sub> anthropique n'est pas compensée par de nouveaux puits, qu'ils soient naturels ou anthropiques. A ce rythme, l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère devrait atteindre 3-4 ppmv/an, or elle n'avoisine que 2 les 2 ppmv/an sur la décennie 2000-2010. Cela signifie que la moitié du CO<sub>2</sub> émis est absorbée. Parallèlement à cette déstabilisation du cycle du carbone, on observe une baisse de la teneur en dioxygène dissous (O<sub>2</sub>d) dans l'océan de surface (entre 0 et 100 mètres). Ces réponses différentes tiennent à la solubilité de ces deux gaz dans l'océan. Celle du CO<sub>2</sub> est très élevée alors que celle de l'O<sub>2</sub> est très faible (respectivement 3,3 et 0,014g/L à une température de l'eau de 0°C). L'océan représente donc le principal réservoir de carbone alors que l'atmosphère est le principal réservoir d'O<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> est un gaz mineur de l'atmosphère (pCO<sub>2</sub> ~ 400 ppmv) comparé au N<sub>2</sub>, à l'O<sub>2</sub> et à l'argon (Ar). Sa concentration dans le réservoir atmosphérique peut donc aisément varier (modifiant aussi l'intensité de l'effet de serre) si le cycle du carbone est déséquilibré. A l'inverse, et selon le même raisonnement, la concentration en O<sub>2</sub> des eaux de surface de l'océan peut facilement varier et ces eaux peuvent devenir localement trop pauvres en O<sub>2</sub>d pour assurer la survie des organismes aérobies (ce problème concerne particulièrement les zones côtières soumises à l'eutrophisation). Au final, l'océan joue un rôle prépondérant dans cette absorption du carbone anthropique (~ 25 %), le second puits étant la biosphère continentale avec une action comparable.

## **II. les interactions entre l'hydrosphère/biosphère Que nous enseigne les interactions hydrosphère/biosphère sur le fonctionnement de notre planète et son évolution passée et future ?**

**Notion fondamentale.** La dynamique océanique contrôle la productivité primaire océanique (NB : la dynamique atmosphérique contrôle quant à elle la productivité primaire continentale car cette dernière contrôle la ressource en eau douce). Exemple possible (cas de l'océan).

Les mesures de la chimie de l'océan montrent que la production primaire dans l'océan de surface est extrêmement variable spatialement, les zones de forte productivité sont associées aux upwelling, présents sur le bord Est des océans dans les zones subtropicales. Paradoxalement de par la nature du milieu, l'eau n'est pas limitante, idem pour le carbone (qui y est abondant pour des raisons physiques). Donc les deux réactifs de la photosynthèse sont présents en abondance. Les zones de fortes productivité primaires sont également celle de remontées d'eaux profondes (upwelling), froides et riches en nutriments (particulièrement riches en phosphate).

Détail : La réaction de la production primaire peut s'écrire :  $106\text{CO}_2 + 16\text{HNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 + 78\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_{106}\text{H}_{175}\text{O}_{42}\text{N}_{16}\text{P} + 150 \text{O}_2$  La formule stoechiométrique obtenue pour la matière organique ainsi formée est souvent nommée rapport de Redfield d'après son découvreur (Redfield et al., 1963).

**Autre notion utile.** La biosphère est à l'origine du couplage entre les cycles biogéochimiques. Ce couplage est dû aux propriétés d'oxydo-réduction du couple  $H_2O/O_2$ . On observe, au sein de la colonne océanique, que la biomasse produite en surface coule et étrangement on ne retrouve que très peu de matière organique dans les sédiments océaniques. La descente des particules de matière organique dans la colonne d'eau est un processus gravitaire décrit par la loi de Stokes. Cette descente est lente ( $\sim 10$  m/jour pour une particule de diamètre  $\sim 100$   $\mu m$ ) car l'écart de densité entre la matière organique ( $\rho_{org} = 1067$  kg/m<sup>3</sup>) et l'eau ( $\rho_{ocean} = 1027$  kg/m<sup>3</sup>) est faible. Plus les particules sont fines (diamètre  $< \sim 100$   $\mu m$ ), moins leur contribution est importante, le transfert étant beaucoup plus lent. Au cours ce lent trajet, le carbone organique et l'oxygène dissout réagissent. Sur les 50 GtC.an-1 produites en surface, entre 2-10 GtC.an-1 sont exportés au fond des océans. Cela signifie que les 40-48 GtC non exportées sont reminéralisées avant d'arriver au fond de l'océan. Il existe également un écart important entre le flux de Corg arrivant au fond de l'océan ( $\sim 2$  GtC.an-1) et celui réellement enfouis ( $\sim 0.2$  GtC.an-1). En effet le Corg est enfouis passivement avec une vitesse qui dépend du flux sédimentaire (1 cm.kan-1). Cette réduction du carbone organique associé à une baisse de l'oxygène dissout s'explique par une simple réaction d'oxydo-réduction. Le couple  $O_2/H_2O$  possède un pouvoir oxydant très fort, à l'inverse du couple  $CO_2/Corg$  qui possède un fort pouvoir réducteur très fort. Un réducteur fort réagit naturellement avec un oxydant fort. Le calcul de l'enthalpie libre standard ( $\Delta G^0$ ) montre que cette réaction est spontanée (420 kJ libéré par mole de Corg oxydée).

**Notion fondamentale.** La biosphère enregistre l'évolution chimique de l'hydrosphère et donne des informations sur le climat planétaire à long terme.

Par d'un enregistrement de  $d^{18}O$  sur des foraminifères (benthiques ou benthiques et planctoniques) ou autres tests d'organismes marins.

Les carbonates produits par les organismes ( $CaCO_3$ ) conservent le ratio des formes isotopiques stables de l'oxygène :  $^{16}O$  (99,762 %), et  $^{18}O$  (0,2 %). Exprimez sous forme d'anomalie  $d^{18}O$  (la ref = std ici PDB). Un fractionnement entre le  $^{18}O$  et le  $^{16}O$  intervient le plus souvent lors d'un changement d'état. Pour le cas du  $d^{18}O$ , l'intensité du fractionnement est dépendant de la température (dans l'océan), ce qui permet d'en faire un paléothermo-mètre. Seule condition, connaître le  $d^{18}O$  de l'océan. Dans les périodes chaudes (cad sans glace) le  $d^{18}O$  est équivalent au PDB (Crétacé). Dans le cas des périodes froides (présence de glaciers continentaux) alors le  $d^{18}O$  retrace le volume des glaces (illustration issue de Veizer et al, 99) *Attention : le  $d^{18}O$  enregistré dans les glaces est hors sujet car il s'agirait d'une interaction océan-cryosphère, tous deux étant intégrés dans l'hydrosphère.*

**Autre notion utile.** La carte des sédiments marins montre l'absence de carbonates profonds (dans le détail ils sont très peu abondants dans l'océan Pacifique (uniquement sur les flancs dorsales) alors qu'ils sont abondants dans l'océan Atlantique). Les eaux océaniques Pacifiques sont agressives envers les carbonates car elles sont plus âgées et donc enrichies en  $[CO_2]$  issu de la dégradation de la matière organique dans la colonne d'eau. Cette réaction favorise la réduction de  $CO_3^{2-}$  (dissociation  $K_2 = [H^+][CO_3^{2-}]/[HCO_3^-]$ ) ce qui conduit à baisser la saturation des carbonates ( $\omega < 1$  dès 3000m dans le Pacifique contre 4000m dans l'Atlantique). La lysocline définit l'augmentation de solubilité = f(profondeur), la CCD (carbonate compensation Depth) est la profondeur où l'apport de carbonate (issu de la surface) = taux de dissolution des carbonates, donc sous la CCD il n'y a plus de carbonate préservé. NB : On définit  $\omega$  comme la saturation des eaux océaniques vis à vis des carbonates définie sur l'aragonite de la manière suivante :  $\omega = [CO_3^{2-}] * [Ca^{2+}] / K_s$  où  $K_s$  est la solubilité du  $CaCO_3$

**Implication sur l'évolution passée.** Il est possible de partir des notions discuter plus haut pour présenter les implications sur la conservation de matière organique dans les sédiments marins. Exemple : la formation de pétrole associé à l'évènement anoxique Albien-Aptien est associée à des eaux profondes (très) chaudes (paléo-températures issues des foraminifères benthiques), ce qui

suggère des eaux de surface encore plus chaudes. Physiquement, des eaux de surface plus chaudes réduisent la quantité d'O<sub>2</sub> dissout (voir partie 1).

### III. les interactions entre l'hydrosphère/lithosphère

**Notion fondamentale.** L'hydrosphère est un agent d'altération chimique de la lithosphère continentale/océanique **Observation :** profil d'altération (au choix du candidat). Il est essentiel de montrer des réactions de dissolution et de discuter la propriété dipolaire de la molécule. A cause de l'organisation géométrique des atomes les deux liaisons O-H sont polarisées. Elle constitue un dipôle électrique permanent. Même si les minéraux sont électroniquement neutres, ils sont constitués de motif qui sont chargés. L'eau peut donc interagir avec ces motifs et déstabiliser leur structure.

La dissolution dépend de la température et des concentrations des réactifs, ce sont des réactions chimiques (différent de la radioactivité, donc l'activité ne dépend pas de la température). A partir de ces réactions il est possible de discuter du tri chimique (diagramme de Goldschmidt pour la partie soluble et diagramme de Pedro pour le résidu : profil des paléosols. La partie soluble disparaît mais le paléosol permet de reconstruire l'histoire de l'altération d'une région (en fonction du site d'étude et de son âge Il sera important de veiller à la position en paléolatitudes (ex : paléomagnétisme) sans quoi le raisonnement est incomplet).

**Notion utile.** Un autre exemple possible concerne l'altération de la croûte océanique (exemple gîtes hydrothermaux de dorsales). In fine **il s'agit aussi d'un tri chimique des éléments avec l'enrichissement des éléments métalliques (hors Na) notamment (Fe, Mn, soufre), connu sous le nom de fumeurs noirs.** A la différence des continents, il y a ici 2 phases de tri. 1) La première phase est liée à l'enrichissement du fluide/silicates issue de la croûte océanique. Le fluide hydrothermal (300-400°C) par circulation convective d'eau de mer et lessivage du basalte va sa composition se modifier par rapport aux silicates de la croûte. Le fluide remonte par densité (diminue avec une augmentation de température) et ressort au fond de l'océan et forme les fumeurs. 2) la seconde phase de tri chimique est liée à la précipitation qui se fait par refroidissement du fluide qui abaisse la solubilité des métaux et leur sensibilité aux conditions redox (le fluide est chaud et réducteur, alors que l'eau de mer est froide et oxydante).

*PS: C'est aussi un exemple des interactions avec la biosphère dont la source d'énergie est chimique (chimiosynthèse) et non plus liée aux photons (photosynthèse). Le gradient redox qui est utilisé par les organismes pour synthétiser la matière organique (les îlots de vie autour des fumeurs, le réducteur est le plus souvent le H<sub>2</sub>S)*

**Notion fondamentale.** L'action mécanique de l'hydrosphère sur la lithosphère continentale/océanique. Illustrer le transport particulaire dans les rivières / glaciers (ex : fins en aval / grossiers en amont, ...) ou à partir d'une carte des flux sédimentaires (issues de mesure de la charge particulaire dans les grands fleuves de la planète) où l'on observe que l'énergie continue de l'écoulement est forte dans les zones à fortes pentes et à fortes précipitations (ex : Himalaya).

La mobilisation et transport particulaire dans les rivières / glaciers dépend de la viscosité de l'eau : forte pour la glace (transport particulaire grossier mais lent) et très faible pour l'eau liquide (écoulement laminaire (lent) ou turbulent (rapide) mais toujours moins grossier que les glaciers). Le tri particulaire dans les rivières dépend de l'énergie cinétique de l'écoulement. Plus l'énergie cinétique (ie le débit) est élevée plus l'écoulement exerce une force sur le fond (Ft). Si Ft > seuil d'arrachement du sédiment (dépend du sédiment, ici symbolisé par son poids, P), la particule est mise en mouvement, sinon elle reste sur place. Un raisonnement similaire est applicable pour la sédimentation (baisse de l'énergie cinétique).

**Les deux notions fondamentales ci-dessus permettent d'interpréter des signaux du passé :**

- retracer l'évolution de l'état redox de l'océan (formations de fer rubané)
- retracer l'évolution eustatique à travers les formations progradantes/rétrogrades sur les marges passives (co-évolution du flux sédimentaire, de la subsidence et de l'eustatisme). Attention ici la périodicité cyclo-glaciaire ne concerne pas la lithosphère).
- retracer l'évolution de l'altération continentale au cours du temps à travers les rapports du  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (mesuré sur les carbonates)

**Notion fondamentale. Les interactions hydrosphère-lithosphère est nécessaire au cycle des roches.**

**Exemple le rajeunissement de la surface terrestre.** Planétologie comparée (Terre versus Mars Lune) : absence de très reliefs sur Terre (+ érosion, sédimentation ...), Ex : les massifs hercyniens français (failles majeures (Sillon houiller, zones broyées S/N armoricaines) qui recoupent les granites date la déformation au carbonifère (principalement). La mer recouvre ces granites dès le Trias (dépôt marin épicontinental). Donc destruction du relief (+ érosion partie superficielle de la croûte) entre carbonifère (300Ma) et début Trias (252Ma). Au premier ordre 15 km de croûte érodée en 50Ma, soit 300m/Ma. « L'espérance de vie d'un relief terrestre » après arrêt surrection est < 30Ma (en réalité le taux varie en fonction de H). En comparaison le Olympus Mons sur Mars fait 22km de haut avec un début d'activité vers 3.5Ga (approximatif).

**Notion utile. L'eau : élément essentiel à l'activité géodynamique** (notion non fondamentale car ici l'eau est intégrée au réseau cristallin des minéraux, ce n'est plus de l'eau en tant qu'enveloppe, donc plus l'hydrosphère au sens strict).

**Exemple possible : le volcanisme.** Le volcanisme d'Arc (ex : Martinique) L'île de la Martinique est composée d'une succession de cycles volcaniques (Miocène - actuel). Les types de laves rencontrées sont successivement des basaltes, et majoritairement des andésites (et éventuellement des dacites et rhyolites en fin de cycle). Cette succession de roches de plus en plus différenciées (car de plus en plus riches en silice et en alcalins lors de la cristallisation fractionnée) permet de définir une série magmatique. Ce volcanisme (séries subalcalines car au-dessous de la ligne de séparation de Miyashiro dans le diagramme alcalins-silice) et caractérisé par l'abondance des andésites est typique de la subduction. La richesse des andésites en amphiboles, minéraux notoirement hydroxylés, est un argument en faveur d'une certaine richesse en H<sub>2</sub>O des magmas parents. (attention, il n'y a pas toujours d'amphibole dans les magmas andésitiques.. Cette relation est uniquement possible en zone de subduction car la fusion du manteau est réalisée par action des fluides)

L'existence de basaltes dans les séries volcaniques de subduction exclut la fusion de la croûte océanique de la plaque plongeante. Les gradients thermiques faibles dans le panneau plongeant ne permettent pas une fusion du manteau anhydre, uniquement celle d'un manteau hydraté. Pour des raisons chimiques similaires à celles présentées pour la partie continentale, la présence d'eau (et d'autres cations chargés) facilite la déstabilisation du réseau cristallin (c'est un défaut dans le réseau) et donc abaisse la température de fusion partielle (solidus).

**Notion utile. L'eau : élément essentiel pour retracer l'histoire des zones de subduction fossiles** (notion non fondamentale car ici l'eau est intégrée au réseau cristallin des minéraux, ce n'est plus de l'eau en tant qu'enveloppe, donc plus l'hydrosphère au sens strict).

**Observation possible :** exemple des ophiolites du Mont Visio ayant atteint le faciès éclogite avec mise en parallèle de séquence de transformation d'un gabbro ou d'un basalte océanique dans zone de subduction (gradient faible < 15°C/km), métamorphose prograde : SV (chlorite - albite - actinote -

epidote). Dès 15km, SB (amphibole sodique), dès 30km (omphacite-jadeite), dès 45km élogite (grenat).

Les différentes réactions du métamorphisme prograde d'une roche mafique océanique s'accompagnent d'une « déshydratation » des minéraux hydroxylés (le terme de déshydroxylation serait plus exact). Exemple dans le faciès SV, la chlorite dans laquelle on compte 2 ions hydroxyles pour 4 Silicium, alors que ce ratio tombe à 2 ions hydroxyles pour pour le glaucophane (faciès SB). Enfin dans le faciès élogite, tous les minéraux : pyroxène comme grenat sont anhydres. Ce sont ces ions hydroxyles libérés lors des réactions métamorphiques qui, avec d'autres éléments, vont imprégner le manteau de la plaque supérieure (métasomatisme) et faciliter la fusion dans le domaine du solidus hydraté de la péridotite. La perte de la molécule d'eau légère alourdit le panneau plongeant. A l'inverse le magma hydraté voit sa masse volumique baissée (effet d'un de l'addition de l'eau et du changement de passe, un liquide a une masse volumique plus faible qu'un solide en raison du réseau cristallin). Il a une flottabilité négative pour l'un, positive pour l'autre. La molécule d'eau est donc l'un des moteurs des mouvements verticaux.

### 4.3.3 Grille de notation

Introduction (4 % du total des points)	# analyse du sujet qui débouche sur des fils directeurs ancrés dans un sens biologique ou géologique # contexte # analyse des termes du sujet problématique	Vaut 90 % des 4 % 0 - 10 % - 40 % - 100 % en fonction du nombre d'items
	annonce du plan = axe directeur en lien avec la problématique	Vaut 10% des 4 % Oui ou Non (O ou N)
Contenu notionnel (80% du total des points)	rien 0 %, énoncé 10 %, Mot clé 25 %, bien traité 65 %, complètement traité 100 % Pour chaque item, des niveaux de curseur peuvent être supprimés. L'item peut contenir des schémas ou croquis obligatoires pour obtenir 100 %. Des items peuvent nécessiter plusieurs exemples ou illustrations.	
Titre partie	Titre sous partie	Item et description des niveaux
GENERALITES HYDROSPHERE (18%) - pas de bonus Demonstration/Argumentation		
CYCLE de l'EAU		les principaux réservoirs, leurs volumes/proportions, la forme de l'eau concernée, temps de résidence
Un mécanisme intra-hydrosphère (au choix) bien exploité		delta O18 des glaces (Vostok), glacio-eustatisme, NADW sans lien avec le transfert thermique (sinon voir section atm/ocean)
Origine de l'hydrosphère		formation de l'océan mondial, évolution de la pression partielle de vapeur d'eau, dans l'atmosphère, habitabilité, origine de la Vie
Propriétés physico-chimiques de la molécule d'eau		dipôle, solvant, densité, tension superficielle, 3 états de l'eau sur Terre.

Interactions hydrosphère-atmosphère (26%)		
Transfert "chaleur sensible" (courants de surface et les interactions mécaniques)		observations (TOPEX-POSEIDON, dérive icebergs,...)
		mécanisme (rôle de la tension du vent, pas de changement de phase, Ekman, interactions mécaniques)
Transfert "chaleur latente" (évaporation/précipitations)		observations (uniquement atmos, localisation P/E, moussons, ...)
		mécanisme (échange énergie lors du changement de phase)
		convection (redistribution énergie équateur-pôle) : circulation générale océanique/atmos
Transfert par rayonnement		observation (faible variabilité de la T° des eaux)
		mécanisme (dépend de la Tsurf, énergie stockée dans l'océan de surface)
Transfert de matière (carbone ou oxygène au choix)		observation (dissolution du C, flux de C, cycle C R atm < R hydro) OU étagement O2
		mécanisme (loi de Henry, échanges = f(T, vents, ...), océan réservoir de C > atmosphère) OU NADW zone d'oxygénation
évolution temporelle (bilan radiatif, ...)		observation (réduction absorption C (O) par océan, evo Temp, évo glace...)
		évolution temporelle (passé et future) et ses effets sur le bilan radiatif (dont albédo)
Points des notions		
Interactions hydrosphère-biosphère (19 %)		
la productivité primaire		observation (spatialisation de la productivité primaire continentale/océanique, upwelling) zone photique (atténuation du rayonnement)
		mécanisme (influence de la dynamique océanique/atmos sur la prod. Primaire)
Le couplage chimique entre la biosphère et l'eau		observation (co-évolution CO2/O2, prod primaire en surface > M.O ds le fond des océans)
		mécanisme (couplage des réactions redox)
la biosphère enregistrement de l'hydrosphère (et altération de l'enregistrement)	les interactions dans l'océan moderne	observation (isotopes delta O18 des carbonates biogènes) + CCD
		mécanisme (fractionnement dépend de la masse/changement phase eau)
		CCD : altération du signal
évolution temporelle des conditions physico-chimiques	Dans le passé (futur)	observation (carottages, black-shale, ...)
		effets (origines des variations climatiques, événements anoxiques)
Points des notions		
Les interactions hydrosphère-lithosphère (36%)		
hydrosphère agent d'altération chimique		Observation (tri chimique, profil latéritique)
		mécanisme (hydrolyse/dissolution)
hydrothermalisme océanique		Evolution temporelle (sols, age, positions latitudes)
		Comparaison altération cont/océanique
Action mécanique de l'hydrosphère		observation (un ex parmi : gelifract, granulo amont-aval rivière, moraines, vallée en U, roches striées, profils de rivières...)
		Mécanisme (loi de Stokes, diagramme de Hjulström, gélifraction, ...)
Les interactions hydrosphère-lithosphère ont un impact sur les reliefs		observation (localisation des zones en érosion – flux sédiments des grandes rivières, rebond post-glaciaire)
		mécanisme (pente-gravité, isostasie)
		évolution temporelle (destruction des orogènes anciens et actuels)
La lithosphère enregistre les conditions chimiques actuelles et passées		observation (dépôts BIF, évaporites, ...)
		mécanisme (oxydation et comportement des oxydes / solubilité et cations en excès)
Les interactions hydrosphère-lithosphère, le cycle du C (pompe à CO2) et la dynamique océanique		observation (refroidissement cénozoïques/alpines – paléogéographie, ...)
		mécanisme (rétroaction altération des silicates / cycle du C, dépôt des carbonates)
		évolution temporelle : effet des reliefs, maintien de l'habitabilité à long terme
L'eau élément essentiel à la géodynamique (eau dans le manteau)		Observation (volcanisme calco-alcalin, SB/Eclo deshydratation )
		Mécanisme (hydratation plaque chevauchante, solidus hydraté, fusion partielle)
		Reconstructions contextes géodynamiques passés
L'eau et le dynamisme éruptif		observation (maar)
		Mécanisme : phréatomagmatisme



Qualité des démonstrations et de l'argumentation	Calcul automatique qui se fait à partir de la colonne F :
Points des notions	adéquation au sujet
	cohérent globalement (niveau hiérarchique
	logique dans la
	unités paragraphiques : une idée par transitions : explicite la logique de changer de
Illustrations (5% du total des points)	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 (1%)	orthographe/syntaxe
Clarté/concision/soin (1%)	clarté/concision/soin
Conclusion (4% du total des points)	synthèse (qui n'est pas une simple redite) des
	ouverture de qualité vers un prolongement
Bonus	Items développés pertinents non attendus dans le barème, maximum 2 % du total hors les deux bonus

# 5. Les épreuves pratiques

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

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

Le sujet d'option proposé pour le secteur A de la session 2024 portait sur le contrôle qualité de boissons alimentaires telles que l'eau et le lait. Ce sujet faisait appel à la mise en œuvre de compétences théoriques et pratiques en microbiologie, en biologie cellulaire, en biologie moléculaire, et en biochimie enzymatique. Il permettait ainsi une évaluation transversale des compétences de secteur A. Il permettait également de tester les capacités d'analyse et de réflexion des candidats sur différents types de données expérimentales. De plus, plusieurs parties sur ordinateur (logiciel Genigen2, utilisation d'un tableur) ont permis d'évaluer les aptitudes des candidats à utiliser les outils informatiques, indispensables pour le métier d'enseignant de SV-STU.

Ce TP comportait 2 parties complètement indépendantes. La plupart des candidats ont réalisé les différentes manipulations proposées dans la première partie. Néanmoins, peu de candidats ont traité correctement la deuxième partie du TP et fait les manipulations associées, ce qui s'est donc révélé discriminant. Les rapports des jurys ont insisté depuis quelques années sur l'importance accordée à la partie manipulative, ce qui est bien intégré par les candidats. Cependant réaliser l'expérience sans tenter d'en traiter les résultats s'avère préjudiciable. Ainsi le jury a été surpris de constater que peu de candidats ont tenté d'utiliser les mesures de la partie I-B du TP. Dans l'ensemble, les candidats ont présenté de bonnes connaissances théoriques sur les différents sujets. En revanche, l'application pratique de ces connaissances à un sujet précis est souvent approximative.

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

- Les candidats doivent avoir du recul sur leurs réalisations : lorsque la coloration de Gram de la première partie montrait deux micro-organismes colorés différemment alors que le candidat ne décrivait qu'un type de colonie, une remarque d'étonnement voire une tentative d'explication aurait dû être présente.
- Les dessins d'interprétation doivent correspondre à une réalité biologique : dans la question I-B-5, des cellules semblaient n'être pas entièrement encloses par une membrane ce qui reflète de sérieuses lacunes de ces candidats !
- Trop peu de candidats ont utilisé les moyennes et écart-type pour la représentation des résultats qui pouvaient être réalisés en triplicat.
- les enzymes telles que la lactase doivent être conservées sur glace. Ceci était indiqué dans le sujet mais trop de candidats ne l'ont pas fait, ce qui impacte le résultat des expériences mais aussi la notation en salle : la capacité à intégrer toutes les précisions indiquées dans les protocoles fait partie de l'évaluation.
- les règles d'hygiène et sécurité associées aux expérimentations sont peu respectées par les candidats. Trop de candidats conservent leurs gants après manipulation et se touchent le visage / tapent à l'ordinateur / boivent dans leur gourde avec leurs gants.
- une bonne manipulation implique une bonne organisation de la paillasse. De nombreux candidats laissent traîner des cônes sales et du matériel usagé sur la paillasse.

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

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

Le sujet est sur les pages suivantes avec les réponses attendues en rouge dans les cases réponses. Les valeurs R % et P % indiquées dans ces cases correspondent respectivement au pourcentage de répondants, et au pourcentage de points obtenus en moyenne par ces répondants.

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2024

## TRAVAUX PRATIQUES DE SPÉCIALITÉ

CANDIDATS DU SECTEUR A

Durée totale : 6 heures

### Contrôle de la qualité des boissons alimentaires : L'eau et le lait

Plusieurs aspects seront abordés dans 2 parties indépendantes :  
Vous devez vous organiser pour optimiser le temps de réalisation des expériences.

#### **Partie I : Qualité de l'eau** (60/120 points) A et B indépendants

I-A : Qualité microbiologique de l'eau 10 points page 1

I-B : Qualité chimique de l'eau et effets biologiques 50 points page 5

#### **Partie II : Qualité du lait** (60/120 points) A indépendant de B, C

II-A : Caractéristiques de l'intolérance et choix de l'enzyme 10 points page 18

II-B : Étude des paramètres cinétiques de la lactase d'*A. oryzae* 30 points page 23

II-C : Réalisation d'un bioréacteur 20 points page 32

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

**Vous pouvez disposer d'une calculatrice non programmable.**

Les valeurs R % et P % indiquées dans les cases réponses correspondent respectivement au pourcentage de répondants, et au pourcentage de points obtenus en moyenne par ces répondants.

## Partie I : Qualité de l'eau

L'eau est un des aliments les plus contrôlés en France, soumis à des normes européennes visant à garantir l'accès de tous à de l'eau potable (initiative européenne Right2Water). Dans cette partie seront abordés des critères de contrôle de la qualité microbiologique ou chimique de l'eau, et les conséquences possibles sur la santé humaine lorsque ces critères ne sont pas respectés.

### Partie I-A : Qualité microbiologique de l'eau

De l'eau a été collectée dans une rivière en amont d'un point de captage pour un approvisionnement en eau potable.

Q I-A-1 : Indiquez quelles classes de pathogènes pourraient être présents dans cet échantillon.

Bactéries, virus, protozoaires ...

R 100% P 84%

L'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine indique une référence de qualité en bactéries coliformes de 0/100 mL et en germes aérobies revivifiables à 36 °C de 20/1 mL.

Pour vérifier si le prélèvement respecte cette norme, 250 mL d'eau ont été filtrés et ramenés à 1 mL. Des dilutions ont été réalisées puis 100 µL ont été répartis sur une gélose nutritive et cultivés à 36 °C pendant 24 h. boîte 1 : dilution au 1/10<sup>e</sup> ; boîte 2 : dilution au 1/100<sup>e</sup>.

Q I-A-2 : Décrivez les colonies observées, et dénombrez-les. Détaillez le calcul qui vous permet d'obtenir le nombre de micro-organismes par millilitre dans l'échantillon d'eau.



La boîte contenait 2 types de colonies : de larges colonies plates, beige pale, brillantes et de toutes petites colonies jaunes.

Il fallait dénombrer les colonies sur la dilution qui rendait cela possible, tenir compte de la dilution et du volume d'eau utilisé.

Boîte 1 : 40 grandes colonies \* 10 (dilution) / 25 (équivalent à 1mL d'eau) = 16 colonies / mL d'eau

Boîte 2 : 33 petites colonies \* 100 (dilution) / 25 (équivalent à 1mL d'eau) = 132 colonies /mL d'eau

R 100% P 46%

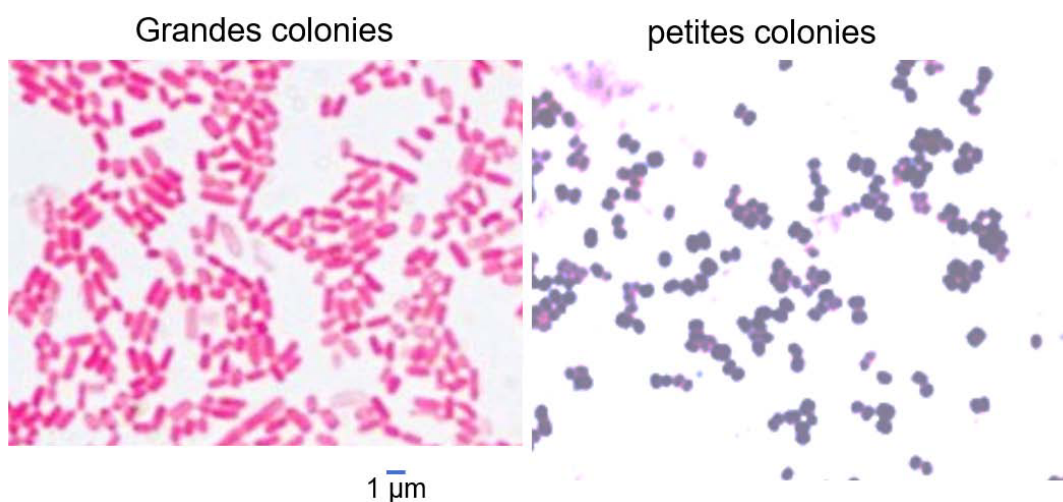
Pour caractériser les micro-organismes présents, vous allez réaliser un frottis et une coloration de Gram. Des gants sont à votre disposition dans la salle. Plusieurs frottis et colorations sont réalisables en parallèle dans des boîtes de Pétri séparées. Les déchets liquides peuvent rester dans la boîte de Pétri et ne doivent en aucun cas être jetés à l'évier.

#### Protocole : coloration de Gram

- Réalisez un frottis à partir d'une / des colonies choisie(s) sur la boîte 1 ou la boîte 2.
- Laissez sécher quelques secondes puis fixer avec de l'éthanol à 90° (5 minutes).
- Rincez à l'eau distillée et recouvrir la lame de violet de gentiane pendant 1 minute
- Lavez à l'eau distillée
- Recouvrez la lame de Lugol pendant 1 minute
- Lavez à l'eau distillée
- Versez de l'éthanol à 90° sur la lame inclinée pendant une douzaine de secondes
- Lavez à l'eau distillée
- Recouvrez la lame de safranine pendant 1 minute
- Lavez à l'eau distillée
- Laissez sécher la lame avant observation.

Q I-A-3 : Réalisez un dessin d'observation des colonies colorées et donnez des arguments pour identifier les micro-organismes. Vous appellerez alors un correcteur pour faire évaluer votre coloration. Si différentes colonies ont été colorées, vous montrerez sur la boîte gélosée le type de colonie qui est observé.

#### Dessin



#### Arguments

Grandes colonies = bacilles gram moins

Petites colonies = coques gram plus

R 94 % P 74 %

Q I-A-4 : Étant donné le nombre de micro-organismes dénombrés et les éléments d'identification dont vous disposez, argumentez et indiquez si cette eau respecte les normes microbiologiques.

Présence de coliforme, donc *a priori* pas aux normes et le nombre de germes aérobies recultivables dépasse la limite de 20/1mL.

R 82 % P 88 %

Une autre technique utilisée pour rechercher des contaminants dans les eaux de l'environnement, en particulier des virus entériques, est la PCR en temps réel (aussi appelée qPCR) où la réaction est suivie grâce l'évolution de la fluorescence en temps réel. Le nombre de cycles nécessaires pour dépasser un niveau de fluorescence seuil (ligne pointillée noire sur la figure I-1) est appelée Ct (Cycle threshold).

Q I-A-5 : Expliquez le principe d'une PCR en temps réel et son avantage par rapport à une PCR classique.

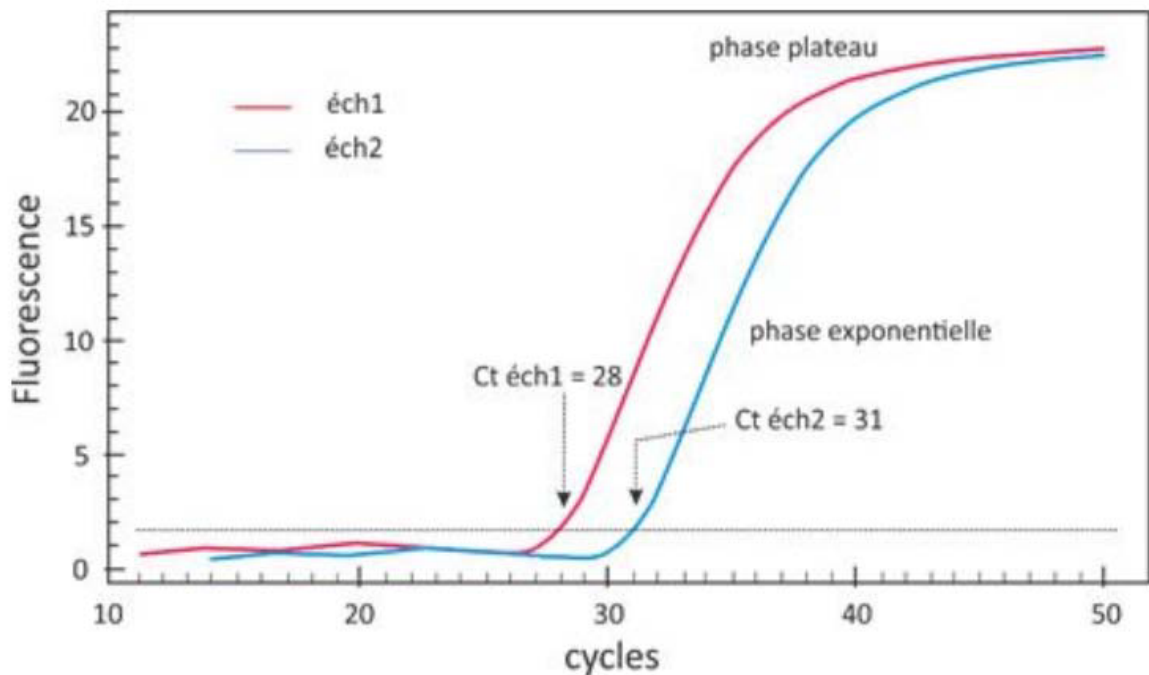
La PCR permet d'amplifier des portions d'ADN de manière exponentielle grâce à une amorce amont et une amorce aval de la zone ciblée, une polymérase thermorésistante, des dNTPs. Des cycles de température permettant la dissociation des brins d'ADN, l'association aux amorces à une température spécifique et l'élongation.

La PCR quantitative permet de suivre les cycles d'amplification en temps réel, et donc de distinguer au début de la phase exponentielle des échantillons contenant plus ou moins de matériel de départ, contrairement à la PCR classique ou « end-point » pour laquelle le plateau est atteint.

2 possibilités de suivi en temps réel : sonde fluorescente spécifique du gène cible (Taqman) ou agent intercalant quantifiant l'ADNdb en fin de cycle d'élongation (Sybr).

R 97 % P 54 %

Q I-A-6 : Dans l'exemple de la figure I-1, indiquez quel échantillon contient le plus de virus de l'hépatite A. Vous donnerez une justification numérique.



**Figure I-1 :** Exemple de PCR en temps réel recherchant l'hépatite A pour 2 échantillons d'eaux.

Le Ct est donc le cycle à partir duquel la fluorescence, liée à l'amplification, dépasse un seuil. Plus il y a de copie du gène amplifié dans le matériel de départ, moins il faut de cycle pour atteindre ce seuil.

Ici, l'échantillon 1 contient donc le plus de VHA,

on même dire qu'il y en a  $2^{(31-28)} = 2^3 = 8$  fois plus que dans l'échantillon 2

R 100 % P 49 %

Q I-A-7 : Indiquez une méthode pour obtenir une quantification absolue du virus dans un échantillon.

Comparaison de la qPCR avec un plasmide en quantité connue exprimant le même gène...

R 74 % P 36 %

## Partie I-B : Qualité chimique de l'eau et effets biologiques

La directive cadre sur l'eau émise par la Communauté Européenne a établi des normes de qualité environnementale pour 41 substances chimiques polluantes qui doivent être recherchées dans l'eau. Ces polluants sont le plus souvent recherchés par spectrométrie de masse, précédée de diverses méthodes de fractionnement des composés à analyser.

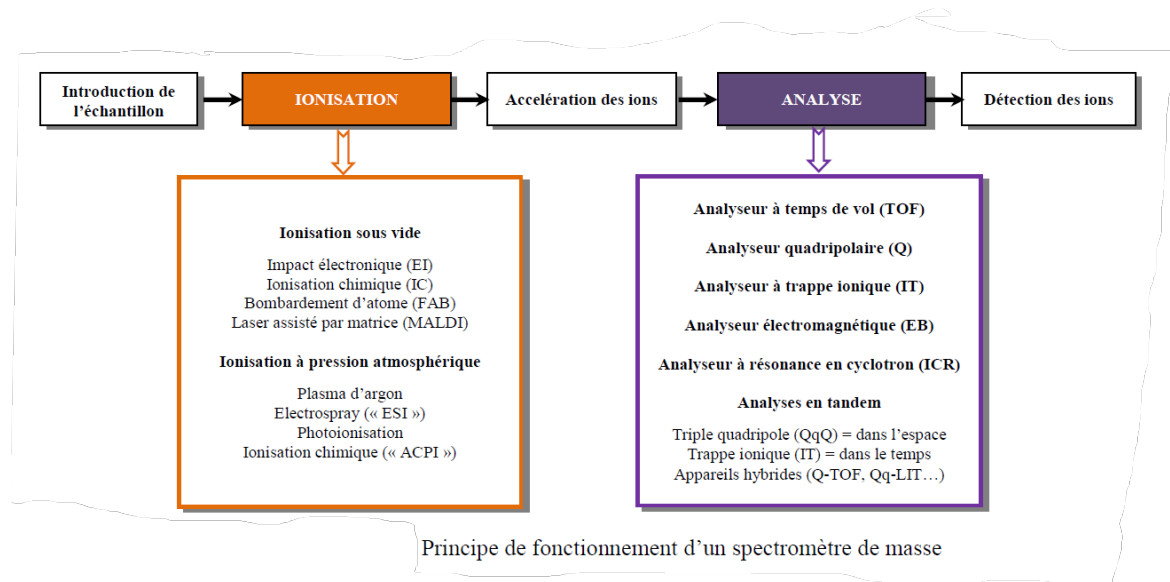


Liste des substances prioritaires de la directive cadre sur l'eau (DCE , 2000/60/EC).  
En gras, les substances dangereuses.

Classes chimiques	Composés
<b>Pesticides</b>	alachlore , atrazine , chlorfenvinphos , éthylchlorpyrifos , diuron , endosulfan , hexachlorobenzène , hexachlorocyclohexane , isoproturon , pentachlorobenzène , pentachlorophénol , simazine , trifluraline
<b>Métaux lourds</b>	<b>cadmium , mercure</b> , nickel , plomb et les composés de ces métaux
<b>Polluants industriels</b>	<b>anthracène</b> , benzène , <b>C10-13-chloro-alcanes</b> , chloroforme , 1,2-dichloroéthane , dichlorométhane , <b>diphényléther bromé</b> , di(2-éthylhexyl)phthalate (DEHP) , naphthalène , <b>nonylphénol</b> , octylphénol , <b>tributylétain</b> , <b>HAP</b> , <b>benzo(b,k)fluoranthène</b> , <b>benzo(a)pyrène</b> , <b>benzo(g,h,i)perylène</b> et <b>indéno(1,2,3-cd)pyrène</b> , fluoranthène , trichlorobenzène , hexachlorobutadiène
<b>Autres polluants</b>	DDT total , para-para-DDT , pesticides cyclodiènes (aldrine , dieldrine , endrine , isodrine) , tétrachloréthylène , trichloroéthylène , tétrachlorure de carbone

Q I-B-1 : Décrivez le principe de la spectrométrie de masse.

Un spectromètre de masse peut mesurer la masse d'une molécule après l'avoir convertie en ions en phase gazeuse. Ces ions sont alors soumis sous vide à l'action d'un champ électrique et/ou magnétique qui permet de les accélérer et de les séparer selon leur rapport masse/charge ( $m/z$ ). Les résultats sont présentés sous la forme d'un spectre de masse sur lequel on reporte l'abondance des ions formés, par ordre croissant de leur rapport  $m/z$ .



R 91 % P 31 %

Le Benzo(a)pyrène (BaP) est un hydrocarbure aromatique polycyclique (Numéro CAS :50-32-8

Poids moléculaire : 252.31). L'effet du BaP sur des cellules en culture va être étudié plus en détails, en particulier, sur une lignée murine de cellules du foie qui ont été traitées pendant 24 h avec différentes doses de BaP. 2 colorations seront réalisées pendant ce TP : une coloration

à l'huile rouge (Oil Red O, ORO), et une au 3- 4,5-diméthylthiazol-2-yle -2,5-bromure de diphényltétrazolium (MTT).

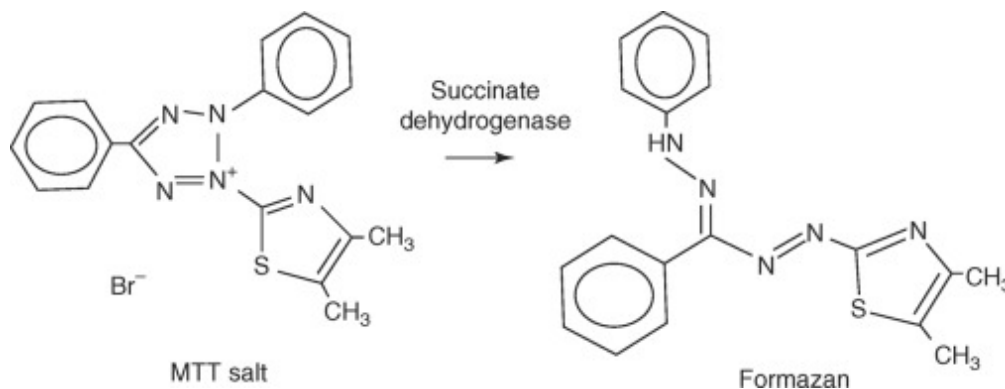
Le colorant ORO est un lysochrome de la famille du Rouge Soudan, fortement lipophile.

Q I-B-2 : Indiquez quelles structures pourront être colorées par l'ORO dans des hépatocytes en culture et donc quel processus sera mis en évidence.

Ce sont les gouttelettes lipidiques à l'intérieur des hépatocytes qui seront mises en évidence, preuve de stéatose.

R 100 % P 62 %

Le MTT est dégradé par la succinate déshydrogénase comme présenté ci-dessous :



**Figure I-2 :** Transformation du MTT dans la cellule

Q I-B-3 : Expliquez dans quel compartiment de la cellule le MTT pourra être réduit en formazan et indiquez l'intérêt de cette coloration au MTT pour le suivi d'une culture cellulaire.

La succinate déshydrogénase, ou complexe II de la chaîne respiratoire, est une enzyme de la membrane interne mitochondriale. La coloration au MTT va donc permettre de quantifier les mitochondries actives, et donc les cellules vivantes dans la culture.

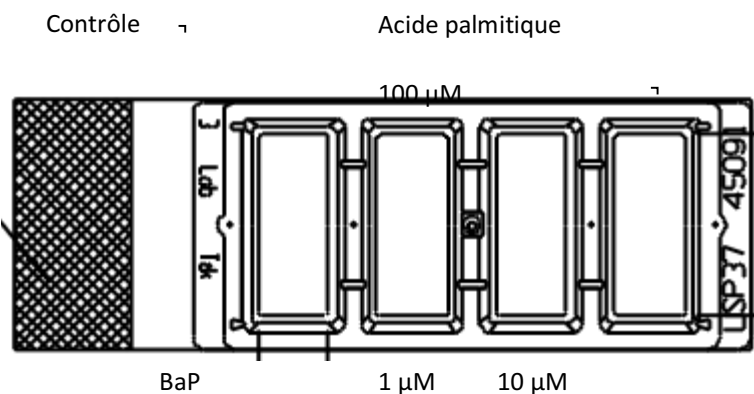
On utilise généralement le MTT pour suivre la prolifération, ou inversement la mort cellulaire.

R 100 % P 65 %

Protocole : coloration ORO

Vous disposez d'une lame séparable à 4 chambres de culture, où les cellules d'hépatome murin ont été traitées comme indiqué.

A la fin de la coloration, les séparations sont enlevées. On se retrouve alors avec une lame que l'on peut recouvrir d'une lamelle pour l'observation au microscope.



Attention à jeter les colorants dans les poubelles pour liquide appropriées.

**Attention à ne pas décoller le tapis cellulaire et donc à faire couler les liquides le long des parois de la chambre.**

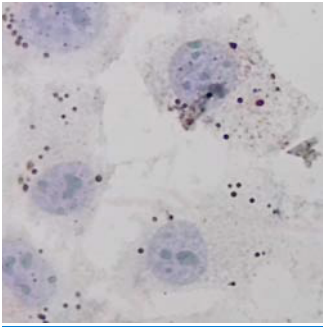
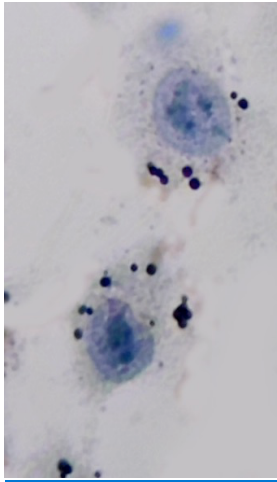
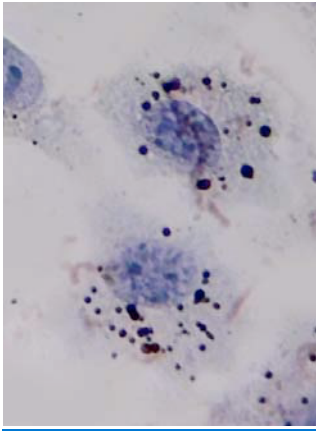
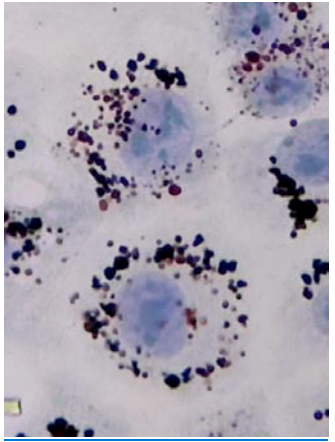
- Le réactif ORO doit être dilué dans de l'eau 15 min. avant utilisation puis il est stable pendant 2 h : mélangez 3 mL d'ORO avec 2 mL d'eau distillée et agitez vigoureusement, puis laissez reposer 15 minutes.
- **Demandez une lame de culture à un correcteur.**
- Eliminez le milieu de culture et lavez chaque tapis cellulaire avec 1 mL de PBS.
- Enlevez le PBS et ajoutez 0,5 mL de solution de marquage à l'ORO et agitez immédiatement puis laissez incuber 10 à 20 min à température ambiante.
- Enlevez le réactif puis lavez 1 fois les tapis cellulaires avec 1 mL de PBS.
- Enlevez le PBS et ajoutez 0,5 mL de solution d'hématoxyline/éosine, agitez immédiatement puis laissez incuber **60 secondes**.
- Lavez 2 fois le tapis cellulaire avec 1 mL de PBS.
- Détachez les chambres amovibles selon les instructions de l'annexe 1 (page 42).
- Montez une lamelle de verre après avoir ajouté si besoin une goutte de PBS.

**Q I-B-4 : Observez au moins 30 cellules par conditions au grossissement approprié et classez-les selon leur charge en gouttelettes lipidiques dans le tableau ci-dessous.**

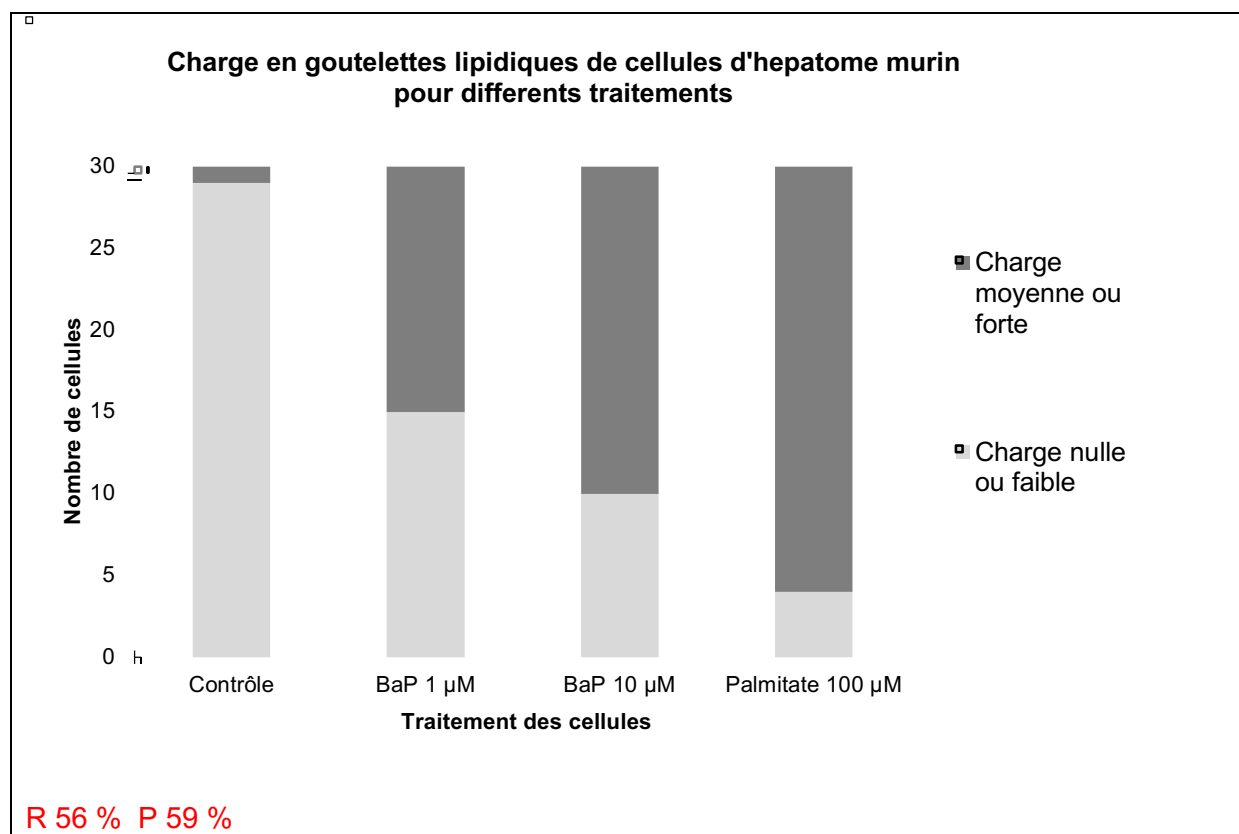
Nombre de cellules :	Contrôle	BaP 1 µM	BaP 10 µM	Palmitate 100 µM
Charge nulle ou faible	29	15	10	4
Charge moyenne ou forte	1	15	20	26

R 100 % P 58 %

Q I-B-5 : Réalisez un schéma interprétatif sur quelques cellules, au grossissement qui vous semble pertinent. Vous appellerez alors un correcteur pour faire vérifier votre dessin.

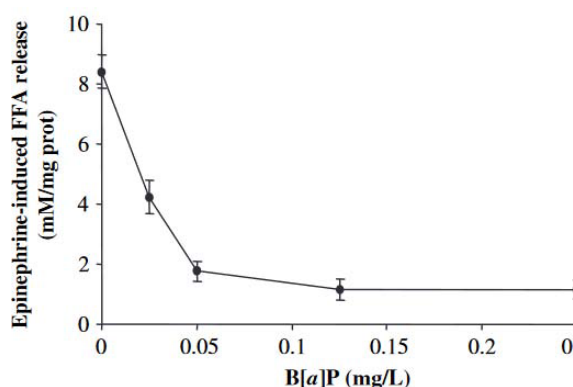
Contrôle	Bap 1 $\mu$ M	Bap 10 $\mu$ M	Palmitate 100 $\mu$ M
			
<p>Indiquez un grossissement et/ou un grandissement :</p> <p>Grossissement de l'appareil optique x400. Grandissement ou échelle : la barre représente 20<math>\mu</math>m</p> <p>R 100 % P 53 %</p>			

Q I-B-6 : Proposez une figure rendant compte de cette expérience. Vous pouvez utiliser le tableur sur l'ordinateur (onglet I-B-6), dans ce cas l'indiquer dans la case résultat ci-dessous.

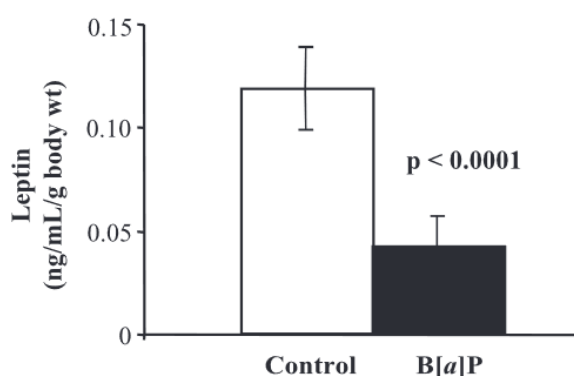


Irigaray *et al* [FEBS Journal 273(2006) 1362–1372] ont réalisé des expériences sur des adipocytes humains fraîchement isolés du tissu cutané sous-abdominal. Après les avoir exposés pendant 15 min à diverses concentrations de BaP, ils ont ajouté de l'épinéphrine pour déclencher la libération d'acides gras. Le résultat est présenté comme la différence en concentration d'acides gras obtenue entre l'épinéphrine ou une solution saline au bout de 45 min (Figure I-3A).

Ils ont également administré tous les 2 jours pendant 2 semaines 0.5 mg.kg<sup>-1</sup> de BaP à des souris (20 à 22 g) consommant un régime alimentaire normal et ont alors mesuré par ELISA les taux de leptine dans le plasma des souris. Le résultat est exprimé en ratio par rapport au poids de la souris (Figure I-3B).



**Figure I-3A :** Libération d'acides gras induite par l'épinéphrine par des adipocytes humains après exposition au BaP. Moyenne ± erreur standard



**Figure I-3B :** taux de leptine des souris chroniquement exposées au BaP. Moyenne ± erreur standard

Q I-B-7 : Interprétez le résultat de votre coloration et les figures I-3A et I-3B et proposez une conséquence de l'exposition au BaP sur la santé humaine.

La coloration ORO montre que le BaP induit une stéatose des hépatocytes, donc un stockage de lipides.

La figure I-3A montre qu'en présence 0.05 mg/L = 0.2  $\mu$ M de BaP les adipocytes ne sont quasiment plus capables de libérer des acides gras en réponse à une stimulation.

La figure I-3B montre que l'exposition chronique au BaP diminue d'un facteur 3 la production de leptine, une hormone induisant la sensation de satiété.

On peut donc conclure que les individus exposés chroniquement au BaP peuvent avoir une consommation accrue de nourriture, qui conduira à un stockage de graisses qui seront moins libérées en cas de besoin. Ces individus risquent devenir obèses.

R 91 % P 50 %

#### Protocole : coloration MTT

Vous disposez d'une plaque 96 puits où les cellules d'hépatome murin ont été traitées comme indiqué.

Bx : puit contenant des cellules traitées avec du BaP, le chiffre indiquant la concentration en  $\mu$ M du BaP ajouté.

	1	2	3
A	B0	B0	B0
B	B0	B0	B0
C	B 0.1	B 0.1	B 0.1
D	B 0.5	B 0.5	B 0.5
E	B 1	B 1	B 1
F	B 2,5	B 2,5	B 2,5
G	B 5	B 5	B 5
H	B 10	B 10	B 10

Pour cette coloration, vous devrez ajouter du MTT dans les puits des lignes B à H et incuber à 37 °C le temps nécessaire. La ligne A ne contiendra pas de MTT. L'ensemble se fait non stérilement. Il faut prévoir un volume total de 100  $\mu$ L de réactif par puits.

Vous disposez de :

- Milieu de culture des cellules
- Solution saline PBS
- D-glucose à 0,5 g $\cdot$ L<sup>-1</sup> ( $M_{\text{glucose}}$  180 g/mol)
- MTT à 5 mg/mL dans du PBS
- DMSO

Q I-B-8 : D'après les informations de la figure I-4, établissez et justifiez un protocole détaillé pour le test MTT. Vous appellerez alors un correcteur pour vous faire donner une plaque de cellules.

Fig 4a = > Diluer le MTT dans le milieu frais en nutriment (cf action de l'enzyme mitochondriale)

Fig 4C => Diluer le MTT à 1 mg/mL

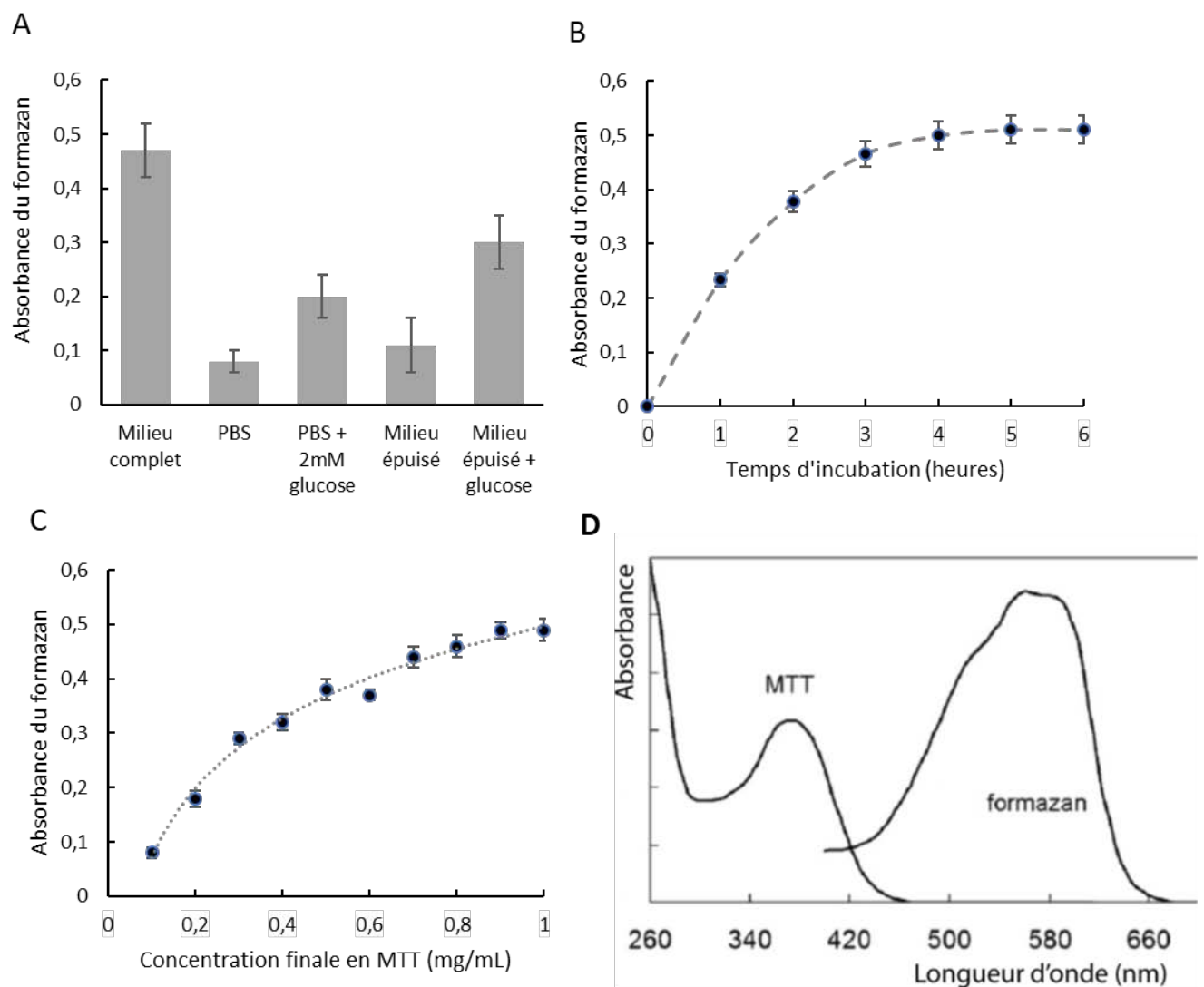
Fib 4B => pour un temps d'incubation de 3 à 4 h.

Fig 2 : Maximum d'absorption du formazan à 570 nm, avec une référence > à 660 nm.

Il faut donc diluer 600  $\mu$ L de MTT à 5 mg/mL avec 2.4mL de milieu de culture. Enlever le surnageant de culture et remplacez par 100  $\mu$ L de MTT dilué et incubé 3-4 h à 37 °C.

Le spectrophotomètre permet une lecture à 490nm et 750 nm.

R 88 % P 48 %



**Figure I-4 :** Paramètres d'optimisation du test au MTT. Un nombre égal de cellules adhérentes ont été incubées avec du MTT en variant A) le milieu d'incubation, B) le temps d'incubation,

C) la concentration finale du MTT. D) Spectres d'absorption du MTT et du formazan. D'après Cancer research (1989) 49, 4435-4440 et Methods in Molecular Biology (2011) vol. 716.

- Après incubation à 37 °C, aspirez délicatement le surnageant de chaque puits à jeter dans la poubelle liquide. Renversez sur du papier absorbant pour finir de sécher la plaque.
- Ajoutez 100 µL de DMSO dans tous les puits (y compris ligne A) et dissolvez les cristaux de formazan par plusieurs pipetages / refoulements.

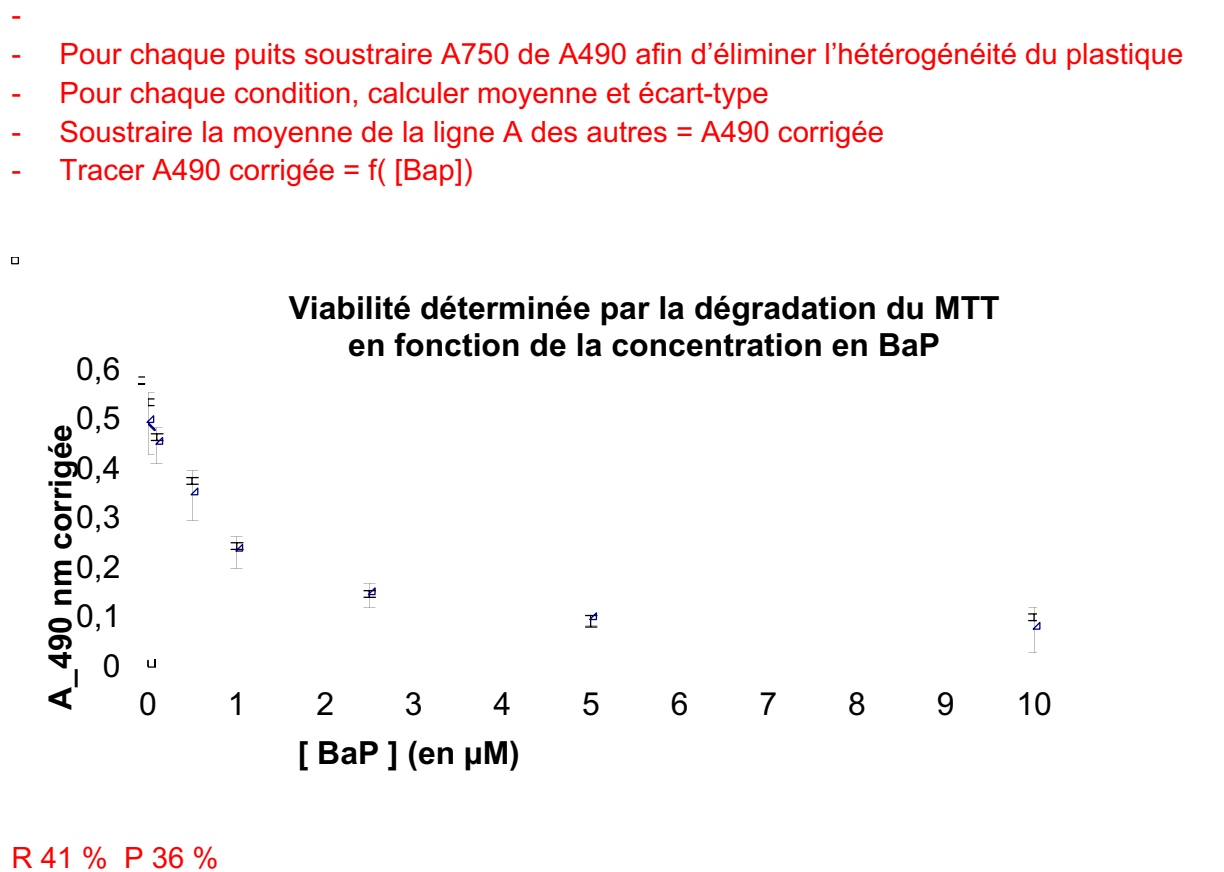
La mesure se fait sur un spectrophotomètre lecteur de plaque, il est possible de mesurer l'absorbance à 1, 2 ou 3 longueurs d'onde.

Q I-B-9 : Appelez un correcteur pour faire lire l'absorbance de votre plaque. Entourez ci-dessous et sur la feuille de suivi la/les longueur(s) d'onde à utiliser :

405 nm      450 nm      490 nm      630 nm      750 nm

R 56 % P 68 %

Q I-B-10 : Explicitiez les calculs que vous ferez à partir du fichier de résultat et produisez grâce au tableur sur l'ordinateur une figure qui rend compte de cette expérience.



Q I-B-11 : Interprétez les résultats obtenus.

Les cellules traitées par BaP ont une moindre absorbance dans le test du MTT, ce qui signifie qu'elles sont moins nombreuses (mort ou absence de prolifération). Cet effet est dose



dépendant avec une diminution de moitié pour la dose 1  $\mu\text{M}$  et d'environ 80% pour la dose 10  $\mu\text{M}$ .

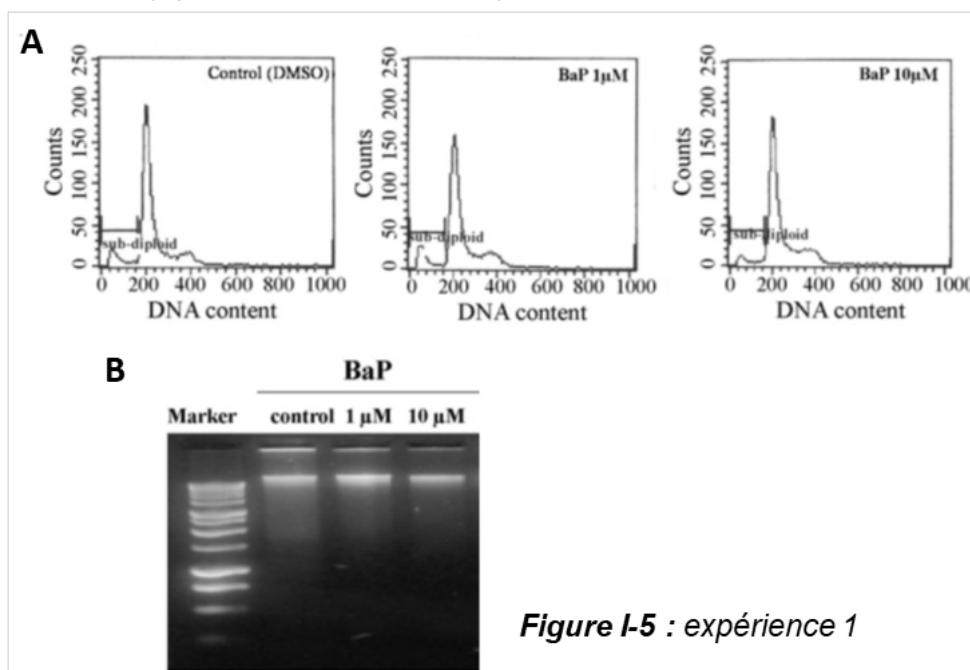
Il serait donc possible de calculer un EC 50 à partir de ces courbes.

R 35 % P 17 %

Pour comprendre le mécanisme de ce qui vient d'être observé, plusieurs auteurs ont réalisé des expériences complémentaires.

**Expérience 1** (d'après *Toxicology Letters* 167 (2006) 27–33) : Des cellules hépatocytaires sont exposées *in vitro* pendant 24 h à des concentrations variées de BaP.

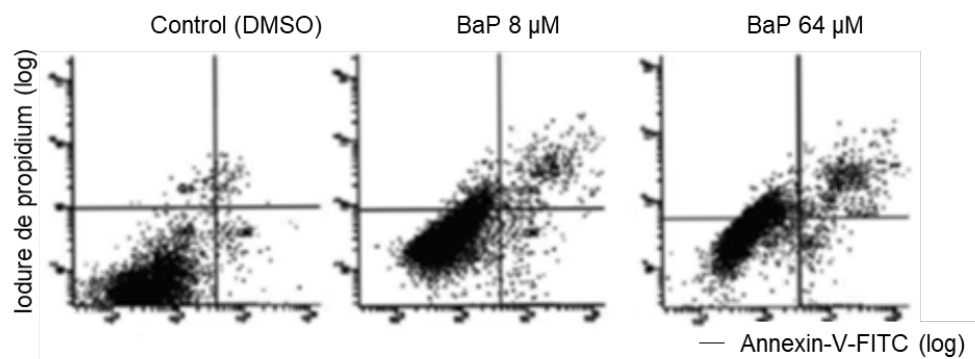
**A)** Les cellules sont perméabilisées et incubées en présence d'iodure de propidium (un agent intercalant de l'ADN) puis analysées par cytométrie en flux. L'abscisse donne l'intensité de fluorescence de l'iodure de propidium (échelle linéaire). **B)** L'ADN génomique des cellules traitées est extrait et soumis à une électrophorèse sur gel à 1.5 % d'agarose contenant du bromure d'éthidium (agent intercalant de l'ADN).



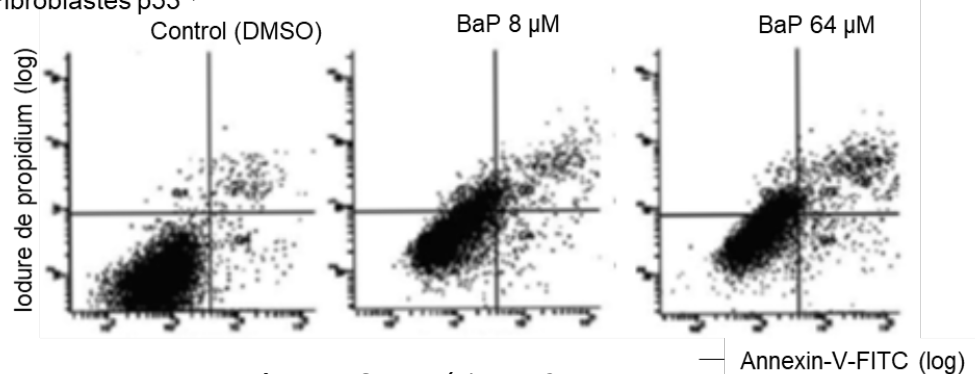
**Figure I-5 : expérience 1**

**Expérience 2** (Adaptée de *Human and Experimental Toxicology* 32 (2013) 1245–1257) : Des fibroblastes normaux ou invalidés pour le gène p53 (p53<sup>-/-</sup>) par des siARN sont exposés *in vitro* pendant 24 h à des concentrations variées de BaP.

A) Fibroblastes normaux



B) Fibroblastes p53<sup>-/-</sup>



**Figure I-6 : expérience 2**

(suite expérience 2) Les cellules non perméabilisées sont incubées en présence d'iodure de propidium et d'annexine V couplée à un fluorochrome (FITC). L'annexine V est une protéine capable de s'associer aux phospholipides anioniques (dont la phosphatidylsérine) par l'intermédiaire d'ions calcium. Les cellules sont analysées par cytométrie en flux, l'ordonnée donne la fluorescence de l'iodure de propidium (échelle log) et l'abscisse la fluorescence de l'annexine V -FITC (échelle log).

Q I-B-12 : Expliquez ce que montre l'iodure de propidium dans les expériences 1 et 2.

L'IP est un colorant non perméant exclu des cellules dont la membrane est intacte. Avec les cellules perméabilisées, l'IP permet de quantifier l'ADN et de détecter des corps apoptotiques (sub-diploïd), alors qu'avec les cellules non perméabilisées, son entrée prouve que la membrane est endommagée, signe de nécrose.

R 70 % P 40 %

Q I-B-13 : Expliquez l'objectif des expériences 1 et 2, et analysez-les

Exp 1 : Montrer si l'ADN est fragmenté (sub-diploïd, bande de taille plus faible sur gel d'agarose), signe d'apoptose. En l'occurrence, les cellules traitées ou non au BaP sont comparables, il n'y a pas de fragmentation de l'ADN.

Exp 2 : Déterminer s'il s'agit de mort par nécrose ou apoptose et si p53 est impliqué. En effet, le marquage à l'anxV est un signe d'externalisation des phosphatidylsérines, étape précoce de l'apoptose. Ici, les différentes doses de BaP augmentent le nombre de cellules uniquement dans le cadran double positifs (IP+ et anxV+), ce qui signifie que la perméabilité membranaire

est affectée (IP+). Il s'agit ici de nécrose. meLa lignée invalidée pour p53 a exactement le même comportement, confirmant qu'il ne s'agit pas d'apoptose.

R 71 % P 33 %

**Expérience 3** (d'après *Toxicology* 245 (2008) 147-153 et *Int. J. Mol. Sci.* 20 (2019) 5533) : Des cellules hépatocytaires sont traitées *in vitro* pendant 48 h par 10  $\mu$ M de BaP. **A)** La concentration cellulaire en ATP est mesurée par HPLC. **B)** Les quantités d'adduits entre l'ADN et BPDE (un métabolite de BaP) sont mesurées par LC/MS. **C)** Images représentatives de chaque groupe.

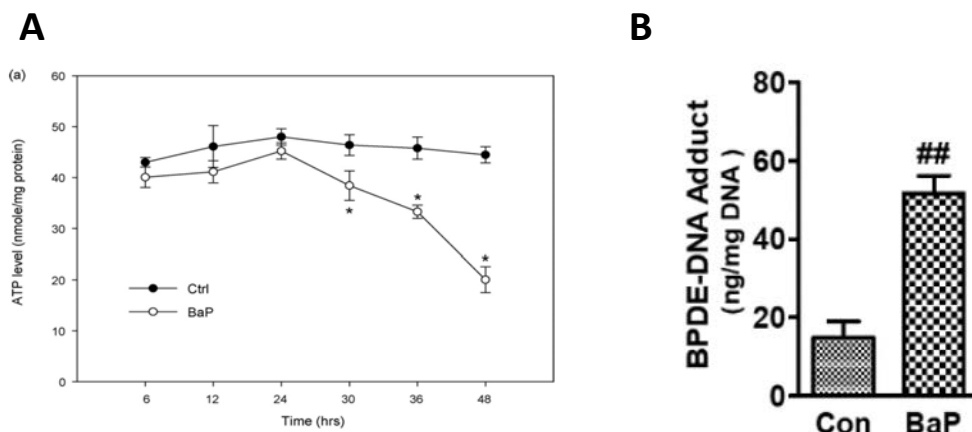


Figure I-7 : expérience 3 A et B

Q I-B-14 : Analysez les figures I-7A et B

La figure I-7A montre à partir de 24 h de traitement une diminution significative de la quantité d'ATP intracellulaire, ce qui est un signe de l'arrêt du métabolisme et donc de la mort cellulaire.

La figure I-7B montre que la quantité d'adduits entre les métabolites du BaP et l'ADN augmente, ce qui doit donc causer un stress répliatif.

R 76 % P 45 %

Q I-B-15 : Expliquez quelle microscopie permet d'obtenir les images de l'expérience 3C (figure I-8) et comment les cellules sont préparées

L'image montre l'ultrastructure cellulaire et une résolution inférieure à 200 nm, il s'agit donc de microscopie électronique à transmission.

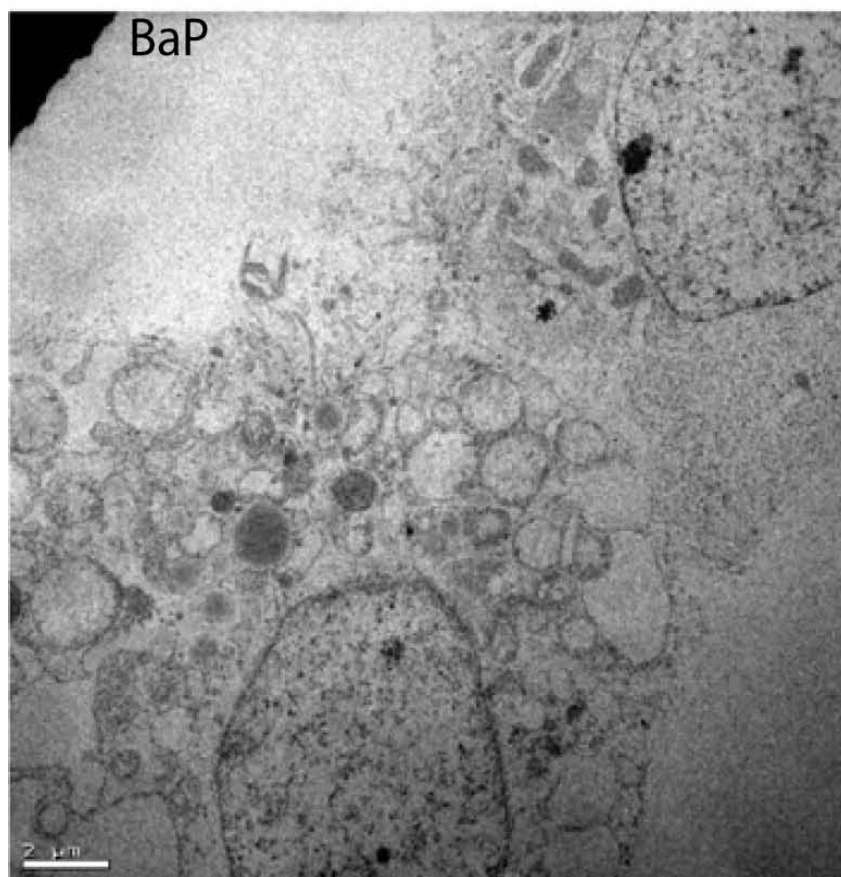
Les cellules doivent être fixées, imprégnées par des métaux lourds, déshydratées et incluses en résine. La coupe < 100 nm est faite sur un ultramicrotome et déposée sur une grille métallique avant d'être bombardée par un flux d'électron.

R 82 % P 50 %



Membrane plasmique

Noyau



Rupture de la  
membrane plasmique

Vacuoles

Noyau : pas de condensation  
ni fragmentation

**Figure I-8 :** expérience 3C. Des images représentatives des groupes sont montrées ci-dessus, la barre d'échelle fait 2  $\mu$ m.

Q I-B-16 : Légendez les images de la figure I-8, expérience 3C sur la page 16.

R 88 % P 48 %

Q I-B-17 : À partir des expériences 1, 2 et 3, proposez les mécanismes qui permettent d'expliquer le phénomène mis en évidence par la coloration MTT

Dans les cellules BaP est métabolisé en BPDE. Celui-ci forme des adduits avec l'ADN (exp 3B) ce qui peut induire un stress génotoxique. On observe un arrêt du métabolisme (exp 3A) et une diminution du nombre de cellules (test MTT). Il n'y a pas de formation de corps apoptotique (exp 1A) ni de fragmentation du génome (exp 1B), il s'agit également d'une mort indépendante de p53 dont la morphologie est celle de la nécrose (exp 2 et figure I-8).

Il s'agit donc d'un processus de nécrose induite ou nécroptose.

R 38 % P 27 %



## - Partie II : Qualité du lait

### - Dé lactosation du lait en bioréacteur enzymatique

-

Le lait fait partie de l'alimentation de base du nourrisson chez les Mammifères, et l'exploitation du lait animal a émergée depuis la sédentarisation de l'être humain et l'élevage d'animaux producteurs ovins et bovins.

Le lait de Mammifère est riche en sels, en protéines, en matière grasse, et en glucides, dont une quantité majoritaire de lactose. La consommation de lait, exclusive à la naissance, se réduit au fur et à mesure du développement de l'enfant, puis devient plus rare à l'âge adulte. Pour une grande partie de la population mondiale, l'intolérance au lactose à l'âge adulte se caractérise par un inconfort digestif (diarrhées, gaz et douleurs). L'objectif de cette partie est de mettre au point un réacteur de dé lactosation du lait, afin d'obtenir un lait digérable par les individus intolérants au lactose.

#### Partie II-A : Caractéristiques de l'intolérance et choix de l'enzyme

L'enzyme responsable de la dégradation du lactose chez l'Homme est la lactase (Lactase-phlorizin hydrolase = LPH), dont la séquence du gène et la séquence protéique associée sont bien caractérisées. Afin de comprendre l'origine moléculaire de l'intolérance au lactose, des coupes histologiques sont réalisées et données dans la figure II-1 ci-dessous.



**Figure II-1** : Coupes histologiques de jéjunum d'une souris juvénile (à gauche) et d'une souris adulte (à droite) traitées par marquage immunohistochimique avec un anticorps dirigé contre la lactase. Le marquage immunohistochimique se traduit par un dépôt brun avec une contre-coloration à l'hématoxyline. Agrandissement x80.

Q-II-A-1 : Rappelez les principales étapes d'un marquage immunohistochimique.

Trois grandes étapes étaient attendues :

- Préparation de l'échantillon : prélèvement du tissu, fixation et déshydratation, coupe au microtome.
- Marquage : blocage des sites non spécifiques, ajout de l'anticorps primaire.
- Révélation. Ajout de l'anticorps secondaire couplé à une enzyme (HRP par exemple). Contre coloration (Hématoxyline)

R 97 %

P 57 %

Q-II-A-2 : Réalisez un schéma des structures communes observées sur la figure II-1 (une des deux photos), en légendant un maximum de structures.

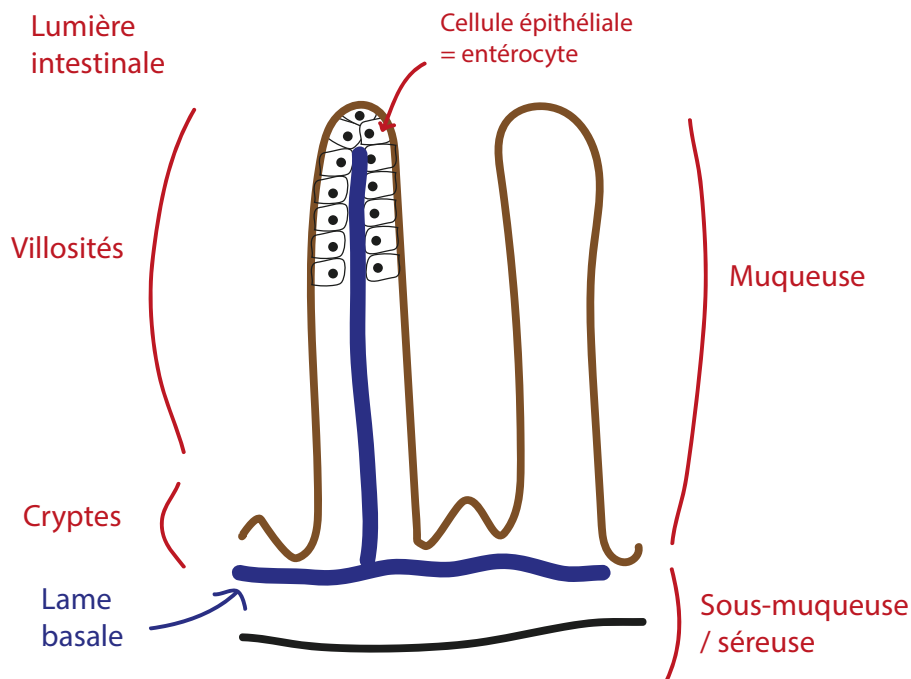


Schéma interprétatif d'une coupe de jéjunum de souris (x80)

R 91 %

P 45 %

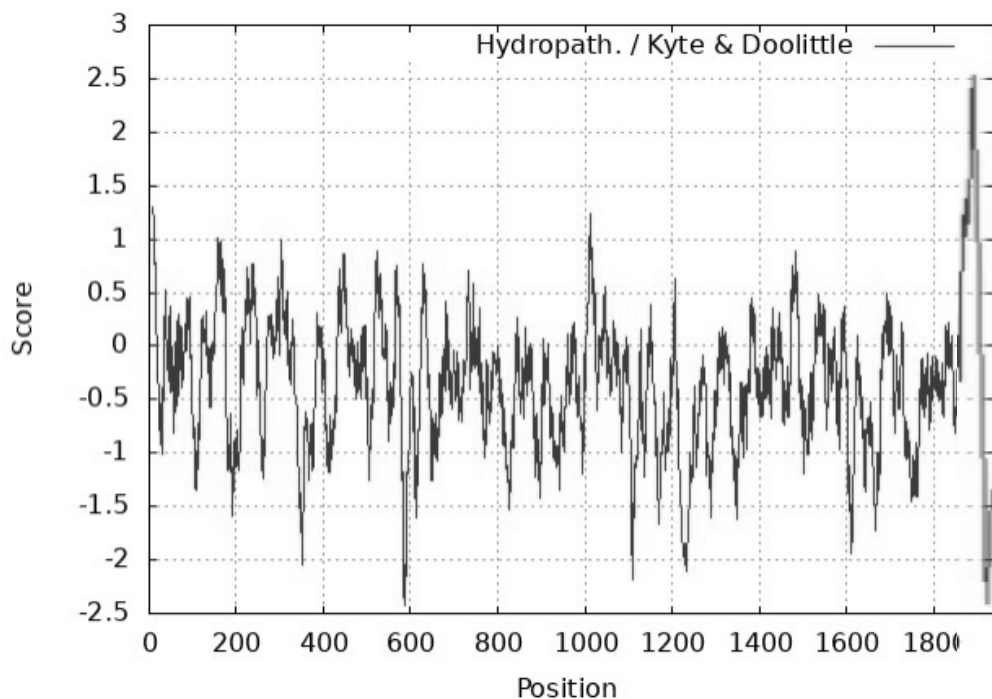
Q-II-A-3 : Déduisez de la figure II-1 l'origine moléculaire de l'intolérance au lactose.

*Importante diminution du marquage brun sur la membrane apicale des entérocytes chez une souris adulte. Le gène de la lactase est donc fortement exprimé chez le juvénile, mais semble diminuer chez l'adulte.*

*A partir de la photographie seule, on ne peut pas connaître l'origine moléculaire de cette diminution de synthèse de la lactase. Il s'agit d'un contrôle épigénétique.*

R 91 %      P 86 %

Q-II-A-4 : À partir de l'immunomarquage histologique de la figure II-1, et d'après le profil d'hydrophobicité de la lactase ci-dessous (figure II-2), déduisez la localisation cellulaire de la lactase. Un schéma illustrant la position de la lactase dans une cellule est suggéré.



**Figure II-2 :** Profil d'hydrophobie pour la séquence protéique de la lactase humaine LPH. Le score d'hydrophobie à une position X dans la séquence est obtenu en faisant la moyenne de l'hydrophobie des vingt résidus d'acides aminés centrés autour de la position X. Le modèle utilisé ci-dessous est celui de Kyte & Doolittle, qui utilise les scores suivants pour chaque résidu d'acides aminés :

Ala : 1,8	Arg : - 4,5	Asn : - 3,5	Asp : - 3,5	Cys : 2,5	Gln : - 3,5	Glu : - 3,5
Gly : - 0,4	His : - 3,2	Ile : 4,5	Leu : 3,8	Lys : - 3,9	Met : 1,9	Phe : 2,8
Pro : - 1,6	Ser : - 0,8	Thr : - 0,7	Trp : - 0,9	Tyr : - 1,3	Val : 4,2	

#### Réponse II-A-4

*La figure II-1 montre un marquage au niveau de la membrane apicale des entérocytes, dans les microvillosités. Il est donc probable que cette enzyme soit membranaire.*

*Le profil d'hydrophobie montre des valeurs qui oscillent entre 1 et -2. Des valeurs positives indiquent plutôt une région hydrophobe. D'après les scores associés aux résidus d'acides*



aminés, une valeur de 1 n'est pas assez haute indiquer une région hydrophobe, donc potentiellement membranaire.

Cependant, le région C-terminale est beaucoup plus hydrophobe avec une valeur maximale à 2,5, indiquant un domaine transmembranaire.

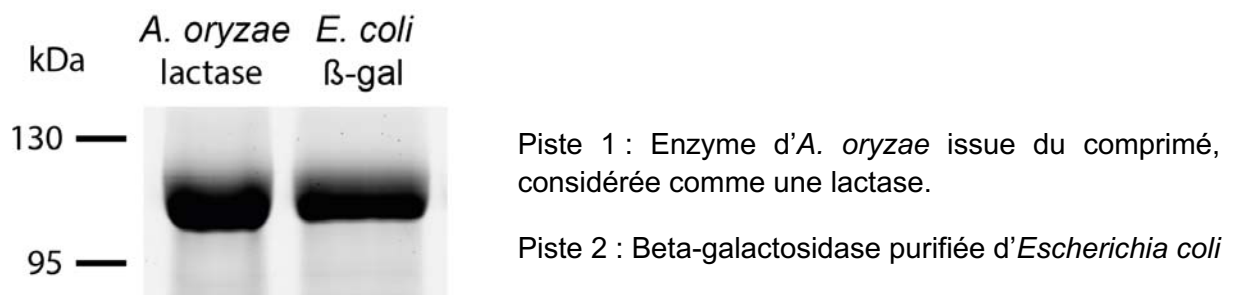
**L'enzyme est donc insérée dans la membrane apicale des entérocytes par sa région C-ter.**

R 76 %

P 58 %

Afin de continuer à consommer des produits laitiers, un individu intolérant au lactose peut ingérer un comprimé de lactase en supplémentation orale avant un repas riche en lactose. Les enzymes les plus couramment utilisées dans ces comprimés sont la  $\beta$ -galactosidase et la lactase issues d'organismes bactériens ou eucaryotes comme le champignon *Aspergillus oryzae*.

Vous disposez d'un comprimé « lactase » d'un fabricant annonçant contenir 37 mg de lactase par comprimé provenant de *A. oryzae*. Après extraction et isolement de l'enzyme issue du comprimé, la migration de l'échantillon sur gel SDS-PAGE puis coloration au bleu de Coomassie donne le résultat présenté ci-dessous :



**Figure II-3 :** Gel SDS-PAGE obtenu après migration des protéines et coloration au bleu de Coomassie. Les tailles sont données en kDa.

Les séquences de la lactase d'*A. oryzae*, la lactase humaine, la  $\beta$ -galactosidase humaine et la  $\beta$ -galactosidase d'*E. coli* sont fournies sur l'ordinateur. Les séquences peuvent être ouvertes et comparées avec le logiciel Genieen2 à votre disposition (mode d'emploi en annexe 2).

**Q-II-A-5 :** Rappelez le principe d'un SDS-PAGE : principe de séparation, intérêt du SDS, critères de séparation des protéines, etc.

Migration des protéines par application d'un champ électrique. Séparation des protéines dans le gel réticulé de polyacrylamide (PAGE = PolyAcrylamide Gel Electrophoresis) en fonction seulement de leur taille (ou poids moléculaire) car ajout de SDS (Sodium Dodécyl Sulfate).

Le SDS est un détergent anionique qui recouvre les protéines en les dépliant (= dénaturant) et en leur conférant une charge nette négative proportionnelle à leur taille. Le critère de

séparation des protéines est limitée à leur taille (ou poids moléculaire). Migration de toutes les protéines vers le pôle positif du générateur.

R 82 %      P 50 %

Q-II-A-6 : À partir de la migration en gel SDS-PAGE et de l'analyse des séquences protéiques fournies, commentez l'appellation « lactase » pour ce comprimé.

La figure II-3 indique une migration très similaire entre la lactase d'*A. oryzae* et la  $\beta$ -galactosidase d'*E. coli* : ces deux protéines ont donc un poids moléculaire proche d'une centaine de kDa (soit environ un millier de résidu d'acides aminés).

La comparaison des séquences protéiques de deux lactases (humaine et *A. oryzae*) et deux  $\beta$ -galactosidases (humaine et *E. coli*) révèle que la lactase d'*A. oryzae* présente dans le comprimé partage plus d'identité de séquence avec les  $\beta$ -galactosidases qu'avec la lactase humaine.

Il semblerait que la lactase utilisée soit en fait plutôt une  $\beta$ -galactosidase, bien que l'activité soit identique.

R 67 %      P 47 %

Q-II-A-7 : À l'inverse du lait, la consommation de yaourt ne pose pas ou peu de problèmes pour les individus intolérants au lactose. Rappelez brièvement la formation du yaourt et justifiez que cet aliment soit plus digeste que le lait.

L'appellation « yaourt » désigne un lait fermenté par deux espèces bactériennes naturellement présentes dans le lait des Mammifères : *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*.

La fermentation bactérienne lactique métabolise le lactose et acidifie le milieu, entraînant l'appauvrissement en lactose du yaourt et une précipitation des protéines (notamment la caséine) due au pH plus acide, ce qui permet d'obtenir la texture du yaourt.

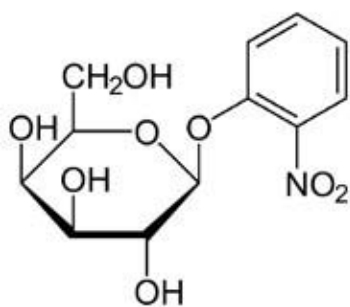
R 73 %      P 66 %

## Partie II-B : Étude des paramètres cinétiques de la lactase d'*A. oryzae*.

Dans la suite de cette partie, on se propose de réaliser un réacteur de dé lactosation à partir de l'hydrolase d'*A. oryzae* contenue dans le comprimé (appelée lactase Ao). La caractérisation des paramètres cinétiques de l'enzyme permettra d'adapter les conditions d'hydrolyse du lait (concentration en enzyme, durée d'incubation...).

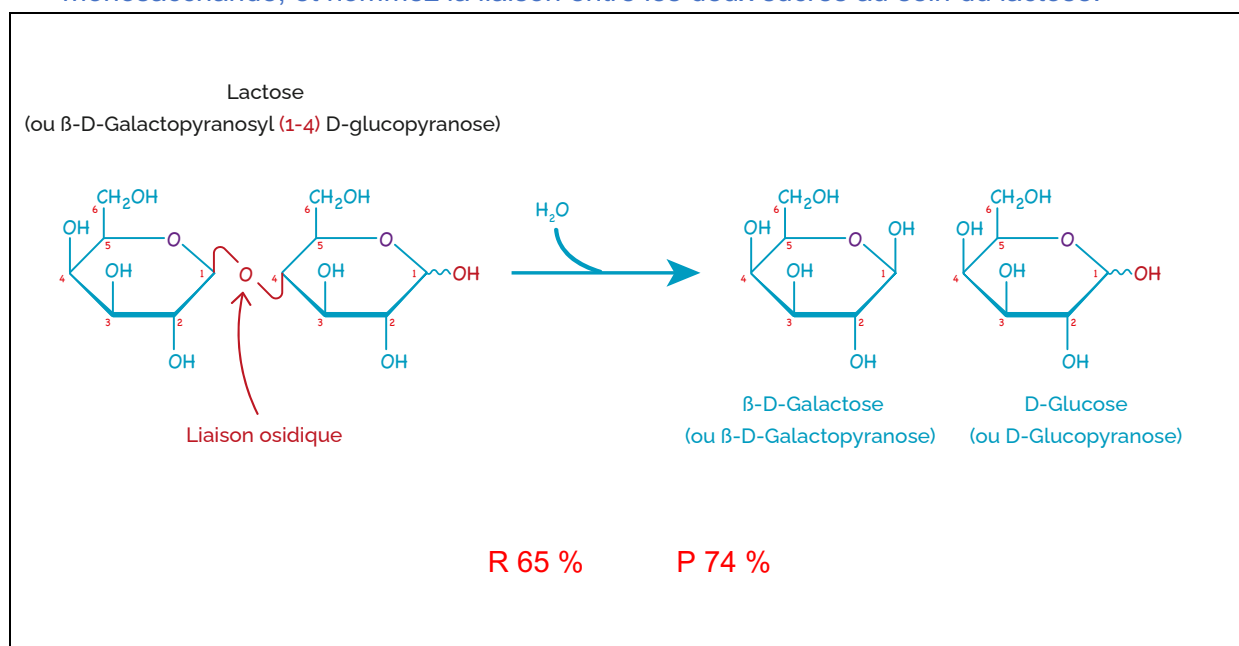
### Partie II-B-1 : Réaction enzymatique et suivi de la cinétique

Afin de suivre rapidement l'activité catalytique de la lactase Ao par spectrophotométrie, vous utiliserez le substrat ONPG (ortho-nitro-phényl- $\beta$ -galactoside), un analogue structural du lactose pouvant être hydrolysé par la lactase en galactose et ONP (ortho-nitrophénol).



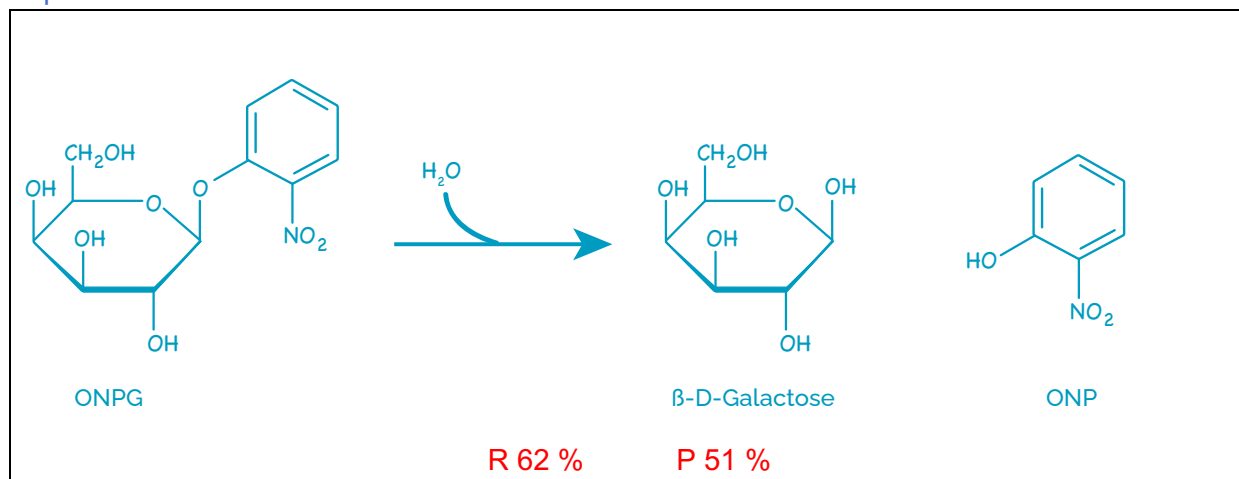
**Figure II-4 :** Formule semi-développée de l'ONPG.

Q-II-B-1-1: Écrivez la réaction d'hydrolyse du lactose (β-D-galactopyranosyl(1→4)D-glucopyranose) en glucose et galactose. Numérotez les carbones au sein de chaque monosaccharide, et nommez la liaison entre les deux sucres au sein du lactose.

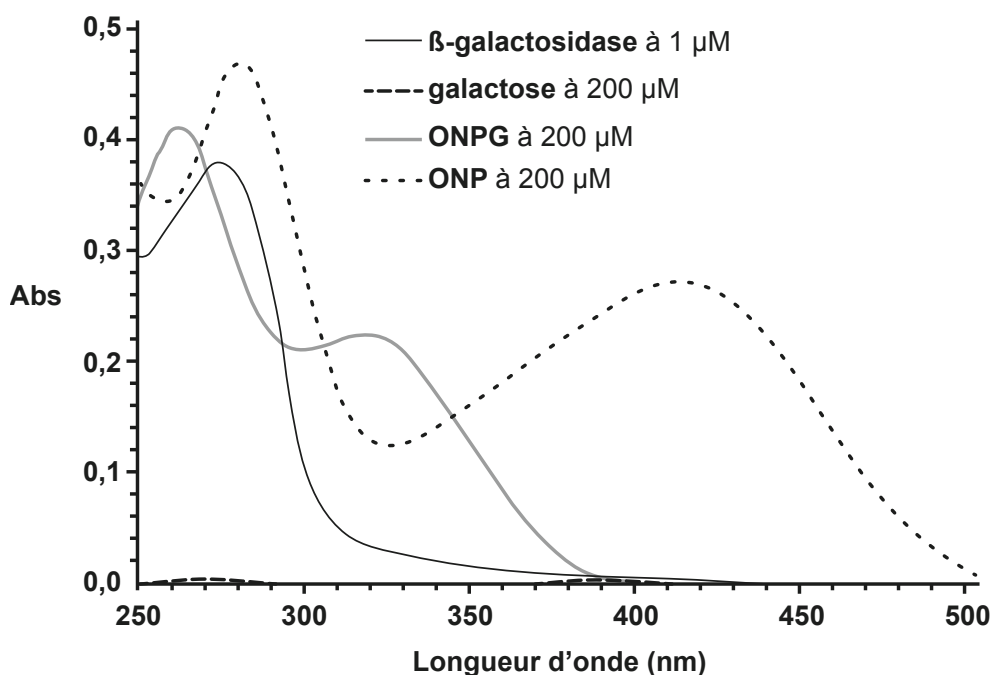


Q-II-B-1-2

Q-II-B-1-3 : D'après la structure de l'ONPG (figure II-4), écrivez le bilan complet de la réaction d'hydrolyse de ce substrat par la lactase en précisant la formule semi-développée des produits obtenus.



Le graphique ci-dessous (adapté de Zhang *et al.*, ABBS, 2011) indique les absorbances de différentes molécules en solution à pH 7.



**Figure II-5 :** Spectres d'absorption de différentes molécules à pH 7. Les concentrations des molécules sont les suivantes :  $[ONPG] = [ONP] = [galactose] = 200 \mu M$  ;  $[\beta\text{-galactosidase}] = 1 \mu M$ .

Q-II-B-1-4 : À partir de ce graphique, et d'après les filtres disponibles sur votre colorimètre, décrivez votre stratégie pour suivre la catalyse de la lactase en fonction du temps : nature de la molécule suivie ? longueur d'onde utilisée pour l'analyse ?

*On peut suivre facilement l'apparition de l'ONP au cours du temps puisque c'est la seule molécule qui absorbe au-delà de 400 nm.*

*Utilisation de la longueur d'onde optimale vers 420 nm : le filtre à 440 nm est le plus adapté pour le suivi.*

R 100 %      P 70 %

Q-II-B-1-5: D'après le graphique précédent, déterminez le coefficient d'absorption molaire  $\epsilon_\lambda$  de l'ONP à la longueur d'onde  $\lambda$  choisie en Q-II-B-1-3. Vous exprimerez le résultat en  $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ .

Donnée : longueur du trajet optique du colorimètre = 1 cm

*Prendre la valeur d'absorbance à 440 nm :  $A_{440} = 0,22$*

D'après la relation de Beer-Lambert :  $A_{440} = \varepsilon_{(ONP; 440 \text{ nm})} \times \ell \times c_{ONP}$

$$D'où \varepsilon_{(ONP; 440 \text{ nm})} = \frac{A_{440}}{\ell \times c_{ONP}} = \frac{0,26}{1 \times 200 \cdot 10^{-6}} = 1100 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$$

R 100 %      P 67 %

### Partie II-B-2 : Solubilisation de l'enzyme et dosage indirect par la méthode Bradford

- Écraser un comprimé du complément alimentaire à l'aide d'un pilon. Plus la poudre sera fine, meilleure sera la solubilisation de l'enzyme.
- Dans un tube de 50 mL, ajouter 25 mL de tampon phosphate pH 6,8.
- Ajouter la poudre du comprimé dans le tube, et vortexer pendant 30 secondes pour obtenir la solution la plus homogène possible. Conserver dans la glace.
- Remplir deux microtubes avec 1 mL de la solution enzymatique, et centrifuger les deux tubes à 6000 ×g pendant 2 min.
- Récupérer le maximum de surnageant, en évitant d'aspirer une partie du culot.
- Le surnageant récupéré sera nommé solution E0. Conserver l'enzyme dans la glace.
- À partir d'un des tubes E0, réaliser une dilution au 1/10<sup>ème</sup> dans un volume final de 1 mL avec du tampon phosphate. Cette nouvelle solution diluée sera appelée solution E1, et constitue votre solution enzymatique pour le dosage et les cinétiques de cette partie.
- Réaliser le dosage protéique de votre extrait E0 par la méthode de Bradford en utilisant une gamme étalon d'albumine de sérum bovin (BSA). Utilisez le tableau prérempli ci-dessous. **Les cases vides sont à compléter.**

Cuve spectrophotométrique	A	B	C	D	E
$m_{(BSA; \text{cuve})} (\mu\text{g})$	2	5	10	20	-
Volume solution étalon BSA 0,100 mg·mL <sup>-1</sup> (μL)	20	50	100	200	
Volume solution E1					100
Volume H <sub>2</sub> O (μL)	780	750	700	600	
Volume réactif Bradford (μL)	200				
Volume final (μL)	qsp 1000 μL				

- Lire les absorbances de chaque cuve à 600 nm **contre un blanc adapté** et remplir la ligne de résultats ci-dessous.

Cuve spectrophotométrique	A	B	C	D	E
$A_{600}$	0,12	0,32	0,64	1,08	0,44

Q-II-B-2-1 : Construisez le graphique de votre gamme étalon de BSA à l'aide du papier millimétré fourni en annexe 3.

R 85 %      P 58 %

Q-II-B-2-2 : À partir de vos valeurs et de votre graphique, déterminez la concentration en masse de lactase Ao de votre **extrait E0** en  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ , puis la concentration en quantité de matière en  $\mu\text{M}$ .

Données :      Masse moléculaire de la lactase Ao = 109 kDa ;  
                          1 Da = 1  $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

*Tracé de la droite étalon de BSA, ajout d'un titre au graphique.*

*Détermination graphique de la quantité de lactase, ou calcul du coefficient directeur de la droite étalon.*

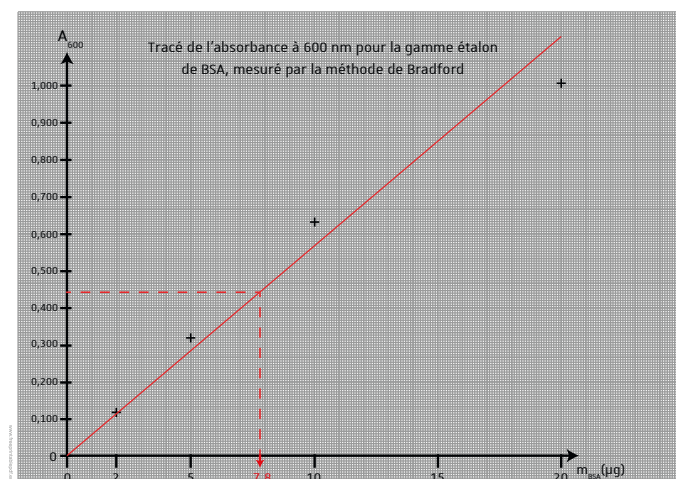
*Graphiquement, on trouve 7,8  $\mu\text{g}$  de protéines provenant de 100  $\mu\text{L}$  de E1.*

*D'où une concentration en masse :*

$$\rho_{(\text{lactase};\text{E0})} = \frac{m_{\text{protéines}}}{V_{\text{E1}}} \times 10 = 0,78 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$$

*D'après la masse moléculaire de la lactase, on obtient :*

$$c_{(\text{lactase};\text{E0})} = \frac{\rho_{(\text{lactase};\text{E0})}}{M_{\text{lactase}}} = 7,15 \mu\text{M}$$



R 67 %      P 31 %

Q-II-B-2-3 : Déduisez la masse totale de lactase dans un comprimé, et comparez par rapport à la masse indiquée sur l'emballage de 37 mg par comprimé. Commentez.

Volume final d'enzyme E0 : 25 mL

Donc  $m_{(\text{lactase};\text{comprimé})} = \rho_{(\text{lactase};\text{E0})} \times V_{\text{E0}} = 0,78 \times 25 = 19,5 \text{ mg}$

Masse calculée bien inférieure à la valeur indiquée, sûrement due à une solubilisation limitée de l'enzyme lors de l'extraction, avec notamment un comprimé qui n'est pas totalement solubilisé (culot important après la centrifugation).

R 26 %      P 44 %

### Partie II.B.3 : Détermination des paramètres cinétiques de la lactase Ao.

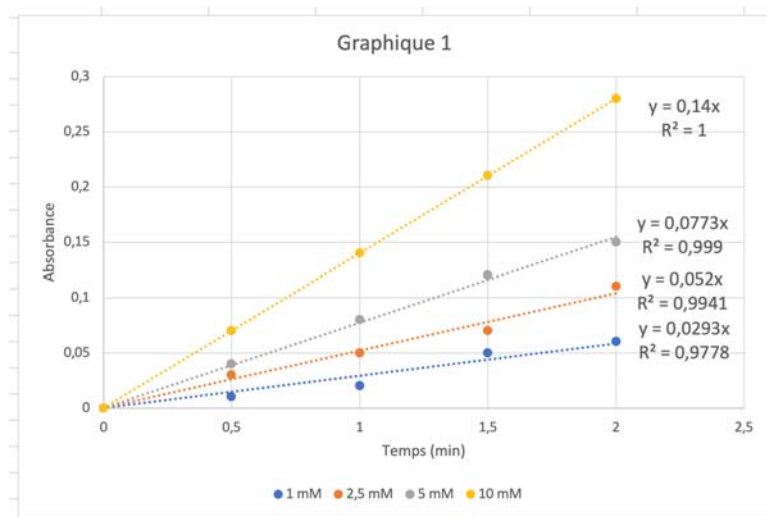
L'objectif de cette partie est de déterminer les paramètres cinétiques de la lactase contenue dans le comprimé, et de comparer vos résultats avec les paramètres cinétiques de la  $\beta$ -galactosidase de *Escherichia coli* que l'on retrouve dans la littérature scientifique.

- A partir de votre solution E1, réalisez les mesures cinétiques directement dans les cuves spectrophotométriques, en suivant la composition du tableau prérempli ci-dessous, et en suivant le protocole suivant :
  - Une fois la cuve dans le spectrophotomètre, faire tout de suite le zéro.
  - Mesurer l'absorbance toutes les 30 secondes pendant 2 minutes, à la longueur d'onde choisie en II.B.1.3.
  - Les valeurs d'absorbance peuvent être directement notées dans le tableau 1 du fichier tableur associé, dans l'onglet « II-B-3 ».

Cuve spectrophotométrique [ONPG] dans la cuve	A 1 mM	B 2,5 mM	C 5 mM	D 10 mM
Volume solution stock ONPG 25 mM ( $\mu$ L)	40	100	200	400
Volume tampon phosphate ( $\mu$ L)	910	850	750	550
Volume solution E1 ( $\mu$ L)	Ajout de 50 $\mu$ L au dernier moment Parafilmer la cuve, mélanger par retournement			
	Mesure de l'absorbance à la longueur d'onde choisie en II.B.1.3 toutes les 30 s pendant 2 min			

Q-II-B-3-1 : Complétez le tableau 1 du fichier tableur (onglet II-B-3). À l'aide du graphique 1 généré automatiquement à partir de vos valeurs et des équations de droites associées, déterminez la vitesse initiale ( $\Delta A/\Delta t$  en  $\text{min}^{-1}$ ) de réaction pour chaque condition testée, et remplissez la ligne ((1)) du tableau 2 du fichier.

Tableau 1				
[ONPG] mM	1	2,5	5	10
Temps (min)				
0	0	0	0	0
0,5	0,01	0,03	0,04	0,07
1	0,02	0,05	0,08	0,14
1,5	0,05	0,07	0,12	0,21
2	0,06	0,11	0,15	0,28



**Tableau 2**

[ONPG] mM	1	2,5	5	10
((1)) $\Delta A/\Delta t$ (min <sup>-1</sup> )	0,0293	0,052	0,0773	0,14
((2)) $v_i$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}.\text{min}^{-1}$ )				
$1/[\text{ONPG}]$ (mM <sup>-1</sup> )	1	0,4	0,2	0,1
$1/v_i$ ( $\mu\text{mol}^{-1}.\text{L}.\text{min}$ )				

R 62 %

P 76 %

Q-II-B-3-2: Rappelez la relation entre l'absorbance mesurée et la concentration en ONP dans la solution, puis convertissez les vitesses initiales précédentes  $\Delta A/\Delta t$  en  $\mu\text{mol.L}^{-1}.\text{min}^{-1}$  (un seul exemple de calcul). Remplissez la ligne ((2)) du tableau 2 du fichier tableur avec vos valeurs.

Relation de Beer-Lambert entre  $A_{440}$  et  $c_{\text{ONP}}$  :  $A_{440} = \varepsilon_{(\text{ONP}; 440 \text{ nm})} \times \ell \times c_{\text{ONP}}$

D'après les unités de la vitesse initiale, on recherche  $\frac{\Delta c_{\text{ONP}}}{\Delta t}$

$$\text{Or } c_{\text{ONP}} = \frac{A_{440}}{\ell \times \varepsilon_{(\text{ONP}; 440)}} \text{ donc } \frac{\Delta c_{\text{ONP}}}{\Delta t} = \frac{\Delta A_{440}}{\Delta t} \times \frac{1}{\ell \times \varepsilon_{(\text{ONP}; 440)}}$$

Application numérique pour la condition  $c_{\text{ONPG}} = 1 \text{ mM}$  :  $\frac{\Delta A_{440}}{\Delta t} = 0,0293 \text{ min}^{-1}$

$$\text{Donc } \frac{\Delta c_{\text{ONP}}}{\Delta t} = \frac{\Delta A_{440}}{\Delta t} \times \frac{1}{\ell \times \varepsilon_{(\text{ONP}; 440)}} = 0,0293 \times \frac{1}{1 \times 1100 \cdot 10^{-6}} =$$



Seules les cases grisées sont à compléter

**Tableau 2**

[ONPG] mM	1	2,5	5	10
<b>((1))</b> $\Delta A/\Delta t$ (min <sup>-1</sup> )	0,0293	0,052	0,0773	0,14
<b>((2))</b> $v_i$ (μmol.L <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	26,63636364	47,2727273	70,2727273	127,272727
$1/[\text{ONPG}]$ (mM <sup>-1</sup> )	1	0,4	0,2	0,1
$1/v_i$ (μmol <sup>-1</sup> .L.min)	0,037542662	0,02115385	0,01423027	0,00785714

R 64 %

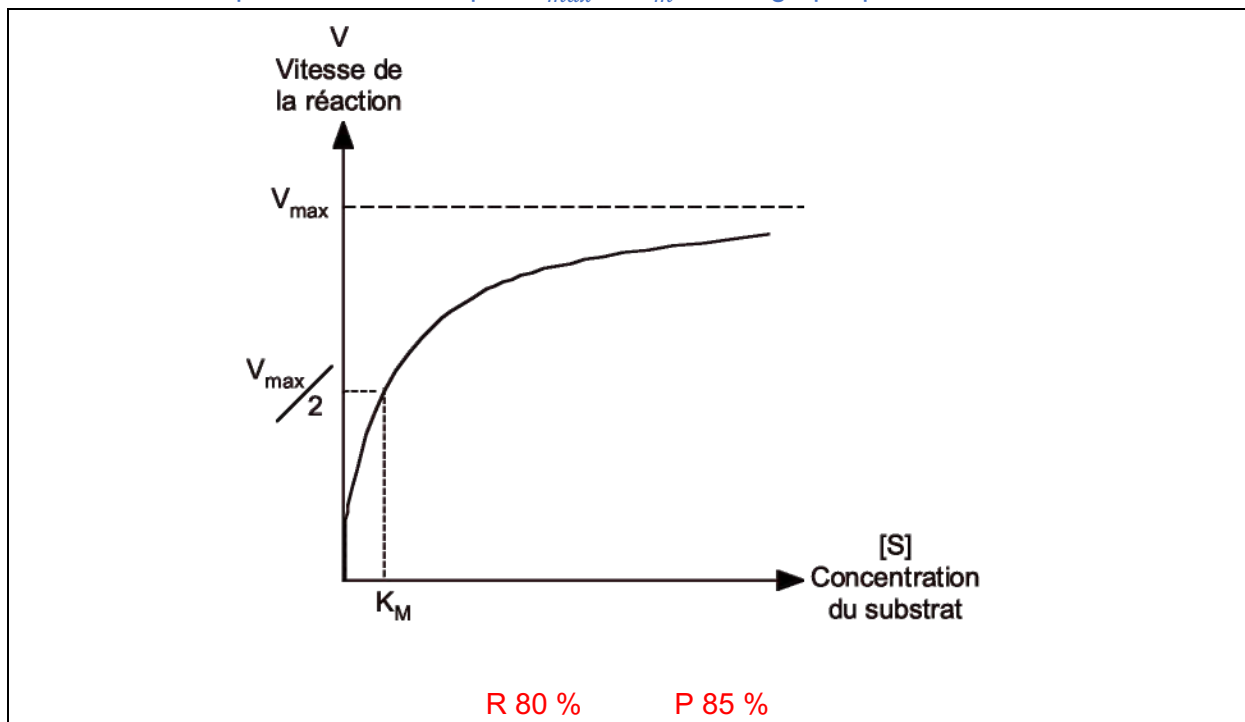
P 24 %

La lactase Ao présente un comportement michaelien, c'est-à-dire que les mesures de vitesses initiales obéissent à la relation {1} suivante :

$$\text{Relation \{1\}} : v_i = v_{max} \frac{[S]}{K_m + [S]}$$

avec  $v_i$  = vitesse initiale mesurée ;  $v_{max}$  = vitesse initiale maximale ;  $K_m$  = constante de Michaelis-Menten ;  $[S]$  = concentration initiale en substrat.

Q-II-B-3-3: Dessinez le graphique représentant l'évolution de la vitesse initiale en fonction de la concentration initiale en substrat pour une enzyme michaelienne. Indiquez comment on peut déterminer les paramètres cinétiques  $v_{max}$  et  $K_m$  sur ce graphique.



R 80 %

P 85 %

Q-II-B-3-4: Pour déterminer ces paramètres cinétiques, on préférera une représentation en double inverse (appelée représentation de Lineweaver et Burk). D'après la relation {1},

démontrez que la représentation en double inverse  $1/v_i = f(1/[S])$  conduit à une droite dont les paramètres permettent d'obtenir rapidement  $v_{max}$  et  $K_m$ .

$$\frac{1}{v} = \frac{K_m + [S]}{v_{max} [S]}$$

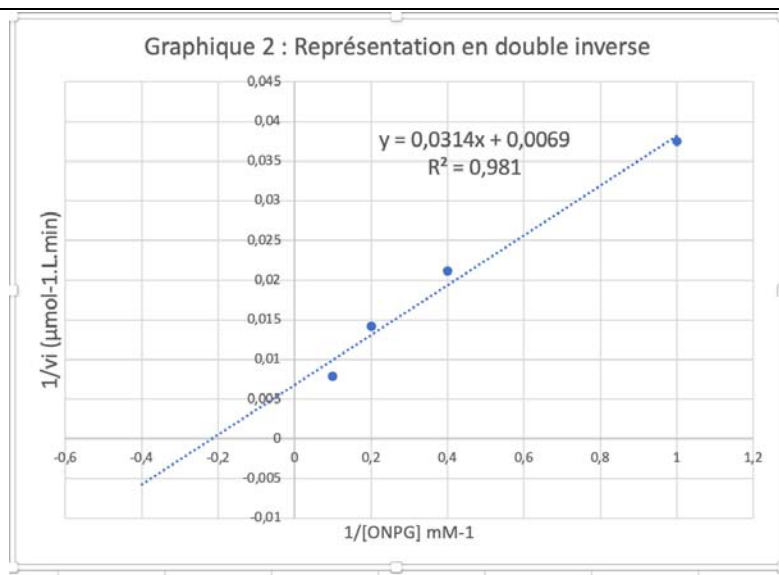
$$\frac{1}{v} = \frac{K_m}{v_{max} [S]} + \frac{[S]}{v_{max} [S]}$$

$$\frac{1}{v} = \frac{K_m}{v_{max}} \cdot \frac{1}{[S]} + \frac{1}{v_{max}}$$

Equation de type  $y = ax + b$  avec  $b = \frac{1}{v_{max}}$  et  $a = \frac{K_m}{v_{max}}$

R 73 %      P 52 %

Q-II-B-3-5 : Cette représentation en double inverse a été générée automatiquement par le tableur en remplissant les lignes ((1)) et ((2)) du tableau 2. D'après ce graphique et l'équation de droite associée, déterminez  $v_{max}$  (en  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) et  $K_m$  (en mM) pour vos conditions expérimentales.



D'après l'équation de la droite, on peut déterminer les deux paramètres recherchés :

$$v_{max} = \frac{1}{0,0069} = 145 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$$

$$K_m = \frac{0,0314}{0,0069} = 4,55 \text{ mM}$$

R 47 %      P 54 %

Deux autres paramètres peuvent être calculés à partir de  $v_{max}$  et  $K_m$  : la constante catalytique  $k_{cat}$ , qui correspond au turnover de l'enzyme, et l'efficacité catalytique  $Eff_{cat}$ , liées par les relations suivantes :

$$\text{Relation \{2\}} : v_{max} = k_{cat} \times [E]$$

avec  $[E]$  = concentration de travail en enzyme pour l'essai

$$\text{Relation \{3\}} : Eff_{cat} = \frac{k_{cat}}{K_m}$$

Q-II-B-3-6 : A partir de vos résultats, calculez ces deux paramètres dans l'unité de votre choix.

$k_{cat} = \frac{v_{max}}{[E]}$  avec  $[E]$  concentration dans l'essai, donc concentration initiale dans E0 (1,5  $\mu$ M) diluée 10 fois dans E1 puis 20 fois dans l'essai, donc 200 fois total ( $[E] = 1,5/200 = 0,0075 \mu$ M = 7,5 nM)

$$k_{cat} = \frac{145}{0,0075} = 19333 \text{ min}^{-1} = 322 \text{ s}^{-1}$$

$$Eff_{cat} = \frac{19333}{4,55} = 4249 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} = 70,8 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

R 21 %      P 36 %

Q-II-B-3-7 : Comparez vos résultats avec les paramètres listés ci-dessous obtenus dans la littérature pour cette enzyme. Commentez.

Paramètres obtenus pour le substrat ONPG, à pH 4,5 et à 60 °C :

$$K_m = 1,42 \text{ mM}$$

$$k_{cat} = 525 \text{ s}^{-1}$$

Résultats similaires avec les mêmes ordres de grandeurs, malgré des différences dans la température d'incubation et un pH plus acide.

Mais  $Eff_{cat} = 525/1,42 = 370 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , soit 5 fois plus que nos valeurs expérimentales. Cela s'explique sans doute par les conditions opératoires différentes.

R 15 %      P 30 %

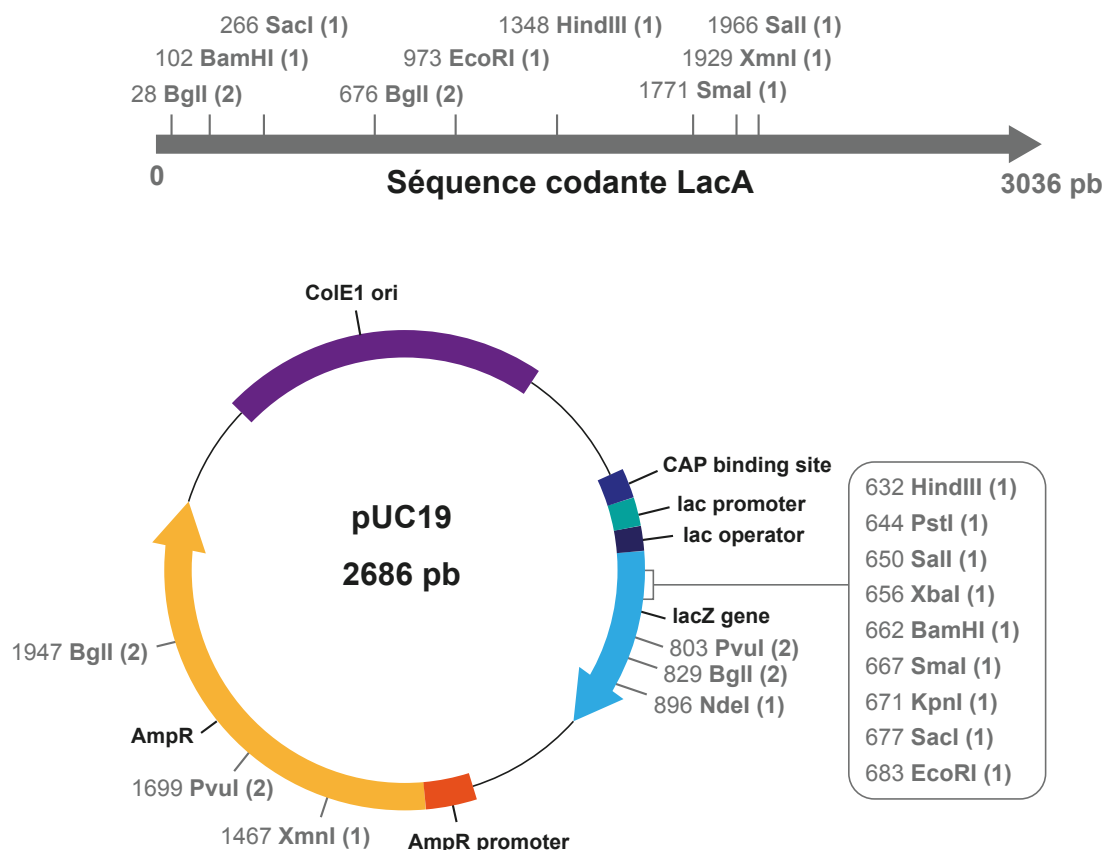
## Partie II-C : Réalisation d'un bioréacteur de dé lactosation et contrôle qualité de l'hydrolyse

### Partie II-C-1 : Clonage de la lactase Ao dans un plasmide d'expression d'*E. coli*

L'utilisation d'une enzyme capable d'hydrolyser du lactose en réacteur industriel suppose une production à grande échelle de la protéine. La production de la lactase Ao d'*A. oryzae* dans le système bactérien *Escherichia coli* permettra d'obtenir des grandes quantités d'enzyme par culture liquide dans des bioréacteurs.

On s'intéresse ici au clonage du gène LacA codant la lactase Ao dans un plasmide bactérien, afin de l'exprimer dans une souche d'*E. coli*. Le plasmide utilisé pour le clonage est le plasmide pUC19, dont la carte est donnée ci-dessous en figure II-6.

La séquence codante du gène LacA sera clonée au sein de la séquence lacZ du plasmide, et son expression sera donc sous contrôle du promoteur lac. Sa représentation schématique est donnée en figure II-6 ci-dessous.



**Figure II-6 :** Représentation schématique du gène de la lactase Ao (en haut) et du plasmide pUC19 (en bas). La position des sites de restrictions le long de chaque séquence est donnée par le numéro, suivi du nom de l'enzyme de restriction, puis du nombre d'occurrence du site sur la séquence (noté entre parenthèse).

Q-II-C-1-1: Rappelez l'intérêt des gènes AmpR et ColE1 ori dans le plasmide.

*AmpR : gène de résistance à l'ampicilline, permet de sélectionner les bactéries transformées par le plasmide*

*Ori : origine de réplication bactérienne, permet au plasmide de se répliquer de façon autonome et de se transmettre lors de divisions cellulaires.*

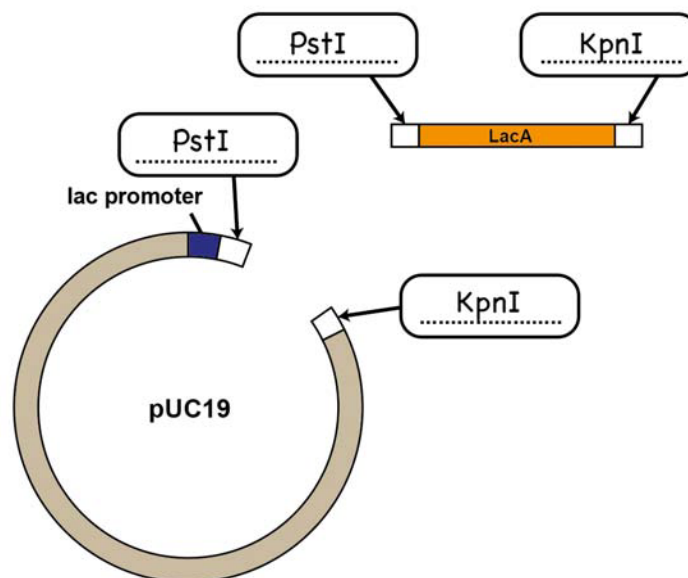
R 80 %      P 76 %

Q-II-C-1-2: A partir de la figure II-6, proposez une stratégie de clonage en explicitant les enzymes de restriction à utiliser dans les encarts du schéma ci-dessous afin d'insérer la séquence codante de LacA dans le plasmide pUC19 **dans le bon sens de lecture.**

*Afin de cloner la séquence codante LacA dans le bon sens, il faudra choisir deux enzymes de restriction différentes pour orienter la ligation.*

*Il faut veiller à choisir des enzymes qui ne couperont pas au sein de la séquence codante de LacA (absence de site de restriction dans LacA, donc élimination de BglI, BamHI, SacI, EcoRI, HindIII, SmaI, XmnI, Sall), et qui ne couperont qu'une seule fois dans le plasmide.*

*Pour couper au sein du gène lacZ, il reste les enzymes PstI, XbaI, KpnI, et NdeI (dans l'ordre d'apparition sur le gène lacZ). Plusieurs combinaisons étaient possibles. Un exemple ci-dessous.*



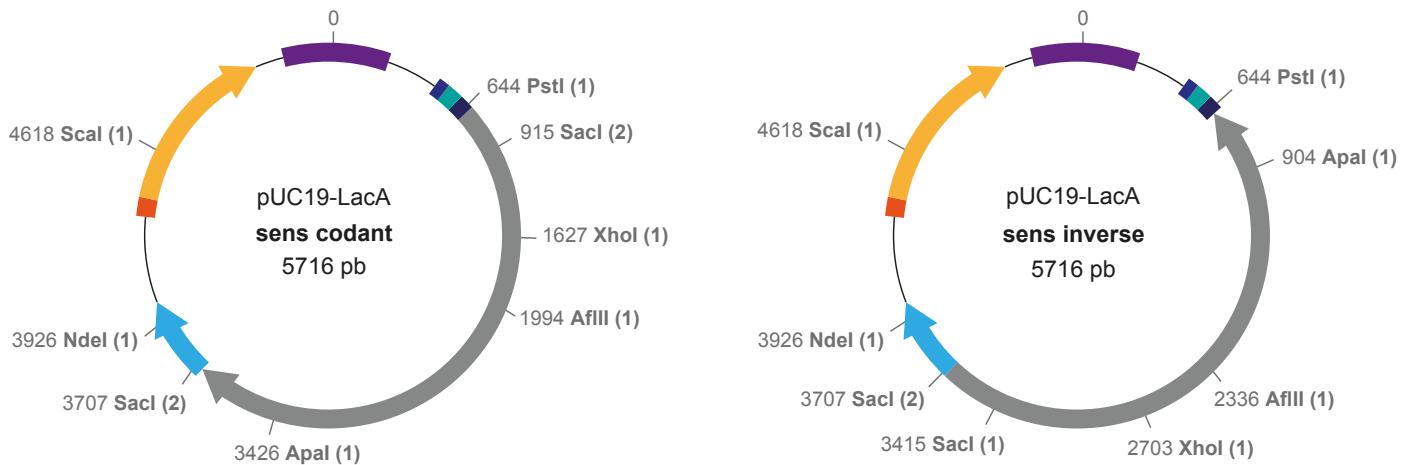
R 56 %      P 5 %

Q-II-C-1-3: Indiquez quelle méthode permet d'ajouter les sites de restriction aux extrémités de la séquence codante LacA.

*Ajout des sites de restriction par PCR, lors de l'amplification de la séquence codante LacA, en utilisant des amorces auxquelles ont été ajoutés les sites de restriction en 5' de chaque amorce.*

R 43 %      P 23 %

Après récupération de plusieurs clones bactériens, on souhaite récupérer les clones possédant le plasmide pUC19 avec le gène de la lactase Ao inséré dans le bon sens de lecture. Les deux plasmides pouvant être obtenus après le clonage du gène sont représentés schématiquement en figure II-7 ci-dessous.



**Figure II-7 :** Représentation schématique des deux plasmides pouvant être obtenus après une stratégie de clonage. La position des sites de restrictions le long de chaque séquence est donnée par le numéro, suivi du nom de l'enzyme de restriction, puis du nombre d'occurrence du site sur la séquence (noté entre parenthèse).

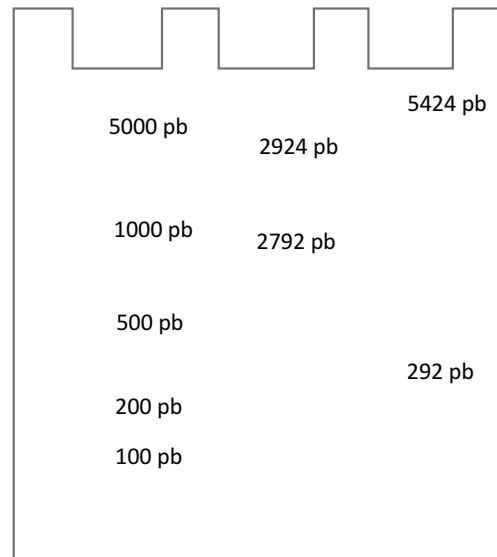
Q-II-C-1-4 : On souhaite différencier ces deux plasmides par restriction enzymatique puis électrophorèse en gel d'agarose. Choisissez la/les enzyme(s) de restriction (2 au maximum) qui vous permettront de discriminer ces deux plasmides, et schématisez sur le schéma du gel le profil de migration de chaque plasmide. Le marqueur de taille sur le gel présente des bandes à 100, 200, 500, 1000 et 5000 pb (à annoter sur le schéma ci-dessous).

Réponse II-C-1-4 :

*Choisir un site présent dans le gène LacA et un site présent en dehors : permet d'obtenir des fragments de tailles différentes.*

*Autre option : clivage par SacI qui clive dans la séquence LacA mais aussi une fois en dehors.*

*Exemple ci-dessous avec SacI :*



R 35 %

P 40 %

### Partie II-C-2 : Immobilisation de la lactase Ao en billes d'alginate

Afin de mettre en place un bioréacteur de dé lactosation, la lactase Ao doit être immobilisée dans des billes d'alginate.

- Dans un microtube de 2 mL, déposer 1 mL d'alginate 2 % (attention, solution visqueuse).
- Ajouter 500  $\mu$ L de votre solution enzymatique E0, puis homogénéiser la solution avec votre micropipette en évitant d'incorporer de l'air dans votre solution.
- Adapter un nouveau cône sur votre micropipette P1000, et couper l'extrémité du cône d'environ 1 cm, afin que l'orifice à l'extrémité mesure environ 5 mm de diamètre.
- Prélever avec ce cône le mélange alginate + enzyme.
- Placer votre micropipette 20 cm au-dessus du bécher contenant du  $\text{CaCl}_2$  **froid**.
- Éjecter tout doucement la solution de votre cône, de façon à faire couler des gouttes qui formeront des billes dans la solution de  $\text{CaCl}_2$ .
- Laisser les billes 5 min dans la solution de  $\text{CaCl}_2$  froide.
- À l'aide d'une gaze posée sur le bécher, éliminer la solution de  $\text{CaCl}_2$  en évitant de perdre des billes.

- Rincer une fois les billes avec de l'eau distillée, puis une fois avec du tampon phosphate.
- Laisser les billes dans un peu de tampon phosphate, et compter les billes obtenues.

Q-II-C-2-1: Pour l'essai de dé lactosation, vous utiliserez 5 mL de lait mélangé avec toutes vos billes d'alginate. En considérant le volume des billes négligeables, indiquez quelle sera la concentration de l'enzyme pour cet essai (en  $\text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ).

*E0 à 7,15  $\mu\text{M}$  de lactase.*

*Dilué 3 fois avec l'alginate : environ 2,4  $\mu\text{M}$  dans le mélange de 1,5 mL, donc environ 3,6 nmol d'enzyme total dans le tube pour faire les billes.*

*Dans 5 mL final de lait :  $3,6/5 \cdot 10^{-3} = 720 \text{ nM} = 0,72 \mu\text{M}$*

*La concentration en enzyme est toujours catalytique, car négligeable par rapport aux concentrations de lactose dans le lait (cf. question suivante).*

**R 6 % P 0 %**

La concentration de lactose dans le lait commercial est de 4,9 g pour 100 mL.

Q-II-C-2-2: En considérant la valeur du  $K_m$  pour l'ONPG (obtenue en II.B.3.5) similaire au  $K_m$  pour le lactose, déduisez la valeur de la vitesse initiale pour l'essai de dé lactosation, exprimée en % de  $v_{\max}$ , en utilisant la relation {1}.

Donnée :  $M_{\text{lactose}} = 342,3 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

*4,9 g /100 mL -> 49 g/L de lactose*

*$C_{\text{lactose}} = 49/342,3 = 0,143 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 143 \text{ mM} \gg K_m = 4,55 \text{ mM}$*

*Donc on est très proche de la  $v_{\max}$*

*En utilisant la formule de Michaelis-Menten :*

*$v_i = v_{\max} [143/(143+4,55)] = 0,97 \cdot v_{\max}$  donc on sera dans des conditions de 97 % de la  $v_{\max}$ .*

**R 3 % P 0 %**

### Partie II-C-3 : Contrôle qualité du processus de dé lactosation

L'enzyme contenue dans les billes va maintenant permettre la dé lactosation d'un lait commercial, afin de rendre ce lait plus digeste aux personnes intolérantes. Vous suivrez l'avancement de l'hydrolyse du lactose par dosage indirect du glucose. Les objectifs de cette partie sont :

- D'établir l'avancement de l'hydrolyse du lactose par la lactase Ao immobilisée en billes d'alginate.
- De comparer votre résultat avec un lait dé lactosé du commerce.
- De comparer la concentration en glucose d'un lait dé lactosé par rapport à celle d'un lait classique.

Vous disposez pour cette partie :



- D'une solution étalon de glucose à  $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$
- D'un lait commercial dé lactosé « facile à digérer »
- D'un lait commercial à hydrolyser

### 1 – Hydrolyse du lait commercial

Effectuer l'hydrolyse de 5 mL de lait commercial en y ajoutant toutes vos billes de lactase immobilisée dans un bécher à l'aide d'une pince plate. Laisser incuber 15 minutes à température ambiante.

### 2 – Précipitation des protéines du lait.

Afin de doser le glucose dans le lait, il est nécessaire de réaliser une précipitation acide des protéines du lait, par ajout d'acide trichloroacétique. Vous réaliserez ce protocole sur vos trois échantillons de lait : le lait commercial avant hydrolyse, le lait commercial hydrolysé par les billes, et le lait commercial dé lactosé.

- Dans un microtube de 1,5 mL, mélanger 100  $\mu\text{L}$  de lait avec 50  $\mu\text{L}$  d'acide trichloroacétique (TCA). Vortexer la solution.
- Ajouter 100  $\mu\text{L}$  de solution NaOH. Vortexer.
- Ajouter 750  $\mu\text{L}$  d'eau distillée.
- Centrifuger le tube 2 minutes à  $10\,000 \times g$ .
- Récupérer le surnageant dans un nouveau tube.
- L'échantillon de lait dé lactosé est à diluer dans un nouveau microtube au  $1/100^{\text{ème}}$  avant le dosage enzymatique.

### 3 – Dosage enzymatique du glucose.

Le dosage du glucose sur vos échantillons de laits précipités est effectué par ajout d'une solution enzymatique de glucose oxydase et de peroxydase (GOD-PAP), permettant l'apparition d'un produit coloré rouge par oxydation du glucose en présence d' $\text{O}_2$ . La quantification se fera par lecture d'absorbance à 550 nm contre un blanc adapté. Une gamme étalon de glucose vous permet de déterminer les concentrations en glucose dans les différents laits.

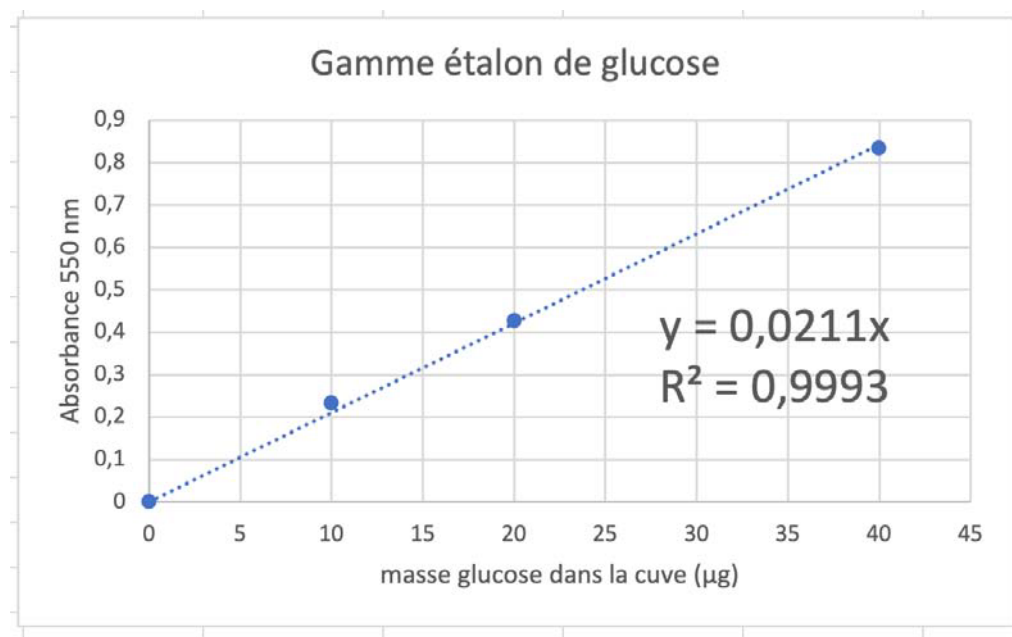
**Q-II-C-3-1** Réalisez 7 solutions en microtubes de 1,5 mL en suivant le protocole ci-dessous, puis notez vos valeurs d'absorbances dans la dernière ligne.

	Lait commercial	Lait commercial hydrolysé	Lait dé lactosé dilution $1/100^{\text{ème}}$	Solution étalon de glucose à $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$			
Volume échantillon ( $\mu\text{L}$ )	200	200	50	0	20	40	80
Volume $\text{H}_2\text{O}$ ( $\mu\text{L}$ )	0	0	150	200	180	160	120
	Ajout de 800 $\mu\text{L}$ de solution enzymatique GOD-PAP						
	Mélanger par retournement. Incuber les microtubes à $37^\circ\text{C}$ pendant 5 minutes Transvaser dans des cuves de mesure. Mesure de l'absorbance à 550 nm						

$A_{550}$	0,011	0,345	0,464	0	0,233	0,427	0,834

Q-II-C-3-2 : A partir des valeurs d'absorbance pour vos solutions étalon de glucose, établissez la relation entre l'absorbance et la concentration en glucose dans l'échantillon. Vous pourrez vous aider du tracé d'une droite étalon sur papier millimétré (en annexe 4) ou sur le tableur, dans l'onglet II-C-3 et dans ce cas, notez-le dans la case résultat ci-dessous.

*L'étalonnage à zéro du spectrophotomètre devait être réalisé avec la cuve 4 (pas de glucose).*



*On obtient la relation suivante :  $A_{550} = 0,0211 \times m_{(\text{glucose ; cuve})}$*

*R 0 %*

Q-II-C-3-3 : Déduisez les concentrations en glucose dans les trois échantillons de lait.

*On exploite la relation trouvée précédemment, puis on divise la masse de glucose dans la cuve par le volume d'échantillon dosé :*

$$\rho(\text{glc ; lait commercial}) = \frac{m(\text{glc ; cuve})}{V_{\text{lait testé}}} = \frac{A_{550}}{0,0211 \times V_{\text{lait testé}}} = \frac{0,011}{0,0211 \times 200} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ g.L}^{-1}$$

$$\rho(\text{glc ; lait hydrolysé}) = \frac{m(\text{glc ; cuve})}{V_{\text{lait testé}}} = \frac{A_{550}}{0,0211 \times V_{\text{lait testé}}} = \frac{0,345}{0,0211 \times 200} = 8,1 \cdot 10^{-2} \text{ g.L}^{-1}$$

$$\rho(\text{glc ; lait délactosé}) = \frac{m(\text{glc ; cuve})}{V_{\text{lait testé}}} \times 100 = \frac{A_{550}}{0,0211 \times V_{\text{lait testé}}} \times 100 = \frac{0,464}{0,0211 \times 200} \times 100 = 11 \text{ g.L}^{-1}$$

R 0 %

Q-II-C-3-4: À partir de vos valeurs pour les échantillons de lait, concluez sur l'avancement de votre hydrolyse du lait commercial (à exprimer en pourcentage, 100 % étant l'hydrolyse permettant d'obtenir le lait dé lactosé pouvant être commercialisé).

*On négligeant la quantité de glucose dans le lait commercial non hydrolysé, on obtient :*

$$\text{Avancement} = \frac{\rho(\text{glc ; lait hydrolysé})}{\rho(\text{glc ; lait dé lactosé})} \times 100 = 0,74 \%$$

*L'hydrolyse est un processus très lent dans nos conditions opératoires.*

R 0 %

Q-II-C-3-5: D'après vos résultats, et en considérant une vitesse d'hydrolyse constante, estimez le temps nécessaire pour obtenir une hydrolyse de 100 %. Suggérez des paramètres qui pourraient être modifiés afin d'optimiser la vitesse et le rendement d'hydrolyse.

*En 15 min, nous obtenons 0,74 % d'hydrolyse. Pour obtenir 100 % d'hydrolyse, et en considérant la vitesse constante (grosse approximation, car la quantité de substrat diminue au cours du temps !), on obtiendrait :*

$$\text{Temps d'hydrolyse 100 \%} = \frac{\text{Temps d'hydrolyse exp}}{\text{Avancement}} = \frac{15}{0,0074} = 2027 \text{ min} = 33,7 \text{ h}$$

*Il faudrait donc plus de 24 h pour obtenir une hydrolyse totale.*

*Il est possible de réaliser la réaction à 37 °C. On pourrait également augmenter les quantités d'enzymes immobilisées, mettre le lait sous agitation...*

R 0 %

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

Les sujets de travaux pratiques étaient présentés sous la forme d'un livret broché qui était, pour partie à compléter.

Le sujet de cette année : « vivre en rivière », permettait d'aborder différents aspects de la biologie du secteur B de l'agrégation externe SV-STU. La plupart des exercices faisaient appel à des techniques et des notions classiques dans les programmes du premier cycle de l'enseignement supérieur, ou des classes préparatoires.

**La mise en pratique comme l'évaluation ont fait appel à différentes compétences :**

- La qualité des **gestes techniques** permettant d'extraire, présenter ou colorer des échantillons à différentes échelles.

Par exemple : coupes et coloration d'organes végétaux selon un protocole fourni ; extraction d'organes spécifiques chez une écrevisse ; dissection et diagramme floral d'une plante de berge ; observation des chromosomes géants de larve d'insecte aquatique.

- Les qualités d'**initiative** associée au choix pertinent de la **présentation des résultats** lors de questions plus ouvertes.

Par exemple : adaptations à la vie aquatique d'une plante immergée ; respiration branchiale et osmorégulation de l'écrevisse.

Ces deux types de questions ont permis de distribuer la **majorité des points d'évaluation**, en lien avec la volonté de **valoriser les compétences pratiques** spécifiques de cette partie du concours mais aussi de la démarche et de l'enseignement en SVT.

- La capacité de **discernement des objets** et des **paramètres écologiques** responsables de leur présence dans l'environnement de la rivière (lit et berges), et ce par une étude qui pouvait être menée à différentes échelles, de l'échelle tissulaire à celle de l'écosystème.

Par exemple : étude de larves aquatiques et des stades adultes associés ; reconnaissance d'espèces indicatrices de milieux spécifiques.

- La **réalisation d'une expérimentation assistée par ordinateur (Exao)** classique en lycée, avec suivi d'un protocole

Par exemple : mise en évidence de la potentielle toxicité d'une plante de berge.

- La **mise en forme de données** brutes, leur **quantification** et les **interprétations possibles**, en lien avec un **raisonnement scientifique** et les **connaissances du programme**.

Par exemple : construire un réseau trophique de rivière ; quelques aspects de la physiologie de l'écrevisse en lien avec son milieu de vie ; caractéristiques d'une espèce invasive à partir d'un échantillon ; biodiversité et restauration écologique de milieux du type « trames bleues ».

Le jury regrette le grand nombre de questions non, peu ou mal traitées dans cette épreuve, dont les questions étaient pourtant classiques en biologie, comme des coupes d'organes colorées, dissection florale, organes de respiration de l'écrevisse ou extraction de chromosomes polyténiques. De même, les adaptations à l'eau douce, le caractère invasif de certaines plantes ou la restauration des cours d'eau (trames bleues) sont des concepts courants dans diverses formations.

Le jury note également une difficulté à s'organiser ou une perte de temps pour certains candidats, préjudiciable au final.

Heureusement, un certain nombre de belles préparations, présentations, expérimentations ont pu être observées et valorisées par le jury, ainsi que des résultats et des raisonnements aboutis sur les documents plus théoriques proposés.

Le jury encourage les candidats à bien préparer cette épreuve souvent discriminante, le jury rappelle que la somme des coefficients des deux épreuves pratiques (5) est égale au coefficient de la leçon d'option.

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

Remarque : pour des raisons de pagination le sujet présenté ci-après qui inclue des éléments de correction ou des productions de candidats a été repaginé.

AGRÉGATION DE SCIENCES DE LA VIE - SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS CONCOURS EXTERNE  
- ÉPREUVES D'ADMISSION - session 2024 TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITÉ DU SECTEUR B

Durée totale : 6 heures

« Vivre en rivière »

La vie dans les cours d'eau s'organise autour de réseaux trophiques spécifiques, peuplés par des êtres vivants montrant des adaptations morphologiques et écologiques caractéristiques de cet environnement.

Ce dossier comporte 34 pages : les parties sont indépendantes.

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

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

Table des matières

Partie I – Éléments du réseau trophique associé à la rivière	4
I.A – Populations végétales de la rivière	4
I.B - Toxicité de certaines plantes de berges	8
I.C – Adaptations à la vie aquatique de l'écrevisse	10
I.D – Réseaux trophiques et transfert de polluants	15
Partie II – Cycles biologiques et écologie des organismes de rivière	18
II.A – Reconnaissance argumentée d'échantillons	18
II.B – Le cycle biologique des Charophytes	19
II.C – Reproduction sexuée d'une plante de berge	21
II.D – L'élodée : cycle biologique d'une invasive	22
II.E – Quelques larves d'insectes des rivières	25
Partie III – À l'échelle de la rivière : préservation des populations et communautés	27
Annexe	33
Croquis	34

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

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

**AVANT DE REMETTRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS  
NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DU DOCUMENT  
Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier**

## Partie I – Éléments du réseau trophique associé à la rivière

### I.A – Populations végétales de la rivière

#### **Partie I.A.1 : Identification de plantes**

Attention pour cette partie, un planning de passage sur un poste dédié est affiché sur le tableau de la salle.

Vous avez à disposition 3 échantillons de plantes aquatiques notés A, B et C récoltés dans un bras peu courant d'une rivière, ainsi qu'une clé de détermination des plantes aquatiques (*adaptée de Schou, J. C., Moeslund, B., van de Weyer, K., Wiegleb, G., Lansdown, R. V., Holm, P., ... & Sand-Jensen, K. 2023. Aquatic Plants of Northern and Central Europe including Britain and Ireland (Vol. 118). Princeton University Press*).

En annexe de ce sujet (p. ) vous trouverez une figure schématisant l'implantation de ces espèces dans leur milieu naturel.

**Question I.A.1** – À l'aide de la clé de détermination, **identifiez** chaque échantillon, puis **faites un dessin légendé** de chacun de ces 3 échantillons. Les dessins doivent faire apparaître les critères de détermination que vous avez utilisés.

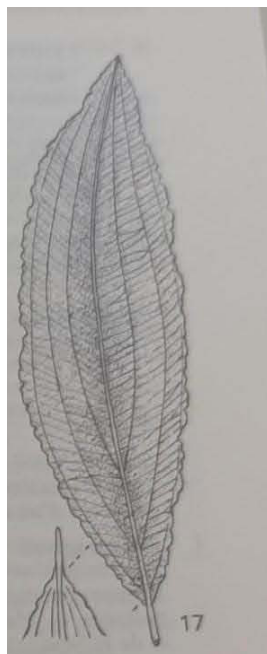
#### Échantillon A :

Nom : *Potamogeton lucens*

Dessin légendé : Le jury attend les éléments suivants : tige cylindrique avec feuilles entières alternes, (sessile ou) pétiole très court (<1cm). Ligule, Limbe foliaire rétrécis à la base, acuminé voire mucroné au sommet. Nervures parallèles. Titres légendes et échelles sont attendus



www.i-flora.com



Lambinon et al. 2015



@INPN, photo © H. Tinguy

#### Échantillon B :



Nom : *Myriophyllum spicatum*

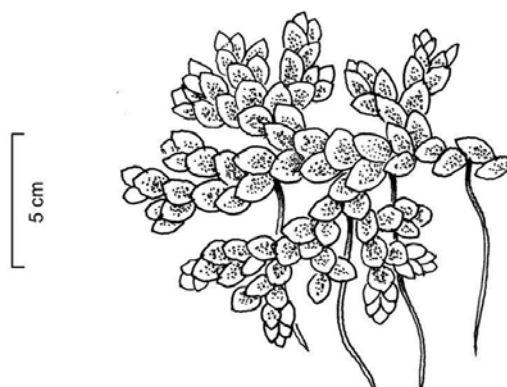
Dessin légendé : jury attend les éléments suivants : doit montrer : tige avec feuilles verticillées par 4 ou 5 et pectinée. Feuilles plus courtes que l'entre-nœud avec plus de 18 segments. + Racines  
Titres légendes et échelles



Échantillon C :

Nom : *Azolla filiculoides*

Dessin légendé : jury attend les éléments suivants : taille de la plante, racines, « Feuilles » écailleuses /  
Frondes insérées sur un axe  
Titres légendes et échelles



**Azolla filiculoides**  
Blatt – feuille – foglia – leaf

© S. Eggenberg  
Flora Helvetica – Haupt Verlag

### Partie I.A.2 : – Étude d'organes photosynthétiques

Sur votre paillasse se trouve une feuille sur tige de l'échantillon A et une demi-feuille d'un échantillon D. En annexe de ce sujet (p.) vous trouverez une figure schématisant l'implantation de ces espèces dans leur milieu naturel.

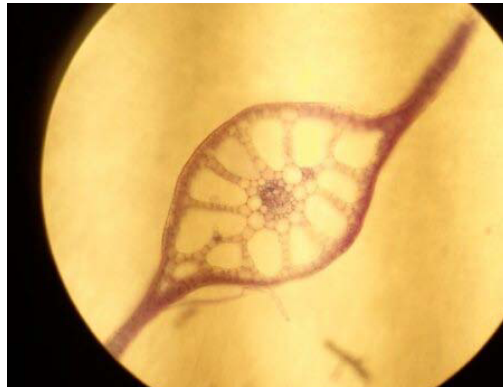
**Question I.A.2.1.** En utilisant les moyens à votre disposition, **mettez en évidence** les adaptations de ces deux feuilles à la vie en milieu aquatique. Une fiche technique pour d'éventuelles colorations est à votre disposition.

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

Le jury attend les éléments suivants : Réalisation de coupe transversales de feuilles avec coloration carmino-vert. Il y a eu valorisation du geste technique effectué.

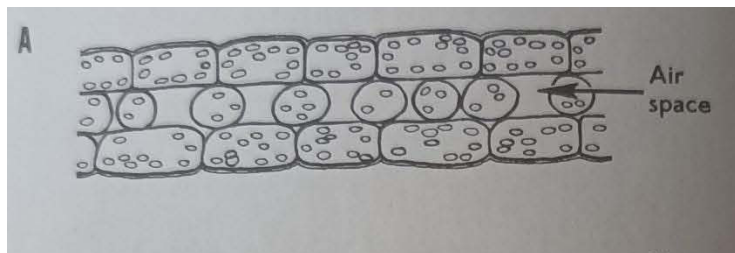
Échantillon A : Feuille *Potamogeton lucens*

Le jury attend les éléments suivants : titres légendes et échelles. *A part, au niveau des nervures (faisceaux ligneux), juste environ trois couches de cellules ; épiderme supérieur sans cuticule / épiderme inférieur sans cuticule / aérénchyme 1 ou peu de couches de cellules*



Exemple sur *P. acutifolius* :

H. THURUP



Sculthorpe 1967



Échantillon D : Feuille de Nénuphar (Nuphar ou Nymphaea)

Titres légendes et échelles

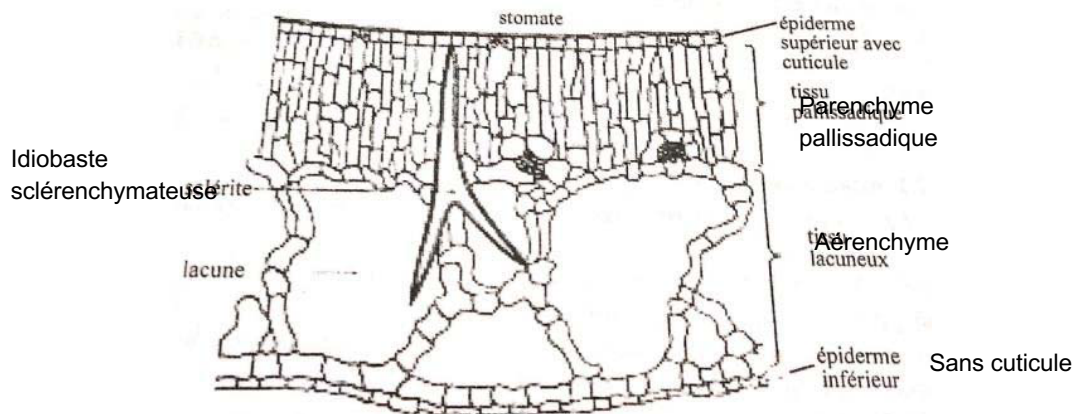
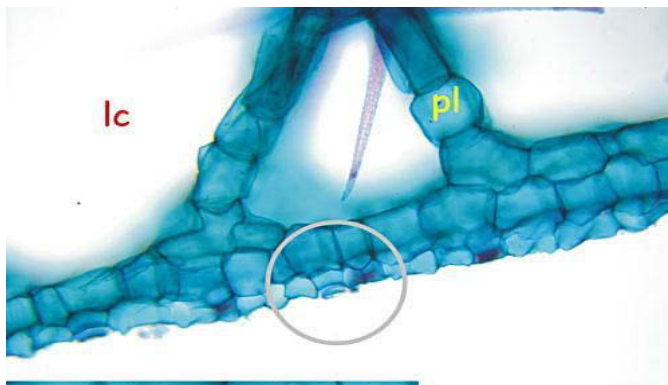


Schéma de la coupe transversale d'un limbe de nénuphar

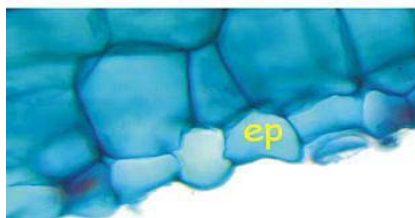
d'après <https://fasoeducation.bf>



*La face supérieure en contact avec l'atmosphère a l'aspect d'une feuille de plante terrestre (épiderme avec cuticule et stomates, parenchyme palissadique assimilateur, ...) alors que la face inférieure est caractéristique de la structure d'une plante aquatique (grandes lacunes aërifères, épiderme à cuticule fine et sans stomates, ...).*



Idiobaste  
sclérenchymateuse



*Face inférieure de la feuille. pl: Parenchyme lacuneux ou aërifère lc: Lacunes aërifères ep: Epiderme inférieur*

**Question I.A.2.2. – Expliquez** quelle(s) fonction(s) biologiques ces adaptations permettent d'assurer.

*Stomates sur la face supérieure : échanges gazeux*

*Lacunes aérifères : flottaison, circulation des gaz CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>*

*Épiderme sans cuticule : échanges, absorption ionique, circulation CO<sub>2</sub> dissous, O<sub>2</sub> dissous*

*Absence ou peu de tissu de soutien : flexibilité, adaptation au courant*

*Idiobaste sclérenchymateuse : soutien, stockage de molécules*

## I.B - Toxicité de certaines plantes de berges

Attention pour cette partie, un planning de passage sur un poste EXAO dédié est affiché sur le tableau de la salle.

Parmi les plantes de berges, certaines peuvent présenter une toxicité pour des herbivores : c'est le cas de *Sambucus ebulus* ou *Prunus laurocerasus* (le laurier-cerise), cette dernière se retrouvant sur la liste des espèces toxiques envahissantes quand elle s'échappe des jardins et s'implante dans la nature. Lors de la phytophagie, les glycosides cyanogènes présents dans les vacuoles des feuilles sont libérés et convertis en cyanure d'hydrogène par hydrolyse enzymatique. Dans le milieu naturel, il est souvent associé au benzaldéhyde qui dégage une odeur d'amande amère caractéristique.

On cherche à comprendre le mécanisme par lequel le laurier-cerise exerce cette toxicité.

*Des levures sont utilisées dans cette manipulation comme organismes sensibles aux extraits des feuilles du laurier.*

Matériel spécifique à disposition :

- une suspension de levures maintenue à 28°C en milieu oxygéné avec un bulleur, convenablement nourrie en glucose.
- une chaîne de mesure ExAO avec bioréacteur et sonde oxymétrique, ainsi qu'une fiche technique ExAO.
- quelques feuilles de laurier cerise *Prunus laurocerasus*

**Questions I.B.1 : Réalisez** le protocole décrit ci-dessous en superposant les enregistrements de vos deux tests, et **retracez** les courbes de votre écran dans l'encadré prévu.

Préparation initiale :

- découpez 3 feuilles de Laurier-cerise en morceaux dans un mortier.
- broyez les feuilles dans 2 ml de tampon P- saccharose (**Tampon P – saccharose** : 171 g de saccharose + 36,5 g de Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> + 16,6 g de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> pour 1000 ml d'eau distillée.)
- éliminez un maximum de fragments pour pouvoir récupérer le surnageant (1 ml nécessaire).

Test 1 :

- Ajoutez 15 mL de suspension de levures dans l'enceinte et lancez l'agitateur modérément.
- Démarrez la mesure ExAO du taux de dioxygène puis à 1,5 minute injectez dans l'enceinte 1 ml de tampon P-saccharose. Stoppez l'agitation.
- Arrêtez l'enregistrement à 3 minutes.
- Rincez la cuve.

### Test 2 :

- Ajoutez 15 mL de suspension de levures dans l'enceinte et lancez l'agitateur modérément.
- Démarrez la mesure ExAO du taux de dioxygène, en superposant avec la mesure précédente, puis à 1,5 minute injectez dans l'enceinte 1 ml de l'extrait de feuilles de laurier-cerise que vous aurez prélevé dans votre broyat. Stoppez l'agitation.
- Arrêtez l'enregistrement à 5 minutes.

Les deux tracés superposés sont reproduits ici :

**Respect global du protocole validé par la courbe témoin**

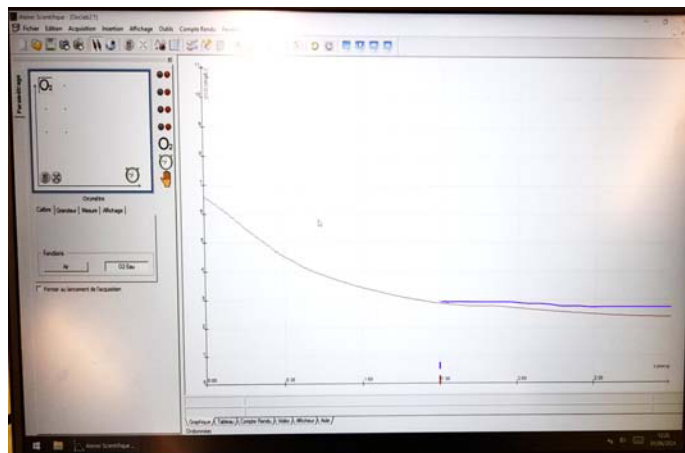
**Manipulation du logiciel :** Paramétrage correct, insertion d'un repère légendé précisant le moment de l'injection, gestion maîtrisée des fonctionnalités du logiciel pour l'acquisition de la mesure, adaptation de l'échelle des axes aux phénomènes **Tres peu de candidats savent utiliser cette fonction et alors qu'ils obtiennent des résultats sont dans l'incapacité de montrer les résultats, les deux courbes se superposent**

**Tracés superposés :** adéquation écran / réponse dans le sujet

- titre du graphique et légende
- délimitation et annotation des différentes parties du graphique : injections / respiration / inhibition de la respiration

- courbe rouge : diminution O<sub>2</sub> pour le témoin avec injection tampon (ou pas !)

- courbe bleue : diminution d'O<sub>2</sub> puis courbe horizontale pour le cas avec extrait de laurier



**Appelez le jury pour vérifier l'adéquation entre votre écran et les courbes tracées dans l'encadré.**

**Question I.B.2 :** Exploitez ces résultats, indiquez-la(es) cause(s) possible(s) de la toxicité des feuilles de laurier-cerise.

L'enregistrement **témoin** montre une diminution de la concentration d'O<sub>2</sub> dans l'enceinte = **respiration cellulaire des levures**.

La consommation d'O<sub>2</sub> cesse à l'injection de **l'extrait de laurier** : les levures sont incapables de respirer (et/ou sont mortes ?) Les **feuilles** du laurier-cerise contiennent des **glycosides cyanogènes** (prunasine) qui sont **des poisons respiratoires**.

Les glycosides cyanogènes peuvent libérer du **cyanure HCN** après hydrolyse : ce dernier empêche les **complexes cytochrome-oxydases de la chaîne respiratoire mitochondriale** d'utiliser l'O<sub>2</sub> (conformation proche) = **inhibition** du métabolisme respiratoire.

## I.C – Adaptations à la vie aquatique de l'écrevisse

Matériel à disposition : une écrevisse entière, une cuvette à dissection, divers matériels de présentation à différentes échelles aux choix.

### Partie I.C.1 – Position phylogénétique de l'écrevisse

**Question I.C.1** – À partir des caractères morpho-anatomiques observables, **justifiez la place phylogénétique** de l'écrevisse. Partez du fait qu'il s'agit d'un Métazoaire.

- **Symétrie bilatérale = Bilateria** (Protostomiens)
- **Mues successives** de la cuticule = exosquelette chitineux = **Ecdysozoaires** (Cuticulates)
- Présence **d'appendices articulés = Arthropodes**
- **Antennates ou Mandibulates**
- **Exosquelette minéralisé** ou appendices biramés ou 2 paires d'antennes = **Crustacés**
- Fusion des tagmes tête + thorax = céphalothorax, + abdomen + **5 paires de pattes thoraciques = Décapodes** (Malacostracés)
- **Abdomen allongé** terminé par une palette natatoire, vit en **eau douce = Ecrevisse** genre *Astacus*
- **mâle ou femelle = pléopodes**

### Partie I.C.2 – La respiration aquatique de l'écrevisse

**Question I.C.2.1** : À partir du matériel proposé, **réalisez** une présentation légendée (laissée à votre choix) à l'échelle de l'organe et permettant de mettre en évidence les particularités structurales et fonctionnelles des **branchies** d'écrevisse.

**Question I.C.2.2** : **Prélevez** un des appendices permettant d'assurer le courant d'eau dans la cavité branchiale. **Ajoutez-le** à votre présentation I.C.2.1 et **nommez-le**.

**Question I.C.2.3** : **Présentez** une branchie au microscope avec un croquis d'interprétation légendé de façon à mettre en évidence son efficacité fonctionnelle. Le croquis peut être réalisé à la fin de ce sujet sur les pages 33 et 34.

**Question I.C.2.4** : **Prélevez le cœur** de l'écrevisse, associé à ses deux principales artères. **Présentez-le** sous la loupe avec un croquis d'interprétation. Le croquis peut être réalisé à la fin de ce sujet sur les pages 33 et 34.

**Appelez le jury pour vérifier vos 4 présentations  
et l'adéquation avec vos croquis.**

**Q.I.C.2.1** : présentation d'un péréiopode P1 à P4 avec une podobranche et deux arthrobranchies, sur un support adéquat, avec titre et échelle, propre et clair

On attend les particularités structurales et fonctionnelles :

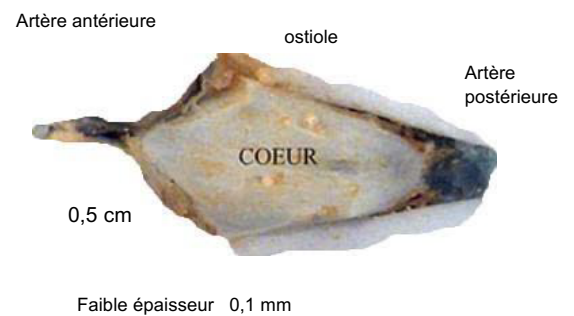
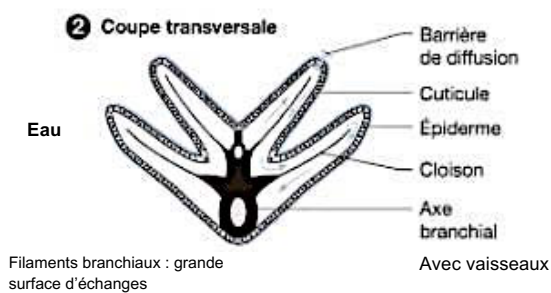
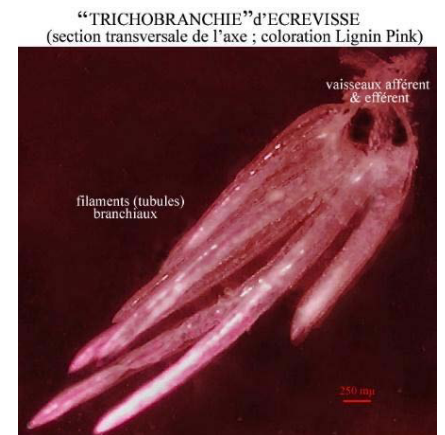
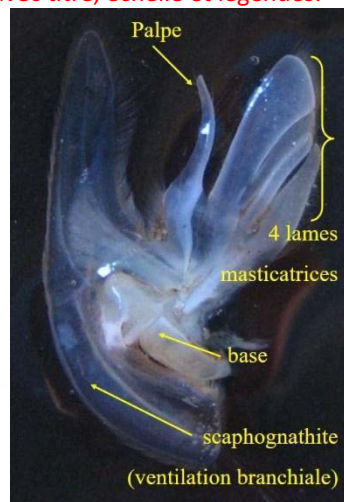
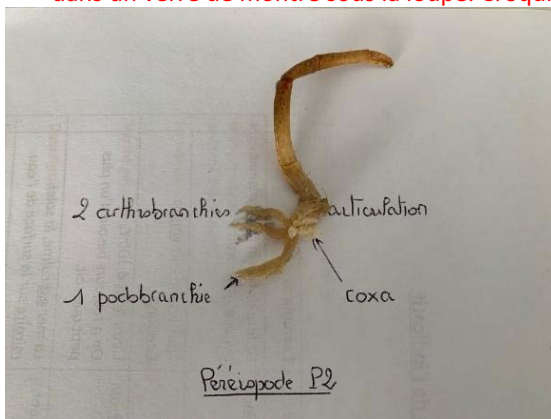
- branchies fixées sur un support avec une patte, étalée pour voir les filaments
- légendes structurales : appendice + articulation / arthro (sur l'articulation) et podo (sur la cuticule) -branche / filaments branchiaux (trichobranche)
- légendes fonctionnelles : contact direct et circulation de l'eau + augmentation de surface d'hématose.

**Q.I.C.2.2** : prélever un Mx2, le disposer à côté des branchies, l'étaler et légender le scaphognathite

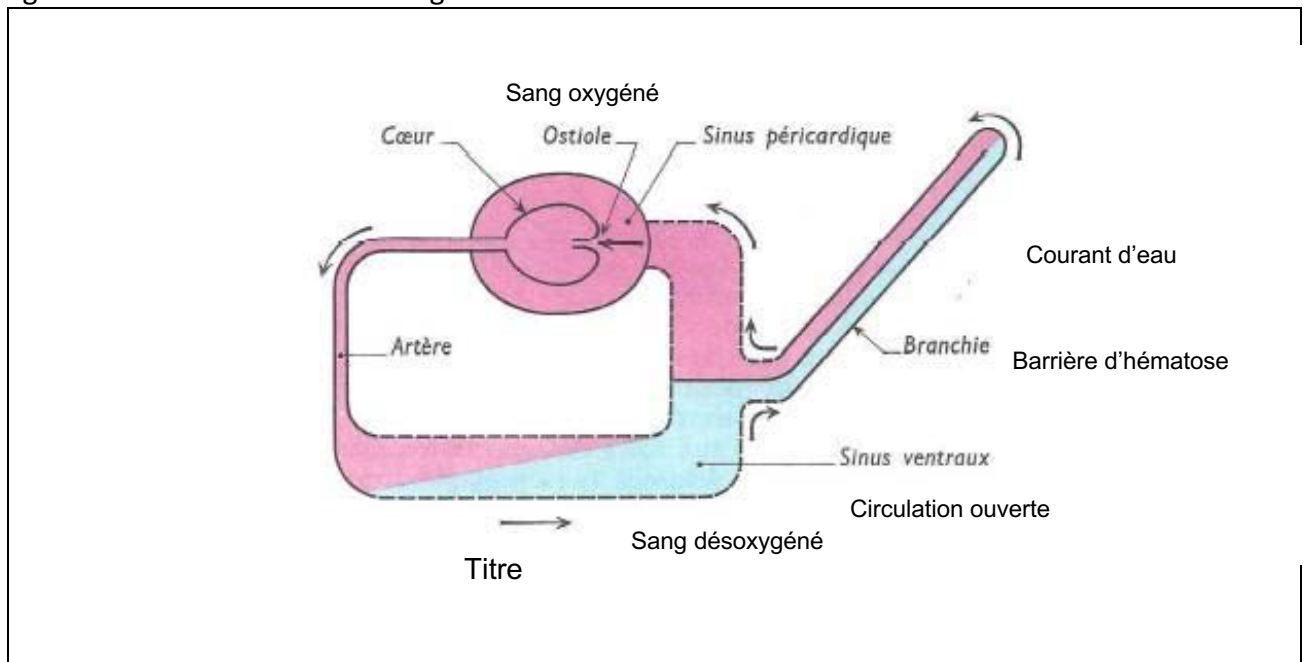
**Q.I.C.2.3** : présentation avec croquis au microscope de l'efficacité fonctionnelle d'une branchie

- branchie entière ou coupe au niveau de l'axe ou présentation de quelques filaments acceptés.
- montrer l'augmentation de surface, la présence de vaisseaux dans l'axe, le contact avec l'eau, et la faible épaisseur de la structure = optimisation de la loi de Fick

**Q.I.C.2.4** : cœur prélevé ventralement sous la cuticule, avec ses artères antérieure et postérieure. Présenté dans un verre de montre sous la loupe. Croquis avec titre, échelle et légendes.



**Question I.C.2.5 : Réalisez un schéma fonctionnel des échanges gazeux et du transport de ces gaz entre les branchies et un organe de l'écrevisse.**



### Partie I.C.3 : Le contrôle de la ventilation chez l'écrevisse

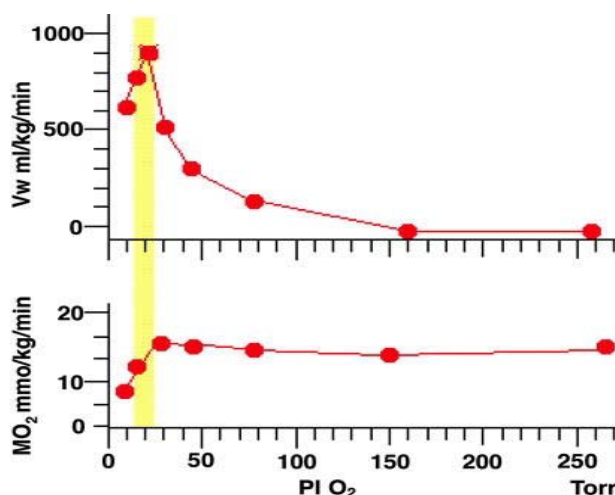
On s'intéresse à la régulation de la consommation d'oxygène chez l'écrevisse *Astacus leptodactylus* selon différentes pressions partielles en oxygène dans son milieu de vie (D'après JC Massabuau et B. Burtin, in « *Journal of Comparative Physiology B* », mai 1984).

Un lot de 67 écrevisses mâles *A. leptodactylus* a été acclimaté 1 mois minimum au laboratoire, dans une eau douce à 13°C et pH 8,4, avec une pression de CO<sub>2</sub> (PCO<sub>2</sub>) constante de 0,8 Torr (1 Torr = 1 mm de Hg = 0.133 KPa).

organe

On fait varier la pression partielle en O<sub>2</sub> dans l'eau inspirée (PI O<sub>2</sub>) de quelques Torr à plus de 250 Torr (la PO<sub>2</sub> dans l'eau douce est d'environ 155 Torr).

On mesure en parallèle le débit ventilatoire V<sub>w</sub> (« water flow rate », en ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) et la consommation d'oxygène MO<sub>2</sub> (en μmol. kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>). La figure I.C.3.1 montre les résultats.



**Figure I.C.3.1 :** Débit ventilatoire V<sub>w</sub> (en ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) et consommation d'oxygène MO<sub>2</sub> (en μmol. kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) en fonction de la PI O<sub>2</sub> (eau inspirée) pour un lot de 67 écrevisses *Astacus leptodactylus*.



**Question I.C.3.1 :** Interprétez ce document pour en déduire les conditions de la respiration chez l'écrevisse dans un milieu de vie aux conditions variables.

Il est conseillé d'expliquer la courbe de la droite (milieu oxygéné) vers la gauche (raréfaction d'O<sub>2</sub>)

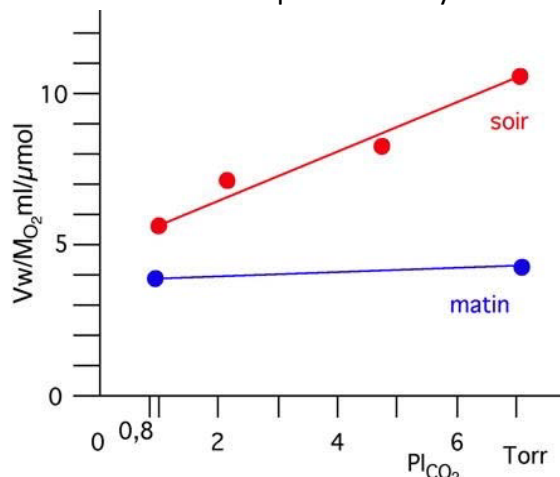
- Dans des **conditions naturelles** ou enrichies en PO<sub>2</sub>, la consommation d'oxygène par l'écrevisse est constante, et le débit ventilatoire quasi nul, ce qui signifie que l'hématose à travers les branchies doit se faire sans activation motrice d'un courant d'eau dans la cavité branchiale.

- **Quand PO<sub>2</sub> diminue**, entre 150 et 20 Torr, la consommation d'oxygène est toujours identique, mais le débit ventilatoire augmente : on peut supposer que l'écrevisse active le courant d'eau dans la cavité branchiale, via le scaphognathite par exemple, de façon à assurer un renouvellement plus rapide des gaz au contact de la branchie. On peut parler d'adaptation physiologique à la PO<sub>2</sub> du milieu.

- **Quand PO<sub>2</sub> < 20 Torr** : l'écrevisse n'est plus capable de compenser la chute de PO<sub>2</sub> dans l'eau par le renouvellement du courant d'eau ; la consommation en O<sub>2</sub> n'est pas maintenue, et l'écrevisse meurt asphyxiée !

(In « Regulation of oxygen consumption in the crayfish *Astacus leptodactylus* at different levels of oxygenation: role of peripheral O<sub>2</sub> chemoreception », Jean-Charles Massabuau)

L'écrevisse *A. leptodactylus* présente un rythme circadien d'activité avec une faible activité le matin et une activité plus importante le soir. **La figure I.C.3.2** montre l'évolution du débit ventilatoire nécessaire à l'extraction d'une quantité unitaire d'oxygène  $V_w/MO_2$ , en fonction de la  $PI_{CO_2}$  dans l'eau inspirée et du rythme circadien d'activité. (D'après P. Dejours, 1983).



**Figure I.C.3.2 :** débit ventilatoire nécessaire à l'extraction d'une quantité unitaire d'oxygène  $V_w/MO_2$ , en fonction de la  $PI_{CO_2}$  dans l'eau inspirée et du rythme circadien d'activité.

**Question I.C.3.2 :** Précisez les informations apportées par cette deuxième série d'expériences

Le **débit ventilatoire** nécessaire à l'extraction d'une quantité unitaire d'oxygène  $W_w/MO_2$  varie d'un facteur 2,5 entre le matin (faible activité) et le soir (activité importante) quand  $PI_{CO_2}$  augmente.

On peut conclure que la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'eau inspirée stimule la ventilation pendant les périodes où l'écrevisse est en activité.

#### Partie I.C.4 : Contrôle physiologique de la vie en eau douce de l'écrevisse

On compare les pressions osmotiques des fluides de l'écrevisse *Astacus astacus* et celles de leur environnement aquatique. La concentration totale des fluides dans un milieu peut être mesurée d'après l'abaissement du point de congélation ( $\Delta$ ) ou *abaissement cryoscopique*, en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Approximativement :  $P = 12,06.\Delta = 22,4.n$  où  $n$  est le nombre d'osmoles par litre.

**Tableau I.C.4.1** : Concentrations totales des fluides exprimées d'après l'abaissement cryoscopique (*Etienne Magnin, Régulation osmotique et ionique chez les crustacés. Vie et Milieu / Life & Environment, 1964*)

Fluide considéré	Valeur de $\Delta$ en $^{\circ}\text{C}$
Eau douce	Négligeable
Eau de mer	- 1.85 $^{\circ}\text{C}$
Hémolymph d'écrevisse	- 0.81 $^{\circ}\text{C}$
Urine d'écrevisse	- 0.09 $^{\circ}\text{C}$

**Question I.C.4.1** : Utilisez les données expérimentales du tableau pour proposer un mécanisme d'adaptation physiologique de l'écrevisse à son environnement aquatique.

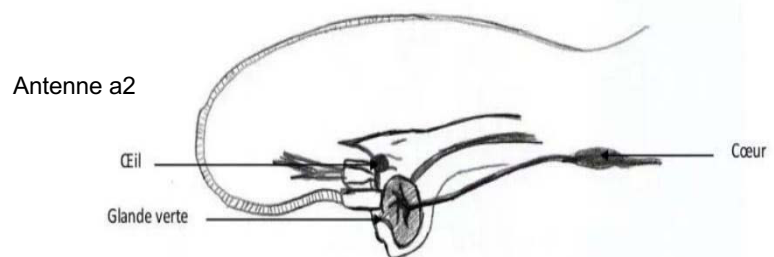
En milieu d'eau douce, l'écrevisse a un **milieu interne (hémolymph) hypertonique** par rapport à son milieu de vie, avec un risque d'absorption d'eau. En réponse, son **urine est très diluée**.

On met en évidence la capacité d'**osmorégulation ou équilibre hydrominéral** de l'écrevisse, qui lui permet de rejeter l'eau excédentaire tout en réabsorbant les sels dissous. La formation de cette urine hypotonique est un mécanisme **d'adaptation physiologique** à la vie dans un milieu dilué. (*In « Régulation osmotique et ionique chez les Crustacés, Etienne Magnin*)

**Question I.C.4.2** : Réalisez une extraction de l'organe de l'excrétion de l'écrevisse, que vous présenterez dans un verre de montre (sous la loupe si nécessaire) et accompagné d'un croquis légendé. Le croquis peut être réalisé à la fin de ce sujet sur les pages 33 et 34.

**Appelez le jury pour vérifier votre présentation et l'adéquation avec votre croquis.**

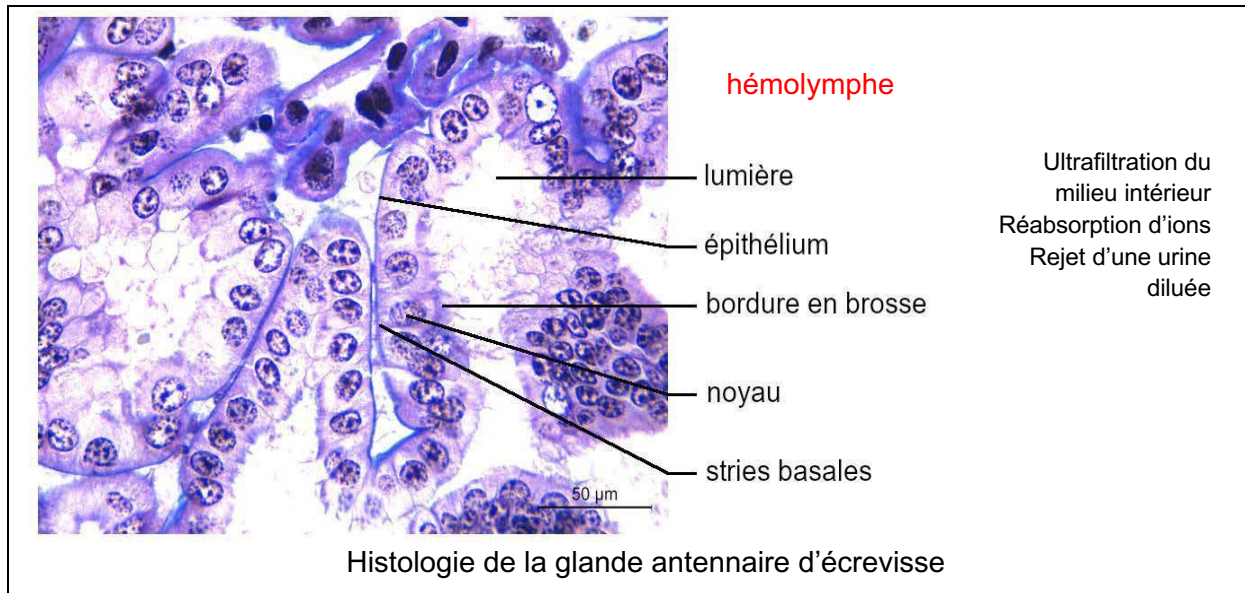
Les **grandes antennaires (glandes vertes)**, situées à la base de chaque antenne a2, se comportent comme un rein et assurent cette osmorégulation.





**Question I.C.4.3 :** La **figure I.C.4.3** montre l'histologie d'une coupe transversale dans un des organes de l'excrétion de l'écrevisse.

**Complétez directement le document** de façon à expliciter le rôle fonctionnel de cet organe en lien avec les questions précédentes. **Ajoutez** un titre, et des légendes si nécessaire.



**Figure I.C.4.3 :** coupe transversale dans un des organes de l'excrétion de l'écrevisse.

**Question I.C.4.4 :** Conclure en 3 lignes sur l'adaptation physiologique de l'écrevisse à la vie en rivière mise en évidence dans cette partie I.C.4.

L'écrevisse respire grâce à un appareil branchial filamenteux au contact du milieu et traversé par un courant d'eau renouvelé par le scaphognathite.  
Elle peut réguler sa ventilation en milieu anoxique ou enrichi en CO<sub>2</sub> (le soir).  
Elle maintient son milieu intérieur hypertonique grâce à deux glandes antennaires responsables de l'osmorégulation en milieu dilué.

## I.D – Réseaux trophiques et transfert de polluants

La figure suivante vous présente quelques espèces peuplant une petite rivière de Martinique :



- ARO : *Anguilla rostrata* /Anguille
- Famille des Anguillidae
- Habitat : zones rapides sur fond rocheux et calmes sous abri
- Régime alimentaire : carnivore



- GDO : *Gobiomorus dormitor* /Dormeur
- Famille des Eleotridae
- Habitat : zones calmes sur fond rocheux
- Régime alimentaire : carnivore



- SIC : *Sicydium sp.* /Colle-roche
- Famille des Gobiidae
- Habitat : zones rapides sur fond rocheux
- Régime alimentaire : herbivore



- OMO : *Oreochromis mossambicus* /Tilapia
- Famille des Cichlidae
- Habitat : zones calmes sur fond rocheux et dans les herbiers de bordures
- Régime alimentaire : omnivore



- AMO : *Agonostomus monticola* /Mulet de rivière
- Famille des Mugilidae
- Habitat : zones calmes et rapides sur fond rocheux
- Régime alimentaire : omnivore



- MCA : *Macrobrachium carcinus* /Z'habitant
- Famille des Palaemonidae
- Habitat : zones calmes ou rapide dans des abris rocheux
- Régime alimentaire : omnivore



- MAC : *Macrobrachium achanturus* /Chevrette
- Famille des Palaemonidae
- Habitat : zones calmes, herbiers de bordures
- Régime alimentaire : omnivore



- AIN/ASC : *Atya sp.* /Bouc
- Famille des Atyidae
- Habitat : zone de courant sur fond rocheux
- Régime alimentaire : détritivore

**Figure I.D.1 :** Présentation de quelques espèces peuplant la rivière de Martinique étudiée.

**Question I.D.1 :** Schématisez le réseau trophique de cette rivière :

Rajouter les éléments du réseau non présentés sur la figure ID1

Relations trophiques logiques par rapport à la taille, à la morphologie des organismes

Etaient attendus des schémas permettant:

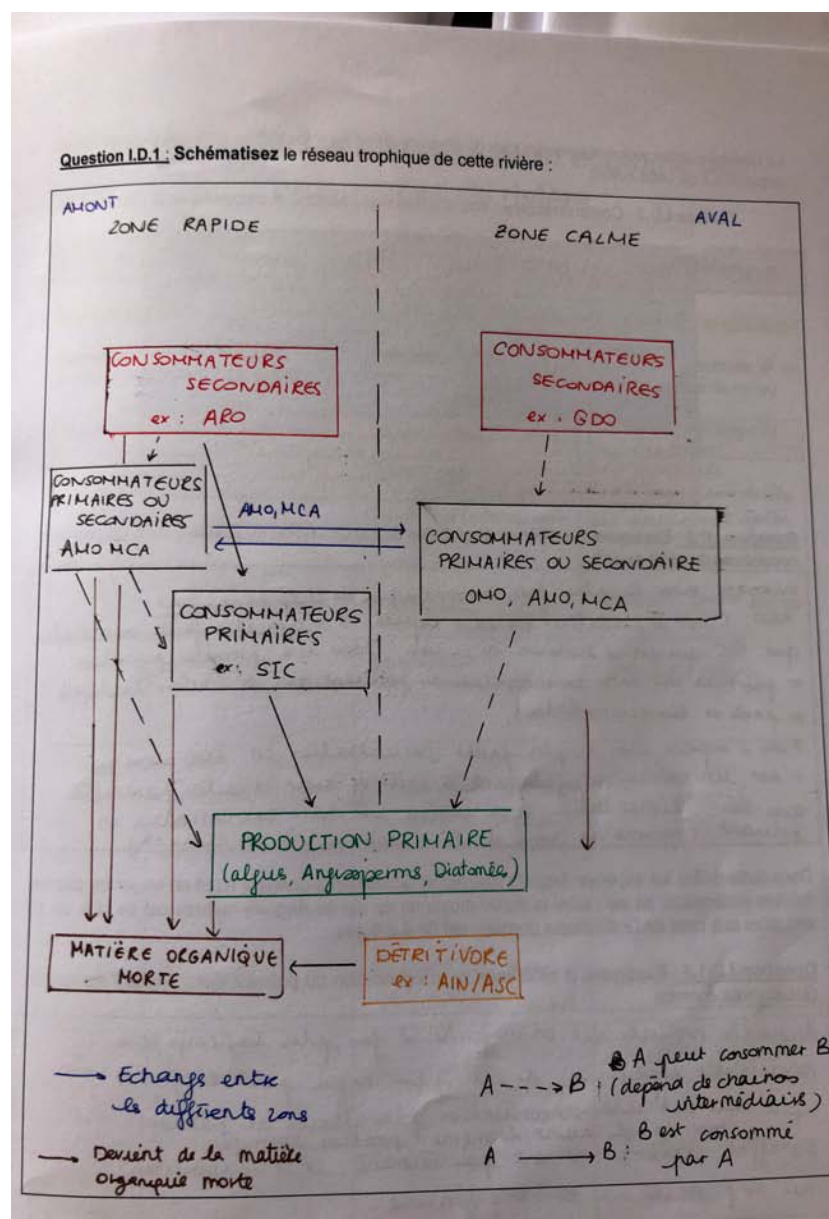
- d'identifier clairement les niveaux trophiques (**Décomposeurs**, producteurs primaires et consommateurs de différents ordres)

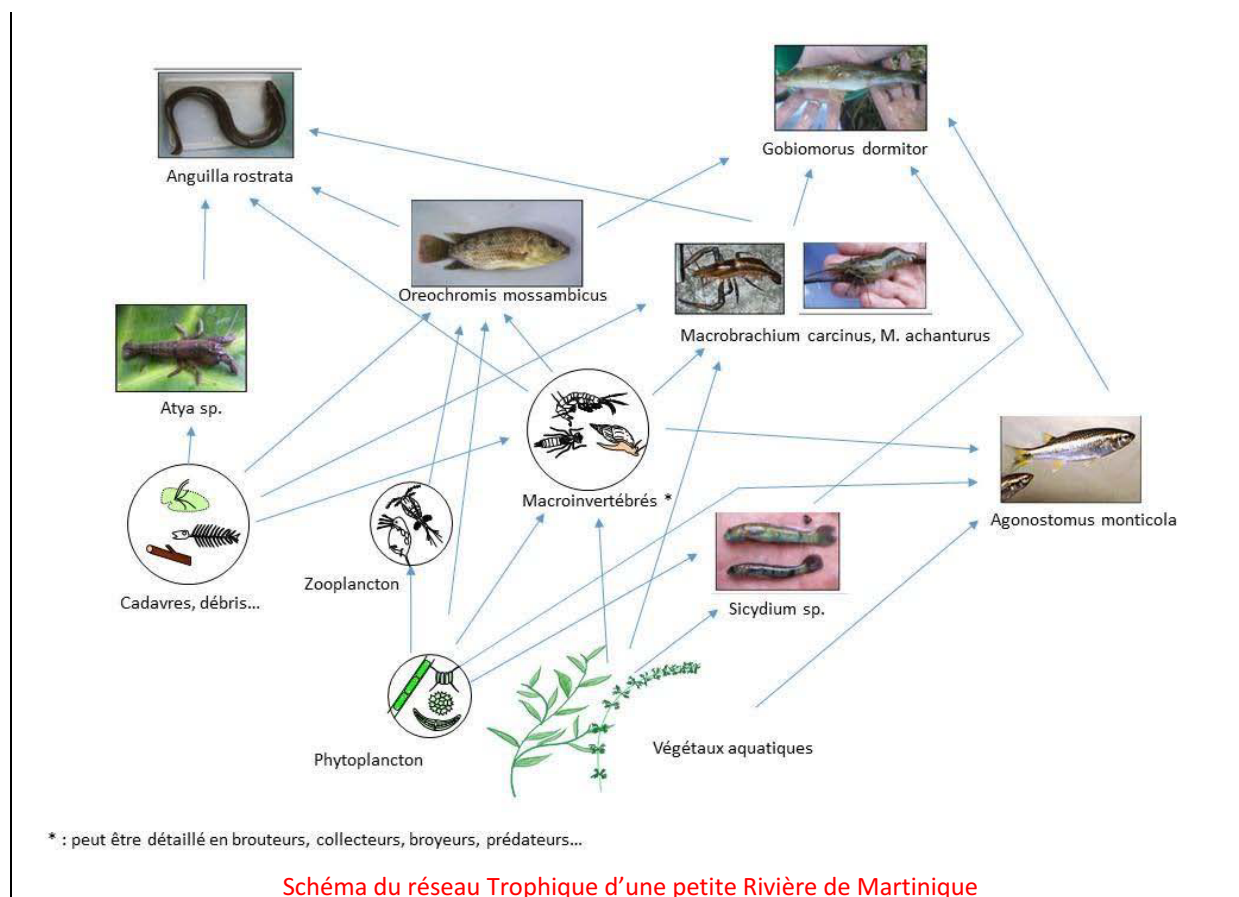
- de visualiser des liens trophiques entre organismes ou compartiment (le jury rappelle que, si aucune légende n'apporte de précision, le sens des flèches signifie par convention "est mangé par")

- de montrer un recyclage de la matière .

Les tentatives judicieuses pour distinguer les zones rapides et calmes ont été valorisées

Exemple de production ci-dessous





Le tableau suivant vous présente les taux de contamination au chlordécone mesurés dans certaines populations de cette rivière.

**Tableau I.D.2** : Contamination en chlordécone des poissons et crustacés de la rivière

	Espèces	Chlordécone (moyenne µg/kg de poids frais)
<b>Poissons</b>	<i>Agonostomus monticola</i>	1212
	<i>Anguilla rostrata</i>	9545
	<i>Eleotris perniger</i>	5891
	<i>Gobiomorus dormitor</i>	92
	<i>Oreochromis mossambicus</i>	983
	<i>Sicydium sp.</i>	2695
<b>Crustacées</b>	<i>Atya innocous</i>	3005
	<i>Atya scabra</i>	4509
	<i>Macrobrachium achanthurus</i>	4748
	<i>Macrobrachium carcinus</i>	1563

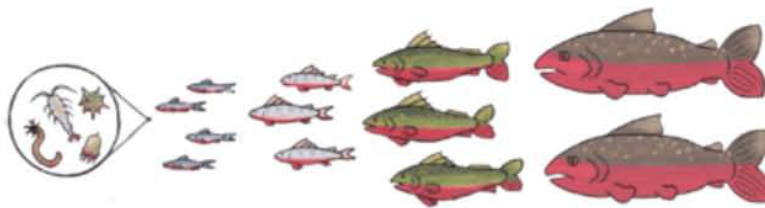


**Question I.D.2 :** Expliquez les différences globales de concentration du polluant dans les diverses populations de cette rivière.

Différences expliquées par phénomène de **Bioamplification** : L'absorption du contaminant et son accumulation dans les tissus se fait à la suite de l'ingestion d'espèces du niveau trophique précédent. L'augmentation des concentrations de contaminants se fait le long de la chaîne alimentaire pour l'ensemble de l'écosystème. La concentration augmente donc d'un niveau trophique à l'autre. Un carnivore (exple *Anguilla*) « mange » plusieurs omnivores, détritivores, herbivores... les niveaux trophiques les plus élevés ont donc des niveaux de contamination plus élevés

#### BIOAMPLIFICATION

■ niveaux de mercure



<https://www.biodiversite.net/article-scientifique/la-bioaccumulation-et-bioamplification/>

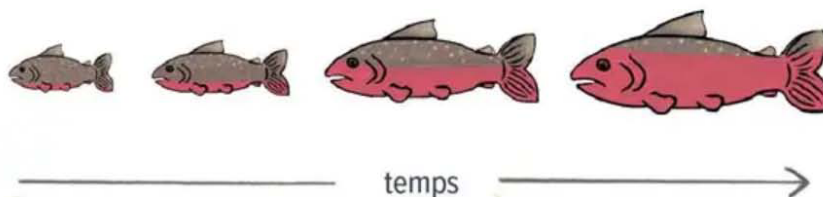
Dans cette rivière les espèces *Anguilla rostrata* et *Gobiomorus dormitor* n'ont en moyenne pas les mêmes espérances de vie : ainsi la durée moyenne de vie de *Anguilla rostrata* est de plus de 10 ans alors que celle de *Gobiomorus dormitor* est de 4 à 5 ans.

**Question I.D.1.3 :** Expliquez la différence de concentration du polluant dans *Anguilla rostrata* et *Gobiomorus dormitor*

Différence expliquée par le phénomène de Bioaccumulation : La bioaccumulation est l'accumulation de contaminants dans les tissus d'un individu au cours de sa vie, puisqu'il ingère les contaminants plus rapidement qu'il ne réussit à les dégrader. Plus l'individu vit longtemps, plus la présence de contaminant dans ses tissus sera grande  
Les Anguilles sont en moyenne plus âgées que les Dormeurs, leur niveau de contamination est donc plus élevé.

#### BIOACCUMULATION

■ niveaux de mercure



<https://www.biodiversite.net/article-scientifique/la-bioaccumulation-et-bioamplification/>

Cette notion a rarement été définie par les candidats bien qu'ils aient corrélé la concentration et la durée de vie des organismes.

## Partie II – Cycles biologiques et écologie des organismes de rivière

### II.A – Reconnaissance argumentée d'échantillons

Attention pour cette partie, un planning de passage sur un poste dédié est affiché sur le tableau de la salle.

**Question II.A :** Complétez le tableau fourni en identifiant les 10 organismes présentés et en précisant leurs modalités respiratoires ainsi que leur rôle comme indicateur biologique de milieu.

Échantillon	Nom de l'organisme	Modalités de respiration	Indicateur biologique de milieu
1	Truite	Branchiale	Eaux oxygénées + courant (forme hydrodynamique)
2	Carpe	Branchiale	Eaux douces plus turbides, calmes (forme arrondie)
3	Limnée (coquille) ( <i>Limnea</i> )	Pulmonaire (et cutanée) pneumostome	Eaux stagnantes riches en Micro-végétaux
4	Gammare (famille)	Branchiale	Bioindicateurs de qualité médiocre des eaux + courant (forme aplatie)
5	Copépode ( <i>Culex</i> )	Membranaire / mito	Zooplancton milieux calmes
6	Daphnies	Appendices branchiaux	Eaux douces ou eaux saumâtres
7	Planaire ( <i>Dugesia</i> )	Tégumentaire	Eaux non stagnantes, propres, non polluées
8	Sangsue ( <i>Hirudo</i> )	Tégumentaire	Eaux douces de bonne qualité et fraîche
9	Hildenbrandia (algue)	Cellulaire (et photosynthèse)	Eaux courantes, substrat grossier Bonne qualité de l'eau (IBMR)
10	Diatomées (phytoplancton)	Cellulaire (et photosynthèse)	Indicateurs de pollution des eaux = IBD

### II.B – Le cycle biologique des Charophytes

**Question II B.1 :** La figure II.B.1. montre un représentant du phylum des Charophytes, *Chara vulgaris*. Légendez et titrez directement sur le document de façon à mettre en évidence les caractéristiques morphologiques des charophytes.

Philloïde ou  
Ramification / rameau  
secondaire

Axe principal

Entre-noeud



**Aspect général du thalle /  
cladome d'une Characée**

Philloïde ou  
Ramification  
primaire

Noeud



**Détail d'un verticille  
Characée**

Acicule

Filament  
corticant



Cellules bractées  
(ventrale)

Anthéridie,  
gamétange  
gamétocyste  
mâle

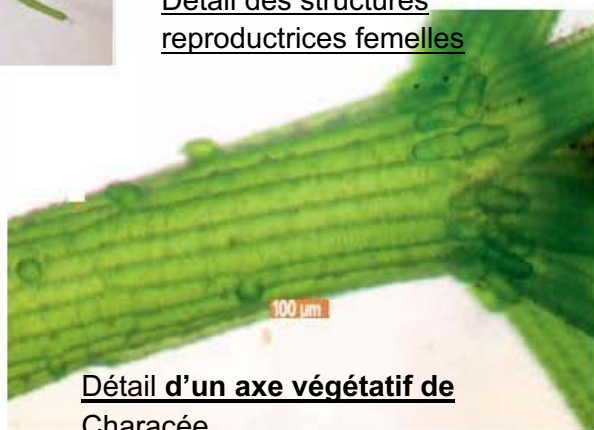
**Détail des structures reproductrices  
mâles – espèce monoïque**



Coronule

Oogone /  
gamétange  
gamétocyste  
femelle

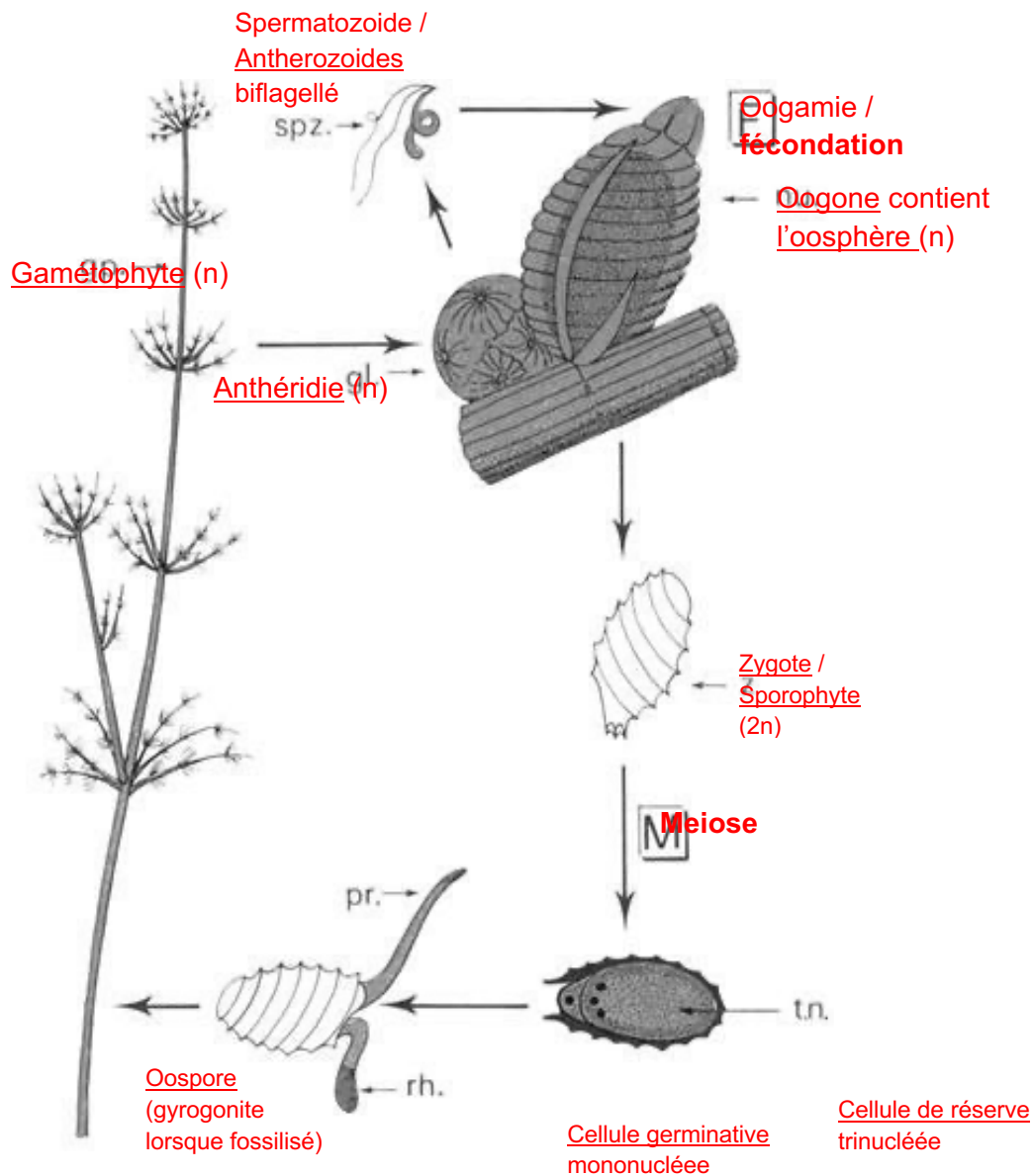
**Détail des structures  
reproductrices femelles**



Stipulode

**Figure II.B.1. : Morphologie de *Chara vulgaris*.** Photos issues de Ubraniak, J. & Gabka M ; (2014) Polish Charophyte, an illustrated guide to Identification. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.

**Question II B.2 : Schématisez et légendez le cycle de développement de *Chara vulgaris***



+ légendes déjà mentionnées au II.B.1.

**Cycle biologique haplodiplophasique de *Chara vulgaris***

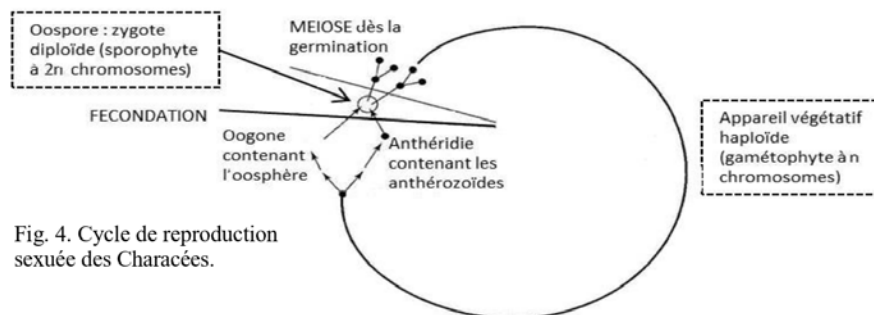


Fig. 4. Cycle de reproduction sexuée des Characées.

Thèbe 2014

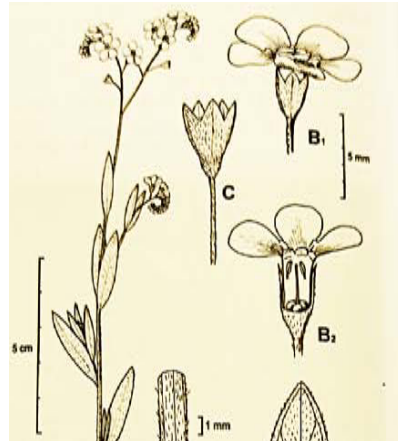


## II.C – Reproduction sexuée d’une plante de berge

Matériel à disposition : une inflorescence d’une plante de berge, plante E. En annexe de ce sujet (p.) vous trouverez une figure schématisant l’implantation de cette espèce dans le milieu naturel.

Question II.C.1 – **Identifiez** le type d’inflorescence : **Scorpioïde**

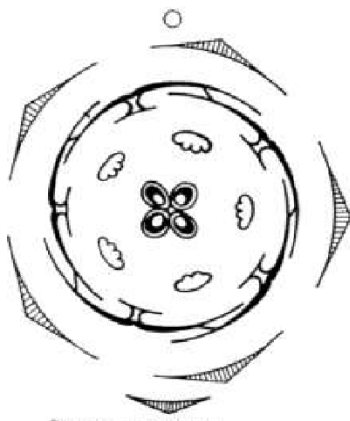
Question II.C.2 – **Réalisez** une dissection florale permettant de mettre en évidence les caractéristiques d’une fleur, que vous **présenterez** sur une feuille libre avec les légendes associées.



Question II.C.3 – **Réalisez** le diagramme floral.

Question I.C.4 – **Donnez** la formule florale.

**Diagramme floral :**



**Formule florale :**

♀ ♂ (5 S) + (5 P) + 5 E + (2 C)

P

**Bonus :** genre = myosotis (des marais)

**Appelez le jury pour vérifier l’adéquation des trois précédentes questions**

Question II.C.5 – D’après ces éléments morpho-anatomiques, **identifiez** le mode de pollinisation de cette espèce. **Justifiez** votre réponse.

**Entomophilie** : corolle colorée pétales bleus et écailles jaunes : 2 couleurs visibles par insectes diptères et syrphes (contrairement au rouge visible / papillons) + jaune = zone externe des glandes nectarifères mais peu visible sur dissection.

**Disposition en inflorescence** : « plus rentable pour pollinisateurs

**Bonus** = La couleur dépend du degré de maturité = signal pour les insectes = optimisation de la pollinisation.

**Autopollinisation également possible**

## II.D – L'élodée : cycle biologique d'une invasive

L'Élodée, *Elodea nuttallii*, est une angiosperme enracinée immergée, sauf ses petites fleurs blanches. Originaires d'Amérique, cette espèce dioïque a été importée accidentellement dans les cours d'eau européens au XX<sup>e</sup> siècle. On ne trouve que des fleurs femelles en Europe.

**Question II.D.1 :** En Europe, *Elodea nuttallii* est classée comme espèce exotique envahissante.

**Décrivez** les conséquences possibles de l'introduction de cette espèce dans une région où elle était absente auparavant.

L'Élodée de Nuttall tend à former des peuplements denses monospécifiques qui ont un effet sur :

### Sur le fonctionnement des écosystèmes

- Altération physico-chimique du milieu aquatique envahi à cause du tapis végétal dense qui bloque la diffusion de l'oxygène de l'air, causant des conditions anaérobiques directement préjudiciables pour la macrofaune et la microfaune aquatiques. (Muller 2004 ; Pieret & Delbart 2007).
- Diminution de l'intensité lumineuse pour les espèces immergées sous-jacentes du fait de l'augmentation de la réflexion des rayons incidents face au développement étagé de la plante (Pieret & Delbart 2007).
- Accélération de la sédimentation des matières organiques et donc de l'eutrophisation des eaux. Cette sédimentation provoque parallèlement un engorgement du milieu (Pieret & Delbart 2007).
- Modifications des régimes hydrauliques : réduction de l'écoulement de l'eau (Pieret & Delbart 2007).

### Sur la structure des communautés végétales en place

- Risque que l'Élodée de Nuttall constitue à elle seule la strate inférieure d'une communauté végétale et à s'opposer ainsi au développement des autres espèces autochtones : cas du Falkensteinbach sur lequel l'espèce prédomine au détriment de *Ranunculus peltatus* ou de *Callitriche platycarpa*. Ce pouvoir compétitif conduit dans un premier temps à une diminution de la diversité floristique de la station et, à terme, peut aboutir à une perte de la diversité biologique du cours d'eau (Thiébaud et al. 2004).

### Sur la composition des communautés végétales en place

- Banalisation de la flore dans le lac Léman (Demierre & Perfetta 2002).

### Sur les interactions avec les espèces indigènes animales et végétales

- Effets allélopathiques (investigations expérimentales) de l'Élodée de Nuttall sur la croissance de plusieurs producteurs primaires aquatiques tels que des algues épiphytes et des cyanobactéries extraites de macrophytes submergées (Erhard & Gross 2006).

### Sur les espèces/habitats à fort enjeux de conservation

- Menace dans les Vosges du Nord les hydrophytes indigènes comme *Myriophyllum alterniflorum* DC., espèce protégée en Lorraine et en Alsace (Thiébaud et al. 1997).

**Question II-D.2 :** Décrivez les étapes du processus conduisant une espèce à devenir invasive.

Richardson et al. (2000) définissent un processus en 3 étapes nécessaires pour qu'une espèce devienne invasive.

La première étape est le transport et l'introduction d'individus, de larves ou de propagules dans une aire de répartition éloignée de l'aire d'origine.

La seconde étape est la naturalisation de l'espèce introduite lorsqu'elle parvient à se reproduire et à maintenir une population stable dans son nouvel écosystème.

Enfin, l'espèce naturalisée sera considérée comme invasive si elle parvient à étendre son aire de répartition et à disposer d'avantages en termes de compétition vis-à-vis des espèces autochtones, pouvant entraîner des perturbations de l'écosystème.

Matériel à disposition : un échantillon de l'appareil végétatif d'*Elodea nuttallii* ainsi que la figure II.D.3 qui est une photo de fleurs d'*Elodea nuttallii*.

**Question II-D.3.** : Légendez la photo.



**Figure II.D.3** : Fleurs d'*Elodea nuttallii*, observées à la loupe binoculaire

**Question II-D.4.** : Réalisez une présentation légendée de l'échantillon entier et/ou en coupe de façon à montrer en quoi l'appareil végétatif présente des adaptations à la vie aquatique.

**Appelez le jury pour évaluer votre présentation**

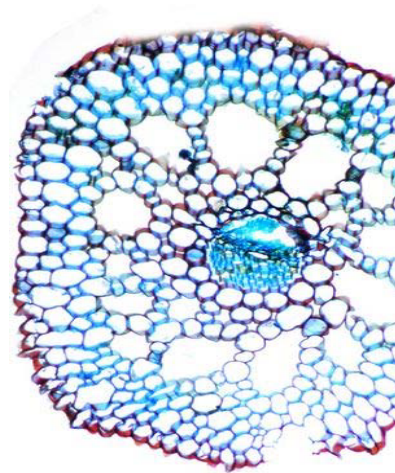
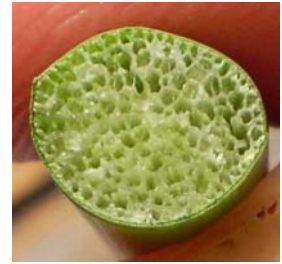
**Cette espèce étant réglementée au niveau européen. Les autorisations de détention ont été obtenues auprès des autorités compétentes.**

**À l'issue du TP, il vous est demandé de déposer vos échantillons dans le bac prévu à cet effet en vue de leur destruction.**

**Question II-D.4.**



CT tige œil nu :  
aérenchyme  
0,2 mm



Observation microscopique X 100

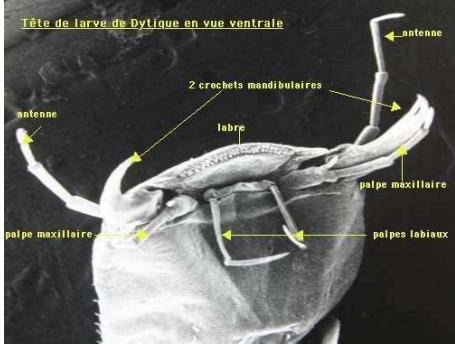
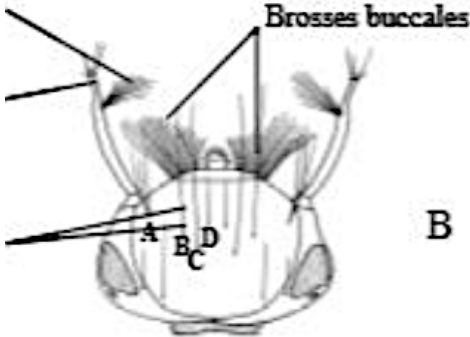
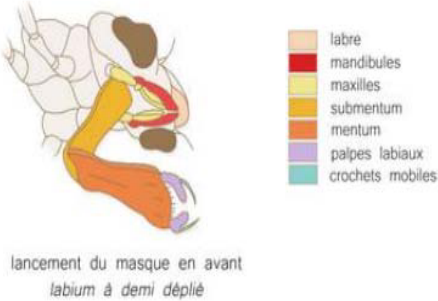
**Question II.D.5.** : Sur un **schéma unique**, **construisez** le cycle biologique d'*Elodea nuttallii* en Europe en précisant les caractéristiques qui en font une plante exotique envahissante préoccupante pour l'Union Européenne.

Le jury attendait un cycle simple uniquement végétatif. Il fallait montrer la fragmentation, la croissance, l'élongation des tiges, les racines adventives (= bouturage).  
La présence de fleurs uniquement femelle pouvait être signalé

## II.E – Quelques larves d'insectes des rivières

Matériel spécifique à disposition : 3 larves aquatiques d'insectes

**Question II.E.1 : Remplissez** le tableau montrant les structures liées à l'alimentation et la respiration.

Espèce de la larve	Croquis légendés des pièces buccales et régime alimentaire	Mode de respiration	Milieu de vie adulte
Dytique Dysticus	 <p>Tête de larve de Dytique en vue ventrale</p> <p>antenne</p> <p>2 crochets mandibulaires</p> <p>labre</p> <p>palpe maxillaire</p> <p>palpes labiaux</p> <p>régime carnivore</p>	<p>- <b>Respiration trachéenne directe</b></p> <p>- Air renouvelé par mise en contact de la <b>partie postérieure de l'abdomen</b> avec l'air extérieur grâce à 2 « faux-cerques » qui entourent les orifices respiratoires.</p>	Eau douce, mares
Moustique Culex	 <p>Brosses buccales</p> <p>A B C D</p>	<p>- <b>Respiration trachéenne directe</b></p> <p>- Trachées mises en contact avec l'air grâce à un <b>siphon respiratoire</b> maintenu au-dessus de l'eau.</p>	Aérien
Libellule Odonate Anisoptère	 <p>labre</p> <p>mandibules</p> <p>maxilles</p> <p>submentum</p> <p>mentum</p> <p>palpes labiaux</p> <p>crochets mobiles</p> <p>lancement du masque en avant</p> <p>labium à demi déplié</p>	<p>- <b>Respiration trachéenne indirecte</b></p> <p>- trachées reliées à des <b>lamelles branchiales</b> dans le rectum qui aspirent l'eau, récupèrent l'O<sub>2</sub> (hématose), puis rejettent l'eau.</p>	Aérien

Les larves du genre *Chironomus* (diptères) se développent dans les eaux calmes où elles construisent des tubes dans la vase, d'où leur nom vernaculaire de "vers de vase". Comme d'autres diptères, les **glandes salivaires** des larves de Chironomes possèdent des **chromosomes géants ou polyténiques**, qui sont le résultat d'endoréplifications successives.

Ces chromosomes peuvent être observés au microscope optique.



**Question II.E.2. : Réalisez** une préparation microscopique permettant l'observation des chromosomes géants, et **présentez** un dessin d'observation dans le cadre ci-dessous. **Donnez** une indication d'échelle des chromosomes.

Protocole d'observation des chromosomes géants

- Déposez un chironome sur une lame.
- Sous la loupe, repérez la tête de la larve et la saisissez à l'aide d'une pince fine, d'un côté, alors que vous maintiendrez le reste du corps avec l'index.
- Tirez doucement, mais fermement sur la tête de façon à l'arracher. De chaque côté de la tête, une masse translucide doit suivre le mouvement : il s'agit des glandes salivaires.
- Conservez les glandes salivaires sur la lame et éliminez les autres résidus.
- Ajoutez une goutte de vert de méthyle acétique, laissez agir 5 minutes puis recouvrez avec une lamelle en appuyant légèrement pour éliminer l'air et répartir le contenu.
- Observez cette préparation au microscope au grossissement adapté.



**Appelez le jury pour évaluer votre préparation microscopique et l'adéquation avec votre dessin**

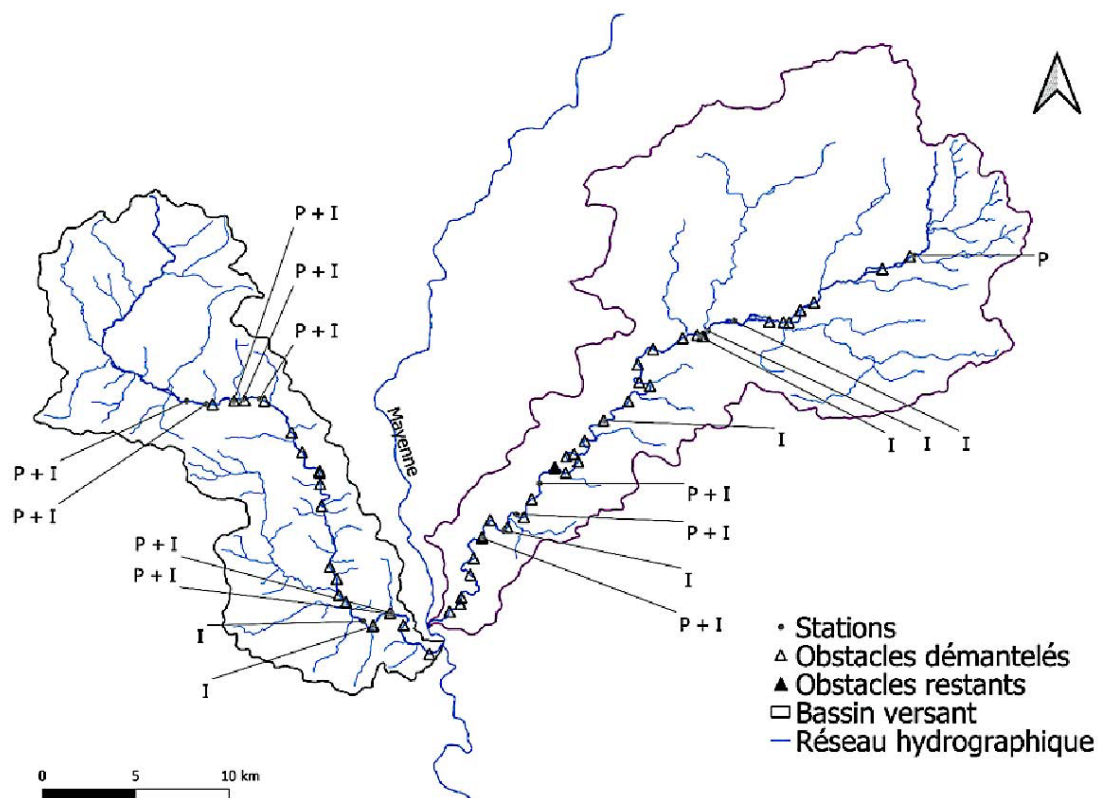
- Partie III – À l'échelle de la rivière : préservation des populations et communautés

Depuis 20 ans, de plus en plus de travaux de restauration de cours d'eau sont entrepris pour essayer de répondre aux exigences de la Directive-cadre sur l'eau (DCE), publiée en 2000.

Dans l'étude proposée (Loïc Le Hingrat et Nicolas Boileau, *Bulletin de la Société des Sciences naturelles de l'ouest de la France (N.S.)*, 2021, 43 (1-2) : 27-47), des suppressions et des aménagements d'obstacles ont été réalisés sur deux cours d'eau de plaine, le Vicoin et la Jouanne, des affluents de la Mayenne. Les travaux se sont étalés entre 2008 et 2018. Dans un tiers des cas, ces travaux ont été réalisés avec restauration morphologique du cours d'eau, par exemple par apport de granulats.

Des populations de macro-invertébrés benthiques et de poissons ont été suivies durant la période de ce projet sur la base de 64 échantillonnages standardisés répartis sur 18 sites (9 par cours d'eau) en s'appuyant sur des variables caractéristiques des peuplements.

Sur la carte ci-dessous, la rivière « Le Vicoin » est à l'ouest de la carte et « La Jouanne » est à l'est de la carte.



**Figure III :** Bassins versants du Vicoin à l'ouest et de la Jouanne à l'est montrant la localisation des obstacles à l'écoulement et des sites de prélèvements  
(I : Invertébrés, P : Poissons)

Le **tableau III.1** montre les résultats des suivis des populations piscicoles avant que les travaux ne soient finalisés.

**Question III.1 : Définissez** les indicateurs utilisés : richesse spécifique, diversité de Shannon Wiener et équitabilité.

**Richesse spécifique** = nombre d'espèces présente dans un écosystème donné, ici une rivière.

**Diversité de Shannon Wiener** : Il s'agit d'un indice non paramétrique permettant d'estimer la diversité spécifique d'une communauté. Sa formule est  $H' = -\sum p_i \log_2 p_i$ ; on trouve aussi souvent la formule  $H' = -\sum p_i \ln p_i$

La diversité spécifique exprime la variabilité des populations au sein d'une communauté. Elle est constituée de deux composantes : la richesse spécifique (cf. ci-dessus) et l'**équitabilité** qui mesure du degré de régularité dans l'abondance relative des effectifs des diverses populations. Sa formule est  $J = H' / \log_2 S$  ( $J = H' / \ln S$ )

**Tableau III.1** : Résultat des suivis des populations piscicoles entre 2008 et 2018

Nom vernaculaire	Nom latin	Vicoïn		Jouanne	
		Effectif total	Nombre de prélèvements	Effectif total	Nombre de prélèvements
Able de Heckel	<i>Leuciscus deloneatus</i>	4	2	0	0
Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	478	23	73	6
Anguille	<i>Anguilla anguilla</i>	104	35	49	14
Barbeau fluviatile	<i>Barbus barbus</i>	48	11	39	6
Bouvière	<i>Rhodeus amarus</i>	24	7	57	9
Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i>	6	5	6	2
Brème commune	<i>Abramis brama</i>	210	22	41	4
Brochet	<i>Esox lucius</i>	61	25	23	12
Carrassin sp.	<i>Carassius sp</i>	1	1	0	0
Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>	5	3	0	0
Carpe miroir	<i>Cyprinus carpio carpio</i>	2	2	0	0
Chabot commun	<i>Cottus gobio</i>	3498	42	366	20
Chevaine	<i>Squalius cephalus</i>	3510	42	984	21
Cyprinidés indéterminés	-	637	29	45	7
Épinochette	<i>Pungitius pungitius</i>	21	9	0	0
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	2026	42	973	20
Goujon	<i>Gobio gobio</i>	3250	43	2415	21
Grémille	<i>Gymnocephalus cernua</i>	9	7	34	9
Lamproie de planer	<i>Lamprota planeri</i>	1	1	0	0
Loche franche	<i>Barbatula barbatula</i>	2549	43	1945	20
Perche commune	<i>Perca fluviatilis</i>	305	35	86	15
Perche soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>	57	16	16	3
Poisson chat	<i>Ameiurus melas</i>	2	2	1	1
Pseudorasbora	<i>Pseudorasbora parva</i>	15	3	0	0
Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	16	7	21	2
Sandre	<i>Sander lucioperca</i>	14	8	2	2
Tanche	<i>Tinca tinca</i>	63	18	72	12
Hotu	<i>Chondrostoma nasus</i>	0	0	3	1
Truite arc-en-ciel	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	1	1	1	1
Truite fario	<i>Salmo trutta</i>	29	12	0	0
Vairon	<i>Phoxinus phoxinus</i>	2526	29	547	15
Vandoise	<i>Leuciscus burdigalensis</i>	1	1	129	9
Effectif total communauté N		19463		7928	
Richesse Spécifique S		Svic		Sjou	
Diversité de Shannon Wiener H'		2.15		1.98	
Équitabilité J		0.63		0.62	

**Question III.2 :** Calculez les valeurs Svic et Sjou manquantes dans le tableau :

Svic = 31 Sjou = 24



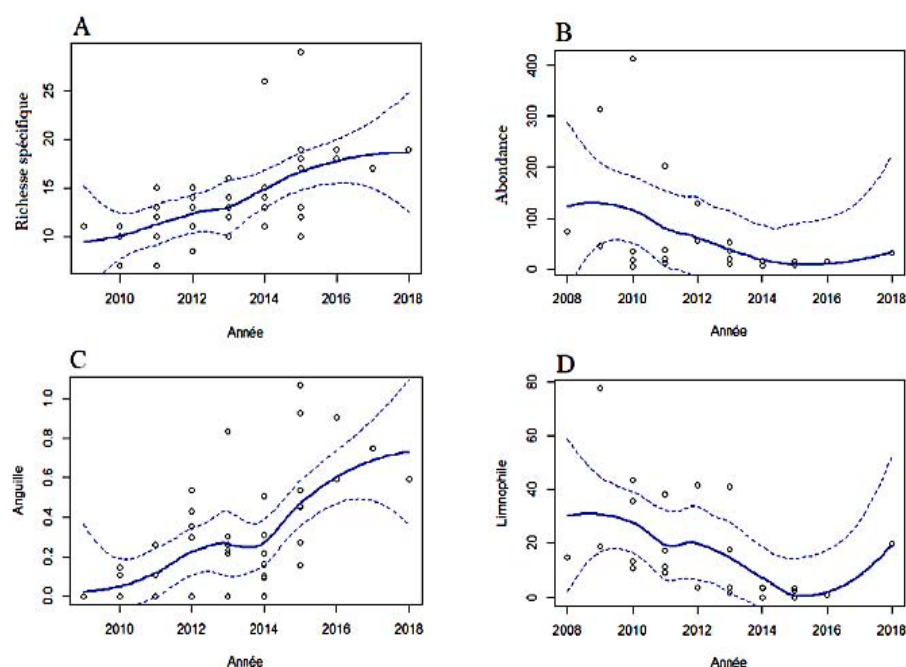
**Question III.3 :** Interprétez les résultats obtenus en lien avec les informations du tableau III.1 sur les deux rivières :

Sur le Vicoin l'ensemble des obstacles est démantelé dans le projet, la **continuité** est donc totalement rétablie. Alors que sur la Jouanne certains **obstacles subsistent** même après les travaux de restauration. Les poissons qui exploitent le cours d'eau dans toute sa longueur (Lamproie de Planer, Truite fario) ne peuvent donc pas encore ou moins (Anguille) coloniser la Jouanne et ne sont présents que sur le Vicoin. La continuité retrouvée sur le Vicoin permet également déplacement et la connexion de sous populations de poissons de milieux moins courant ou plus casaniers (Carpes, Able, Epinochette,...)

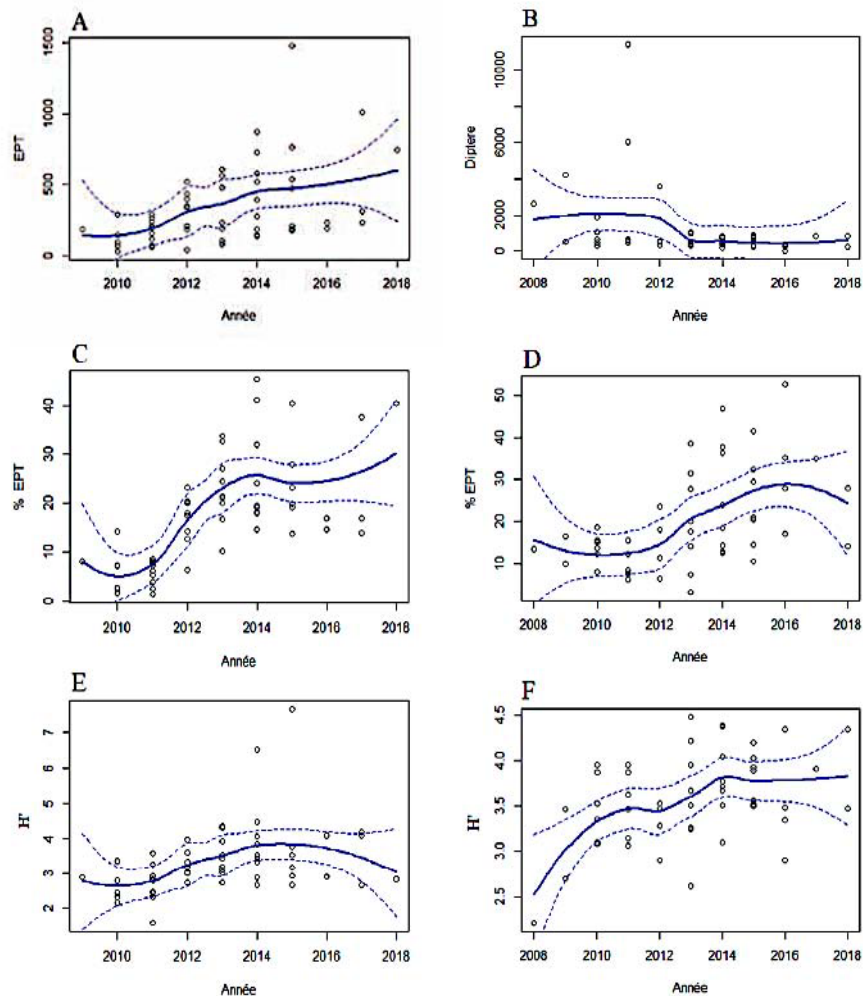
On se propose d'étudier les réponses des macro-invertébrés et des poissons au fil des travaux de suppression et d'aménagements d'obstacles sur les deux cours d'eau.

**Tableau III.4 : Tableau des variables définissant l'évolution des caractéristiques des deux rivières**

Variable	Description	Vicoin	Jouanne
		Moyenne $\pm$ (Ecart-type) (Min – Max)	Moyenne $\pm$ (Ecart-type) (Min – Max)
%CO_AM	% de linéaire sans obstacle infranchissable sur les 2,5 km à l'amont du site	66,7 $\pm$ 32,6 (1,16 – 100)	84,9 $\pm$ 30,0 (10 – 100)
%CO_AV	% de linéaire sans obstacle infranchissable sur les 2,5 km à l'aval du site	48,0 $\pm$ 40,1 (1,56 – 100)	50,3 $\pm$ 45,3 (1 – 100)
%CO_aj_AM	% de linéaire sans obstacle ajouté durant les 5 dernières années sur les 2,5 km à l'amont	13,6 $\pm$ 28,8 (0–98,80)	17,5 $\pm$ 27,6 (0 – 89,90)
%CO_aj_AV	% de linéaire sans obstacle ajouté durant les 5 dernières années sur les 2,5 km à l'aval	19,6 $\pm$ 36,6 (0 – 98,40)	27,5 $\pm$ 38,3 (0 – 95,50)
Affluents	Nombre d'affluents connectés sur les 2,5 km en amont et en aval du site	1,22 $\pm$ 1,31 (0 – 4,00)	0,84 $\pm$ 0,98 (0 – 3,00)
Affluents_aj	Nombre d'affluents reconnectés pendant les 5 dernières années sur les 2,5 km en amont et en aval du site	0,52 $\pm$ 0,81 (0,00 – 2,00)	0,31 $\pm$ 0,60 (0 – 2,00)
HE_AM	Hauteur d'étagement (en m) sur les 2,5 km en amont	1,64 $\pm$ 1,27 (0 – 3,80)	0,95 $\pm$ 1,19 (0 – 3,70)
HE_AV	Hauteur d'étagement (en m) sur les 2,5 km en aval	1,88 $\pm$ 1,48 (0 – 5,40)	0,92 $\pm$ 0,77 (0 – 2,70)
Lin_AM	Linéaire restauré (en km) sur les 2,5 km en amont	0,38 $\pm$ 0,54 (0 – 1,50)	0,38 $\pm$ 0,52 (0 – 1,50)
Lin_AV	Linéaire restauré (en km) sur les 2,5 km en aval	0,49 $\pm$ 0,59 (0 – 1,50)	0,68 $\pm$ 0,37 (0 – 1,37)
Sur_AM	Surface restaurée (en m <sup>2</sup> ) sur les 2,5 km en amont	3064 $\pm$ 4593 (0 - 13 470)	3910 $\pm$ 6905 (0 – 21000)
Sur_AV	Surface restaurée (en m <sup>2</sup> ) sur les 2,5 km en aval	4018 $\pm$ 5008 (0 - 16 620)	7041 $\pm$ 5255 (0 – 16850)



**Figure III.4.1 : Évolution des variables associées aux poissons sur le Vicoin (A, C) et sur la Jouanne (B, D).** Courbes centrales = Régression loess ; courbes en pointillé = Régression loess avec intervalle de confiance 95% ; Points = projection des variables. Abondance = nombre d'individus/100 m de cours d'eau. Anguille = nombre d'individus/100 m de cours d'eau. Limnophile = % d'individus limnophiles



**Figure III.4.2 : Évolution des variables associées aux invertébrés sur le Vicoin (A,C,E) et sur la Jouanne (B,D,F) .**  
 Courbes centrales = Régression loess ; courbes en pointillé = Régression loess avec intervalle de confiance 95% ;  
 Points = projection des variables. Diptère = Nombre d'individus. EPT = Nombre d'individus de taxons  
 généralement indicateurs de bonne qualité des eaux. H' = Indice de Shannon-Wiener.

*Lorsque la relation établie entre une variable biologique et les différentes années d'études est significative (seuil fixé à  $p < 0,05$ ), des régressions loess sont effectuées. Ces régressions sont non paramétriques, mais permettent de produire des courbes permettant de mieux visualiser l'effet année (Cleveland & Devlin, 1988).*

**Question III.4** : À partir de l'ensemble des informations de la partie III, **expliquez** les impacts des travaux réalisés sur la biodiversité dulçaquicole en les associant aux concepts scientifiques sous-jacents

1) travaux =

- augmentation des linéaires sans obstacles : favorisent les migrations actives et passives et homogénéité hydrogéologique des milieux.
- connexion d'affluents : favorisent les courants d'eau/sédiments et les migrations actives et passives.
- restauration des surfaces = diversification des milieux notamment pour les frayères et les zones de nourrissages par exemple.
- ccl = restauration de la continuité écologique des cours d'eau avec fonctionnement global d'un écosystème (au lieu de tronçons non connectés)

2) cas des poissons :

- augmentation de la richesse spécifique et notamment anguilles = indicatrices qualité eaux + migrations possibles + réseaux trophiques plus complexes = à relier
- diminution abondance = soit effet des travaux et temps de réactivité / soit espèces dominatrices disparues en lien avec la richesse spécifique.
- diminution des limnophiles = poissons des milieux stagnants comme les ablettes, gardon, goujon, vairon par changement du milieu, avec restauration progressive liée à la diversification des milieux.

3) cas invertébrés :

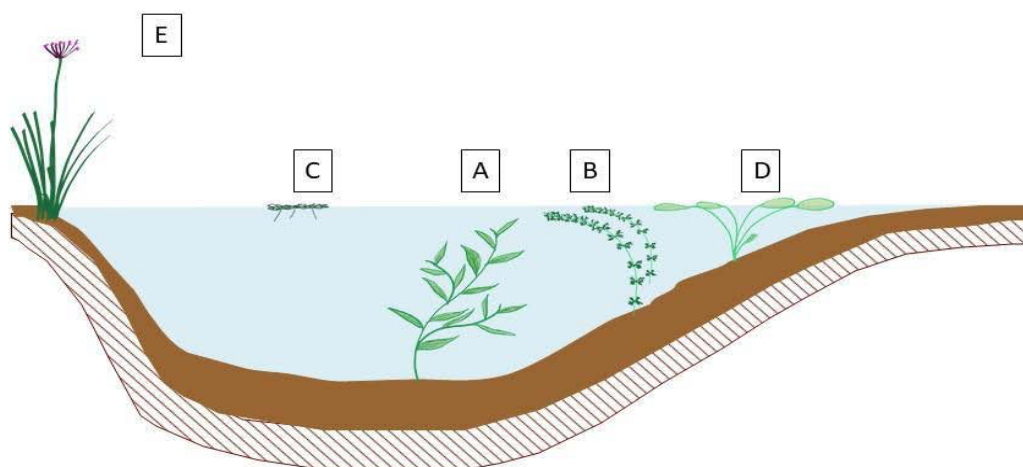
- augmentation de richesse spécifique d'esp. indicatrices de bonne qualité des eaux (EPT) en nombre et en % dans le milieu
- diminution de l'abondance des diptères (Jouanne) = grande abondance dans les eaux stagnantes.
- l'indice de Shannon montre également une augmentation (échelles différentes)

**Ccl** : La **restauration de la continuité écologique** des rivières permet d'augmenter la résilience des écosystèmes aquatiques, en restaurant des habitats notamment avec une hydrologie et une sédimentologie plus actives (espèces rhéophiles comme les truites), en reconnectant des zones à distance (migrations actives et passives, réseaux trophiques plus complexes) se traduisant par des eaux de meilleurs qualités favorables à une plus grande biodiversité.

Ces travaux s'inscrivent dans la directive du Grenelle de l'Environnement concernant les « **trames bleues** », d'autant plus importantes en lien avec les effets réchauffement climatique.

Évaluation = richesse des arguments, liens causes/conséquences, vocabulaire

**Annexe**



**Schéma de l'implantation dans leur milieu naturel des espèces végétales utilisées dans les parties I.A et II.C.**  
(Échelles non respectées – les lettres renvoient au nom d'échantillons qui sont utilisés dans le document)

### 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 2024

## TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITE DU SECTEUR C

Durée totale : 6 heures

### Dynamique des zones de subduction

Les différentes parties sont indépendantes. Certaines questions nécessitent des observations sur des postes de travail (échantillons macroscopiques, lames minces, expérience, modélisation numérique). 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. Géodynamique et Tectonique de la chaîne des Andes** p. 2 à 14

*Durée conseillée : 1h30 → 25% des points*

ATELIER 1 (20 mn) – Paléontologie (macroscopique)

**Partie II. Modélisation analogique des processus de subduction** p. 15 à 26

*Durée conseillée : 1h15 → 20% des points*

ATELIER 2 (30 mn) – Expérience : viscosimétrie à chute de bille (couloir)

**Partie III. Géologie alpine et métamorphisme de subduction** p. 27 à 38

*Durée conseillée : 1h → 18% des points*

ATELIER 3 (20 mn) – Roches métamorphiques (macroscopique et lames minces)

**Partie IV. Chenal de subduction et exhumation** p.39 à 50

*Durée conseillée : 45 mn → 12% des points*

ATELIER 4 (20 mn) – Modélisation numérique (salle informatique)

**Partie V. Chronostratigraphie dans une région d'avant-arc** p.51 à 64

*Durée conseillée : 1h30 → 25% des points*

ATELIER 5 (30 mn) – Sédimentologie et micropaléontologie (lames minces)

Les réponses aux questions figureront dans les cadres réservés à cet effet. Vous pouvez disposer d'une calculatrice non programmable.

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

**Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier**

## Commentaire général

Le thème général du TP portait sur la subduction. Des contextes et mécanismes différents autour de la subduction (Andes, Alpes, Arc Egéen) sont abordés dans cinq parties distinctes qui pouvaient être traitées dans le désordre. Chacune des cinq parties contenait un atelier permettant d'évaluer les compétences pratiques des candidats dans des domaines aussi variés que la pétrologie métamorphique et sédimentaire, la (micro)paléontologie, les modélisations analogique et numérique.

La première partie avait pour objectif de réaliser une coupe lithosphérique au niveau de la zone de subduction plane du Pérou en intégrant des données variées (gravimétriques, sismologiques, tectoniques, topographiques, ...). La majorité des candidats a su apporter des réponses à certaines questions, mais très peu ont démontré des compétences d'intégration permettant d'aboutir à une coupe lithosphérique de qualité. Cette partie a été la mieux réussie par les candidats.

La seconde partie traitait de la modélisation analogique des processus de subduction, méthode communément utilisée pour étudier la dynamique des zones de subduction. Le début de cette partie traitait de l'expérience de viscosimétrie à chute de bille, avec pour objectif d'estimer la viscosité du glycérol et de discuter de la pertinence de l'utiliser comme matériau analogue. Les premières questions traitaient du problème physique simple suivi de l'expérience à réaliser dans le couloir. De nombreux candidats ont été déstabilisés par le début de cette première partie : certains ne sont pas arrivés à aboutir à l'expression de la viscosité du fluide, d'autres ont manqué de rigueur pendant les manipulations ou de pertinence dans leur choix. À la suite de ces questions en lien avec la viscosimétrie à chute de bille, des résultats de modélisation analogique en zone de subduction étaient à discuter et à confronter aux observations réalisées à proximité de la subduction de la ride Cocos. Peu de candidats ont réussi à rigoureusement analyser les résultats de la modélisation analogique et à les transposer aux observations, exercice assez difficile et pour lequel beaucoup de candidats ont dû manquer de temps.

La troisième partie traitait de géologie alpine et de métamorphisme de subduction, avec 2 échantillons macroscopiques de roches à décrire et identifier pour ensuite proposer une localisation possible de ses échantillons sur la carte géologique simplifiée des Alpes. A la suite, les candidats devaient réaliser deux dessins d'observation de lames minces et les interpréter. Les échantillons et lames proposés étaient classiques et de nombreux candidats ont été capables de proposer des interprétations convaincantes. Cependant, les observations manquaient souvent de précisions et de détails, les candidats se limitant souvent à la reconnaissance minéralogique. La suite de cette partie traitait de résultats de pétrologie métamorphique (pseudo-section, chemin PTt, ...) afin d'estimer des vitesses d'exhumation, de les confronter aux vitesses d'érosion et de proposer des mécanismes d'exhumation possibles dans les Alpes. Cette partie a été assez bien réussie, même si de nombreux candidats n'ont pas terminé les dernières questions.

La quatrième partie traitait de chenal de subduction et d'exhumation, en proposant une modélisation numérique simple dans un fichier de type tableur en salle informatique. Cette partie a été la moins réussie et est associée à l'écart type le plus important, de nombreux candidats ayant choisi de ne pas la traiter. Beaucoup de candidats semblent avoir été déstabilisés par la lecture graphique attendue et n'ont pas su choisir une représentation adaptée de leurs résultats. À l'inverse, la question traitant de la méthodologie et de l'interprétation de la tomographie a été très bien réussie.

Dans la cinquième partie, enfin, les candidats devaient analyser une coupe sédimentaire soulevée de l'arc égéen pour reconstituer son histoire paléoenvironnementale et géodynamique. L'exercice visait à utiliser des données sédimentaires, micropaléontologiques, radiométriques ainsi que les polarités magnétiques pour réaliser des interprétations lithostratigraphiques, biostratigraphiques et magnétostratigraphiques puis calculer des âges, durées et vitesses des processus en jeu (âge d'extinction, âge d'émersion, vitesse de soulèvement tectonique, etc), c'est-à-dire réaliser une interprétation chronostratigraphique des dépôts. Beaucoup de candidats, pris par le temps, n'ont que très partiellement abordé cette

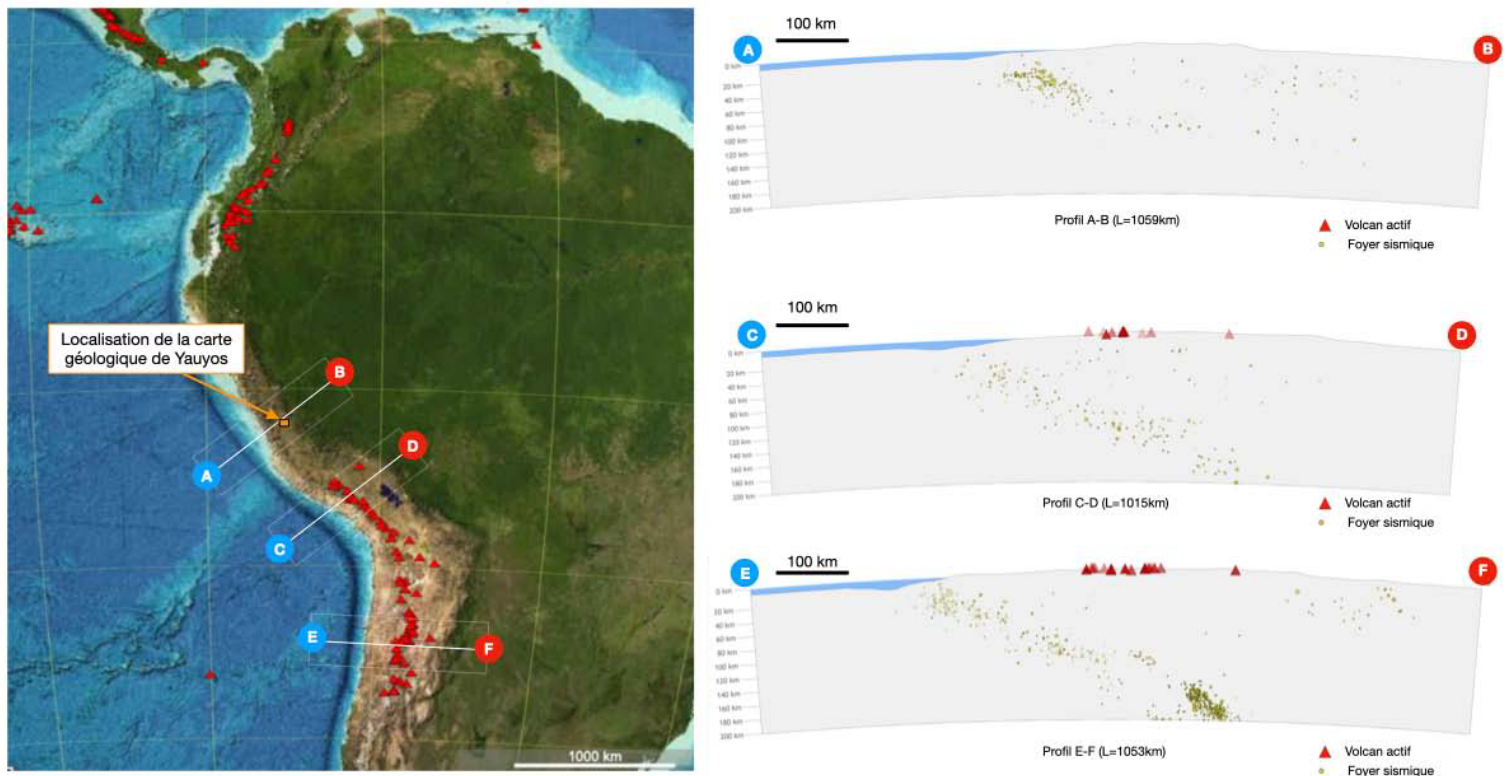
dernière partie, probablement parce qu'ils ont choisi de traiter les parties du sujet dans l'ordre de l'énoncé.

Le sujet était long, et la réussite de cette épreuve nécessitait une bonne gestion du temps. Un nombre significatif de candidats n'a pu traiter au moins une des cinq parties du sujet. En revanche, le fait qu'un créneau (horaire et durée imposés) ait été imposé pour chacun des cinq ateliers a conduit à ce qu'ils soient quasiment tous traités. Les créneaux imposés pour les ateliers demandaient aux candidats anticipation et organisation, plusieurs candidats ont perdu du temps sur les ateliers car ils n'avaient pas préparé les questions précédentes (la liste des questions introductives aux ateliers avait été donnée en début de TP).

Dans la suite de ce corrigé, les commentaires seront en vert, alors que les réponses attendues ou éléments de réponses seront rédigés en bleu.



La chaîne des Andes est une chaîne de montagne résultant de la subduction de la plaque Nazca sous la plaque sud-américaine depuis au moins le Jurassique moyen.



**Figure 1. A gauche, carte de la zone d'étude obtenue avec tectoglob3D (P. Consentino, 2019). La localisation des volcans actifs est indiquée par les triangles rouges et le rectangle orange indique la région de la carte géologique de Yauyos. A droite, 3 coupes, localisées sur la figure de gauche, représentent les foyers des séismes et la localisation des volcans actifs (largeur de la coupe = 30km).**

**Question 1.1.** Vous listerez les différents marqueurs morphologiques et géophysiques observés sur la **figure 1** permettant de justifier le contexte géodynamique de subduction.

### Réponse à la question I.1.

Marqueurs morphologiques :  
fosse de subduction, arc volcanique de type cordillère, zone de topographie élevée en arrière de la zone de subduction → subduction en contexte compressif.

Marqueurs géophysiques :  
plan de Wadati-Benioff / sismicité majoritairement localisée dans la plaque plongeante mais aussi présence de sismicité crustale dans la plaque supérieure.



La majorité des candidats a été en mesure de lister ces différents marqueurs.

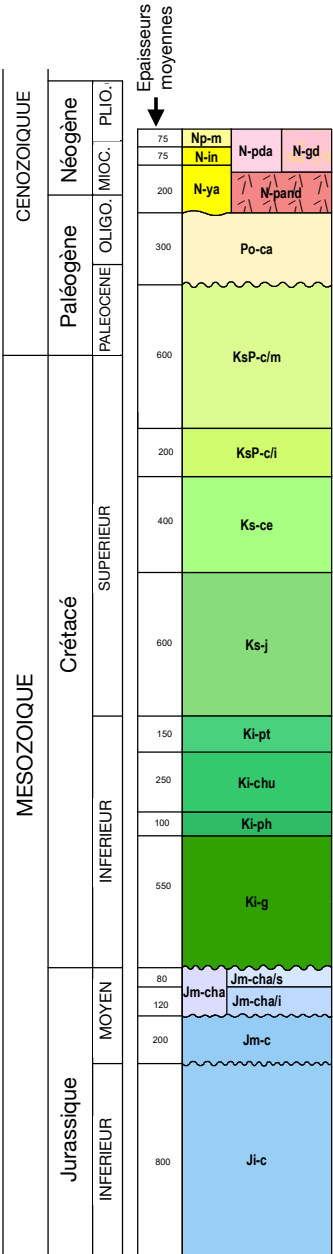
Pour étudier plus précisément cette zone de subduction et les déformations associées, la partie suivante va porter sur l'étude géologique de la province de Yauyos dans la partie centrale du Pérou.

**Question 1.2.** Réalisez la coupe géologique le long du profil X-Y sur le papier millimétré A3 fourni. La **figure 2** présente le log stratigraphique de la zone étudiée.

Réponse à la question 1.2. → à effectuer sur le papier millimétré A3 fourni.

Les candidats ont dans l'ensemble correctement identifié les structures plissées et les chevauchements majeurs, le recoupement par l'intrusion andésitique oligo-miocène n'a pas toujours été bien identifié ou représenté. Pour l'évaluation, une attention particulière a été portée à la clarté et la propreté de la coupe géologique et au respect des épaisseurs des strates et des pendages.

La coupe ci-dessous présente la coupe qui était à réaliser, le log était représenté sur la figure 2.



***Figure 2. Log stratigraphique de la région de Yauyos***

**Question I.3.** Quels événements géodynamiques, tectoniques, sédimentaires, etc... pouvez-vous illustrer grâce à la carte géologique de la zone de Yauyos et de la coupe géologique que vous venez de réaliser ?

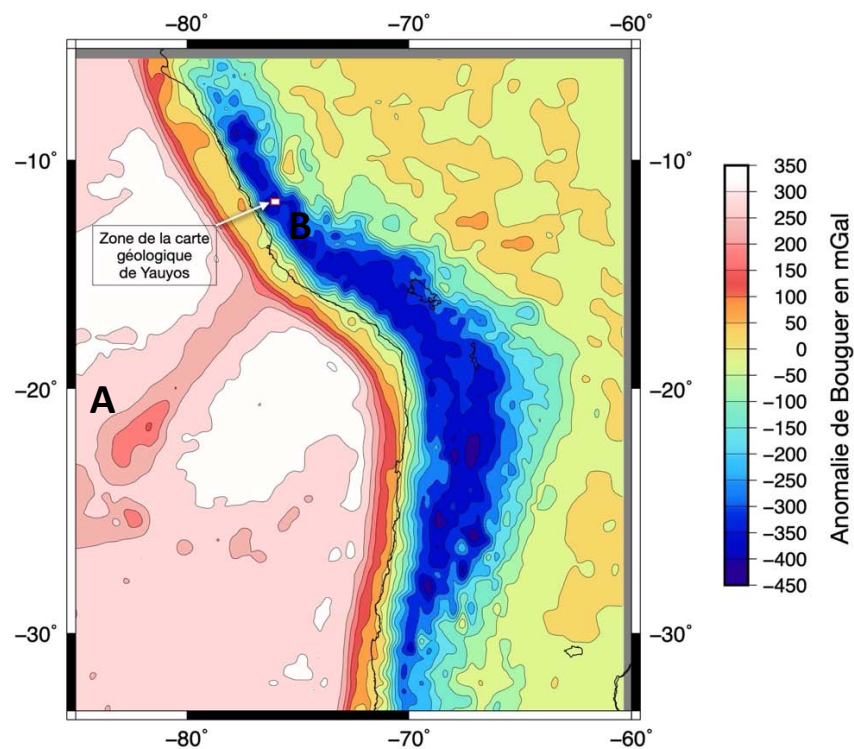
*Réponse à la question I.3.*

Cette question a été partiellement traitée par les candidats, nombreux d'entre eux n'ayant pas identifié les discordances majeures. La chronologie des événements tectoniques, magmatiques et sédimentaires est souvent incomplète.

Eléments de réponse :

- 1- Dépôts sédimentaires du Jurassique inférieur au Jurassique Moyen ; le log montre une discordance majeure entre le Jurassique Moyen et le Crétacé Inférieur qui a été très peu identifiée.
- 2- Erosion.
- 3- Dépôts du Crétacé inférieur au Paléocène ; ces dépôts sédimentaires mettent en évidence une tendance bathydécroissante des milieux de dépôts.
- 4- Déformations compressives : plissement affectant les terrains sédimentaires du Jurassique (Ji-c) au Paléocène (KsP-c/m) et failles inverses probablement associées.
- 5- Erosion.
- 6- Dépôt des sédiments de l'Oligocène en discordance (Po-ca).
- 7- Recoupement par une intrusion andésitique datée du Miocène.
- 8- Erosion.

La coupe géologique réalisée à la question précédente permet de définir la structure des premiers kilomètres de la croûte. Pour définir la structure à l'échelle crustale, les anomalies de Bouguer sont communément analysées.



**Figure 3.** Carte des anomalies de Bouguer dans la région d'étude. Les anomalies de Bouguer ont été obtenues à partir des données du modèle EGM2008 (Earth Gravitational Model) et du modèle global de topographie et de bathymétrie ETOPO1. La zone de la carte géologique de Yauyos est reportée.

**Question I.4.** Définissez le terme « anomalie ».

*Réponse à la question I.4.*

La grande majorité des candidats maîtrise la définition du terme anomalie.

Une anomalie est l'écart d'une valeur (mesurée ou modélisée) par rapport à une valeur de référence (théorique, moyennée, ...).

**Question I.5.** Comment sont obtenues les anomalies de Bouguer ?

*Réponse à la question I.5.*

La majorité des candidats maîtrise l'interprétation des anomalies de Bouguer mais des confusions persistent entre correction et anomalie.

L'anomalie de Bouguer est obtenue en effectuant la différence entre la valeur mesurée de l'accélération de la pesanteur après avoir effectué plusieurs corrections, et la valeur théorique de l'accélération de la pesanteur à l'ellipsoïde de référence. Les trois corrections effectuées sont :

- la correction à l'air libre (considérant l'altitude entre le point de mesure et l'ellipsoïde),
- la correction de plateau (considérant la présence de roche d'une masse volumique donnée entre le point de mesure et l'ellipsoïde de référence)
- la correction de terrain (considérant les variations de relief autour du point de mesure).

La résultante est l'anomalie de Bouguer qui peut être interprétée comme marqueur de la présence d'excès ou de déficits de masse en profondeur (en dessous de l'ellipsoïde de référence).

**Question I.6.** Proposez une interprétation de la répartition des anomalies de Bouguer dans la région d'étude (**figure 3**).

*Réponse à la question I.6.*

Les candidats ont majoritairement su interpréter les anomalies de Bouguer en domaine continental, très peu ont interprété les anomalies en domaine océanique et aucun n'a pensé à utiliser la figure 1 ou la carte géologique du monde fournie pour interpréter de façon détaillée et rigoureuse cette carte d'anomalie de Bouguer. A noter que de nombreux candidats ont mentionné une zone d'anomalie plus positive au niveau de la fosse océanique, erreur résultant d'une mauvaise lecture de l'échelle de couleur.

Les anomalies de Bouguer mettent en évidence :

- une zone d'anomalie de Bouguer négative mettant en évidence un déficit de masse en profondeur au niveau de la chaîne andine. Ce déficit de masse peut-être interprété comme résultant d'un épaississement crustal dans la plaque supérieure. L'hypothèse d'un déficit de masse en profondeur lié à un amincissement lithosphérique ainsi qu'à une remontée asthénosphérique aurait pu être proposée même si l'amplitude du déficit observé est plus en adéquation avec la mise en évidence d'une croûte épaissie.

- des anomalies positives en domaine océanique, ce qui est marqueur d'une croûte océanique peu épaisse. Ces anomalies sont moins positives au niveau d'une zone marquée par la présence de reliefs sous-marins (figure 1) → marquent une croûte océanique plus épaissie au niveau de la ride asismique de Nazca (qui n'est pas une dorsale)

Les anomalies de Bouguer peuvent être interprétées en terme d'isostasie. On considère une lithosphère continentale à l'équilibre isostatique constituée de :

- 35 km de croûte continentale de masse volumique moyenne  $\rho_c$  de  $2800 \text{ kg.m}^{-3}$
- 70 km de manteau lithosphérique de masse volumique moyenne  $\rho_m$  de  $3300 \text{ kg.m}^{-3}$ .

L'altitude d'équilibre de cette colonne de référence est de 0 m au-dessus du niveau de la mer. La lithosphère surplombe l'asthénosphère de masse volumique moyenne  $\rho_a$  de  $3200 \text{ kg.m}^{-3}$ .

**Question I.7.** Dans le cas d'une croûte continentale épaissie, exprimez l'épaisseur de la racine crustale R en fonction de l'altitude d'équilibre h. Votre réponse devra être accompagnée d'un schéma simple.

Réponse à la question I.7.

Ce calcul simple d'isostasie a été très bien réussi.

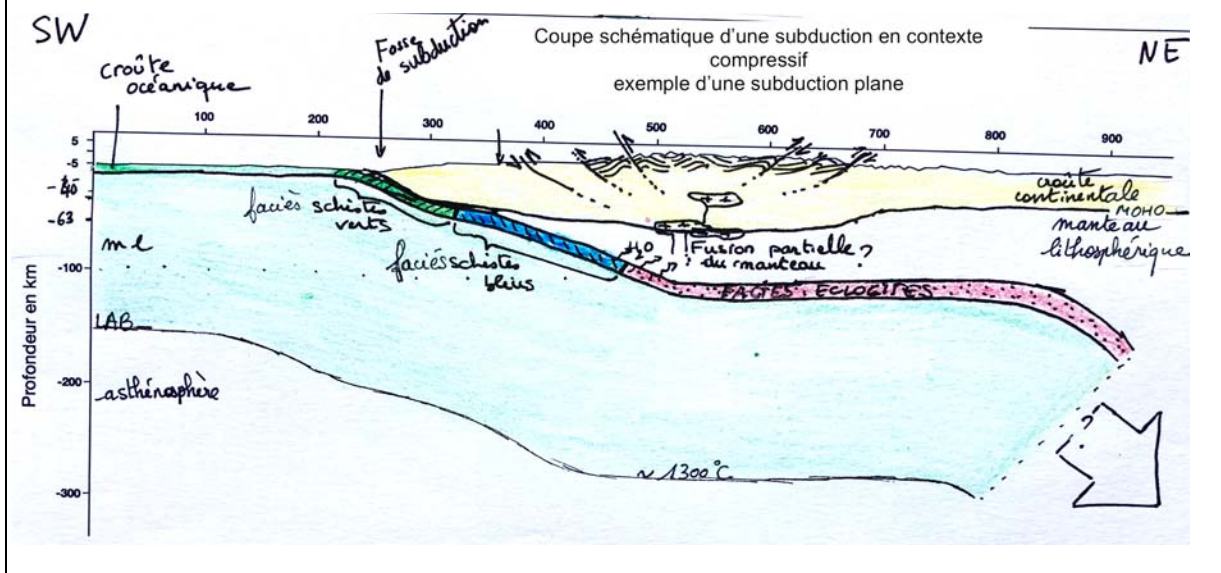
Il était attendu :

$$R = h \frac{\rho_c}{(\rho_m - \rho_c)}$$

**Question I.8.** La **figure 5** de la page 11 présente un profil bathymétrique et topographique le long de la coupe A-B localisée sur la **figure 1**. Sur la **figure 5**, reportez le Moho de la plaque sud-américaine en utilisant la relation entre l'altitude d'équilibre et l'épaisseur de la racine crustale déterminée dans la question précédente.

Réponse à la question I.8. : sur la figure 5 (page 11)

Il était attendu quel les candidats réalisent plusieurs applications numériques de la formule obtenue à la question précédente, pour ensuite reporter rigoureusement le Moho sur la figure 5.



**Question I.9.** A partir de vos connaissances, de la coupe géologique réalisée à la **question I.2**, des données géophysiques des **figures 1 et 3**, vous réaliserez une coupe à l'échelle lithosphérique à main levée mettant en évidence le contexte géodynamique de cette région et les différents processus et phénomènes associés. Vous rédigerez un commentaire synthétique pour décrire les processus et phénomènes représentés sur votre coupe.

*Réponse à la question I.9.(coupe sur la figure 5 (page 11) – commentaire dans ce cadre)*

Cette question n'a quasiment jamais été traitée de façon rigoureuse ; quelques candidats seulement ont reporté de façon précise la localisation de la sismicité (figure 1) mettant en évidence un pendage pseudo-horizontal de la plaque plongeante. Il était aussi attendu sur cette coupe lithosphérique de représenter des structures compressives en croûte supérieure (mises en évidence par la coupe géologique réalisée précédemment). La majorité des candidats se limite à décrire un contexte de subduction alors qu'il était attendu d'identifier une subduction en contexte compressif.

Un exemple de coupe lithosphérique telle qu'elle était attendue est présentée sur la figure 5.

**Question I.10.** Il n'y a pas de volcanisme actif le long de la coupe A-B (**figure 1**). A partir de la coupe lithosphérique réalisée aux **questions I.8 et I.9**, proposez une ou plusieurs hypothèse(s) pour expliquer cette absence.

*Réponse à la question I.10.*

Cette question n'a quasiment pas été traitée par les candidats.

Plusieurs hypothèses pouvaient être proposées pour répondre à cette question :

- le fait que le pendage de la plaque plongeante soit très faible, associé à une croûte continentale de la plaque supérieure épaissie, pourrait entraîner l'absence de coin de manteau et donc l'absence de fusion partielle possible de ce même coin de manteau. La réalisation de la coupe lithosphérique détaillée ne semble pas valider cette hypothèse.
- le contexte de subduction en contexte compressif avec sous-plaquage de la plaque plongeante pourrait empêcher la remontée des magmas et donc la formation d'un arc volcanique.

## ATELIER 1 : PALEONTOLOGIE MACROSCOPIQUE

3 fossiles vous sont fournis, tous ont été récoltés dans la province de Yauyos dans la partie centrale du Pérou.

**Question I.11.** Réalisez un dessin d'observation légendé de chacun des trois fossiles. Vous proposerez une identification taxinomique de chacun de ces fossiles et indiquerez les caractéristiques morphologiques qui vous auront permis de réaliser cette identification.

Réponse à la question I.11.

ECHANTILLON 1



Rostre avec son phragmocône ; il s'agit d'un squelette interne partiel de belemnite  
Le dessin d'observation attendu était à orienter antéro-postérieurement

ECHANTILLON 2

Deux valves équilatérales et inéquivalves, un foramen (passage du pédoncule) sous le crochet de la valve ventrale → Il s'agit donc d'un brachiopode.

Ce brachiopode présente des côtes rayonnantes épaisses → Il s'agit donc d'une rynchonelle

Le ou les dessin(s) d'observation attendu(s) était(ent) à orienter (valve ventrale ou pédonculaire vs. valve dorsale ou brachiale). Le mot « rynchonelle » n'était pas attendu et

faisait l'objet d'un bonus ; seule l'identification justifiée et correctement illustrée d'un brachiopode était considérée dans la notation.

*Réponse à la question I.11 (suite)*

**ECHANTILLON 3**

Enroulement planispiralé involute, présence de la loge d'habitation, lignes de sutures de type nautiloïde (selles et lobes simples) → Il s'agit d'un moule interne de Nautiloïde (une partie de la coquille est préservée sur le spécimen photographié ci-dessus).

Le ou les dessin(s) d'observation attendu(s) était(ent) à orienter dorso-ventralement. Un bonus était donné pour l'identification du remplissage marno-calcaire à oolithes ferrugineuses.

Malgré le classicisme des objets paléontologiques proposés, moins de la moitié des candidats a obtenu plus de la moyenne à cet atelier. Les observations ont souvent été trop superficielles, les connaissances fragiles (vocabulaire, orientation) et beaucoup d'erreurs ont été faites sur les diagnostics taxonomiques. La qualité des dessins a souvent été très insuffisante. Beaucoup de candidats ont réalisé des schémas plutôt que des dessins d'observation.

**Question I.12.** Proposez une localisation possible de chacun de ces 3 échantillons sur le log stratigraphique (**figure 2**, page 4). Vous justifierez ci-dessous.

*Réponse à la question I.12.*

Echantillon 1 : calcaires marneux ou autres sédiments jurassiques (idéalement Ji-C à Jm-Cha sur la Figure 2).

Echantillon 2 : tout facies marin carbonaté du Jurassique ou du Crétacé de la Figure



Echantillon 3 : calcaires marneux ou autres sédiments jurassiques (idéalement Ji-C à Jm-Cha sur la Figure 2)...

Un bonus était donné pour Ji-C via la présence d'oolithes dans le matériel de remplissage.

Un tiers des candidats a parfaitement identifié une origine possible pour les trois échantillons. Plus de la moitié des candidats ont obtenu la moyenne à cette question.

## Partie II. Modélisation analogique des processus de subduction

La modélisation analogique est utilisée depuis plus de 200 ans pour étudier les phénomènes géologiques et les processus géodynamiques à des échelles de temps et d'espace accessibles (Schellart & Strak, 2016). L'utilisation des modèles analogiques nécessite de choisir des matériaux analogues adéquats et d'effectuer un dimensionnement pour que le modèle soit géométriquement et mécaniquement représentatif de l'objet que l'on souhaite étudier.

Dans les zones de subduction, le mode de déformation aux échelles de temps géologiques est généralement dominé par des déformations de type visqueux (e.g. Houseman & Gubbins, 1997). La viscosité est donc un paramètre clef dans le choix des matériaux analogues.

L'objectif de cette première partie est de concevoir un protocole pour mesurer la viscosité d'un fluide avec la technique de viscosimétrie à chute de bille afin de déterminer la pertinence d'utiliser ce fluide dans le cadre d'une modélisation analogique d'une zone de subduction.

L'expérience de viscosimétrie à chute de bille consiste à laisser chuter une bille de rayon  $R$  et de masse volumique  $\rho$  sans vitesse initiale, dans un tube contenant un liquide de masse volumique  $\rho_f$  (avec  $\rho > \rho_f$ ) et de viscosité  $\eta$ .

$g$  est l'accélération de pesanteur à la surface de la Terre considérée comme égale à  $9,81 \text{ m.s}^{-2}$  et  $v$  la vitesse de chute de la bille.

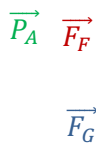
Selon un axe vertical  $z$  orienté vers le bas, la bille est alors soumise à 3 forces :

- la force gravitationnelle :  $F_G = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho g$
- la poussée d'Archimède :  $P_A = -\frac{4}{3} \pi R^3 \rho_f g$
- la force de frottement fluide donnée par la loi de Stokes :  $F_F = -6 \pi \eta R v$

**Question II.1.** Réalisez un schéma de l'expérience de viscosimétrie à chute de bille représentant la bille et les forces s'appliquant sur cette bille

Réponse à la question II.1

Un schéma très simple était attendu et a été, dans l'ensemble, bien réussi.



**Question II.2.** La deuxième loi de Newton (ou principe fondamental de la dynamique) s'énonce : « Soit un corps de masse  $m$ , l'accélération subie par ce corps dans un référentiel galiléen est proportionnelle à la résultante des forces qu'il subit et inversement proportionnel à sa masse  $m$  » soit :  $\sum \vec{F}_i = m \vec{a}$

Écrire l'équilibre des forces de la bille dans cette expérience.

Réponse à la question II.2.

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho g - \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_f g - 6 \pi \eta R v = m \vec{a}$$

Beaucoup de candidats ont semblé déstabilisés par ces équations simples et n'ont pas traité cette question.

**Question II.3.** Après une phase d'accélération, la vitesse de chute de la bille sera constante. A partir de l'équation de l'équilibre des forces de la **question II.2** et en considérant la phase d'accélération terminée, établissez l'expression de la viscosité du fluide. Le détail de l'obtention de cette équation est attendu.

Réponse à la question II.3

Comme pour la question précédente, cette question simple a déstabilisé beaucoup de candidats et a donc été moyennement réussie.

Il était attendu, en considérant l'accélération comme nulle dans l'équilibre des forces précédent:

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot R^2 \frac{(\rho - \mu)}{v} g$$

## ATELIER 2 : EXPERIENCE DANS LE COULOIR

Vous disposez du matériel suivant :

- une éprouvette de 40 cm de hauteur remplie du glycérol
- plusieurs billes métalliques similaires
- un aimant pour retirer la bille du fond de l'éprouvette
- une balance de précision
- un pied à coulisse (fiche méthode fournie)
- un mètre, des feutres, un chronomètre, plusieurs béchers
- une calculatrice scientifique

**Question II.4.** Estimez les masses volumiques d'une bille métallique et du glycérol. Réalisez un tableau regroupant les différentes mesures effectuées et les masses volumiques estimées. Appelez un évaluateur pour lui expliquer votre méthodologie et lui montrer vos résultats.

Réponse à la question II.4. ATELIER COULOIR

Les masses volumiques des deux matériaux proposés ont très rarement été estimées avec justesse. Un premier problème rencontré est lié à la pertinence des choix faits par les candidats. Dans cette expérience, les billes métalliques étant très petites (3 mm de diamètre), il était judicieux de choisir de peser plusieurs billes simultanément et de diviser la masse obtenue par le nombre de billes.

En plus de ces soucis techniques, des difficultés d'ordres de grandeurs et d'homogénéisation des unités ont très souvent été rencontrées. Enfin, malgré des estimations abérantes, beaucoup de candidats ne critiquent pas leurs résultats.

Il était attendu de peser les 7 billes fournies (~0,77g) après avoir pris soin de tarer la balance avec le récipient en plastique pour y déposer les billes métalliques. De mesurer le diamètre des billes métalliques pour retrouver le rayon et d'appliquer la formule du volume d'une sphère. De même, pour le glycérol, une pesée d'un volume significatif de glycérol dans l'éprouvette finement graduée était attendu après avoir taré la balance avec l'éprouvette vide.

Matériau	Masse (en kg)	Volume (en m <sup>3</sup> )	Masse volumique estimée (en kg.m <sup>-3</sup> )
Bille métallique	0,11.10 <sup>-3</sup>	$\frac{4}{3}\pi R^3 \sim 1,4.10^{-8}$	7780
Glycérol	0,125	1.10 <sup>-4</sup>	1250

**Question II.5.** Lors de la chute d'une bille métallique dans du glycérol, la phase en accélération dure moins de 100 millisecondes. En considérant cette information, réalisez plusieurs expériences pour estimer la viscosité du fluide avec une évaluation de l'incertitude de votre estimation.

Vos résultats devront être représentés sous forme de tableau. Une fois ce dernier complété, vous appellerez un examinateur et lui ferez une démonstration de l'expérience.

*Réponse à la question II.5. ATELIER COULOIR*

La majorité des candidats a effectué plusieurs mesures pour estimer l'incertitude, mais sans estimer la moyenne et l'écart-type des mesures (ou considérer les valeurs minimales et maximales). L'expérimentation a été assez peu réussie, de nombreuses erreurs ou imprécisions de manipulation ont été observées chez les candidats. La présentation des résultats sous la forme d'un tableau judicieux n'est pas toujours maîtrisée.

Il était attendu un tableau de ce type en précisant la distance de chute (ici 30 cm) :

	Temps de chute (en s)	Vitesse de chute en ( $m.s^{-1}$ )	Viscosité (en Pa.s)
Exp 1	10,21	$2,94.10^{-2}$	1,09
Exp 2	10,85	$2,76.10^{-2}$	1,16
Exp 3	11,12	$2,70.10^{-2}$	1,19
Exp4	10,65	$2,81.10^{-2}$	1,14
Exp 5	11,33	$2,65.10^{-2}$	1,21
Exp 6	11,45	$2,62.10^{-2}$	1,22

La viscosité du glycérol est de  $1,17 \pm 0,08$  Pa.s.

Le tableau ci-dessous fournit les viscosités de différents matériaux dans lequel vous devez reporter les valeurs de densité et viscosité que vous avez estimées pour le glycérol. Il est possible de modifier la densité moyenne de la gomme de silicone en la mélangeant avec de la limaille de fer de densité moyenne  $\sim 7,8$ .

Matériau	Densité moyenne	Viscosité (en Pa.s)
Lithosphère océanique	3,3	$10^{23}$
Asthénosphère	3,2	$3.10^{20}$
Glycérol		
Gomme de silicone	1,12	$1,6.10^5$
Miel	1,38	27 (à 20°C)
Sirop de glucose	1,42	235 (à 20°C)

**Tableau 1 : Densités moyennes et viscosités de différents matériaux. A noter la difficulté d'estimer avec précision les viscosités pour la lithosphère et l'asthénosphère, les valeurs indiquées ici sont celles proposées par plusieurs auteurs dont Belhassen et al. (2005).**

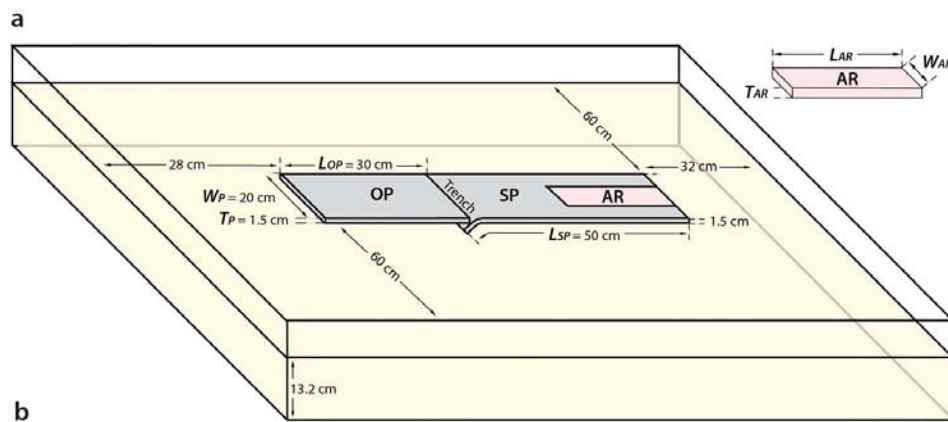
**Question II.6.** Dans l'objectif de réaliser une modélisation analogique du processus de subduction, proposez et justifiez un choix de matériaux analogues à partir des données du **tableau 1**.

*Réponse à la question II.6.*

Il était attendu des candidats de justifier leurs choix de matériaux analogues, notamment en effectuant des rapports de densité et de viscosité.

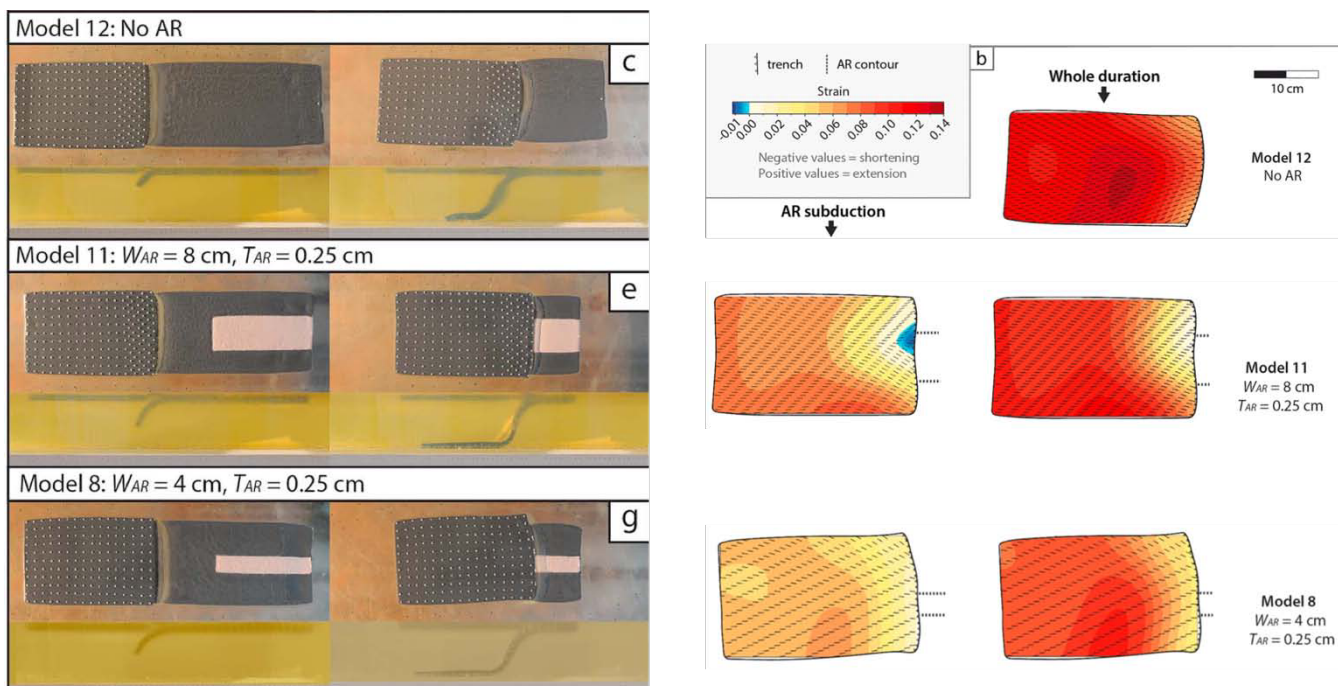
Résultats attendus : gomme de silicone comme analogue de la lithosphère et sirop de glucose comme analogue de l'asthénosphère.

Florez-Rodriguez et al. (2019) ont réalisé des modélisations analogiques pour étudier l'impact de la subduction de rides océaniques asismiques (domaines de croûte océanique épaissie mais sans activité sismique actuellement enregistrée) sur la dynamique de subduction et en particulier sur la déformation observée dans la plaque supérieure.



**Figure 6. schéma du protocole expérimental – OP : plaque supérieure (densité = 1,421), SP : plaque plongeante (densité = 1,517), AR : Ride asismique (densité = 1,121), W : largeur, L : longueur, T : épaisseur. Le manteau asthénosphérique (en jaune) est représenté par du sirop de glucose (densité = 1,421) dans un bac de plexiglas.**

Les auteurs ont réalisé plusieurs modèles, certains de leurs résultats sont présentés en **figure 7**.



**Figure 7. A gauche : photographies de dessus et de profil de 3 expériences (modèles 12, 11 et 8). Les zones de ride asismiques sont en rose. Les photographies de gauche correspondent au début de la modélisation analogique, alors que les images de droite correspondent à un stade plus avancé de subduction. A droite : déformations mesurées à la surface de la plaque supérieure pour les 3 modèles présentés. La colonne de gauche représente les déformations mesurées uniquement lors de la subduction de la ride asismique alors que la colonne de droite représente les déformations associées à la totalité de l'expérience (avant et pendant la subduction de la ride asismique). Selon Florez-Rodriguez et al. (2019)**

**Question II.7.** Observez et interprétez les résultats obtenus par Florez-Rodriguez et al. (2019) (**figure 7**).

Réponse à la question II.7.

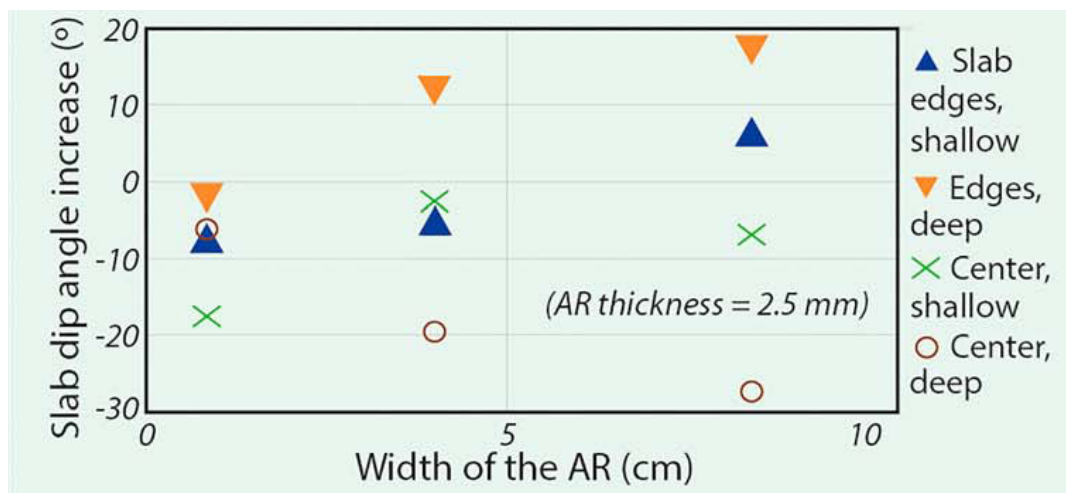
Trois modèles sont présentés: le modèle 12 est l'expérience témoin, les modèles 11 et 8 sont les expériences test avec une bande de silicone de largeur variable et de plus faible densité au sein de la plaque plongeante pour modéliser la présence d'une ride asismique entrant en subduction.

L'expérience témoin montre que les déformations mesurées à la surface de la plaque supérieure sont en extension. Pour le modèle 8, les déformations observées en surface de la plaque supérieure sont moins extensives à proximité de la zone de subduction et ces déformations sont encore moins extensives voire neutres pour le modèle 11. Ces observations sont complétées par l'observation des déformations de surface uniquement lors de la subduction de la bande modélisant la ride asismique, allant jusqu'à mettre en évidence des déformations compressives à la surface de la plaque supérieure pour le modèle 11 lors de la subduction de la ride.

Ces résultats de modélisation suggèrent donc que les déformations de surface de la plaque supérieure lors de la subduction d'une ride asismique seraient d'autant plus compressives que la ride serait large. Il est possible de proposer que la flottabilité positive de la lithosphère océanique au niveau de la ride asismique soit responsable de ces observations en influant sur le pendage de la subduction au niveau du plongement de la ride.

Pourtant, sur les photographies de l'expérience en coupe, il est possible d'observer que le pendage de la subduction en bordure de plaque (du fait de la vue latérale) est plus important pour le modèle 11 (et peut-être pour le modèle 8) que pour le modèle 12, ce qui pourrait suggérer des variations latérales de pendage le long de la subduction.

En plus d'étudier la déformation dans la plaque supérieure, les auteurs ont aussi analysé l'impact de la présence d'une ride asismique sur la géométrie de la subduction et plus particulièrement sur l'angle de plongement de la plaque plongeante (**figure 8**).



**Figure 8.** Graphique représentant la variation du pendage de la plaque plongeante en fonction de la largeur de la ride asismique par rapport au modèle sans ride. Slab edges : en bordure de la plaque plongeante, center : au centre de la plaque plongeante (là où se trouve la ride), shallow : peu profond, deep : profond. Selon Florez-Rodriguez et al. (2019).

**Question II.8.** A partir de la **figure 8**, que pouvez-vous déduire de l'influence de la présence d'une ride asismique sur la géométrie de la subduction ?

*Réponse à la question II.8.*

Cette figure n'a pas été comprise et n'a jamais été exploitée intégralement. Un des obstacles majeurs était de ne pas exploiter les résultats témoin pourtant indispensables à une bonne compréhension de ces résultats.

La figure 8 présente des variations de pendage de la plaque plongeante par rapport à une expérience témoin (sans ride) :

- au centre (là où se situe la ride) et en bordure (sans ride) de la plaque plongeante
- dans la partie supérieure (shallow) et en profondeur de l'expérience.

Cette figure montre que, pour les pendages estimés dans la partie inférieure de l'expérience :

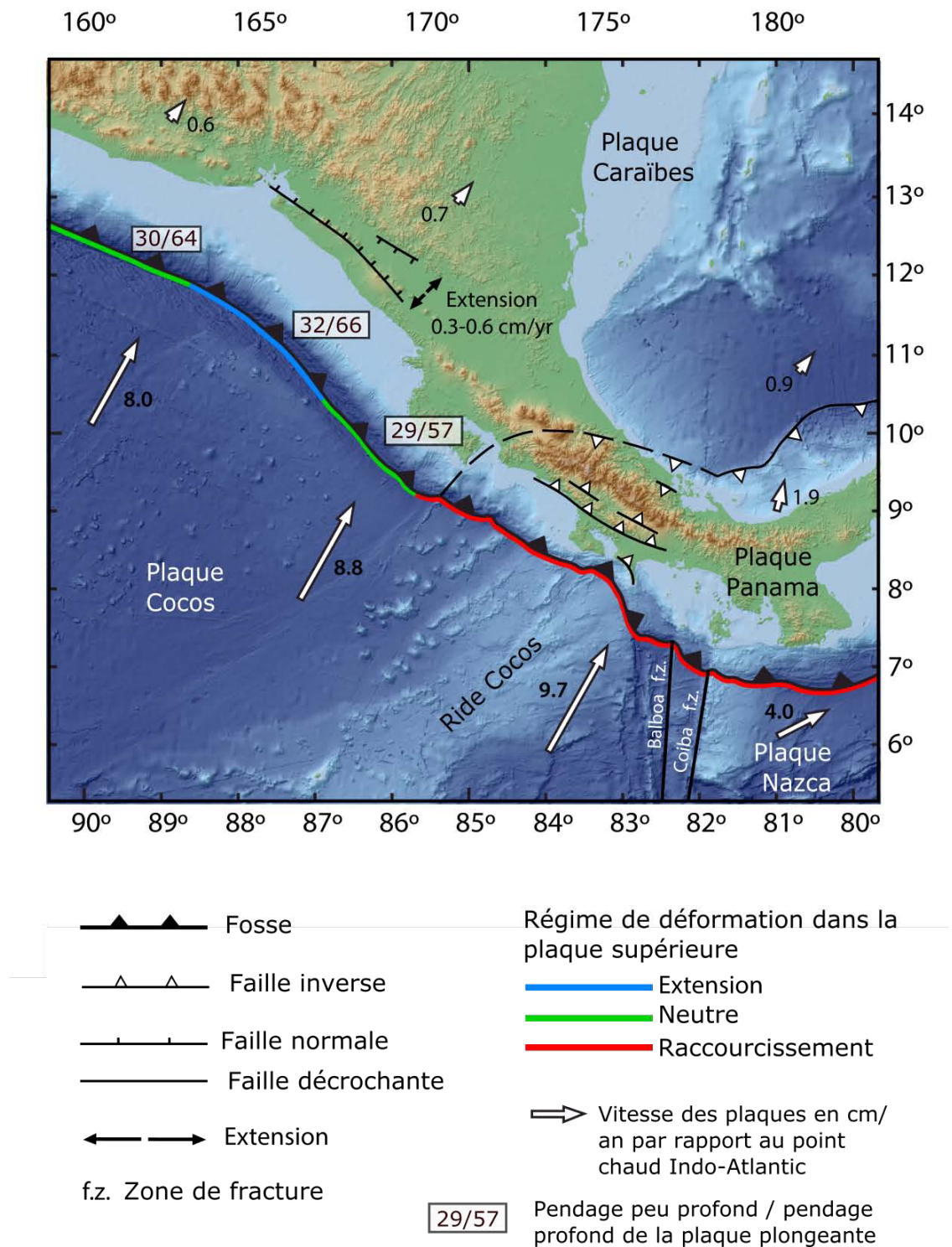
- plus la ride est large, moins le pendage de la subduction est important → confirme l'hypothèse selon laquelle la flottabilité de la ride asismique aurait tendance à faire diminuer le pendage de la subduction
- en bordure de plaque plongeante, à l'inverse, le pendage de la subduction a tendance à augmenter, et d'autant plus que la ride est large.

Les estimations de pendage de subduction dans la partie supérieure de l'expérience sont moins claires, les variations de pendage pour une ride de 1 cm étant toutes négatives par rapport au témoin. Cependant, la tendance à une diminution de pendage de subduction au niveau de la ride et une augmentation de pendage en bordure est observée pour des rides plus larges, même dans la partie supérieure de l'expérience.

Cette figure vient confirmer l'observation de l'augmentation du pendage de subduction en bordure de plaque pour le modèle 11 de la figure 7.



Afin de confronter ces résultats de modélisation analogique à la réalité, des comparaisons avec des exemples naturels sont possibles. La **figure 9** est une carte topographique et bathymétrique d'une région d'Amérique Centrale où les plaques Cocos et Nazca subductent sous les plaques Panama et Caraïbes.



**Figure 9. Carte bathymétrique en Amérique Centrale à proximité de la ride Cocos. D'après Florez-Rodriguez et al. (2019), modifié. Les valeurs de pendage de la plaque plongeante sont celles estimées par Heuret (2005).**

**Question II.9.** Sur la **figure 9**, les vitesses de déplacement estimées pour la plaque Cocos sont très variables. Comment expliquez vous cette variabilité ?

*Réponse à la question II.9.*

Il était attendu des candidats de discuter de vitesses relatives, de vitesses linéaires / vitesses angulaires et donc de pôle eulérien de rotation des plaques lithosphériques.

**Question II.10.** A partir de la **figure 9**, calculez les vitesses de convergence entre les plaques Cocos et Caraïbes et entre les plaques Cocos et Panama. Qu'en déduisez-vous sur l'influence potentielle de la subduction d'une ride asismique sur la vitesse de convergence ?

*Réponse à la question II.10.*

Un simple calcul de vitesses relatives était attendu et a été très bien réussi par les candidats. A proximité de la ride Cocos :

$$_{Cocos}V_{Caraïbes} = 8.8 - 0.7 = 8,1 \text{ cm.an}^{-1}$$

$$_{Cocos}V_{Panama} = 9.7 - 1.9 = 7,8 \text{ cm.an}^{-1}$$

Cela permet d'émettre l'hypothèse que la subduction d'une ride asismique aurait tendance à diminuer la vitesse de convergence.

**Question II.11.** Confrontez les résultats de la modélisation analogique aux données et à vos interprétations de la **figure 9**. Vous indiquerez aussi les limitations de la transposition du modèle analogique à la réalité.

*Réponse à la question II.11.*

Cette question a été traitée par une minorité de candidats. Aucun candidat n'a relié le régime de déformation dans la plaque supérieure avec le pendage de la subduction.

L'objectif de cette question était de rappeler que la modélisation analogique suggérait une diminution du pendage de la subduction au niveau de la subduction de la ride et, à l'inverse, une augmentation du pendage en bordure de la ride. Sur la figure 9, cette observation était confirmée via le régime de déformation dans la plaque supérieure :

- en raccourcissement à l'aplomb de la subduction de la ride, suggérant un faible pendage de subduction
- montrant en bordure des valeurs de pendage maximales (32/66°) et un régime extensif en arrière de la zone de subduction.

# Partie III. Géologie alpine et métamorphisme de subduction

Les Alpes françaises sont une région géologique privilégiée pour étudier le métamorphisme associé à la subduction. Pour cette partie, vous avez à votre disposition la carte géologique de la France au millionième (feuille Sud).

## ATELIER 3 : ROCHES ET LAMES MINCES

**Poste 1** : 2 échantillons macroscopiques de roches vous sont fournis, tous proviennent des Alpes.

**Question III.1.** Réalisez une étude des 2 échantillons fournis, proposez une possible composition minéralogique et discutez les processus de formation et/ou de déformation de ces roches.

*Réponse à la question III.1*

**ECHANTILLON 1 :**

Gneiss oillé avec foliation bien soulignée par les micas noirs, structures S-C bien visibles,  
Minéraux identifiables : Quartz-Feldspath (orthose)-Biotite

*Réponse à la question III.1.(suite)*

**ECHANTILLON 2 :**



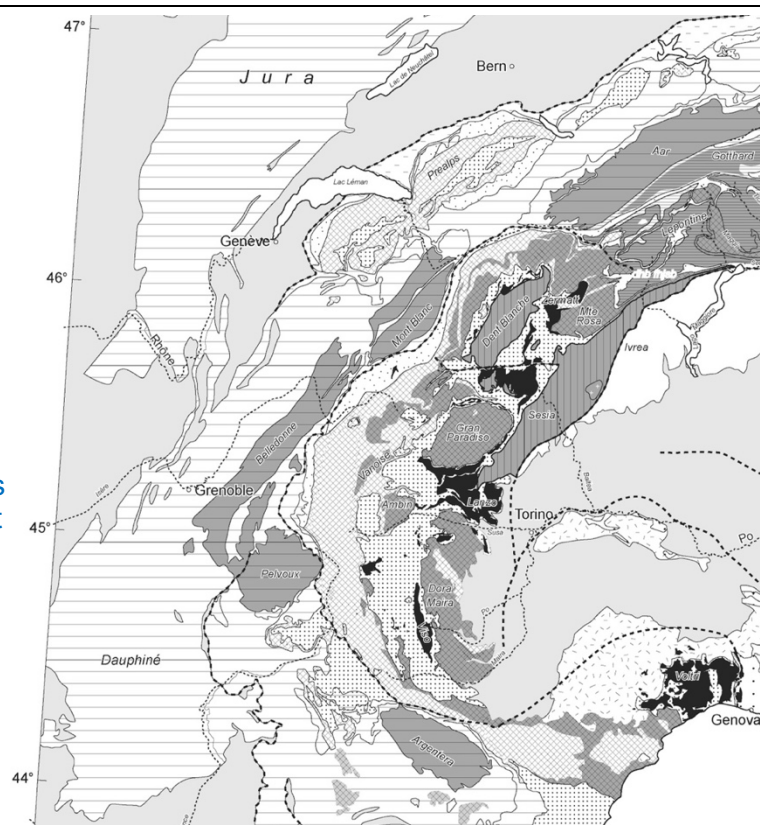
Les éléments figurés sont des valves carbonatées fossilisées de grande taille, épaisses et côniques. En section, ces valves sont creuses et laissent voir une partie de charnière pachyodonte. Ces fossiles sont donc des rudistes. Les valves des différents individus sont jointives, toutes orientées de la même façon. Les valves operculaires ne sont pas visibles car le sciage transversal de la roche ne permet pas d'observer la partie sommitale des individus.

Compte-tenu de l'origine géographique de la roche (Alpes françaises), il est probable qu'il s'agisse d'un échantillon de calcaires à rudistes formé sur la plate-forme au Crétacé.

L'échantillon 2 a été dans l'ensemble bien analysé et interprété (les deux tiers des étudiants ont obtenu une note supérieure ou égale à la moyenne). Une démarche démonstrative était attendue avec des diagnostic taxinomique et paléoenvironnemental justifiés par les observations.

### Réponse à la question III.2.

ECHANTILLON 1 =>  
Préférentiellement dans les  
massifs cristallins externes,  
mais les localisations dans les  
massifs cristallins internes ont  
été acceptées.  
Attention, les  
candidats avaient à  
disposition la carte  
géologique de la France et



il était attendu d'utiliser cette carte pour proposer une localisation où des gneiss affleurent.

ECHANTILLON 2 => Toute zone des Alpes externes cartographiées C1 ou C2 sur la carte géologique au 1:1000000. Par exemple les barres urgoniennes de Chartreuse, du Vercors etc).

Les candidats ont dans l'ensemble fourni des localisations cohérentes.

**Poste 2** : 2 lames de roches échantillonnées dans les Alpes sont fournies. Ces lames ne correspondent pas aux échantillons macroscopiques du poste 1.

**Question III.3.** Réalisez un dessin d'observation de chacune des 2 lames.

*Réponse à la question III.3.*

Lame 1 : Métapélite à grenats à inclusions hélicitiques et ombres de pression dissymétriques.

Lame 2 : Gabbro métamorphisé dans le faciès schiste bleu et rétromorphosé dans le faciès schiste vert.

**Question III.4.** Décrivez et interprétez les déformations observées sur la **lame n°1** et complétez votre dessin de la **question III.3** en caractérisant la déformation observée.

*Réponse à la question III.4.*

La mise en évidence de la rotation du grenat via les inclusions hélicitiques et forme et la localisation des ombres de pression étaient attendues.

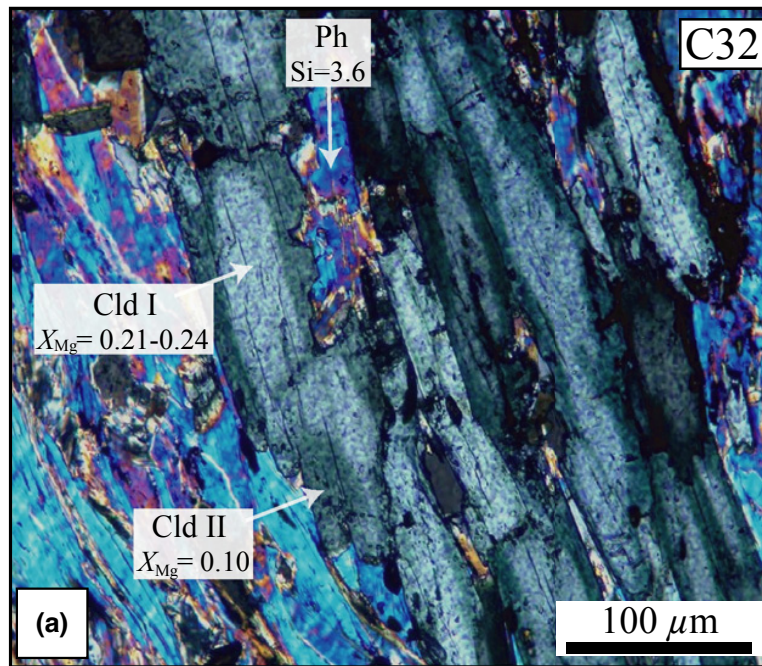
**Question III.5.** En termes de contexte géologique (formation et/ou déformation), quelle interprétation pouvez-vous déduire de vos observations de la **lame n°2** ?

*Réponse à la question III.5.*

Pour cette question, la notion de pic de métamorphisme et de rétromorphose dans le faciès schiste vert devait être discutée.

Plusieurs auteurs ont étudié le métamorphisme des roches du complexe ophiolitique du Mont Viso. La **figure 11** est une photographie de lame en LPA de l'échantillon C32 (Angiboust et al., 2012).





**Figure 11. Photographie en LPA de l'échantillon C32.**

Dans cette lame, les auteurs décrivent la présence de grenat (~200-300 μm de large) et de porphyroblastes de chloritoïdes dans la schistosité principale qui est soulignée par des minéraux de chlorite et de phengite. Les coeurs des grenats ( $X_{Mn}=0.13-0.14$  ;  $X_{Fe}=0.7-0.72$ ) sont enrichis en manganèse et appauvris en fer par rapport aux bordures ( $X_{Mn}=0.06-0.1$  ;  $X_{Fe}=0.76-0.81$ ). Les bordures externes des grenats sont rétro-morphosées en chlorite, la composition donnée ici pour les bordures est donc celle de la dernière génération de grenat conservée. Aucune zonation significative n'a été observée dans les grenats pour le calcium ( $X_{Ca}=0.07$ ) ou pour le magnésium ( $X_{Mg} = 0.08$ ). Les chloritoïdes sont caractérisés par 2 compositions chimiques distinctes. Des reliquats du chloritoïde associé au pic de métamorphisme ( $X_{Mg}=0.21-0.24$  – Cld I sur la **figure 11**) sont occasionnellement préservés. Des chloritoïdes (Cld II), caractérisés par une valeur de  $X_{Mg}$  plus faible (0.08–0.11), sont observés en bordure de la première génération de chloritoïde et au sein de la schistosité principale.

La chlorite est abondante et textuellement secondaire, grandissant au détriment du grenat et du chloritoïde. Elle est à l'équilibre avec les phengites secondaires. Les chlorites ont des compositions assez constantes avec des valeurs de  $X_{Mg}$  variant de 0.42 à 0.44. Le mica blanc est principalement phengitique et est caractérisé par des valeurs variables de  $Si^{4+}$ . Dans les bandes de cisaillement tardives, les valeurs les plus élevées de  $Si^{4+}$  sont comprises entre 3.06 et 3.2 p.f.u. Ces valeurs augmentent progressivement vers le coeur des cristaux de phengite, où elles peuvent atteindre 3.55 à 3.65 p.f.u.

**Question III.6.** Comment expliquer les différences chimiques cœur-bordure observées dans les chloritoïdes et dans les grenats ?

Réponse à la question III.6.

Cette question a globalement été bien réussie. Il était attendu de discuter de l'évolution des conditions (P, T, composition des fluides métamorphiques,...) lors de la croissance du minéral.

**Question III.7.** A partir de la description ci-dessus (**figure 11**), quelles sont les paragenèses principales de cet échantillon et leur chronologie relative ?

*Réponse à la question III.7.*

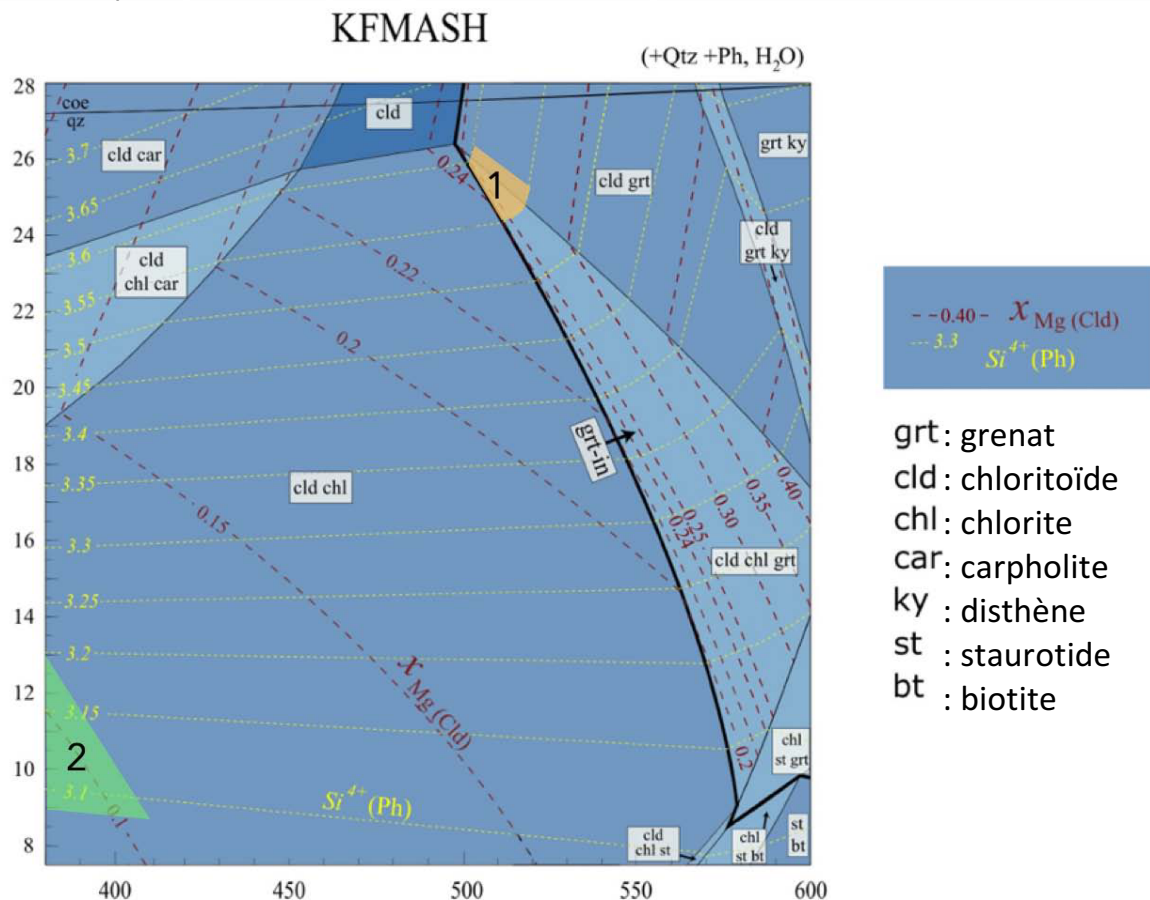
Paragenèse 1 : Cld I – Gt – Ph I + Qz (correspond au pic de métamorphisme)

Paragenèse 2 : Ph II – Cld II – Chlorite + Qz (correspond à la rétomorphose)



**Question III.8.** Sur la pseudo-section de la **figure 12**, localisez les domaines d'équilibre des 2 paragenèses principales de l'échantillon C32 en prenant en compte les analyses chimiques.

Réponse à la question III.8.



**Figure 12.** Pseudo-section calculée avec Thermocalc dans le système KFMASH pour l'échantillon C32 en considérant le quartz, la phengite et l'eau en saturation.-La ligne noire épaisse indiquée grt-in indique l'apparition du grenat. Les lignes pointillées représentent les isoplèthes du  $X_{Mg}$  du chloritoïde et la proportion en  $Si^{4+}$  des phengites (selon Angiboust et al., 2012).

Cette question et les suivantes ont été très peu traitées par les candidats.

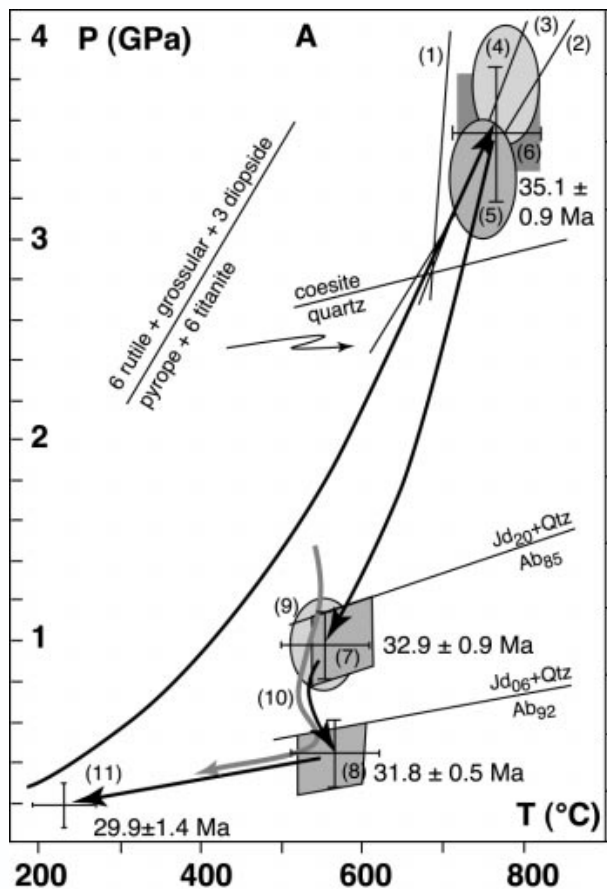
Il était attendu de localiser sur la pseudo-section les régions P,T du pic de métamorphisme et de la paragenèse associée à la rétro-morphose, en utilisant les informations indiquées dans le texte descriptif ( $X_{Mg}$  des chloritoïdes et  $Si^{4+}$  des phengites).

**Question III.9.** Estimez le gradient géothermique moyen associé au pic de métamorphisme ? Quel contexte géodynamique serait le plus en adéquation avec ce gradient estimé ? Justifiez votre réponse.

Réponse à la question III.9

Le pic de métamorphisme est associé à un gradient d'~6°C/km, ce qui correspond à un gradient de subduction.

La **figure 13** présente un diagramme PTt pour les unités ultra-haute pression du Massif de Dora Maïra selon Rubatto & Hermann (2001).



**Figure 13.** Diagramme P-T-t des unités UHP de Dora Maira obtenu en compilant des données de pétrologie métamorphiques et de géochronologie de plusieurs publications (Rubatto & Hermann, 2001)

1 GPa = 10 kbar

**Question III.10.** Comparez les estimations PT obtenues à Dora Maïra avec celles des métapélites du Mont Viso. Interprétez.

Réponse à la question III.10.

Au niveau de Dora Maïra, les pressions et températures estimées sont plus élevées, suggérant un enfouissement plus important de ces unités.

**Question III.11.** Estimez les vitesses d'exhumation moyennes pour le début et la fin du trajet rétrograde à partir des échantillons de Dora Maira (**figure 13**).

Réponse à la question III.11.

3 vitesses d'exhumation pouvaient être estimées pour le trajet rétrograde :  
 Entre ~35,1 et ~31,8 Ma : ~34 km/Ma  
 Entre 31,8 et 29.9 Ma : ~4 km/Ma  
 Entre 30 Ma et l'Actuel : ~0,2 km/Ma

**Question III.12.** Schlunegger & Willett (1999) ont estimé les vitesses moyennes d'érosion dans les Alpes à ~0,25-0,5 mm/an entre 35 et 20 Ma (millions d'années). Quelle indication cette vitesse moyenne d'érosion indique-t-elle quant au mécanisme d'exhumation ?

*Réponse à la question III.12.*

Les vitesses d'exhumation avant 30 Ma sont bien supérieures aux vitesses moyennes d'érosion, le processus d'exhumation associé à d'importantes vitesses d'exhumation est donc un processus profond, non lié directement à l'érosion. A l'inverse, après 30 Ma, les vitesses d'érosion et d'exhumation sont du même ordre de grandeur, pouvant montrer que la fin du trajet rétrograde est associée à des processus de dénudation/érosion liés au fonctionnement du prisme orogénique.

**Question III.13.** Que suggère la mise en évidence de vitesses d'exhumation différentes pour le début et la fin du trajet rétrograde ?

*Réponse à la question III.13.*

Plusieurs mécanismes d'exhumation.

**Question III.14.** A partir de vos connaissances des systèmes orogéniques, proposez un ou plusieurs mécanisme(s) d'exhumation possible(s) en accord avec les estimations de vitesses d'exhumation et les vitesses moyennes d'érosion (**question III.12**).

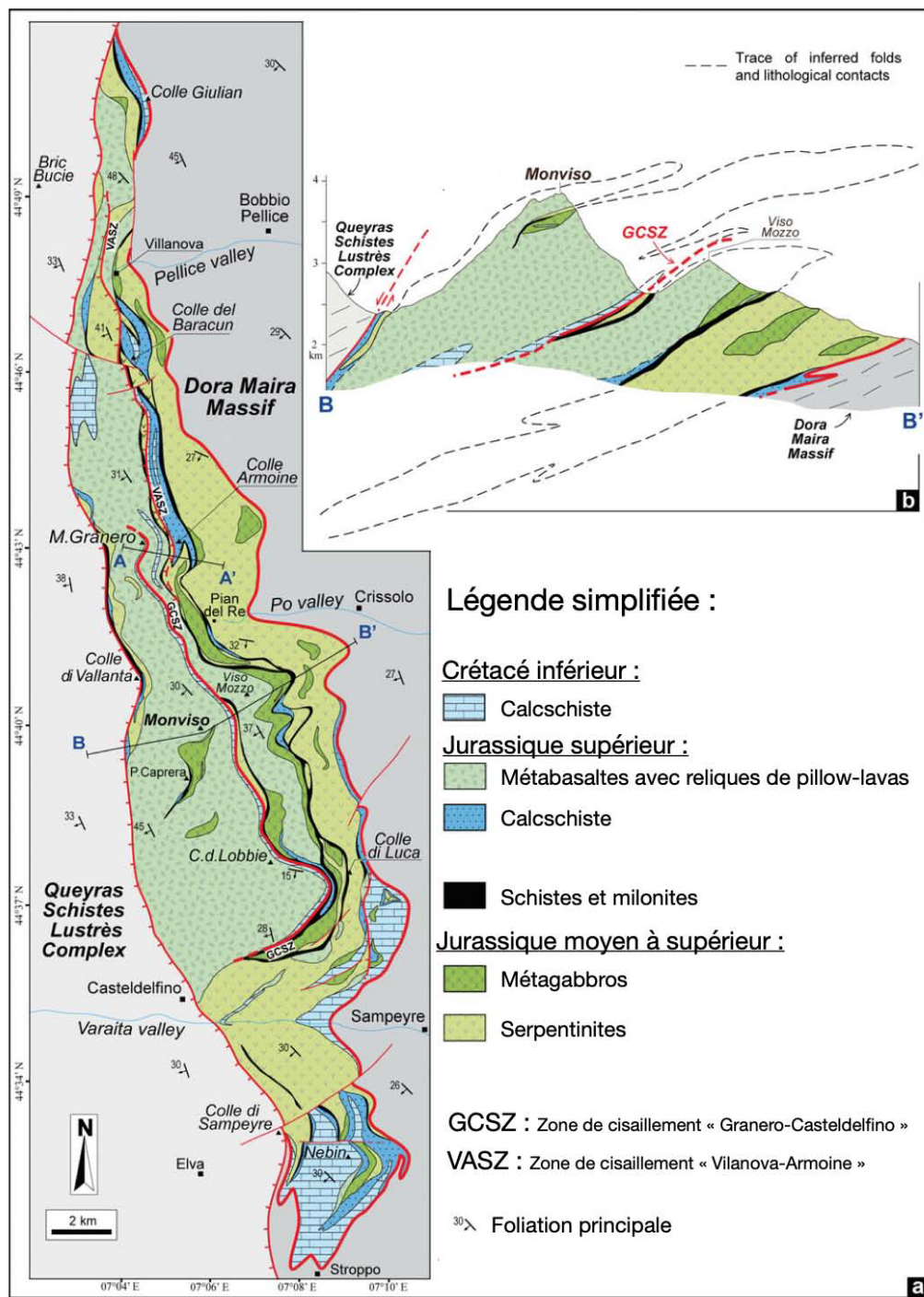
*Réponse à la question III.14.*

Chenal de subduction puis exhumation via érosion/tectonique au sein du prisme orogénique.

## Partie IV. Chenal de subduction et exhumation

La **figure 14** présente une carte géologique simplifiée et une coupe géologique du complexe ophiolitique du Mont Viso (Balestro et al., 2017).

Au sein de ce complexe ophiolitique, le long de la coupe BB', deux unités de metabasaltes et de métagabbros métamorphisés dans le faciès éclogite (l'unité centrale dite Viso Mozzo et l'unité supérieure dite Costa Ticino) surplombent une unité basale de serpentinites. L'objectif de cette partie est d'étudier un mécanisme possible d'exhumation de ces unités.



**Figure 14 : Carte géologique simplifiée du massif du Mont Viso (Balestro et al., 2017).**  
**Question IV.1.** Après avoir défini ce qu'est une serpentinite, vous indiquerez les différents contextes possibles de formation des serpentinites.

Réponse à la question IV.1.

Cette question a été très bien réussie par les candidats.

Il était attendu de définir la serpentinite comme une roche issue de l'hydratation d'une périclase, et de discuter de l'origine des fluides permettant cette hydratation. Deux exemples ont été majoritairement proposés : au niveau des dorsales océaniques par hydrothermalisme, ou en profondeur, dans les zones de subduction, par déshydratation de la plaque plongeante lors du métamorphisme de cette dernière.

Le **tableau 2** fournit les masses volumiques moyennes de différentes roches.

	Masse volumique (g.cm-3)
Gabbro	2,8-3
Métagabbro dans le faciès éclogite	3,2-3,4
Péridotite (conditions PT du manteau lithosphérique)	3,3
Péridotite (conditions PT de l'asthénosphère)	3,2
Serpentine	2,6-2,8

**Tableau 2. Masses volumiques moyennes de différentes roches**

**Question IV.2.** En vous appuyant sur le **tableau 2**, émettez une hypothèse sur le possible comportement de serpentinites formées en profondeur.

Réponse à la question IV.2.

Cette question a été réussie par la quasi totalité des candidats.

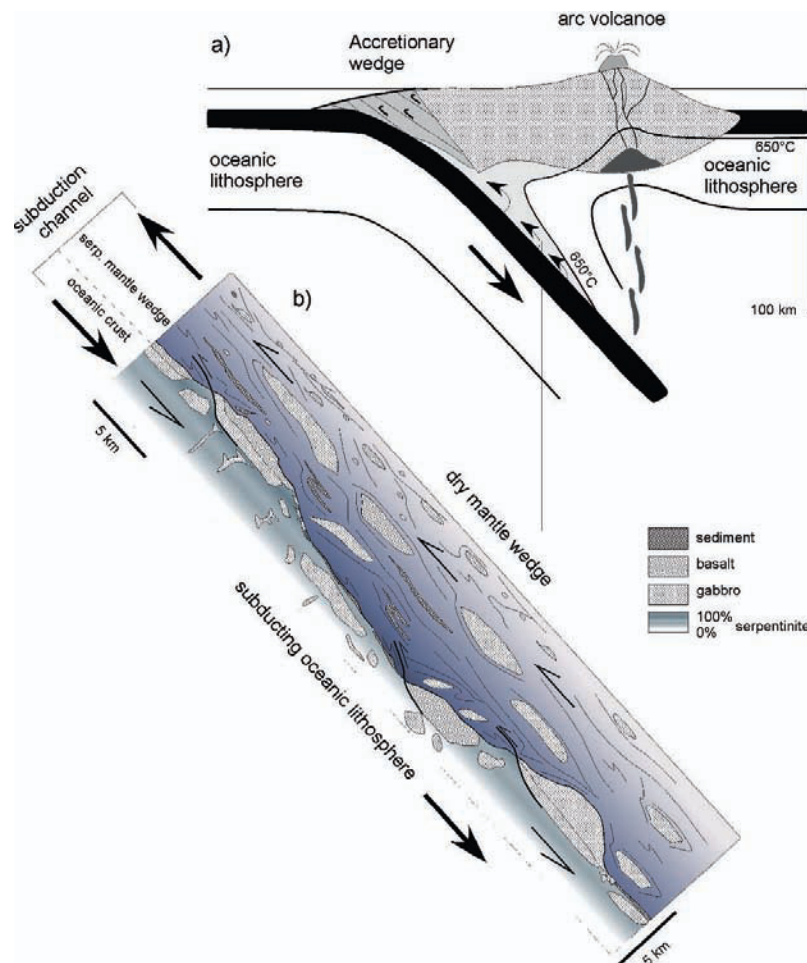
Les serpentinites sont caractérisées par des masses volumiques plus faibles que celles des péridotites, elles auront donc tendance à remonter vers la surface.

### ATELIER 3 : SALLE INFORMATIQUE

L'objectif de cet atelier est de tester numériquement la possibilité d'exhumer des roches éclogitiques dans un chenal de manteau serpentinisé (donc de faible viscosité) en contexte de subduction.

La **figure 15** propose une coupe schématique d'une zone de subduction ainsi qu'une coupe simplifiée à travers le chenal de subduction.



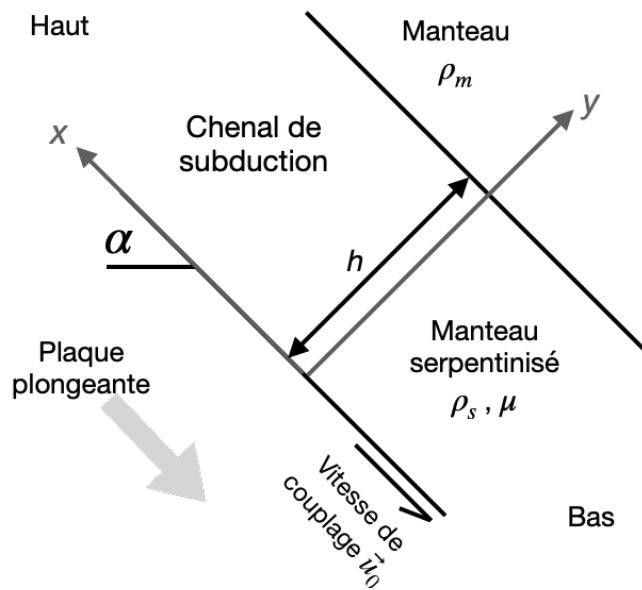


**Figure 15. (a) Coupe schématique d'une zone de subduction indiquant la localisation théorique du chenal de subduction, limité à sa base par l'isotherme 650°C. (b) Schématisation détaillée du chenal de subduction, formant un chenal de ~60 km de long (entre 40 et 100 km de profondeur) entre la lithosphère océanique plongeante et le coin de manteau. Du fait de la faible viscosité et de la faible densité de la serpentinite, un courant ascendant au sein du chenal peut avoir lieu. Modifiée de Guillot et al. (2009).**

Afin de tester la possibilité d'exhumer des roches éclogitiques à l'aide d'un chenal de subduction, Schwartz et al. (2001) ont réalisé une modélisation numérique simplifiée (**figure 16**) avec les paramètres suivants.

- La modélisation numérique considère un chenal de roches mantelliques plus ou moins serpentinisées, d'épaisseur  $\delta$ , de pendage  $\theta$  (équivalent au pendage de la subduction)
- La vitesse de couplage  $\overline{u}_0$  correspond à la fraction de la vitesse de subduction transmise au chenal faible viscosité (si le couplage est total, alors la vitesse de couplage correspond à la vitesse de subduction, à l'inverse, la vitesse à la base du chenal peut ne correspondre qu'à une partie de la vitesse de subduction, dans ce cas, le couplage est dit partiel).





**Figure 16. Schématisation du modèle de chenal de subduction utilisé par Schwartz et al. (2001).**  $\vec{u}_0$  est la vitesse de couplage,  $\mu$  la viscosité des roches du chenal,  $\alpha$  le pendage de la plaque plongeante,  $h$  la largeur du chenal,  $\rho_m$  la masse volumique du manteau et  $\rho_s$  la masse volumique du manteau serpentinisé.

Les roches constituant le chenal de faible viscosité (c'est à dire du manteau serpentinisé) sont de plus faible densité que les roches du manteau environnant. Cette différence de densité entraîne un mouvement ascendant au sein du chenal à faible viscosité.

Le profil de vitesse à travers le chenal faible viscosité est donné par l'équation suivante (Turcotte et Schubert, 1982) :

$$u = \frac{1}{2} \frac{d}{dx} (y^2 - hy) - \frac{u_0 y}{h} + u_0$$

Le flux net de matériau à travers le chenal est alors égal à :

$$= \int_0^h u dy$$

La première feuille du fichier chenal.ods à votre disposition vous permet de modéliser les différents flux nets totaux en fonction des différents paramètres des chenaux.

Le **tableau 3** indique des valeurs de masses volumiques et de viscosités pour plusieurs roches.

	composition	$\rho$ en kg.m <sup>-3</sup>	$\mu$ en Pa.s
Manteau	100% peridotite - 0% serpentine	3300	10 <sup>23</sup>
Manteau serpentinisé	88% peridotite - 12% serpentine	3200	10 <sup>21</sup>
Manteau serpentinisé	50% peridotite - 50% serpentine	2975	10 <sup>20</sup>
Serpentinite	0% peridotite - 100% serpentine	2650	10 <sup>19</sup>

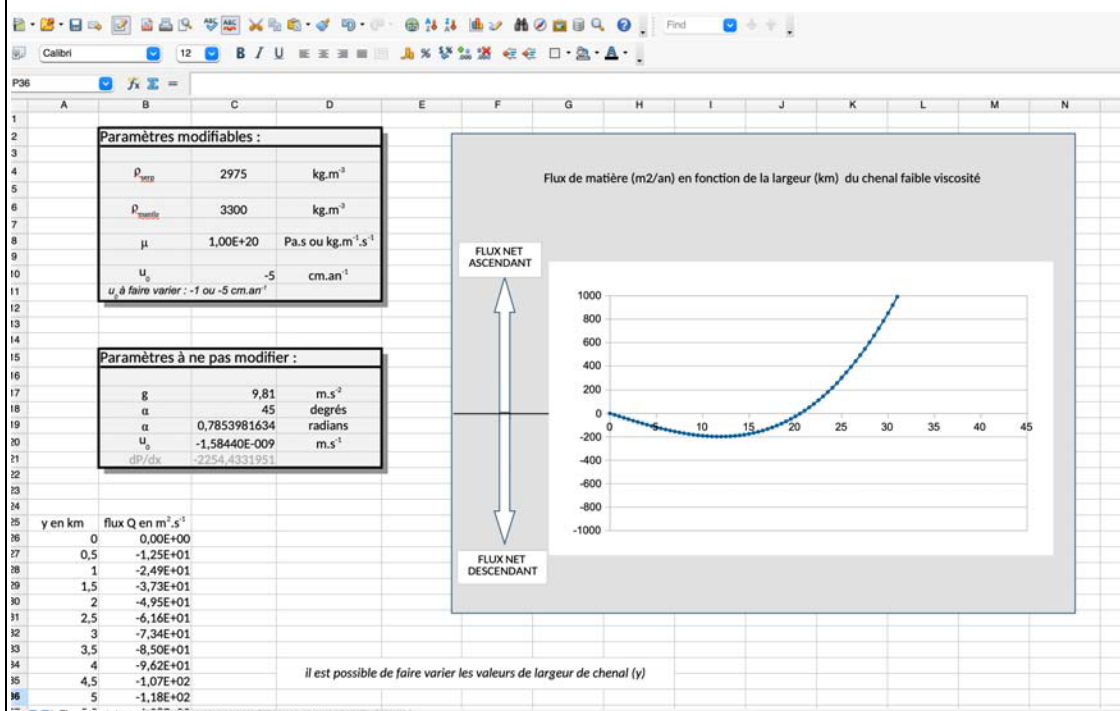
Basalte éclogitisé	100% basalte éclogitisé	3450	10 <sup>23</sup>
--------------------	-------------------------	------	------------------

**Tableau 3. Compositions, masses volumiques et viscosités de plusieurs roches**

**Question IV.4.** Utilisez la feuille de calcul pour estimer les hauteurs minimales de chenaux compatibles avec un mouvement ascendant et donc pouvant permettre d'exhumer des roches pour 3 degrés (12%, 50% et 100%) de serpentinisation des péridotites mantelliques formant le chenal de subduction. Vous présenterez vos résultats sous forme de tableau.

Réponse à la question IV.4. ATELIER INFORMATIQUE

Le fichier fourni présentait une première feuille qui permettait de visualiser la courbe du flux de matière en m<sup>2</sup>/an en fonction de la largeur en kilomètres du cheval à faible viscosité. Certains paramètres étaient modifiables, et il était attendu des candidats de les modifier en fonction des valeurs du Tableau 3, de façon à estimer, pour chaque degré de serpentinisation, les hauteurs minimales de chenaux compatibles avec un flux net ascendant.



De nombreux candidats n'ont pas proposé un tableau permettant une représentation pertinente de leurs résultats. Beaucoup n'ont pas réussi à obtenir des estimations correctes et seulement quelques candidats ont fait varier la vitesse de couplage.

Un exemple de tableau attendu est présentée ci-dessous :

Vitesse de couplage	-1 cm/an	-5 cm/an
Degré de serpentinisation		
12% de serpentinisation	53 km	118km
50% de serpentinisation	9,5km	21km
100% de serpentinisation	2,5km	5km

**Question IV.5.** A l'aide de vos résultats, vous discuterez la géométrie du chenal ainsi que la nature des roches devant le constituer pour que ce dernier puisse permettre l'exhumation de péridotites.

Réponse à la question IV.5. ATELIER INFORMATIQUE

D'après les premiers résultats, il semblait peu probable qu'un cheval fait de péridotites serpentinisées à hauteur de 12 % puisse permettre l'exhumation de roche du fait de la

largeur minimale de chenal estimée à plus de 50 km pour avoir un flux net ascendant. Pour les deux autres degrés de serpentinisation testés, la modélisation suggérait des largeurs minimales de chenal semblant réalistes.

La seconde feuille du fichier fourni permet d'estimer les vitesses maximales d'exhumation de blocs éclogitiques pour ensuite les comparer avec les vitesses d'exhumation mesurées par les méthodes de chemins P-T-t.

Pour cet exercice, la vitesse d'exhumation d'un bloc éclogitique dans un chenal à faible viscosité est estimée comme égale à  $u_{max}$  soit la vitesse maximale du flux de serpentine dans le chenal.

D'après Schwartz et al. (2001), cette vitesse maximale au sein du chenal est donnée par :

$$u_{max} = - \frac{\frac{h^2}{2} \frac{d}{dx} - u_0^2}{4 h^2 \frac{d}{dx}}$$

Avec le gradient de pression entre la base et le sommet du chenal donné par :

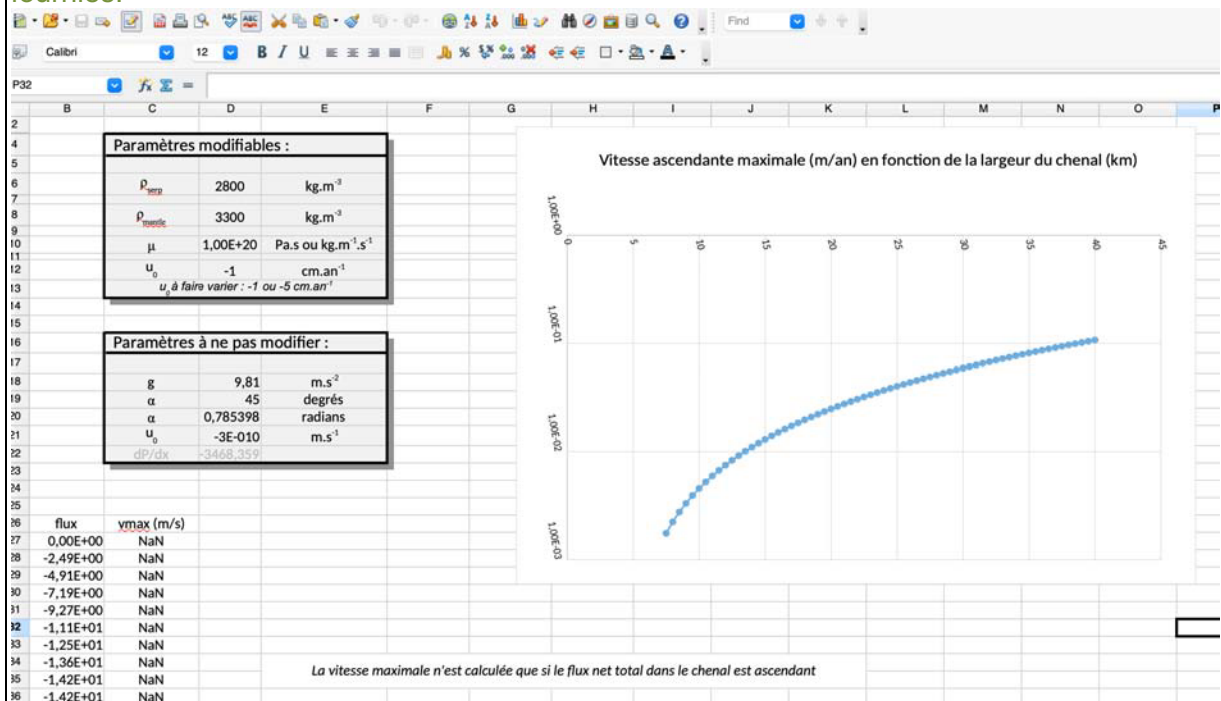
$$\frac{d}{dx} \rho g \sin$$

Duchêne et al. (1997) ont évalué les vitesses d'exhumation des massifs éclogitiques du Mont Viso entre  $\sim 10^{-2}$  et  $10^{-3}$  m/an

**Question IV.6.** Pour chaque degré de serpentinisation (12%, 50% et 100%), estimez la taille de cheval compatible avec les vitesses d'exhumation estimées entre  $\sim 10^{-2}$  et  $10^{-3}$  m/an

Réponse à la question IV.6.

La seconde feuille du fichier à disposition des candidats permettait de représenter la vitesse ascendante maximale en  $m.an^{-1}$  en fonction de la largeur du chenal en km. Comme pour la première feuille, les candidats avaient des paramètres à modifier, et devaient effectuer une lecture graphique des largeurs de cheval compatibles avec les vitesses d'exhumation fournies.



Les résultats devaient être présentés dans un tableau comme suit :

Vitesse de couplage	-1 cm/an	-5 cm/an
Degré de serpentinisation		

12% de serpentinisation	Entre 53 et 96 km	Entre 118 et 124km
50% de serpentinisation	Entre 9,5 et 17km	Entre 21 et 31km
100% de serpentinisation	Entre 2,5 et 4km	5km (seule solution)

On considère les corps éclogitiques comme ayant été de forme sphérique lors de leur exhumation. Dans ce cas, l'unité de Costa Ticino correspondrait à une sphère de ~2,5 km de rayon et l'unité du Viso Mozzo une sphère de ~1,5 km de rayon.

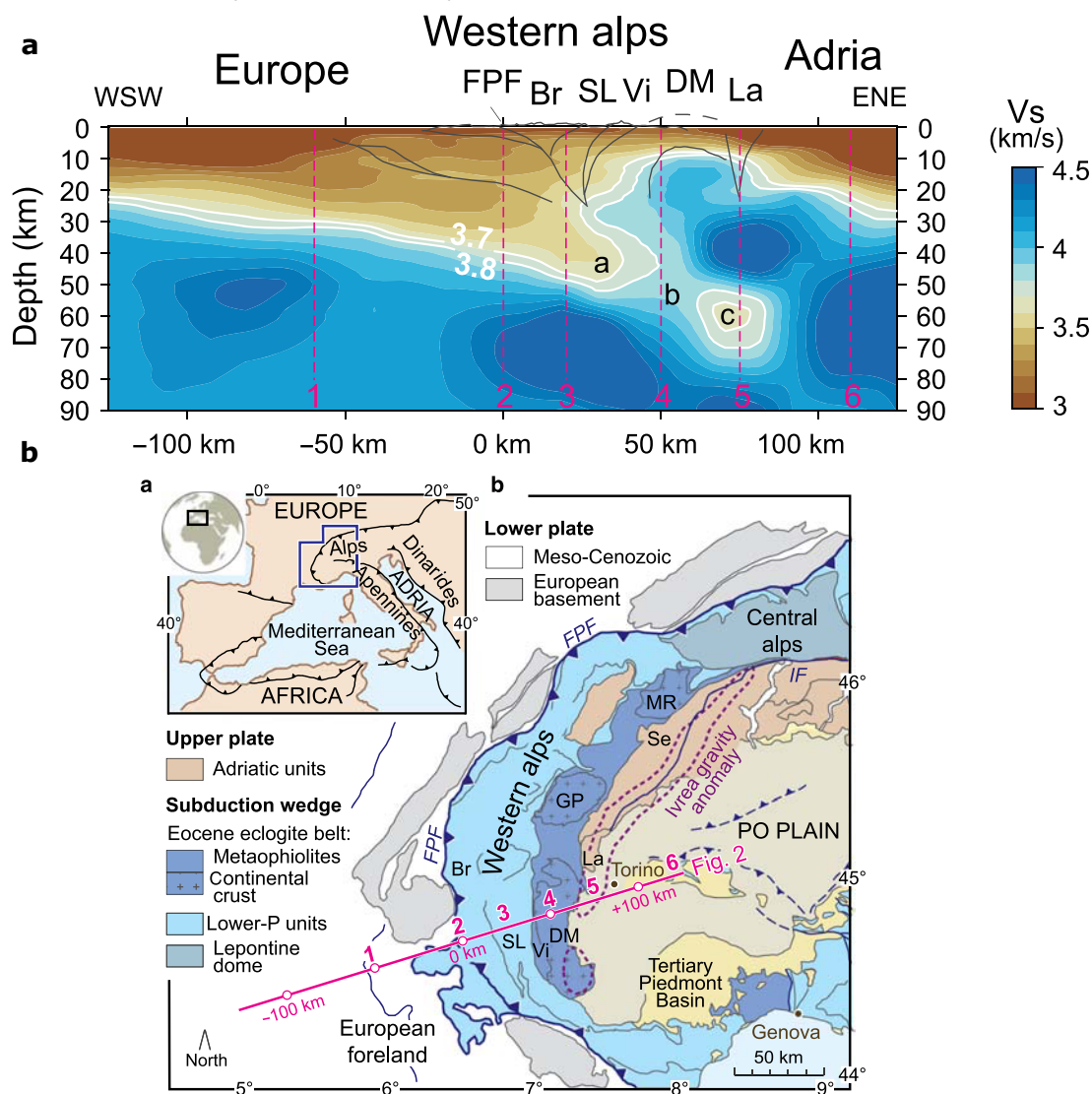
**Question IV.7.** Vous confronterez ces dimensions des unités éclogitiques avec les tailles de chenaux estimées à l'aide de la modélisation numérique. Interprétez.

Réponse à la question IV.7.

Les dimensions indiquées pour les corps éclogitiques ne sont pas compatibles avec les largeurs possibles de chenaux constitués de roches mantelliques serpentinisées à 100 % car il semble impossible qu'un chenal de 5 km de large puisse exhumer des unités éclogitiques de 5 km de diamètre. À l'inverse, un chenal fait de roches serpentinisées à hauteur de 50 % pourrait permettre d'exhumer les unités éclogitiques de la taille indiquée.

Afin d'imager de façon détaillée les structures crustales et lithosphériques dans les Alpes, le projet AlpArray a permis, entre 2017 et 2019, de déployer plus de 500 stations sismologiques.

La **figure 17** présente une tomographie de vitesse des ondes S le long d'une coupe à travers les Alpes française (Zhao et al. 2020).



**Figure 17. En haut, coupe de tomographie sismique (ondes S) à travers les Alpes occidentales ; en bas, localisation de la coupe tomographique sur un schéma structural simplifié des Alpes. FPF : Front Pennique, Br : Briançonnais, SL : Schistes Lustrés, Vi : Mont Viso, DM : Dora Maira, La : Lanso. Selon Zhao et al. (2020)**

**Question IV.7.** Rappelez le principe d'obtention et d'interprétation d'une image tomographique.

*Réponse à la question IV.7.*

Cette question très classique a été très bien réussie par les candidats qui ont dans la grande majorité su présenter le principe d'obtention d'une image tomographique.

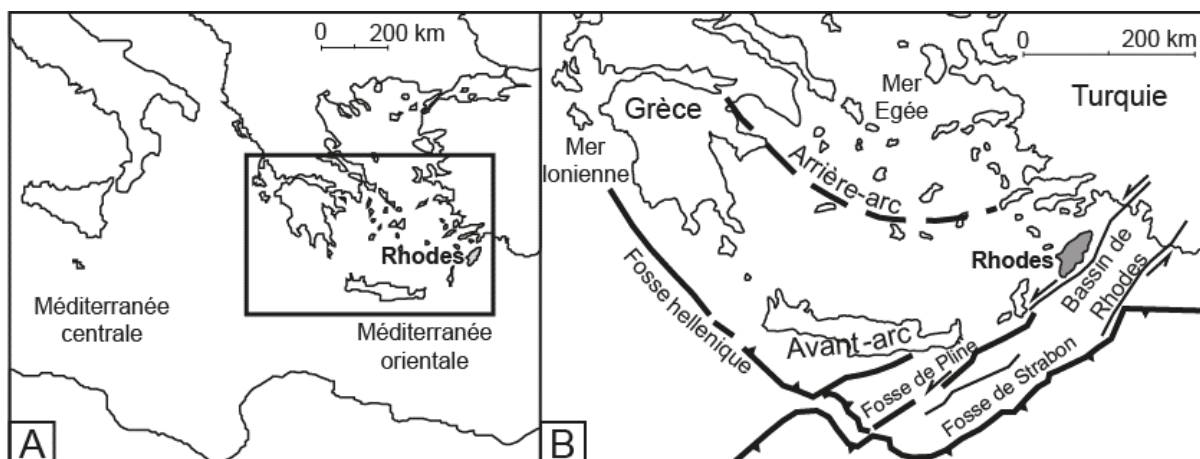
**Question IV.8.** Interprétez la tomographie de vitesse des ondes S obtenue par Zhao et al. (2020). Vous confronterez vos résultats avec les résultats obtenus via la modélisation numérique (**question IV.6**)

*Réponse à la question IV.8*

L'image tomographique met en évidence une zone à faible vitesse au niveau du plan de subduction entre l'Europe et l'Apulie pouvant être interprété comme un paléo-chenal à faible viscosité. L'épaisseur apparente de ce paléo-chenal est d'environ 20 km, ce qui est en accord avec les résultats obtenus via la modélisation numérique pour des degrés de serpentinisation de l'ordre de 50%.

## Partie V. Chronostratigraphie dans une région d'avant-arc

L'île de Rhodes (Grèce) est située au sud-est de la Mer Egée en Méditerranée orientale (**figure 18**). Structuralement, Rhodes constitue la partie la plus orientale de l'avant-arc égéen et est constituée de nappes qui ont été accrétées suite à la subduction de la plaque africaine sous la plaque eurasiatique. A cause de l'augmentation de la courbure de l'avant-arc le long de la limite de plaques, ces nappes ont subi d'importantes rotations, élongations, fracturations et de multiples épisodes de basculements et de soulèvements depuis le Pliocène. L'ouverture concomitante du Bassin de Rhodes à l'Est de l'île (**figure 18B**), qui atteint aujourd'hui plus de 4000 m de profondeur, est également à l'origine d'importants épisodes de subsidence de l'île. Ce contexte géodynamique général est à l'origine, sur ces nappes, du dépôt puis de l'émersion de sédiments marins qui sont aujourd'hui disponibles à l'affleurement et accessibles à terre sur la côte Est de l'île de Rhodes.



**Figure 18. Carte de localisation de l'île de Rhodes en Méditerranée orientale (A) et contexte géodynamique général (B). Modifiée de Cornée et al. (2019)**

Les roches sédimentaires du Plio-Quaternaire de Rhodes constituent cinq formations sédimentaires qui reposent en discordance sur un socle calcaire éocène, de la plus ancienne à la plus récente :

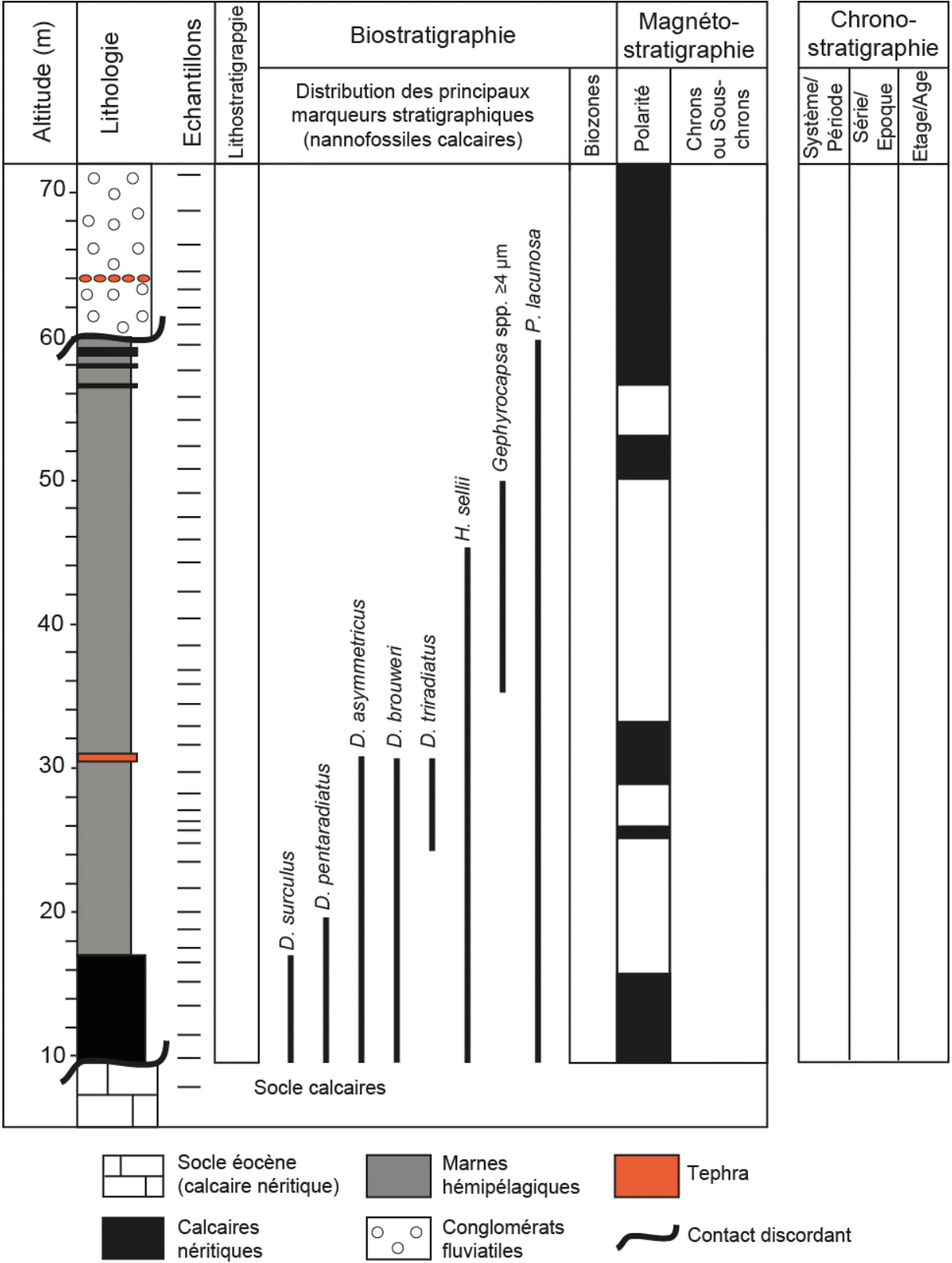
- La Formation Damatria majoritairement constituée de calcaires néritiques\*
- La Formation Kritika majoritairement constituée de sables fluviatiles
- La Formation Kolymbia majoritairement constituée de calcaires néritiques\*
- La Formation Lindos majoritairement constituée de marnes hémipélagiques
- La Formation Arkhangelos majoritairement constituée de conglomérats fluviatiles

*\*Le mot « néritique » désigne la plateforme, c'est-à-dire la zone marine peu profonde située entre la zone littorale et le rebord du plateau continental*

La **figure 19** présente un log stratigraphique levé dans la baie de Vagia sur la côte Est de Rhodes et les résultats d'une étude biostratigraphique et magnétostratigraphique réalisée



à partir du prélèvement et de l'analyse de 42 échantillons de roches sédimentaires (tirets horizontaux sur la **figure 19**).

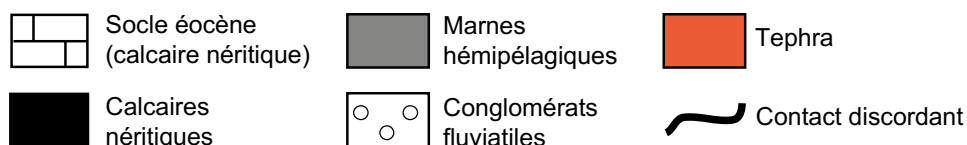
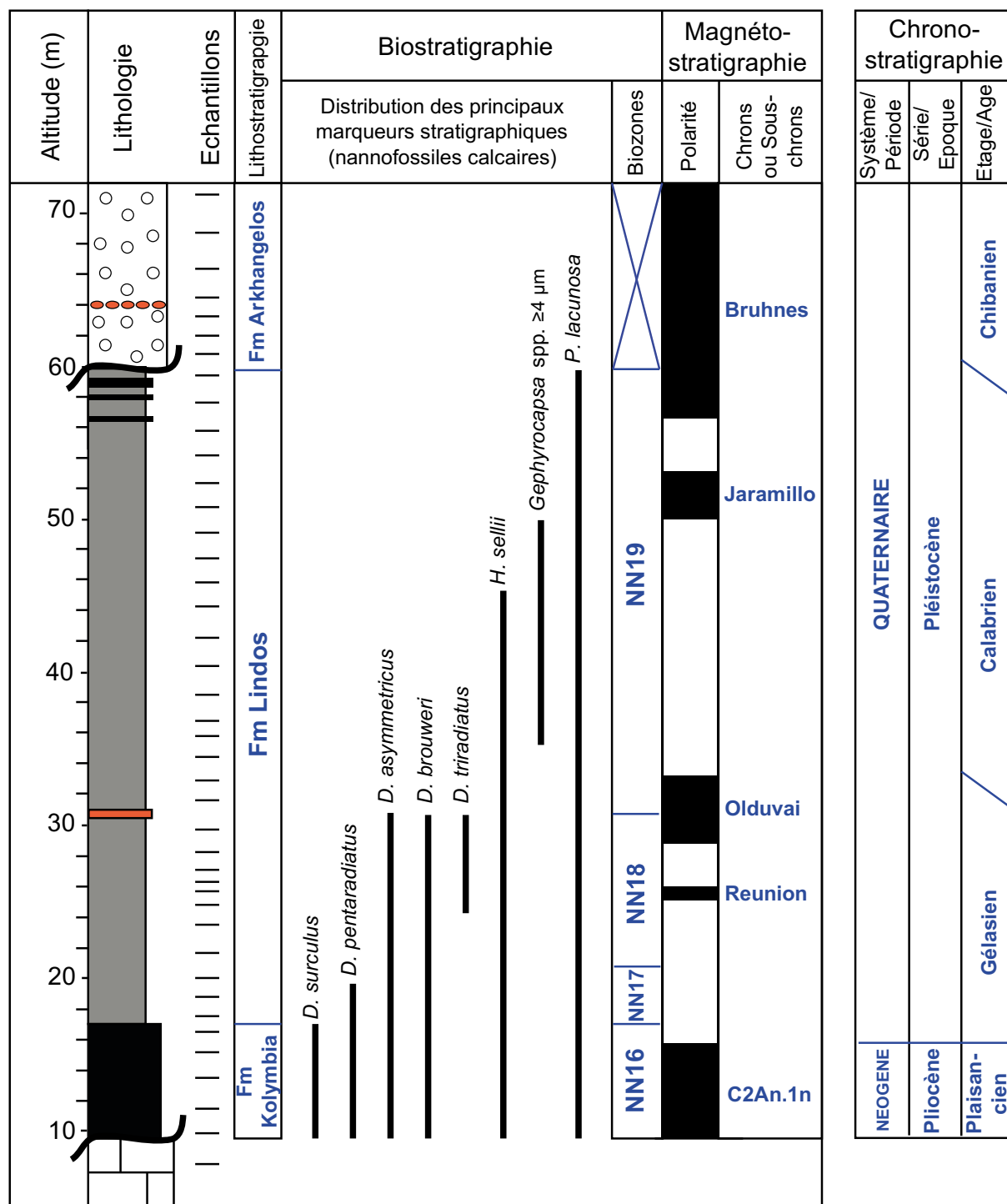


**Figure 19. Log stratigraphique levé dans la baie de Vagia. La figure montre la position des échantillons prélevés (tirets horizontaux) et analysés pour une analyse biostratigraphique**



***basée sur les nannofossiles calcaires et pour une analyse magnétostratigraphique des roches sédimentaires plio-quaternaires qui reposent en discordance sur un socle calcaire éocène. La distribution stratigraphique de quelques espèces de nannofossiles calcaires ainsi que les polarités magnétiques mesurées (normales en noir et inverses en blanc) sont données.***

Correction de la Figure 19 (Questions V.1, V.4, V.7, V.14)



**Question V.1.** D'après la **figure 19**, quelles formations sédimentaires du Plio-Quaternaire de Rhodes listées précédemment affleurent dans la baie de Vagia ? Vous répondrez en localisant les limites de formations dans la colonne « lithostratigraphie » de la **figure 19**.

Réponse à la question V.1. → à réaliser sur la figure 19 [CORRECTION p. 37](#)

Cette question a été globalement bien réussie, une majorité des candidats ayant pu localiser au moins deux des formations attendues.

**Question V.2.** Par une interprétation sédimentologique des formations traversées, précisez l'histoire plio-quaternaire de l'île de Rhodes dans le secteur de la baie de Vagia ?

Réponse à la question V.2.

Le Plio-Quaternaire affleurant dans la baie de Vagia débute par des calcaires néritiques, donc déposés dans un milieu marin peu profond. Il continue par des marnes hémipélagiques, donc déposées dans un milieu marin plus profond. Il se termine par des conglomérats fluviaux, donc déposés dans un milieu continental avec surface érosive marquant l'émersion. Donc le Plio-Quaternaire de Rhodes se caractérise par un cycle transgression-régression (mouvements verticaux d'ennoiment puis de soulèvement lié au tectono-eustatisme dans un contexte d'avant-arc).

Cette question a été bien traitée dans l'ensemble (les deux-tiers des étudiants ont évoqué le cycle transgression-régression).

**Question V.3.** Analysez les photographies de paysage (**figure 20A**) et d'affleurement (**figure 20B**) prises dans la baie de Vagia. Légendez les photos en identifiant les roches et formations sédimentaires de la **Figure 19** présentes sur ces photographies.



Calcaires néritiques, socle éocène

Marnes hémipélagiques,  
Fm Lindos

**Figure 20. Photographies de paysage (A) et d'affleurement (B) de la baie de Vagia. Les tiretés représentent les contacts discordants**

Réponse à la question V.3. → à réaliser sur la figure 20 **CORRECTION** ci-dessus.  
La moitié des candidats a bien identifié les roches et formations attendues. Des candidats ont échoué car ils n'ont pas utilisé les contacts discordants.

Vous disposez en **figure 21** d'un extrait de la charte chronostratigraphique internationale de Gradstein et al. (2020) pour l'intervalle plio-quaternaire. Sur cet extrait, sont données la succession de biozones à nannofossiles calcaires (biozones NN) et les calibrations temporelles de bio-événements d'apparition (FAD = First Appearance Datum) et d'extinction (LAD = Last Appearance Datum) d'espèces de nannofossiles calcaires utilisées pour la biostratigraphie de cet intervalle.

Les nannofossiles calcaires sont ici des coccolithes et des *Discoaster*. Ils sont donc issus d'algues unicellulaires marines (Haptophytes coccolithophoridés).

Limites Chronostratigraphiques				
Système/Période	Série/Epoque	Etage/Age	Biozones	FADs et LADs
Quaternaire	Holocène	0.011 Ma	NN21	
	Pléistocène	Chibanien	NN20	▲ <i>E. huxleyi</i> (0.29 Ma)
				▼ <i>P. lacunosa</i> (0.43 Ma)
		0.774 Ma	NN19	▼ <i>Gephyrocapsa</i> spp. ≥4 μm (1.06 Ma)
		Calabrien		▼ <i>H. sellii</i> (1.24 Ma)
				▲ <i>Gephyrocapsa</i> spp. ≥4 μm (1.71 Ma)
		1.806 Ma	NN18	▼ <i>D. brouweri</i> (1.93 Ma)
		Gélasien		▲ <i>D. triradiatus</i> (2.16 Ma)
			NN17	▼ <i>D. pentaradiatus</i> (2.39 Ma)
Néogène	Pliocène	2.588 Ma	NN16	▼ <i>D. surculus</i> (2.53 Ma)
				▼ <i>D. tamalis</i> (2.74 Ma)
		Plaisancien	NN15	▼ <i>D. tamalis</i> (2.74 Ma)
		3.600 Ma		▼ <i>Sphenolithus</i> spp. (3.61 Ma)
			NN14	▼ <i>R. pseudoumbilicatus</i> (3.82 Ma)
		Zancléen	NN13	▼ <i>A. tricorniculatus</i> (3.93 Ma)
				▲ <i>D. asymmetricus</i> (4.04 Ma)
			NN12	▼ <i>A. primus</i> (4.50 Ma)
		5.333 Ma		▲ <i>C. rugosus</i> (5.08 Ma)

**Figure 21. Extrait de la charte chronostratigraphique internationale (modifié de Gradstein et al., 2020) pour l'intervalle plio-quaternaire. A droite de la figure sont donnés les noms des biozones à nannofossiles calcaires (NN) et les âges d'apparition (FAD = First Appearance Datum) et d'extinction (LAD = Last Appearance Datum) des espèces de nannofossiles calcaires utilisées en tant que marqueurs stratigraphiques pour cet intervalle.**

**Question V.4.** A partir de la distribution stratigraphique des principaux marqueurs de nannofossiles calcaires (**figure 19**) et de la **figure 21**, proposez une interprétation biostratigraphique des sédiments de la baie de Vagia. Vous répondrez sur la **figure 19** en positionnant les limites biozonales et le nom des biozones dans la colonne « biozones ».

Réponse à la question V.4. → à réaliser sur la figure 19 **CORRECTION p. 37.**

Cette question a été correctement ou bien traitée par la moitié des candidats.

**Question V.5.** Deux horizons de tephres sont intercalés dans les sédiments de la baie de Vagia, respectivement à ~30,8 m et ~64 m d'altitude (**figure 19**). Dans le contexte géodynamique de la région (**figure 18B**), proposez une hypothèse sur l'origine de ces tephres.

Réponse à la question V.5.

Les tephres sont des dépôts de cendres volcaniques. Compte-tenu du contexte géodynamique de la région, ces dépôts sont probablement issus du volcanisme de la zone d'arrière arc (e.g., Cyclades).

Cette question a été correctement ou bien traitée par plus de la moitié des candidats.

**Question V.6.** Les datations radiométriques  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  réalisées sur des cristaux d'amphibole et de plagioclase prélevés dans les deux horizons de tephres (localisation sur la **figure 19**) ont révélé un âge identique de  $1.89 \pm 0.09$  Ma (Cornée et al., 2006). Proposez un scénario permettant d'expliquer que l'âge mesuré de ces deux horizons soit identique.

Réponse à la question V.6.

L'horizon à ~30,8 m d'altitude est en place car son âge radiométrique est chronostratigraphiquement compatible avec les observations biostratigraphiques.

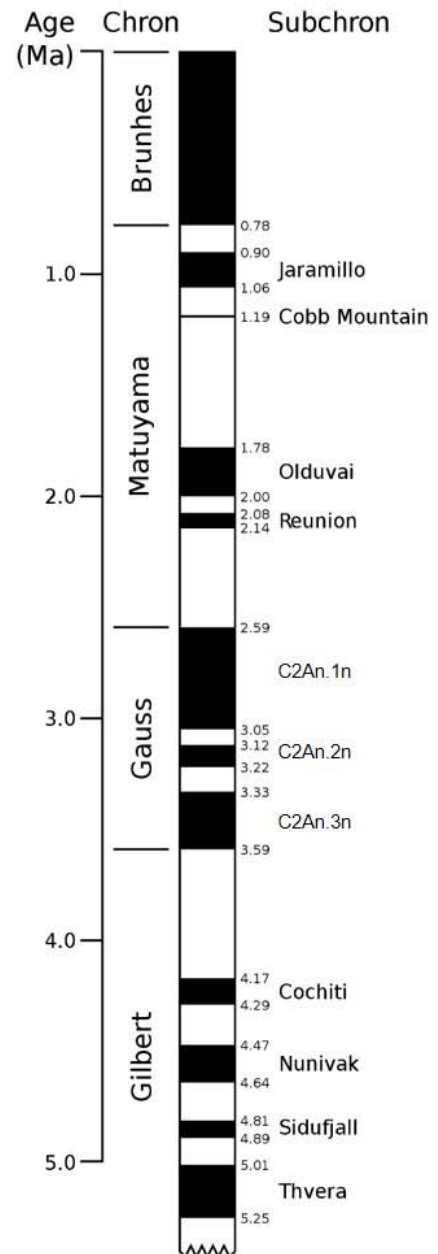
L'horizon à ~64 m d'altitude est remanié car son âge radiométrique est bien plus ancien que les sédiments dans lesquels il est inclus. L'hypothèse du remaniement est compatible avec la lithologie des roches sédimentaires dans lesquelles cet horizon de téphra est intercalé (conglomérats fluviaux). L'horizon de téphra a été à l'émergence plus précocement dans un autre secteur de l'île de Rhodes. Il a été érodé puis transporté dans la baie de Vagia où il s'est redéposé.

L'utilisation du terme "remaniement" était attendu. Une grande majorité des candidats semble avoir été déstabilisée par cette question, qui n'écossait une prise de recul sur les données et de la réflexion. Cette question a donc été peu traitée par les candidats. Moins d'un quart des candidats ont obtenu une note supérieure ou égale à la moyenne.

**Question V.7.** D'après l'échelle des inversions magnétiques du Plio-Quaternaire (**figure 22**) et en considérant que dans une première approximation, le taux d'accumulation (ou taux de sédimentation) des sédiments marins est globalement constant, donnez une interprétation magnétostratigraphique des polarités magnétiques mesurées dans les sédiments de la baie de Vagia. Vous répondrez en indiquant les noms des Chrons et/ou Sous-chrons de polarité magnétique normale dans la colonne « Chrons et Sous-Chrons » de la **figure 19**.

Réponse à la question V.7. → à effectuer sur la figure 19 [CORRECTION p. 37](#)

**Figure 22. Echelle des polarités magnétiques pour les 5 derniers millions d'années (Gradstein et al. 2020). Les polarités magnétiques normales et inverses sont respectivement figurées en noir et en blanc). A droite, sont indiqués les noms des Sous-chrons de polarité normale**





**Question V.8.** Proposez un calcul pour estimer, en  $\text{cm.k.a}^{-1}$  (centimètres par millier d'années), un taux d'accumulation moyen pour l'intervalle sédimentaire de polarité magnétique normale situé entre ~28,8 m et ~33,5 m d'altitude. Vous arrondirez votre résultat à deux décimales.

Réponse à la question V.8.

Un simple calcul était attendu et a été très bien réussi par les candidats qui ont traité cette question (plus de la moitié des candidats n'ont pas réalisé de calcul; ceux qui l'ont réalisé ont quasiment tous obtenu le bon résultat).

Calcul de l'épaisseur de chron magnétique normal (Olduvai) sur le log :  $33,5 - 28,8 = 4,7 \text{ m}$  soit 470 cm.

Calcul de la durée du Chron magnétique de polarité normale (Olduvai) :  $2-1,78 \text{ Ma} = 0,22 \text{ Ma} = 220 \text{ ka}$ .

Calcul du taux d'accumulation :  $470/220 = 2,14 \text{ cm/ka}$

Les sédiments de la baie de Vagia ont livré de nombreux fossiles de *Persististrombus coronatus* (**figure 23**), dont le HO (Highest Occurrence = dernière présence) est historiquement considéré, dans la région méditerranéenne, comme un bon marqueur stratigraphique de la limite Pliocène/Pléistocène.

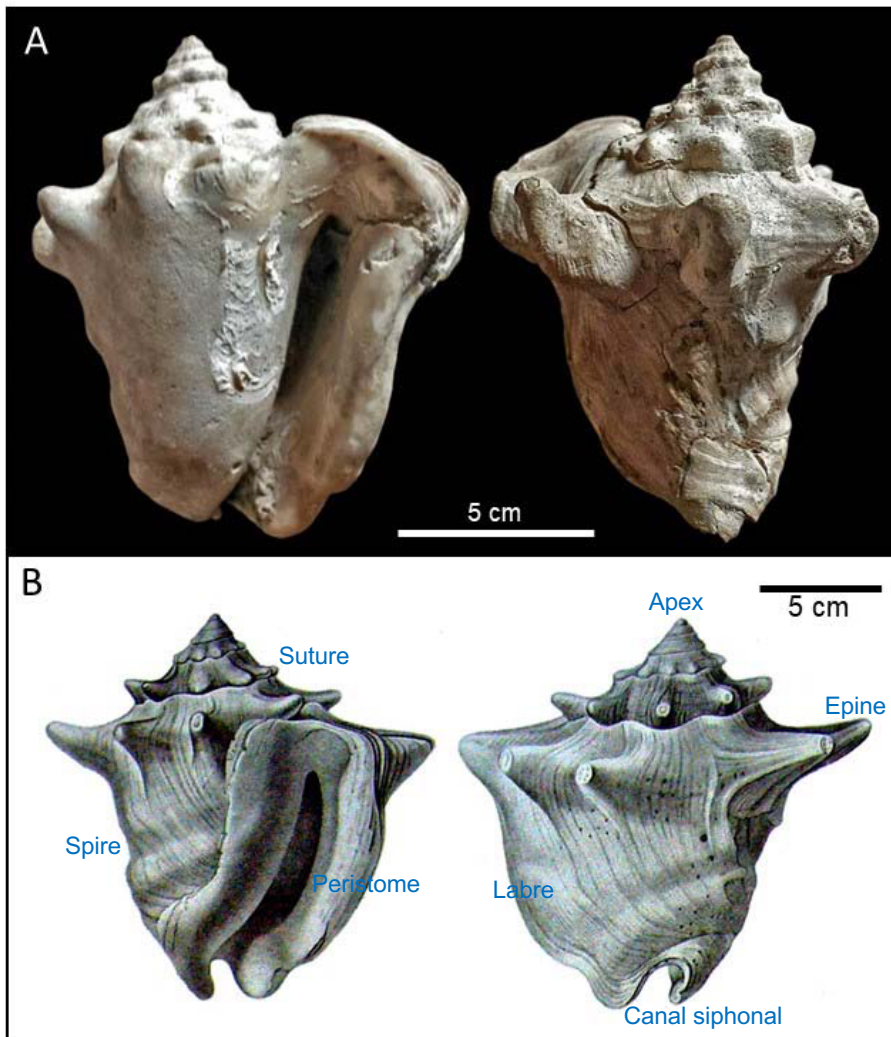


Figure 23. (A) Photographies

*Persististrombus coronatus* en vues ventrale (gauche) et dorsale (droite)

**Question V.9.** Positionnez *P. coronatus* dans la classification (embranchement, classe, ordre) en justifiant votre réponse. Vous légenderez la **figure 23B** à l'aide du vocabulaire de description morphologique approprié.

Réponse à la question V.9.

Coquille trochospirallée de mollusque gastéropode Neogastropoda car la coquille est siphonostome. Voir figure 23 pour la correction des légendes

Une question traitée par une grande majorité des candidats. Le vocabulaire attendu de description de la coquille est souvent insuffisant voir erroné.

**Question V.10.** *Persististrombus coronatus* est présent de façon continue dans les calcaires néritiques et les marnes hémipélagiques plio-quaternaires de la baie de Vagia, jusqu'à l'altitude de ~32 m. En utilisant le résultat de la **question V.8**, proposez un calcul permettant de déterminer l'âge de disparition de *P. coronatus* dans ces sédiments. Discutez de la pertinence d'utiliser *P. coronatus* comme marqueur biostratigraphique de la limite Pliocène/Pléistocène en Méditerranée orientale

Réponse à la question V.10.

Puisque l'horizon de disparition est compris entre ~28,8 m et ~33,5 m d'altitude, il était attendu que les candidats utilisent le taux d'accumulation estimé dans cet intervalle pour calculer l'âge de disparition du taxon.

Calcul de l'épaisseur de sédiments entre la disparition de *Persististrombus coronatus* et la base d'Olduvai :  $32 - 28,8 = 1,2 \text{ m} = 120 \text{ cm}$

Si le taux d'accumulation est de 2,14 cm/ka, alors la durée écoulée entre la base d'Olduvai et la disparition de *P. coronatus* est de  $120 / 2,14 = 56 \text{ ka}$ .

Calcul de l'âge de disparition de *P. coronatus* :

$2.0 - 0,056 = 1,94 \text{ Ma}$

*Persististrombus coronatus* n'est donc pas un bon marqueur stratigraphique de la limite Plio-Pleistocene puisqu'il disparaît à Rhodes bien plus tard que l'âge de cette limite (2.59 Ma).

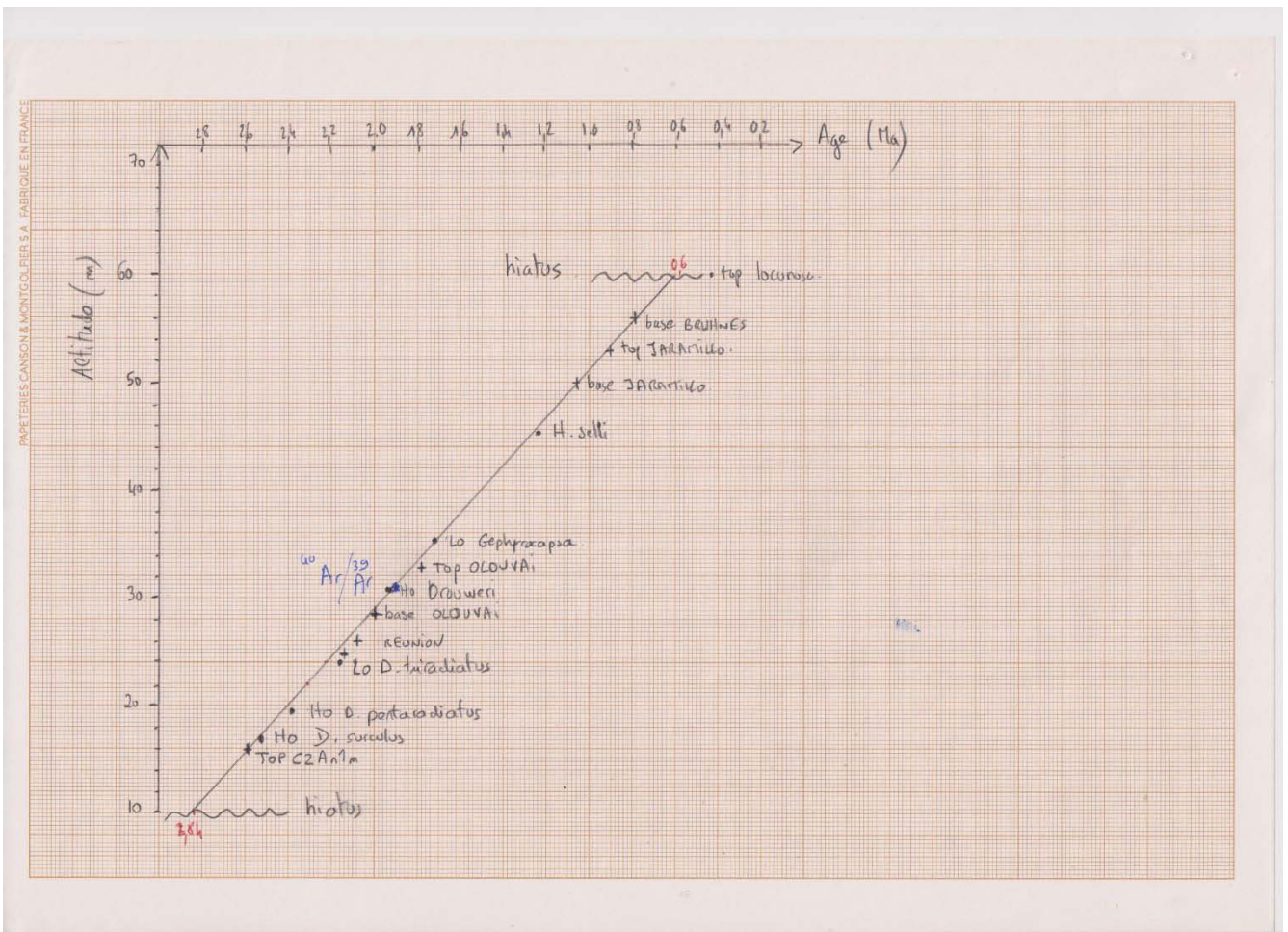
Les candidats ont été déstabilisés par cette question. Moins d'un quart des candidats ont proposé un calcul, et seuls deux d'entre eux ont proposé un résultat cohérent avec la position stratigraphique de l'horizon de disparition du taxon.

**Question V.11.** A partir de l'ensemble des données bio- et magnétostratigraphiques (**figure 19**) et chronologiques (**figures 21 et 22**) dont vous disposez, construisez sur **papier millimétré (feuille A4)** une courbe de sédimentation montrant l'évolution du taux d'accumulation des sédiments plio-quaternaires de la baie de Vagia. Le temps (en Ma) sera représenté en abscisses et l'altitude (en m) en ordonnées.

Réponse à la question V.11. → à effectuer sur la feuille de papier millimétré A4

VOIR CI-DESSOUS.

La construction de cette courbe de sédimentation étant chronophage, seuls 8 candidats ont proposé une réponse. Les candidats ayant répondu à cette question ont construit une courbe de sédimentation sommaire et très partielle, en n'utilisant pour sa construction que quelques points de la magnéto- et/ou bio-stratigraphie.



Courbe de sédimentation montrant l'évolution du taux d'accumulation des sédiments plio-quaternaires de la baie de Vagia (Rhodes), construite à l'aide des données biostratigraphiques (nannofossiles calcaires) (points noirs), magnétostratigraphiques (croix noires) et d'une datation radiométrique d'un niveau de tephra (point bleu). En rouge, âges des plus anciens et des plus récents sédiments marins plio-quaternaires affleurant dans la baie.

**Question V.12.** Déterminez un taux d'accumulation moyen (en  $\text{cm.k.a}^{-1}$ ) représentatif de l'histoire sédimentaire marine du Plio-Quaternaire de la baie de Vagia. Vous donnerez l'âge (en Ma) des plus anciens sédiments plio-quaternaires de la baie de Vagia.

**Réponse à la question V.12.**

Durée de dépôt entre première et dernière donnée chronostratigraphique :  $2,59 - 0,78 = 1,81$  Ma

Epaisseur du dépôt entre ces deux données : 40,5 m

Le taux d'accumulation moyen est de 2,24 cm/ka.

La courbe de sédimentation permet de déterminer que l'âge des plus anciens dépôts plio-quaternaires, dans la baie de Vagia, est de 2,84 Ma.

Pour la plupart, les candidats n'ont pas traité cette question. Deux candidats seulement fournissent une réponse complète et cohérente.

**Question V.13.** Le taux d'accumulation moyen estimé en **question V.12** est-il identique à celui estimé en **question V.8** ? Si non, expliquez la/les raison(s) de la différence.

*Réponse à la question V.13.*

Il y a des différences de facies sédimentaires résultant des mouvements verticaux subis par Rhodes au cours du Plio-Pléistocène → variations de taux d'accumulation. Les taux sont calculés à partir des positions des limites biozonales et des changements de polarité magnétiques. Ces positions sont approximées puisqu'elles dépendent de la résolution de l'échantillonnage (espacement stratigraphique entre échantillons collectés sur le terrain).

Pour la plupart, les candidats n'ont pas traité cette question.

**Question V.14.** Proposez une interprétation chronostratigraphique des sédiments marins plio-quaternaires de la baie de Vagia. Vous présenterez vos résultats dans la **Figure 19** en positionnant les limites chronostratigraphiques dans la colonne « chronostratigraphie ». Expliquez ci-dessous la/les source(s) d'incertitude sur les positions des limites chronostratigraphiques ?

*Réponse à la question V.14. à réaliser sur la figure 19, explications ci-dessous*

**CORRECTION p. 37**

Les incertitudes résultent 1) du nombre d'événements bio- et magnétostratigraphiques calibrés pour l'intervalle de temps représenté par l'épaisseur sédimentaire de la baie de Viaga, et 2) de la résolution de l'échantillonnage (épaisseur entre deux échantillons collectés soit pour la biostratigraphie, soit pour la magnétostratigraphie). Les échantillons ont été collectés avec une résolution variable et parfois de l'ordre de 2 m. Il y a donc une approximation des positions des limites biozonales et des changements de polarités magnétiques.

Pour la plupart, les candidats n'ont pas traité cette question. Deux candidats produisent une interprétation chronostratigraphique complète et cohérente et décrivent explicitement au moins une incertitude sur cette interprétation.

**Question V.15.** En faisant l'hypothèse que l'émersion dans la baie de Vagia est marquée par la première présence de dépôts fluviaux et en considérant les résultats des **questions V.11** et **V.12**, datez cette émigration.

*Réponse à la question V.13.*

Si l'émersion est marquée par la première présence de dépôts fluviaux, elle correspond à la surface érosive située à 60 m d'altitude. Elle est au plus ancien datée à 600 ka (bien qu'il soit plus que probable que des sédiments marins plus récents aient été érodés de part l'absence de facies marins peu profonds entre les marnes hémipélagiques et la surface érosive).

Pour la plupart, les candidats n'ont pas traité cette question. Deux candidats seulement fournissent un âge cohérent pour cette émigration.



## ATELIER 6 : SEDIMENTOLOGIE ET MICROPALÉONTOLOGIE

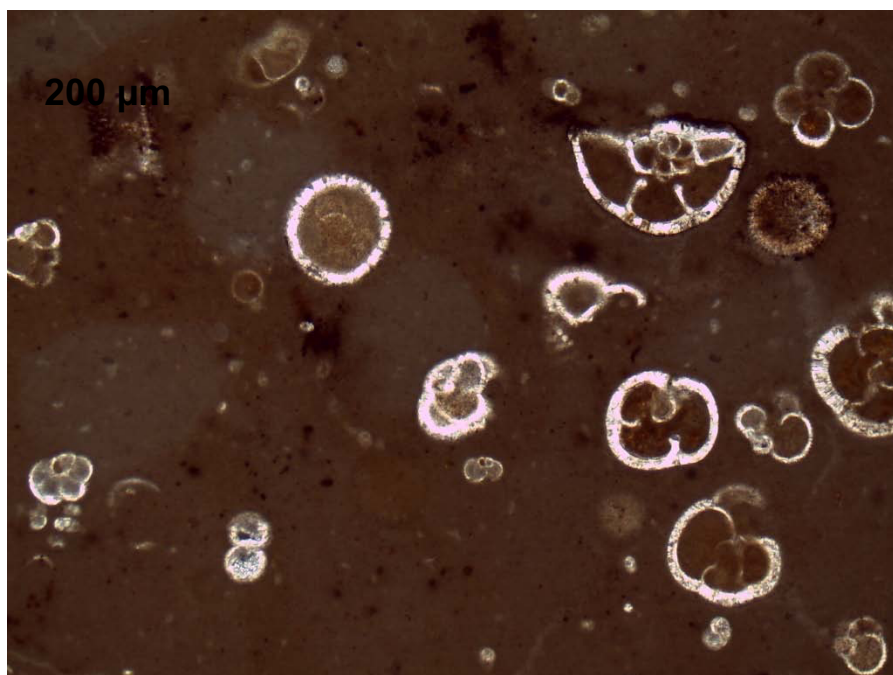
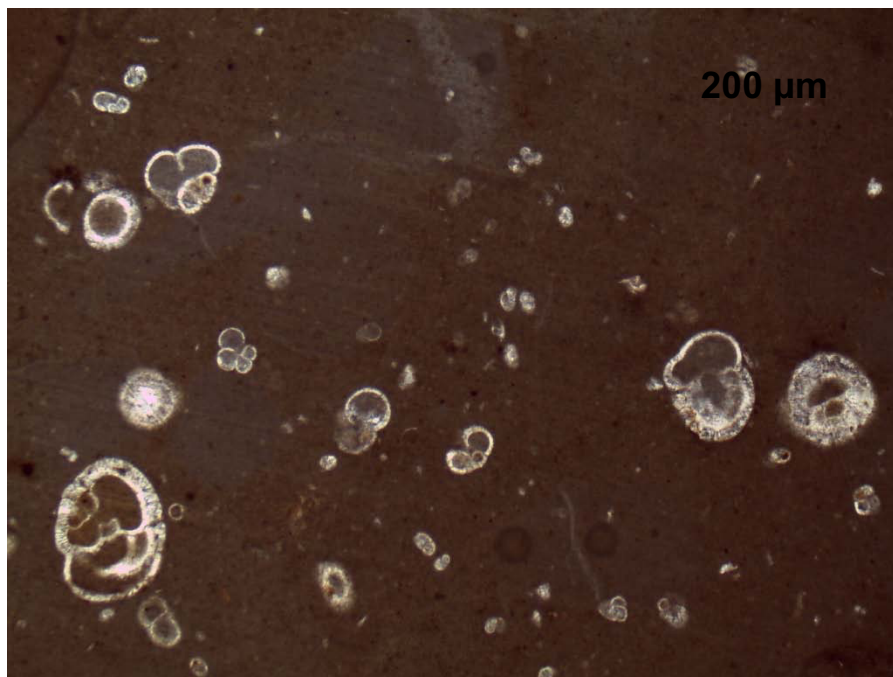
**Question V.16.** Les échantillons A et B sont des lames minces préparées sur des roches échantillonnées dans la baie de Vagia.

- a) Réalisez un dessin d'observation des échantillons A et B,
- b) caractérisez leur microfaciès sédimentaire,
- c) identifiez leur contenu micropaléontologique.

Pour le contenu micropaléontologique, les identifications taxonomiques sont attendues et devront être justifiées par les caractéristiques microstructurales et morphologiques des microfossiles.

*Réponse à la question V.16.*

*Echantillon A*



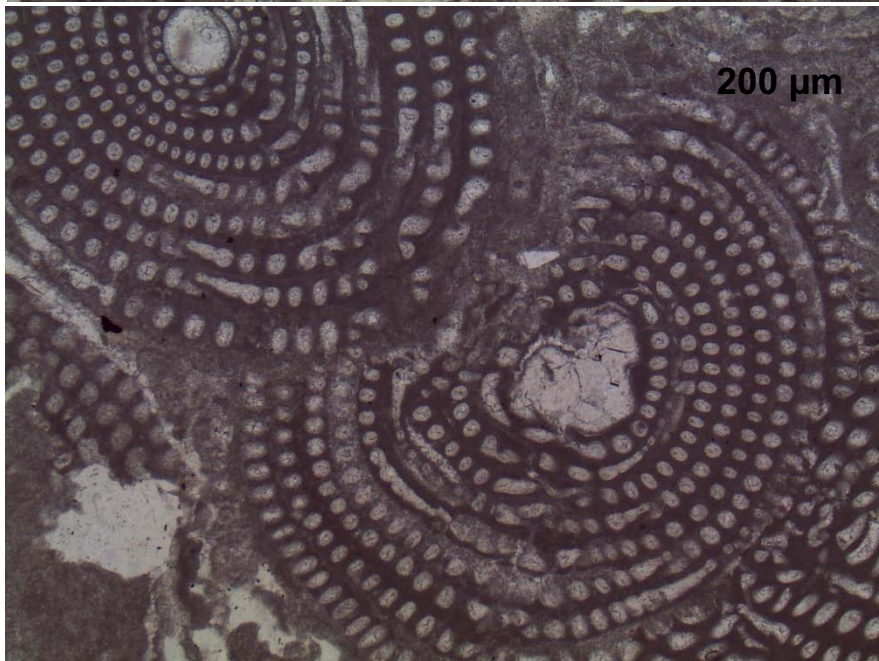
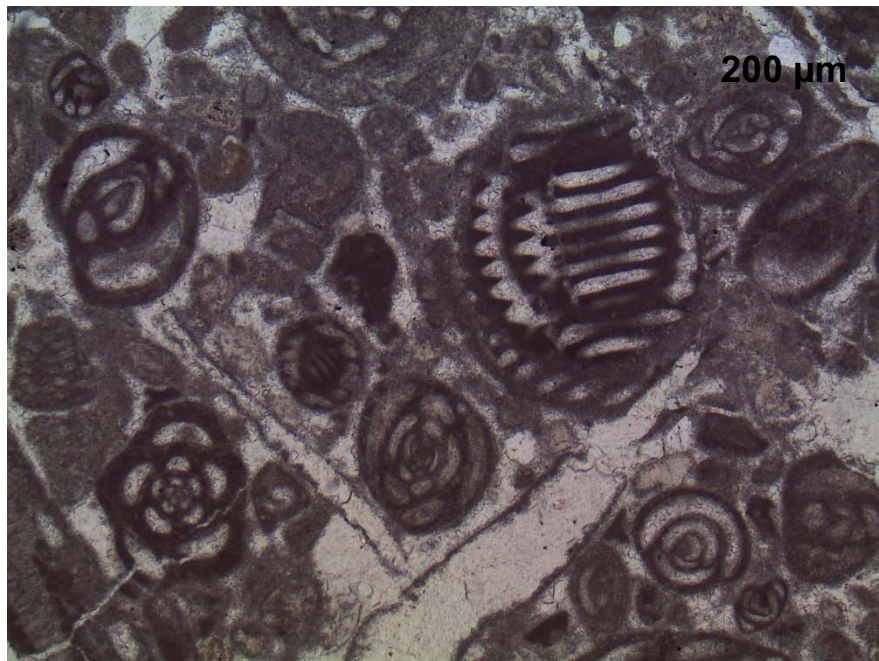
b) Matrice de particules fines (boue) à éléments figurés < 2 mm (microfossiles) non jointifs et avec plus de 90% de boue → Mudstone (ou biomicrite).

c) Microfossiles pluriloculaires à microstructure hyaline et à enroulement trochospiralé, loges globuleuses (globigériniformes) ou comprimées latéralement (globorotaliformes) → foraminifères planctoniques (Globigerinidae et Globorotalidae).

Cette lame est donc un mudstone (ou biomicrite) à foraminifères planctoniques

Réponse à la question V.16 (suite).

Echantillon B



Réponse à la question V.16 (suite).

b) Eléments figurés <2 mm (microfossiles) non liés entre eux, absence de particules fines (boue) servant de matrice et grains sparitiques servant de ciment → Grainstone (ou biosparite).

c) Microfossiles pluriloculaires à microstructure porcelanée (→ foraminifères benthiques) en sections axiales et transversales.

- pelotonnés => Miliolites
- planispiralés involutes à cloisonnettes sub-parallèles (sections axiales) => Alvéolines
- planispiralés évolutés → *Orbitolites* (non visibles sur les photographies de lames ci-dessus)

Cette lame est donc un grainstone (ou biosparite) à foraminifères benthiques

Tous les candidats ont traité cet atelier et plus de la moitié d'entre eux ont plutôt réussi (note supérieure ou égale à la moyenne). Le mudstone à foraminifères planctoniques a été globalement mieux caractérisé que le grainstone à foraminifères benthiques, qui a fait l'objet de beaucoup d'erreurs taxinomiques. Les candidats ont tendance à ne pas justifier les identifications taxinomiques des foraminifères (caractéristiques microstructurales et géométriques). Les dessins d'observation ne rendent que trop rarement compte des microfacies sédimentaires et des caractéristiques microstructurales (microstructures hyaline et porcelanée) et géométriques des foraminifères. Il s'agit trop souvent davantage de schémas que de dessins d'observation.

**Question V.17.** Proposez une position stratigraphique « possible » sur le log stratigraphique de la baie de Vagia (**Figure 19**) pour chacune des deux lames minces A et B. Vous justifierez votre réponse ci-dessous.

Réponse à la question V.17.

LAME A : sédiment carbonaté déposé dans un contexte de mer ouverte au Cénozoïque (présence de Globorotalidae) → Cette lame a été réalisée dans les marnes hémipélagiques de la Formation Lindos.

LAME B => sédiment carbonaté déposé dans un contexte de plate-forme interne (foraminifères benthiques porcelanés) à l'Eocène inférieur (présence d'Alvéolines et d'*Orbitolites*) → cette lame a été réalisée dans le socle calcaire éocène.

Un tiers des candidats a proposé une interprétation paléoenvironnementale cohérente et complète pour le mudstone à foraminifères planctoniques. Si quelques candidats (11) ont bien réussi à positionner le grainstone à foraminifères dans un environnement de dépôt de plate-forme interne, aucun d'entre eux n'a réussi à identifier le socle de l'Eocène inférieur comme seule origine possible.

**Question V.18.** L'analyse des microfossiles planctoniques et benthiques a révélé qu'un maximum bathymétrique de 160 m était enregistré à l'altitude de 29 m pour les sédiments plio-quaternaires de la baie de Vagia. Calculez la vitesse moyenne (en cm.ka<sup>-1</sup>) de soulèvement de l'île de Rhodes au niveau de la baie de Vagia depuis ce maximum bathymétrique.

Réponse à la question V.18.

Amplitude totale du mouvement vertical :  $160 + 29 = 189 \text{ m}$

Age du maximum bathymétrique à 29 m d'altitude : 2.0 Ma

Vitesse du mouvement =  $18900/2000 = 9,45 \text{ cm/ka}$

Pour la plupart, les candidats n'ont pas traité cette question. Trois candidats seulement ont réussi à déterminer une vitesse de soulèvement cohérente.



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

L'épreuve de contre-option de travaux pratiques vise à évaluer des compétences manipulatoires simples, telles qu'accessibles avec le matériel disponible dans le secondaire mais aussi à évaluer la compréhension de techniques plus complexes dont les données sont très souvent proposées aux élèves. Il s'agit aussi de tester des compétences organisationnelles pour réussir à couvrir l'ensemble des questions posées, ce qui a été atteint par les meilleures copies. Enfin, il s'agit de vérifier que les candidats savent manipuler dans les règles d'hygiène et de sécurité qu'ils auront à inculquer à leurs futurs élèves.

Le sujet proposé cette année portait sur la résistance bactérienne aux antibiotiques et aux bactériophages.

Dans une première partie, les candidats devaient produire une coloration de Gram et conclure. L'utilisation du microscope n'est pas toujours optimale avec des objectifs qui ne sont pas adaptés à l'objet observé. De trop nombreux candidats ne savent pas correctement représenter les eubactéries. Dans de nombreuses copies, les différences entre les eubactéries et les cellules eucaryotes, pourtant au programme de seconde, ne sont pas acquises : de nombreuses copies ont présenté par exemple des bactéries contenant des mitochondries. De plus, nous rappelons que, pour qu'un schéma soit pédagogique, l'utilisation des couleurs doit avoir un sens (autre qu'esthétique), et doit s'accompagner d'un titre, de légendes, et d'une échelle.

La seconde partie consistait en une étude enzymatique *in vitro* d'une peptidase bactérienne et de l'effet d'un inhibiteur. La plupart des candidats a réalisé les différentes manipulations proposées ce qui témoigne d'une bonne maîtrise du matériel de laboratoire (en particulier le colorimètre), des conditions de manipulation d'enzymes (en particulier le maintien des enzymes dans de la glace) et des principes de la cinétique. Cependant, bien que les aspects théoriques semblent être maîtrisés par la plupart des candidats, les calculs simples afférents de concentration, vitesse ou activité ont posé beaucoup de problèmes et ont été discriminants, de même que les représentations graphiques qui étaient souvent de mauvaise facture.

Dans une troisième partie, les candidats devaient comparer deux structures enzymatiques en complexe avec un substrat. Cela a permis de discriminer rapidement entre les personnes sachant utiliser le logiciel ou non.

Dans une dernière partie, les candidats devaient interpréter des mécanismes de résistance de bactéries à certains phages. Il est à noter que de nombreux candidats ne semblaient pas connaître l'origine bactérienne du système CRISPR/Cas, et par conséquent ont été pris au dépourvu. Ce qui était attendu n'était pas tant de trouver le mécanisme exact de résistance – bien que certains candidats y soient parvenus – mais surtout dans la description des résultats eux-mêmes qui était parfois imprécise. La différence entre gel dénaturant et non dénaturant n'était pas évidente pour certains.

Le sujet commenté se trouve sur les pages suivantes.

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

CONCOURS EXTERNE – EPREUVES D'ADMISSION – Session 2024

## TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE OPTION DU SECTEUR A

Candidats des secteurs B et C

Durée totale : 2 heures

### Resistance bactérienne aux antibiotiques et au système CRISPR/Cas9

Les 4 parties sont indépendantes :

- **Partie I : Observation de bactéries**  
*Durée conseillée : 30 — barème indicatif : 20 points sur 100*
- **Partie II : Action des antibiotiques**  
*Durée conseillée : 50 — barème indicatif : 40 points sur 100*
- **Partie III : Bétalactamases et résistance aux antibiotiques**  
*Durée conseillée : 20 — barème indicatif : 25 points sur 100*
- **Partie IV : Bactériophage, et résistance au système CRISPR/Cas9**  
*Durée conseillée : 20 — barème indicatif : 15 points sur 100*

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

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

**Une lecture du sujet dans son intégralité est fortement conseillée afin de répartir au mieux son temps de travail entre les différentes parties et les différentes manipulations qui nécessitent parfois des temps d'attente.**

**PRÉAMBULE :**

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

## Partie I : Observation de bactéries

I.A1 — À partir de schémas légendés, comparer une cellule procaryote/eubactérie et une cellule eucaryote au choix. Justifier votre choix. Mettre en évidence les caractéristiques des eubactéries/procaryotes.

Réponse à la question I.A1

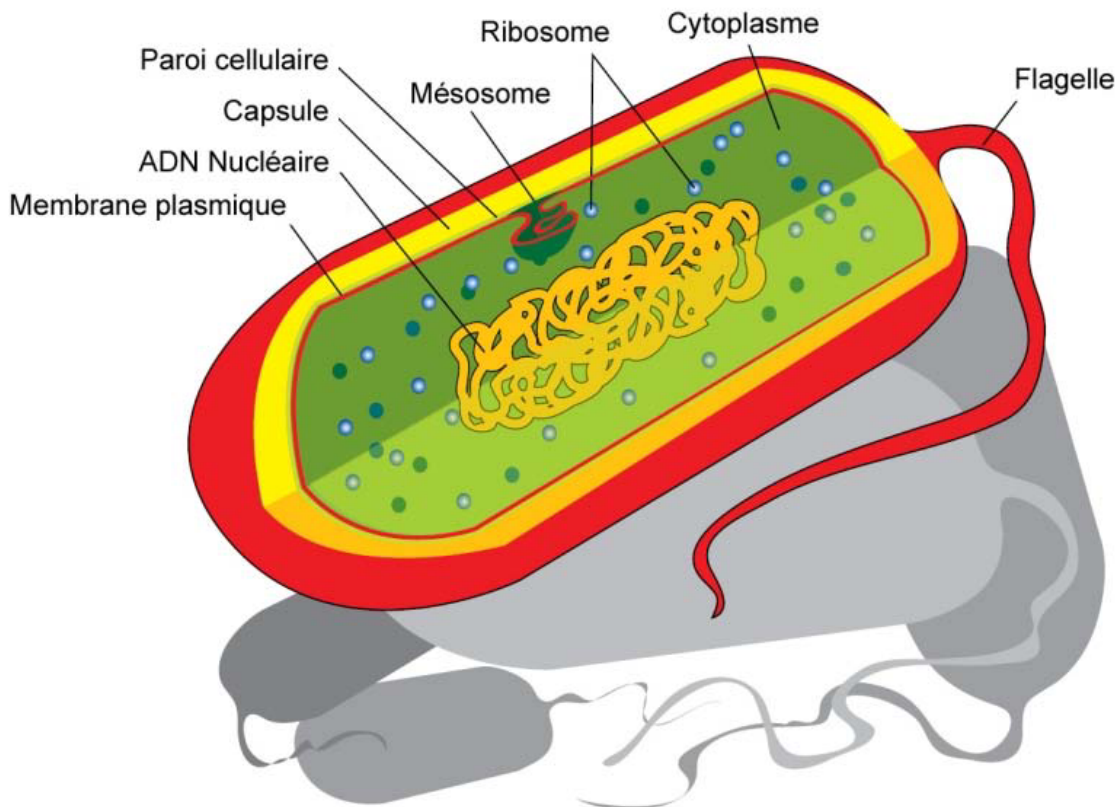
Attendu : absence de noyau et de compartiments

Génome circulaire

Membrane plasmique, paroi

bonus : capsule, ribosome, plasmides, pili/flagelle

Génome enrichi en CpG



Coloration Gram de bactéries présentes dans un yaourt.

**Protocole :**

1. Déposer une goutte de yaourt sur la lame. La goutte doit faire 1 à 2 mm de diamètre.
2. Étaler le prélèvement avec une lamelle, en un film régulier, le plus fin possible.
3. Laisser sécher le frottis à température ambiante (environ 5 min).
4. Recouvrir le frottis sec avec une goutte d'alcool à 90 %. Laisser agir 2 minutes, puis jeter l'excès. Laisser sécher à l'air.
5. Coloration primaire au violet de gentiane : recouvrir le frottis sec fixé par 20 gouttes de violet, en le versant à une extrémité de la lame. Laisser agir 20 secondes très exactement.
6. Laver le violet en l'entraînant avec la solution de lugol. Recommencer le rinçage 3 fois. La lame ne doit jamais rester découverte. Laisser agir 30 secondes à chaque fois.
7. Laver votre pince à l'alcool. Tenir la lame et laver l'envers de la lame à l'alcool. Laver le frottis lui-même à l'alcool, jusqu'à ce que l'alcool qui s'écoule soit incolore. Rincer enfin à l'eau.
8. Recouvrir la lame par une goutte d'eau, puis verser quelques gouttes de safranine aux extrémités de la lame. Le colorant va diffuser.
9. Laisser agir 10 à 20 secondes. Rincer à l'eau grâce à la pissette.
10. Absorber l'excès d'eau sur la lame à partir de papier absorbant. Laisser sécher.
11. Observer.

I.A2 — La coloration de Gram utilisait initialement du Crystal violet, qui a été remplacé par du violet de gentiane. Sur le tube de Crystal violet on pouvait trouver les pictogrammes suivants.

Donner la signification des pictogrammes, et les précautions d'emploi.

Réponse à la question I.A2



Toxicité chronique/ CMR  
(Sensibilisant/effet mortel respiratoire)



Toxique/irritant

\_\_\_\_\_ Gants, lunettes, blouse, lunettes, hôte chimique

I.A3 — Expliquer les différentes étapes de la coloration (voir protocole). Mettre en lien les résultats de coloration avec les structures bactériennes.

Réponse à la question I.A3

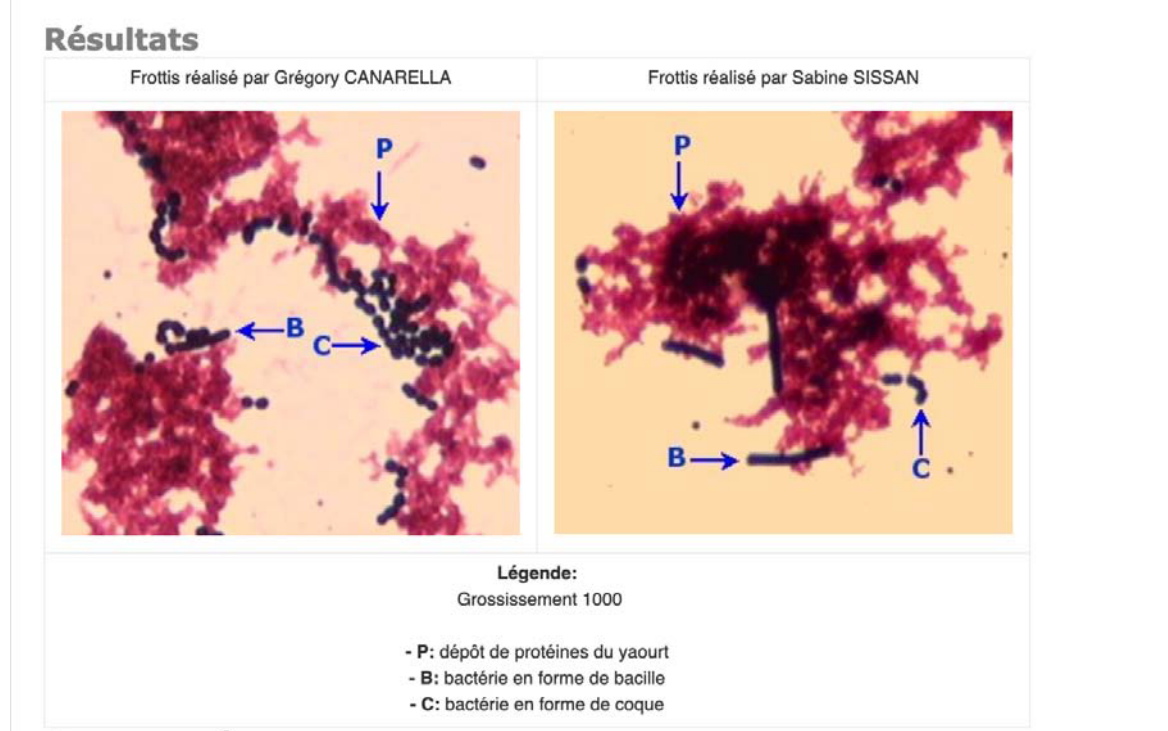
Coloration, fixation avec un mordant, décoloration et une contre-coloration.  
Coloration en lien avec la paroi bactérienne

Effectuer la coloration à partir de yaourt.

I.A4 — Faire un schéma d'observation, et conclure.

Réponse à la question I.A4

Images issues d'internet



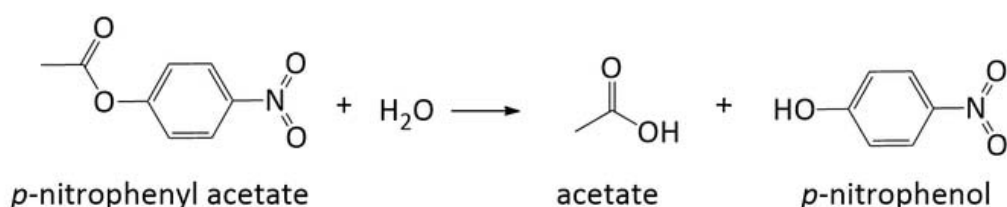
Critères : épaisseur, coloration, grossissement, propreté de la paillasse

**PRESENTER LE SCHEMA ET LA COLORATION AU MEMBRE DU JURY.**

## Partie II : Action des antibiotiques de type pénicillines

L'action antibactérienne des pénicillines provient de l'inhibition des activités des transpeptidases impliquées dans la synthèse du peptidoglycane.

II.A — Le test qui sera mis en œuvre est une mesure spectrophotométrique *in vitro* de l'activité d'une peptidase bactérienne à l'aide d'un substrat artificiel (le paranitrophénylacétate ou pNPA) selon la réaction suivante :



Contrairement au pNPA, le para-nitrophénol (pNP) est un produit coloré (jaune) qui absorbe à 410 nm avec à pH 7,3 un coefficient d'extinction molaire de  $17\,500\text{ M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

II.A1 — Écrire l'équation de Michaelis-Menten et expliquer ce que représentent les paramètres cinétiques  $V_{\max}$  et  $K_M$

Réponse à la question II.A1

$$V_0 = \frac{V_{\max} [S]}{K_m + [S]}$$

$V_{\max}$  = vitesse maximale à concentrations saturantes en substrats

$K_M$  = constante apparente d'affinité pour un substrat



## II.A2 — Donner le principe du test avec le pNPA

### Réponse à la question II.A2

Suivi le l'apparition du produit par l'absorbance, calcul de vitesse de réaction à partir de la pente et du coefficient d'absorption

## II.B — Dosage de l'activité

Vous disposez de :

- une solution de paranitrophénylacétate (pNPA) à 0,02 M en tampon 20 mM Phosphate, pH 7,3 20 % Isopropanol
- une solution enzymatique à 0,06 mM en tampon 20 mM Phosphate, pH 7,3 20 % Isopropanol
- du tampon phosphate 20 mM pH 7,3 20 % isopropanol
- une solution basique appelée solution B
- des cuvettes de 1 mL
- un colorimètre

Voici le protocole que vous aurez à suivre :

Pour un test, mettre successivement dans une cuve pour spectrophotomètre pour un volume final de 1 mL :

- 2 mM de pNPA,
- du tampon,
- Déclencher la réaction par ajout de l'enzyme et déclencher un chronomètre.
- Après 3 minutes de réaction à température ambiante, ajouter 100  $\mu$ L de solution B pour stopper la réaction enzymatique, homogénéiser les mélanges et mesurer l'absorbance à 410 nm à l'aide du colorimètre.

Faire le test avec 0,3 et 0,6  $\mu$ M d'enzyme, et faire un blanc sans enzyme.

II.B1 — Calculer les volumes de pNPA, d'enzyme et de tampon à utiliser pour les différents essais :

Réponse à la question II.B1

3 essais : blanc, E1, E2

Blanc : 10  $\mu\text{L}$  pNPA, 890  $\mu\text{L}$  tampon

Enzyme 0,3  $\mu\text{M}$  : 10  $\mu\text{L}$  pNPA, 5  $\mu\text{L}$  d'enzyme, 885  $\mu\text{L}$  tampon

Enzyme 0,6  $\mu\text{M}$  : 10  $\mu\text{L}$  pNPA, 10  $\mu\text{L}$  d'enzyme, 880  $\mu\text{L}$  tampon

Critères : Explication des calculs réalisés

II.B2 — Reporter les valeurs de DO mesurées, commenter :

Réponse à la question II.B2

3 essais : blanc, E1, E2

E1 : 0,1

E2 : 0,2

Critères : Valeurs cohérentes avec les calculs présentés. La valeur double avec le doublement de la quantité d'enzyme

APPELER UN SURVEILLANT POUR LUI MONTRER VOS CUVES ET VOS RÉPONSES.

II.B3 — Calculer l'activité de l'enzyme en  $\mu\text{mole de produit formé/min}/\mu\text{mol d'enzyme}$ , en considérant que la cinétique est linéaire sur les 3 premières minutes :

Réponse à la question II.B3

(Pente — blanc)/17500/3/conc en enzyme = 0,06

Critère : L'important n'est pas tant la valeur de l'activité mais la cohérence entre les résultats validés par un surveillant et le calcul présenté.

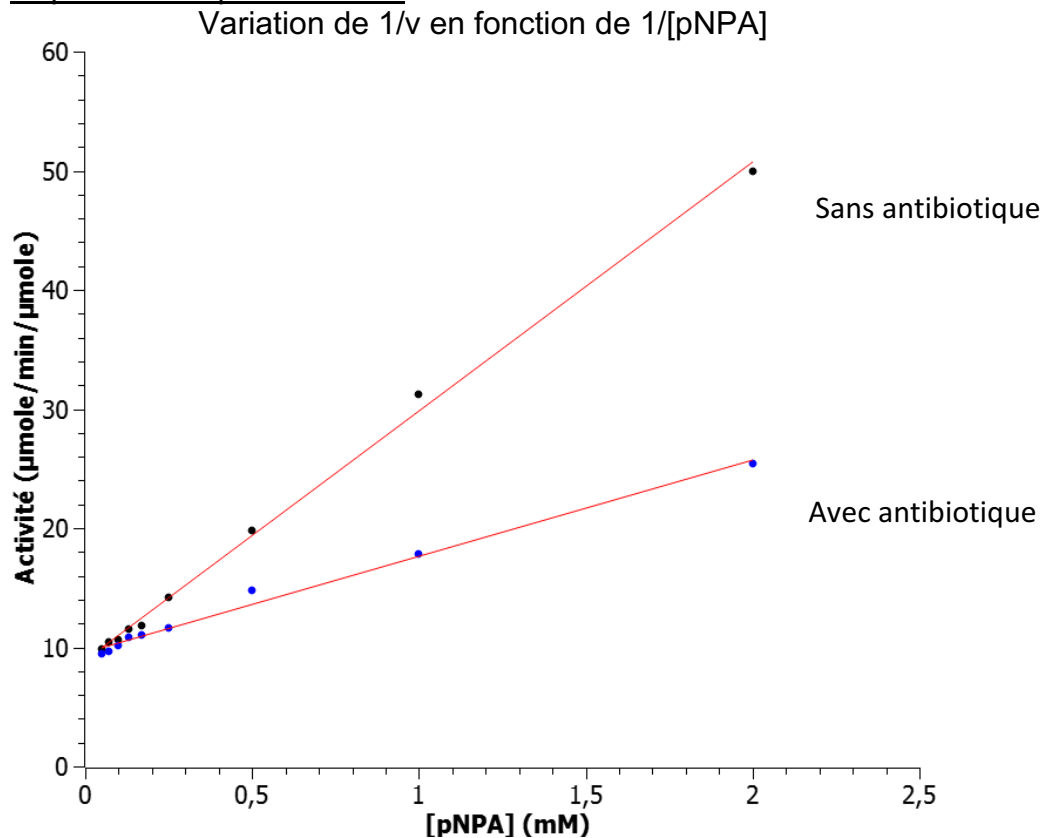
II.C — Détermination des paramètres cinétiques en absence et présence d'un inhibiteur

Les valeurs de vitesse mesurées pour différentes concentrations en pNPA en absence et présence d'un antibiotique de type pénicilline sont données dans le tableau ci-dessous sous la forme de leurs inverses. Les concentrations en pNPA sont en mM, les vitesses initiales en  $\mu\text{mole/min}/\mu\text{mole d'enzyme}$ .

	Sans antibiotique	Avec antibiotique
1/ [pNPA]	1/v	1/v
2	25,4	50
1	17,8	31,25
0,5	14,8	19,8
0,25	11,6	14,2
0,17	11	11,8
0,13	10,8	11,5
0,1	10,1	10,6
0,07	9,7	10,4
0,05	9,5	9,9

II.C1 — Tracer les courbes  $1/v$  en fonction de  $1/[pNPA]$  en absence et présence d'antibiotique, décrire l'allure de la courbe.

Réponse à la question II.C1



Critères importants : Titre du graphique, titre des axes, unités, échelle utilisée.  
Les courbes ont toutes les deux un profil linéaire comme montré par le tracé des droites (tracés pas obligatoires mais représentent un plus)

II.C2 — Calculer la valeur des paramètres cinétiques en absence d'antibiotique ( $V_{\max}$  et  $K_M$ ) et en présence d'antibiotique ( $V'_{\max}$  et  $K'_M$ ).

Réponse à la question II.C2

Critère : Calcul attendu à partir des courbes, équation des droites : A expliquer :  
Valeur de vitesse à l'origine correspond à  $1/V_{\max}$ , et valeur de  $1/[pNPA]$  pour  $1/v$  nul correspond à  $-1/K_M$ ,

$V_{\max} = 0,1 \text{ } \mu\text{mole/min}/\mu\text{mole}$

$K_M = 0,84 \text{ mM}$

$V'_{\max} = 0,1 \text{ } \mu\text{mole/min}/\mu\text{mole}$

$K'_M = 2,35 \text{ mM}$

II.C3 — Déterminer à partir des données précédentes le type d'inhibiteur de cet antibiotique

Réponse à la question II.C3

$V_{\max} \sim V'_{\max}$  et  $K_M < K'_M \rightarrow$  Inhibiteur compétitif

### Partie III : Beta-lactamases et résistance aux antibiotiques

Les beta-lactamases sont des enzymes bactériennes responsables de la résistance à de nombreux antibiotiques tels que la pénicilline.

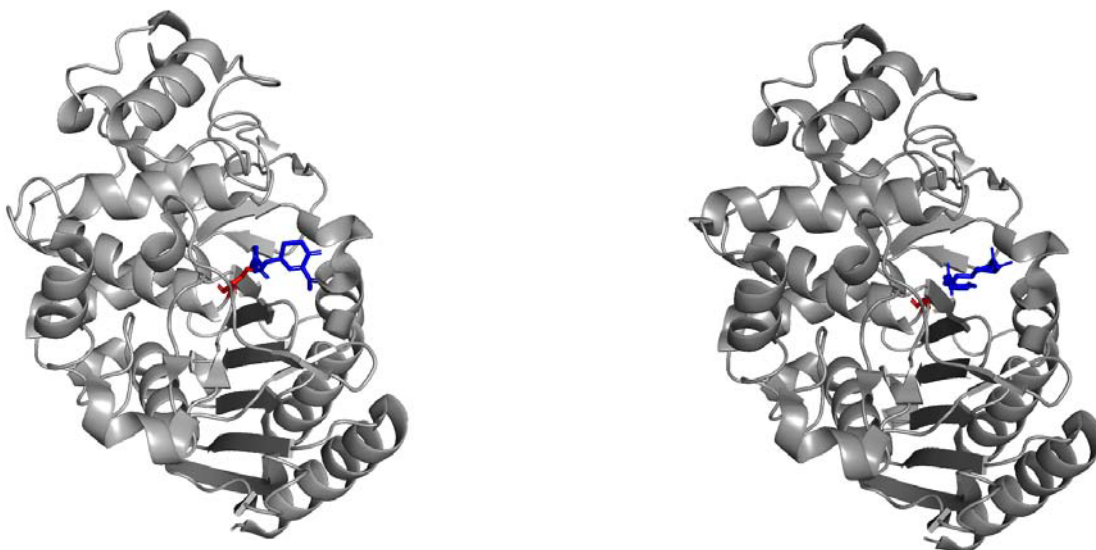
Vous disposez de deux structures tridimensionnelles de la beta-lactamase d'*Escherichia coli* (la forme native 1 kvm, et le variant inactif S64G 1 kvl). Ces structures ont été obtenues en présence d'analogues de substrat ne pouvant pas être hydrolysées afin de mimer la structure du complexe enzyme/substrat.

#### III.A — Observation des complexes beta-lactamase/analogue de substrat

Pour chaque fichier :

- Ouvrir le fichier sur Libmol
- Effacer la chaîne A.
- Représenter la chaîne B sous forme ruban (**en gris**).
- Représenter la chaîne latérale de l'acide aminé 64 **en rouge**.
- Colorer **en bleu** l'analogue de substrat sous forme bâtonnet (appelé CEO pour 1 kvm, et THN pour 1 kvl).
- Orienter les deux molécules pour favoriser leur comparaison.

**APPELER L'EXAMINATEUR POUR LUI MONTRER LES DEUX MOLECULES.**



Question III.B — À partir de votre observation des deux structures et en considérant que les deux substrats sont identiques (en première approximation) expliquer pourquoi le variant S64G n'est plus fonctionnel. Un schéma peut être présenté et discuté pour justifier votre réponse.

Réponse à la question III.B

Décrire l'interaction chaîne latérale / substrat

Impact sur l'orientation et la déformation du substrat



## Partie IV : Bactériophage, et résistance au système CRISPR/Cas9

VI.A — À partir d'un schéma, décrire la structure d'un virus bactérien (bactériophage) au choix. Définir et schématiser ce que sont les cycles lytiques et lysogéniques des bactériophages.

Réponse à la question IV.A

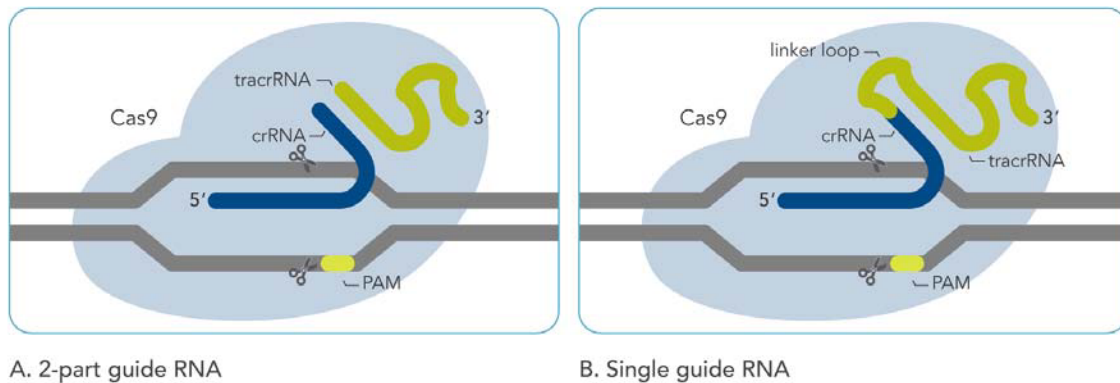
Présentation du phage T4 attendue (au programme)  
Notion de Cycles lytique et lysogénique

VI.B — Certaines bactéries expriment un système de défense contre les virus appelé CRISPR/Cas9.

Décrire ce système CRISPR/Cas9 et son fonctionnement.

À l'aide d'un schéma, vous insisterez sur la structure de l'ARN guide, vous présenterez le rôle de la séquence PAM, et indiquerez l'effet de CRIPR/Cas9 sur l'ADN bactérien.

Réponse à la question IV.B



Système de clivage d'ADN génomique double brin

ARN guide (crRNA) hybride la séquence d'ADN ciblée

tracrRNA nécessaire à la maturation du pré-crRNA

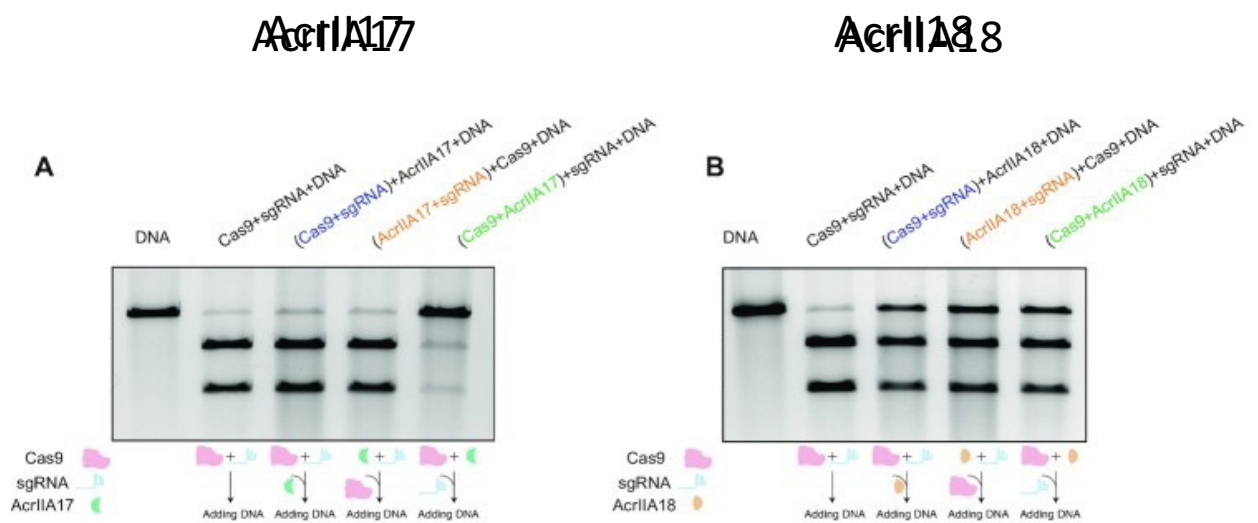
Double clivage – séquence PAM ciblée sur l'autre brin d'ADN

#### IV.C – Résistance au système CRISPR/Cas9

Certaines bactéries ont développé des systèmes d'échappement au système CRISPR/Cas9. Nous étudions ici deux inhibiteurs appelés AcrIIA17 et AcrIIA18.

A/ B. De l'ADN bactérien synthétique est mis en présence de Cas9, d'ARN guide (sgRNA) et d'inhibiteur pendant 1 heure. Quand les noms des molécules sont présentés entre parenthèse, les éléments sont préincubés avant l'expérience.

Le produit est déposé sur gel d'agarose contenant du Bromure d'éthidium (BET) et séparé par électrophorèse (seul l'ADN bactérien est observable).



IV.C1 — Discuter l'efficacité anti CRISP/Cas9 de ces deux protéines. Préciser l'étape où ces protéines semblent intervenir, et justifier votre réponse en présentant votre raisonnement.

Réponse à la question IV.C1

AcrII17 est plus efficace dans l'inhibition du clivage d'ADN bactérien

AcrII17 n'est efficace que quand il est préincubé avec Cas9 – hypothèse : formation d'un complexe empêchant le lien avec l'ARN et/ou l'ADN

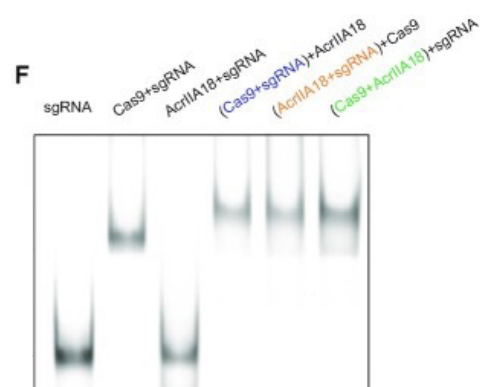
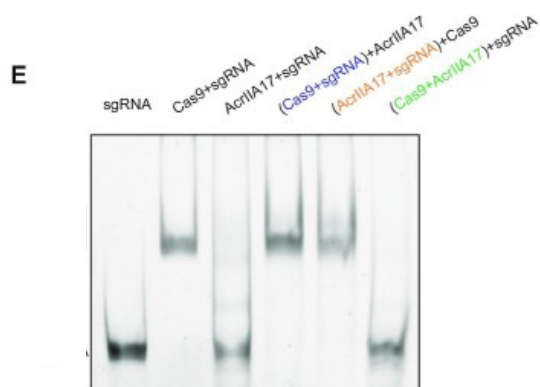
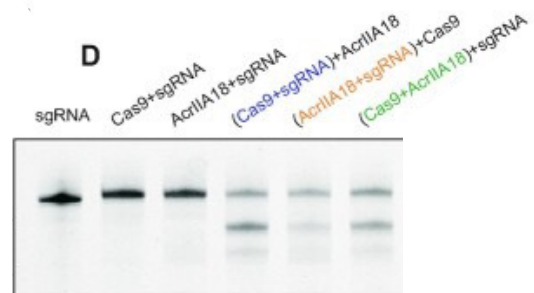
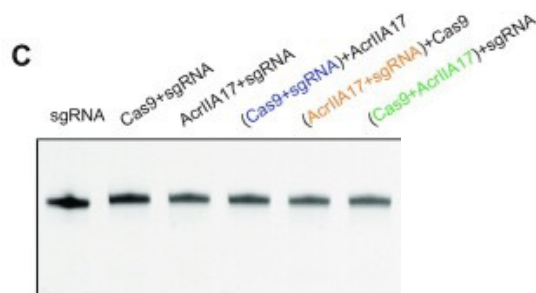
AcrII18 est efficace quel que soit l'ordre d'incubation – hypothèses multiples possible (inhibiteur non compétitif, changement conformationnel, etc)

C/ D. Un ARN guide est incubé en présence des différents éléments (les préincubations sont présentées entre parenthèses), puis soumis à électrophorèse dans un gel dénaturant.

E/ F. Un ARN guide est incubé en présence des différents éléments (préincubé ou non), puis soumis à électrophorèse dans un gel non-dénaturant.

### AcrIIA17

### AcrIIA18



IV.C.2 — Décrire chacune des figures, expliquer et justifier le mécanisme d'action de ces inhibiteurs.

### Réponses à la question IV.C2

C/D démontre l'intégrité de l'ARNsg

E/F étudie les complexes protéine-ARN / retard sur gel

### Mécanisme d'action de AcrIIA17

Pas de liaison à l'ARNsg

L'ARN guide n'est pas clivée

Une fois lié à Cas9, le complexe ne peut plus charger l'ARNsg.

### Mécanisme d'action de AcrIIA18

Pas de liaison à l'ARNsg

Le complexe Cas9/RNAsg/AcrII18 est stable

En présence de AcrIIA18, l'ARNGuide est clivé



## 5.5 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur B : Sujet et commentaires

L'épreuve de travaux pratiques de contre-option de secteur b portait sur l'étude de quelques organismes domestiqués. L'objectif était à la fois d'abord des aspects variés du programme (organisation et croissance des embryophytes, mise en réserve, analyse d'un arbre phylogénétique ou génétique des organismes diploïdes) ainsi que des compétences diverses comme la réalisation de coupes histologiques, avec ou sans coloration, le suivi de protocoles expérimentaux ou la présentation de résultats et leur analyse.

Cette année encore, une grande liberté a été laissée aux candidats pour présenter et valoriser leur exploitation du matériel biologique fourni.

La première partie s'appuyait sur l'étude d'une asperge, afin de caractériser la nature de l'échantillon à l'échelle macroscopique puis microscopique. L'étude d'un arbre phylogénétique permettait d'identifier les liens de parenté avec les espèces sauvages qui peuvent être considérés comme des ancêtres sauvages probables de l'asperge domestiquée.

La seconde partie s'intéressait aux modifications de la carotte qui ont été sélectionnées par rapport à la forme sauvage. Après une comparaison morpho-anatomique, le sujet permettait de s'intéresser à une diversité existante chez les carottes domestiquées, notamment sur les couleurs et de s'intéresser à l'origine de cette couleur et à d'autres caractères comme la teneur en sucres réducteurs. La dernière partie de cette étude proposait une approche génétique de la transmission de la couleur du cortex et de l'épiderme.

La dernière partie consistait à la reconnaissance d'espèces domestiquées ou de leur ancêtre sauvage probable et l'identification de quelques traits de caractères sélectionnés. La reconnaissance de quelques hybrides était l'occasion de raisonner sur les parents probables utilisés lors de cette hybridation.

Les échantillons choisis étaient pour la plupart des organismes courants de l'alimentation afin de rappeler que la formation en sciences de la vie doit s'appuyer aussi sur des organismes vus au quotidien par les élèves et tout citoyen. La culture naturaliste implique aussi ce qui se passe dans la sphère d'intérêt de proximité.

### 5.5.1 Présentation détaillée de l'épreuve et commentaires du jury

#### **Première partie**

Si la reconnaissance de l'asperge comme une tige portant un bourgeon terminal n'a pas posé de grandes difficultés, il est plus surprenant de voir le faible nombre de légende et l'emploi limité d'un vocabulaire scientifique dans l'étude d'un méristème, ce terme par exemple ne figurant dans moins de la moitié des copies. Il semble important de rappeler que la croissance implique non seulement une multiplication de cellules dans la zone de mérése, mais aussi une auxèse qui se voyait sans ambiguïté sur les coupes longitudinales fournies.

Dans les points positifs, les attentes concernant la réalisation d'un dessin d'observation sont bien connues des candidats.

L'analyse d'un arbre phylogénétique a été très peu réalisée. Les rares candidats qui ont répondu se sont contentés de citer un lieu ou une espèce pour toute réponse, sans la moindre argumentation. Il paraît nécessaire de rappeler qu'en sciences, les réponses affirmer sans preuves n'ont aucune valeur, puisque les sciences se construisent sur la base d'une argumentation et l'exercice d'un esprit critique. Une minorité de candidats se sont ainsi intéressés à la robustesse des résultats présentés par exemple. Cinq candidats seulement ont initié une analyse sur cette question alors que les arbres phylogénétiques sont devenus des représentations courantes utilisées aussi bien dans l'enseignement secondaire que dans l'enseignement supérieur.

## **Deuxième partie**

Les candidats ont globalement su présenter de manière comparative les échantillons. Encore une fois, la surprise du jury au cours de cette épreuve est la faible maîtrise du vocabulaire scientifique. Ainsi, presque tous les candidats ont considéré les pétioles des fanes des carottes comme des tiges, et les folioles comme des feuilles.

Sur les coupes, les tissus sont rarement reconnus et le lien entre la faible teneur en tissus lignifiés et le fait que les tissus secondaires jouent un rôle de réserve ne semble pas compris par les candidats. Les figurés conventionnels sont inégalement maîtrisés, le jury a valorisé toute légende correcte, même si le figuré n'était pas approprié.

Les candidats ont correctement réalisé les mesures de la teneur en glucose dans les trois échantillons, en prenant généralement soin de mettre le même volume de carotte dans un même volume d'eau. La localisation des pigments n'a que rarement été réalisée à l'échelle tissulaire et cellulaire, alors que les coupes demandées permettent de localiser les chromoplastes riches en caroténoïdes ou les vacuoles contenant les flavonoïdes pour les carottes violettes. Les candidats doivent bien gérer leur temps afin de réaliser l'ensemble des exercices. Pour rappel, plus de 70 % des points sont répartis sur les manipulations, observations et les analyses associées. Il est donc fortement conseillé aux candidats de réaliser l'ensemble des manipulations et de présenter les résultats, tout en les analysant, dans le temps imparti.

Il était attendu dans l'exercice de génétique de savoir poser les bases d'une analyse, notamment en respectant des conventions d'écriture. Il est étonnant de ne pas voir de nomenclature proposée pour les allèles étudiés, de ne pas voir de génotype entre parenthèses ni de phénotype entre crochets. L'analyse permettait d'identifier le caractère dominant ou récessif pour les couleurs, seuls quatre candidats sont allés jusque-là. Les exercices de génétique sont des incontournables du cycle terminal du lycée et des premières années de l'enseignement supérieur en sciences de la vie, il est vraiment peu compréhensible que ces acquis des premières années de formation ne soient pas mobilisés.

La reconnaissance des échantillons a été surprenante, ce qui interroge sur la culture naturaliste des candidats. Il est surprenant qu'un pamplemousse reçoive un nom aussi exotique que mangue ou qu'un pied de colza soit identifié comme un membre de la famille des Fabacées ou des Orchidacées par plusieurs candidats. Le blé et la téosinte, dont les histoires évolutives sont explicitement au programme, ne sont pas reconnus par les candidats la plupart du temps. Pour les hybrides, tout parent probable pertinent ou cohérent proposé par un candidat a été valorisé. La culture naturaliste commence manifestement dès lors que l'on fait ses courses. Cela semble un point crucial de la formation des candidats, une grande partie des élèves vivant en milieu rural, leur contact avec la biodiversité passe aussi par ce qu'ils consomment et il serait surprenant qu'un enseignant agrégé en sciences de la vie et de la Terre ne soit pas capable de reconnaître et d'analyser un échantillon disponible couramment dans le commerce.

## **Conclusion**

Ce sujet, qui ne posait pas de difficultés particulières, a été l'occasion de remobiliser des connaissances et des compétences fondamentales pour un enseignement en sciences de la vie et de la Terre. Il a été très discriminant et il permet de rappeler que la culture naturaliste n'implique pas que la connaissance de taxons originaux ou rares mais passe aussi par la connaissance des organismes les plus courants.

Remarque : pour des raisons de pagination le sujet présenté ci-après qui inclue des éléments de correction ou des productions de candidats a été repaginé.

## AGRÉGATION DE SCIENCES DE LA VIE – SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

**CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2024**

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

**Durée totale : 2 heures**

### **Les organismes domestiqués**

Ce TP est organisé en **trois parties indépendantes**. Les parties I et II contiennent des manipulations, prévoyez donc votre **organisation en conséquence**. Un planning de passage est prévu pour la partie III concernant des reconnaissances.

<b>Partie I : Les asperges, des plantes domestiquées (durée conseillée : 35 minutes)</b>	<b>2</b>
1.1.Légende d'une asperge	2
1.2.Observation d'une coupe longitudinale de l'apex (coupe du commerce notée A2)	2
1.3.L'origine évolutive des asperges	3
<b>Partie II. Les caractères sélectionnés chez les carottes</b>	<b>6</b>
2.1. Comparaison morphologique d'une carotte sauvage et d'une carotte cultivée	6
2.2. Comparaison anatomique des deux plants : <b>attention au temps d'attente dans la coloration</b> )	7
2.3. Comparaison de 3 variétés de carottes.	8
2.4. La génétique de la couleur des carottes.	8
<b>Partie III. Reconnaissance de quelques espèces domestiquées ou de leur ancêtre sauvage probable.</b>	<b>10</b>

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 « **Appeler le jury pour vérifier ...** » soumettez votre travail à un examinateur » vous invite ainsi à présenter sur votre paillasse vos croquis et autres analyses par écrit sur des feuilles blanches mises à votre disposition puis à appeler un examinateur.

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

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

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

**Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier.**

## Légende d'une asperge

Présenter, selon la méthode de votre choix (dessin d'observation, étiquettes,...) la structure du turion d'asperge fourni (noté **échantillon A1**).

**Appeler le jury pour vérifier la présentation**

Identification des phytomères, du bourgeon terminal, des ébauches de feuilles sur la tige.



## Observation d'une coupe longitudinale de l'apex ( notée A2)

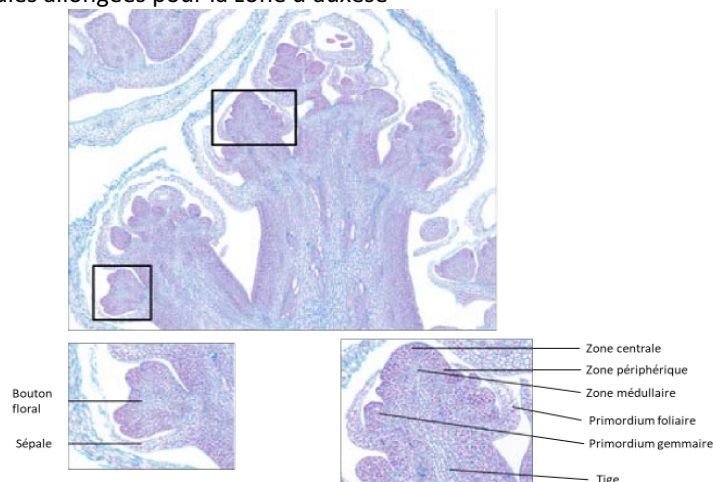
Réaliser un dessin d'observation mettant en évidence les structures et mécanismes impliquées dans la croissance en longueur de l'échantillon

**Appeler le jury pour vérifier l'adéquation entre vos dessins et les observations**

Identification d'un méristème apical caulinaire et d'une zone d'auxèse

Légendes attendues sur le MAC : zone médullaire, zone périphérique et zone centrale. Primordium foliaire, primordium gemmaire, ébauche foliaire, phytomère.

Identification de cellules allongées pour la zone d'auxèse



Observation d'une coupe longitudinale de bourgeon d'Asperge au microscope optique (x100)

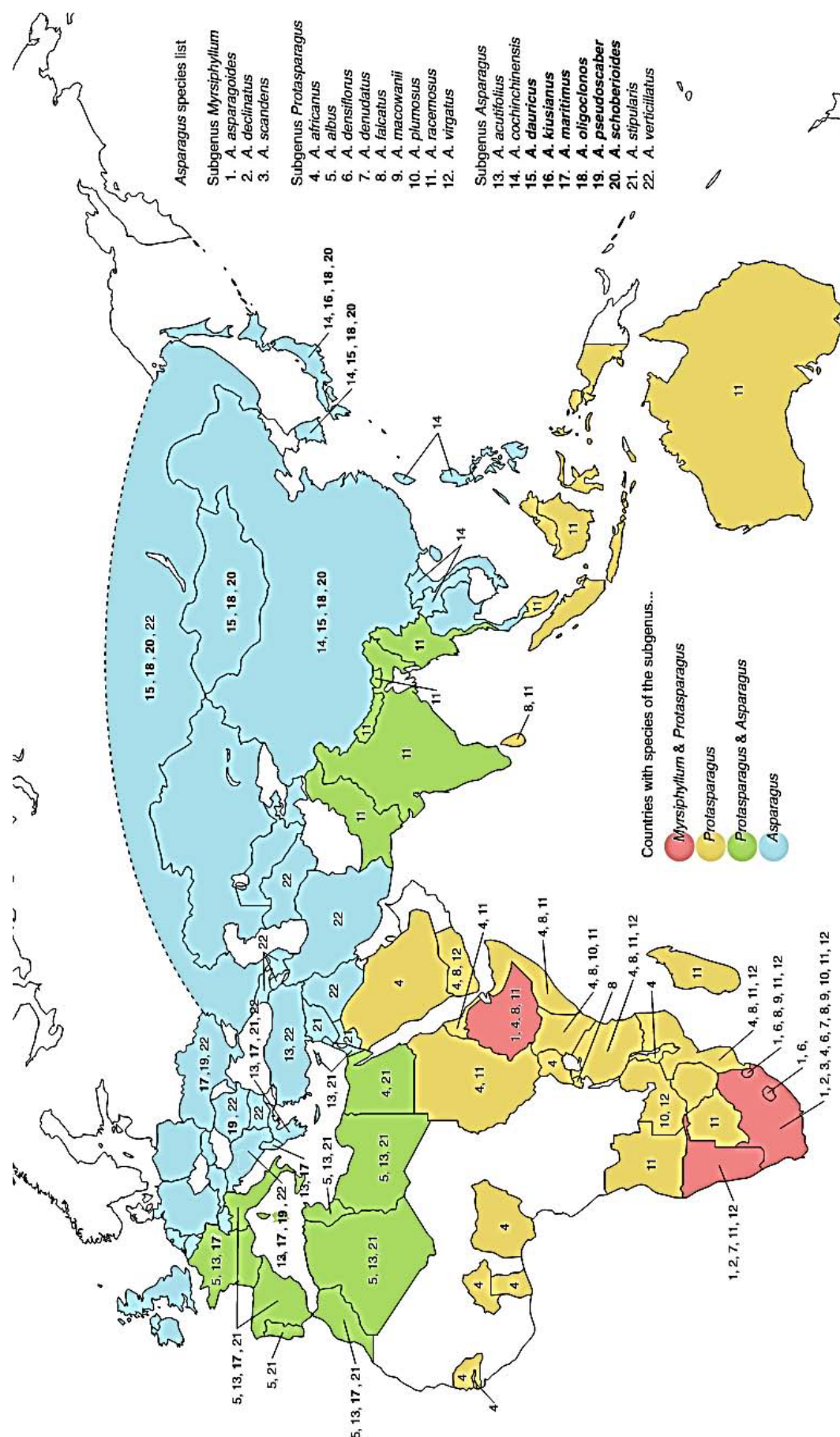
## L'origine évolutive des asperges

Les premières traces de l'utilisation culinaire des asperges sont datées de l'époque romaine deux cents ans avant notre ère avant de disparaître des usages et de ne le revoir mentionner qu'à partir du XIII<sup>e</sup> siècle.

Sachant que toutes les variétés utilisées en cuisine correspondent à des variants d'*Asparagus officinalis*, indiquer l'origine probable de la domestication de l'asperge actuellement utilisée d'après le document 1 pages 4 et 5.

D'après l'arbre phylogénétique fourni, il existe un lien de parenté fort entre les espèces *A. officinalis*, *A. maritimus* et *A. pseudoscaberr*. Cette parenté semble robuste d'après les valeurs des différents tests présents au nœud isolant l'ensemble des ces branches. Les liens de parenté au sein de ce groupe semble un peu moins robustes, ce qui explique la multifurcation et doit inciter à la prudence quand à l'espèce la plus proche d'*A. officinalis*.

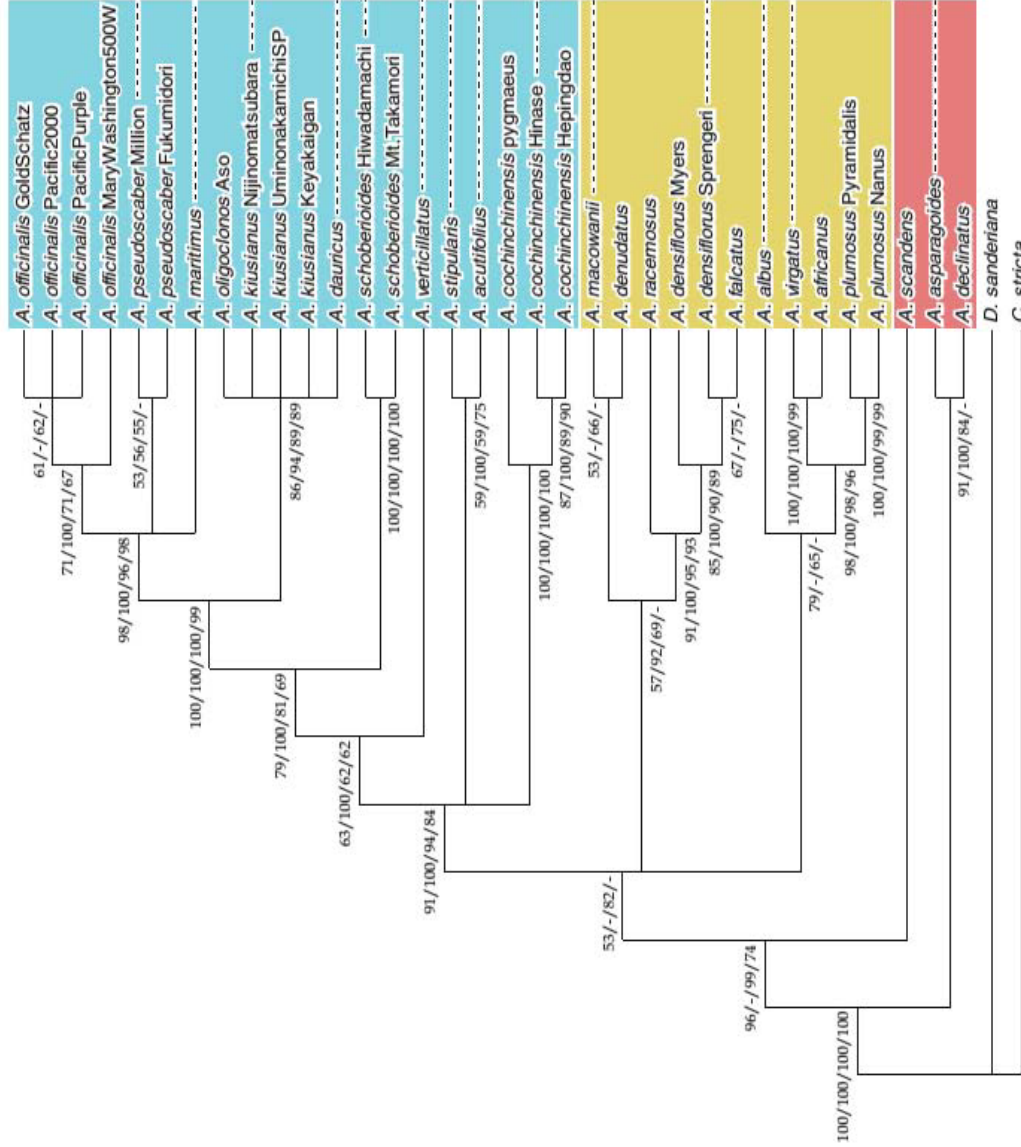
*A. pseudoscaberr* (19) et *A. maritimus* (17) se retrouvent principalement sur le continent européen (Espagne, France, Italie, Croatie, Grèce, Albanie, Roumanie et Ukraine) ainsi qu'au Maroc. Ainsi, l'origine probable de l'espèce domestiquée utilisée actuellement est un de ces pays, avec une plus grande probabilité pour les régions situées sur le continent européen.



**Document 1a** : Distribution mondiale des principales espèces du genre *Asparagus*. Les couleurs correspondent aux principaux genres. Les numéros correspondent aux espèces les plus répandues dans chaque pays et utilisées pour l'analyse phylogénétique du document 2B.

(D'après Kubota S. et al., 2012)





**Document 1b** : Arbre phylogénétique basé sur le maximum de vraisemblance à partir de cinq régions non-codantes de l'ADN plastidial. Les valeurs aux nœuds correspondent respectivement au maximum de vraisemblance/ probabilités bayésiennes/ bootstraps du neigbour-joining et bootstraps du principe de parcimonie. (D'après Kubota S. et al., 2012)



## Partie II. Les caractères sélectionnés chez les carottes

### 2.1. Comparaison morphologique d'une carotte sauvage et d'une carotte cultivée

Réaliser une présentation comparative d'un pied de carotte sauvage (**noté B1**) et d'une carotte du commerce (**notée B2**).

**Appeler le jury pour évaluation de votre présentation comparative en adéquation avec les échantillons fournis.**

Le jury attendait la comparaison de la racine tubérisée ou non, de l'aspect de l'appareil végétatif avec feuilles visibles uniquement pour la carotte domestiquée au contraire d'un appareil caulinaire développé avec des feuilles.

### 2.2. Comparaison anatomique des deux plants (25 min : attention au temps d'attente dans la coloration)

Réaliser une coupe transversale de l'organe tubérisée de la carotte (un quart de l'échantillon) et de l'organe équivalent non tubérisée de la carotte sauvage. Réaliser une coloration au carmino-vert selon le protocole fourni.

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

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

Faire une présentation comparative sous la forme de schémas en utilisant les figurés conventionnels des deux coupes réalisées.

**Appeler le jury pour vérifier l'adéquation entre vos observations et les schémas.**

Un exemple de coupe réalisée



Il était attendu de faire ressortir la différence d'épaisseur du bois, la faible part du phloème II de la carotte sauvage

### 2.3. Comparaison de 3 variétés de carottes.

Il existe plusieurs dizaines de variétés de carottes. On s'intéresse à 3 variétés (**échantillons B2 à B4**) qui diffèrent par leur couleur. L'objectif est de voir si leur teneur glucidique diffère entre ces 3 variétés ainsi que l'origine des différentes couleurs.

#### Protocole

- Découper des cubes de 1 cm de côté dans le cortex de chaque carotte
- Hacher en de très fins morceaux chaque cube en les broyant ensuite au mortier
- Placer chaque échantillon broyé dans un verre de montre et ajouter 2 mL d'eau distillée.
- Mélanger pendant 1min à l'aide d'une spatule
- Tester alors avec une bandelette glucose la concentration en sucre dans l'échantillon

Présenter vos résultats sous la forme d'un tableau et conclure sur l'origine des différences de couleurs et sur les teneurs en glucoses de ces trois variétés.

Couleur de la variété	blanche	orange	violette
Localisation et type de pigment	Absence de pigmentation (faible teneur en lycopène)	Présence de chromoplastes contenant des caroténoïdes	Présence d'anthocyanes (flavonoïdes) dans les vacuoles
Teneur en glucose	faible	moyenne	forte

## 2.4. La génétique de la couleur des carottes (20 min).

On a croisé 2 variétés homozygotes de carottes de couleurs différentes : *Pusa maghali* (épiderme et cortex oranges) et *Pusa rhudhira* (épiderme et cortex rouges) pour obtenir une F1. Puis on a réalisé différents croisements (document 2) et observé la couleur de l'épiderme et du cortex des carottes de leurs descendants.

A partir des résultats des croisements fournis, et en argumentant votre réponse, indiquer si les couleurs de l'épiderme et du cortex dépendent d'un ou deux gènes, s'ils dépendent des mêmes gènes et si ces gènes sont liés ou indépendants.

		orange jaune	orange moyen	orange clair	orange rose	rouge foncé	rouge clair
F2 : F1 X F1	épiderme	106	71	52	92	39	69
Back-cross F1 X <i>P. rhudhira</i>	épiderme	23	11	10	18	18	39
Back-cross F1 X <i>P. maghali</i>	épiderme	10	16	38	53	0	0
		orange jaune	orange moyen	orange clair	orange rose	rouge foncé	rouge clair
F2 : F1 X F1	cortex	94	53	61	88	43	60
Back-cross F1 X <i>P. rhudhira</i>	cortex	18	22	12	10	48	9
Back-cross F1 X <i>P. maghali</i>	cortex	18	19	43	36	0	0

### Document 2 : les résultats de quelques croisements.

(D'après Selvakumar *et al.*)

Comme on regarde deux caractères différents, on suppose que deux gènes sont impliqués dans les phénotypes observés.

On note Oe l'allèle codant pour un épiderme orange, re l'allèle codant pour un épiderme rouge

On note Ocx l'allèle codant un cortex orange, Rcx un allèle codant un cortex rouge.

F2 epiderme

Croisements des gamètes:

F1 X F1	Oe	Re	Proportions attendues:	
Oe	OeOe	OeRe	1/4	1/4
Re	OeRe	ReRe	1/4	1/4

Si Rouge dominant: 3/4 de phénotypes épidermes rouges

Si Orange dominant: 3/4 de phénotypes épidermes oranges

**Nombres observés (calcul des sommes de phénotypes épidermes oranges et de phénotypes épidermes rouges)**

**321 épidermes oranges et 108 rouges ce qui correspond à 3/4 orange => Orange dominant sur Rouge**

F2 cortex, même raisonnement

**Nombres observés (calcul des sommes de phénotypes cortex oranges et de phénotypes cortex rouges)**

**358 oranges et 103 rouges ce qui correspond à 3/4 orange => Orange dominant sur Rouge**

Les candidats devaient donc additionner les effectifs orange et les effectifs rouges présents dans le tableau initial ce qui a peut-être constitué une difficulté. Cela étant dit, le jury souhaitait voir une démarche scientifique. Il fallait bien nommer les gènes (en faisant d'abord l'hypothèse que les gènes (couleur épiderme et couleur cortex) étaient indépendants), comparer les effectifs attendus versus les effectifs observés pour établir

la dominance ou récessivité des allèles (rouge ou orange) et voir s'il était possible d'aller plus loin sur le côté lié ou non.

Avec les informations à disposition dans le tableau fourni aux candidats, les candidats pouvaient montrer la dominance du orange sur le rouge pour les deux tissus. Cela étant dit, les backcross (F1 X génotype pur parentaux) n'étaient pas discriminants ensuite pour dire si les gènes étaient ou non liés. Du coup, les candidats devaient répondre qu'il leur fallait les effectifs des descendants avec la couleur à la fois de leur épiderme et de leur cortex (ce qu'ils n'ont pas dans le sujet) pour pouvoir répondre au fait d'être ou non liés. Si les effectifs de descendants des backcross (F1X génotype pur rouge) ayant des couleurs de cortex et d'épiderme différentes avaient alors été faibles (voire absents), alors nous pourrions conclure que les deux gènes sont liés et il n'y aurait, dans les descendants, quasi que des phénotypes parentaux (à 50-50). Si nous avons obtenu 1/4 de phénotypes type parentaux (une seule couleur) entièrement oranges, 1/4 phénotypes entièrement rouges et 1/2 de mixte, alors nous pourrions conclure que les gènes étaient indépendants.

Dans tous les cas, le gradient de couleur présent dans les tableaux laisse penser qu'il y a d'autres gènes impliqués avec des effets doses éventuels.

Proposer une stratégie qui permettrait d'obtenir un maximum de carottes bicolores (épiderme orange et cortex rouge).

Toute stratégie cohérente proposée est validée.

S'il n'y a bien qu'un seul gène, il faudrait alors recourir au génie génétique et faire un OGM en partant d'une carotte entièrement rouge et lui faire exprimer uniquement dans le cortex la forme allélique à l'origine de la couleur orange. L'existence de nombreux variants présentant des nuances de orange et de rouge suggère qu'il est possible d'obtenir le phénotype recherché par des croisements.

S'il n'y a qu'un seul gène, alors il faut sélectionner des variants hétérozygotes et de sélectionner à chaque fois dans la descendance les individus les plus proches du phénotype recherché à partir des F2, obtenu par croisement entre F1, car l'analyse simplifiée dans le cas précédent montre qu'il y a soit d'autres gènes qui sont indirectement impliqués, soit qu'il y a des effets de dose et des variants alléliques qui expliqueraient les nuances de orange et les nuances de rouge observées. Il faudrait ensuite procéder par croisements successifs jusqu'à obtenir un maximum de carottes ayant le phénotype recherché.

Si ce sont deux gènes très proches, alors le plus simple est de choisir dans le croisement de F1 les individus ayant un phénotype proche du phénotype recherché (ce qui correspond normalement à 1/16 ses individus si les gènes indépendants). Par croisement successif en récupérant à chaque fois que les individus à épiderme le plus orange avec les individus ayant le cortex le plus rouge, la sélection devrait se faire rapidement. Un croisement entre deux individus à épiderme orange et à cortex rouge [ (Oe//Oe ; Rcx//Rcx) ou (Oe/Re ; Rcx//Rcx)] permet d'obtenir entre 100 % de phénotype voulu si les parents sont initialement homozygotes ou 75 % du phénotype voulu et 25 % de carottes à épiderme rouge si les parents sont hétérozygotes.

### Partie III. Reconnaissance de quelques espèces domestiquées ou de leur ancêtre sauvage probable.

Pour chaque échantillon ou photographie présentés :

- nommer l'espèce ;
- indiquer s'il s'agit d'une espèce domestiquée ou d'un ancêtre sauvage probable d'une espèce domestiquée dont le nom sera à donner dans la case
- 2 traits de caractères d'intérêt retenus au cours de la domestication.

Numéro échantillon	Espèce	Espèce domestiquée correspondante selon détermination	Traits de caractères d'intérêts retenus au cours de la domestication
1	Téosinte (photo)	Ancêtre sauvage probable du Maïs	Accumulation de réserves Fruit non disséminé
2	<i>Bos primigenus</i> (photo)	Ancêtre sauvage probable de la Vache	Production laitière Docilité
3	Cédrat (échantillon)	Ancêtre sauvage probable du Citron	Réduction de la taille de l'épicarpe Goût
4	Orge (échantillon)	Espèce domestiquée	Production de paille (peu sensible à la verse) Réserves dans les grains pour l'alimentation animale
5	Blé (échantillon)	Espèce domestiquée	Réserves amylacées Pas de dissémination des fruits, grains nus.
6	Mouflon (photo)	Ancêtre sauvage probable du mouton	Production de laine Docilité Production de lait/viande

Pour les échantillons suivants, nommer ces derniers et indiquer les taxons **parentaux probables** :

Numéro échantillon	Nom de l'échantillon	Parent 1 probable	Parent 2 probable
7	Nectarine	Pêcher	Prunier
8	Triticale	Blé	Orge
9	Pamplemousse	Citronnier	Oranger
10	Colza	Chou ( <i>Brassica oleracea</i> )	Navette ( <i>Brassica rapa</i> )

## 5.6 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur C : Sujet et commentaires

### **Commentaires du jury :**

Le sujet se focalisait sur une région donnée, les Petites Antilles, et cherchait à faire réfléchir les candidats. En particulier, même si le/la candidat.e connaissait le contexte géodynamique de la zone d'étude (subduction), il était attendu une réelle démonstration à partir des documents imposés.

De même le jury n'a eu que très rarement des candidat.es réfléchissant à partir des documents pour en extraire les informations qui devaient ensuite être corrélées pour donner par exemple un modèle de destruction des dômes de lave. Le jury n'attendait pas que le/la candidat.e connaisse le modèle a priori mais plutôt qu'il/elle en propose un à partir de l'analyse des différents documents. Ces documents étaient là pour déconstruire une vision souvent fausse de l'éruption du 8 mai 1902 de la Montagne Pelée .

Une dernière partie portait sur la téphrochronologie. Cette discipline n'était pas une question de cours mais un prétexte pour discuter là encore de données scientifiques qu'il fallait interpréter pour reconstruire l'histoire éruptive de Soufrière Hills à Montserrat.

**Agrégation des Sciences de la Vie -  
Sciences de la Terre et de l'Univers**

**CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2024**

**TRAVAUX PRATIQUES de contre option du secteur C**

**Candidats des secteurs A et B**

**Durée totale : 2 heures**

**Arc des Petites Antilles, aspects géodynamiques et  
volcanologiques**

<b>Partie I : Géodynamique interne de l'arc des Petites Antilles</b>	page 2
<i>Durée conseillée : 40 minutes – barème : 8 points</i>	
<i>Documents sur les planches I-A à I-G</i>	
<b>Partie II : La Montagne Pelée, un volcan de référence</b>	page 5
<i>Durée conseillée : 50 minutes – barème : 8 points</i>	
Passage aux postes d'observation 1 (durée conseillée : 10 min)	
<i>Documents sur les planches II-A à II-E et tableau 1</i>	
<b>Partie III : La téphrochronologie des sédiments marins autour de l'île de Montserrat</b>	page 10
<i>Durée conseillée : 30 minutes – barème : 4 points</i>	
<i>Documents sur les planches III-A à III-E</i>	

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

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

**Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier, qui contient 14 pages  
numérotées de 1 à 14, ainsi que les X planches IA à IIIE.**

## Partie I : Géodynamique interne de l'arc des Petites Antilles

Cette partie s'appuie sur les documents présentés sur les planches I-A (contexte géodynamique de l'arc des Petites Antilles) et I-B (sismicité 1996-2011 (seuls les séismes de magnitude >3 sont représentés))

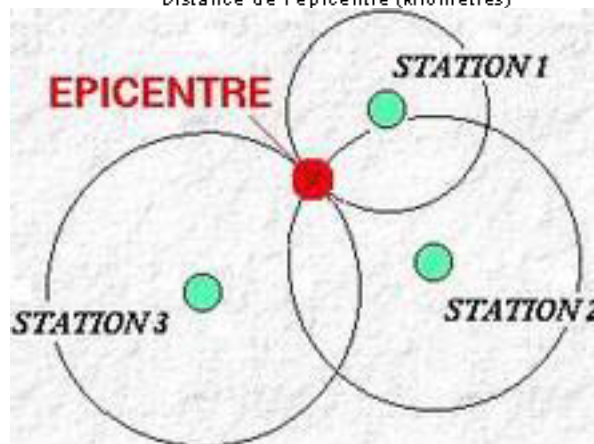
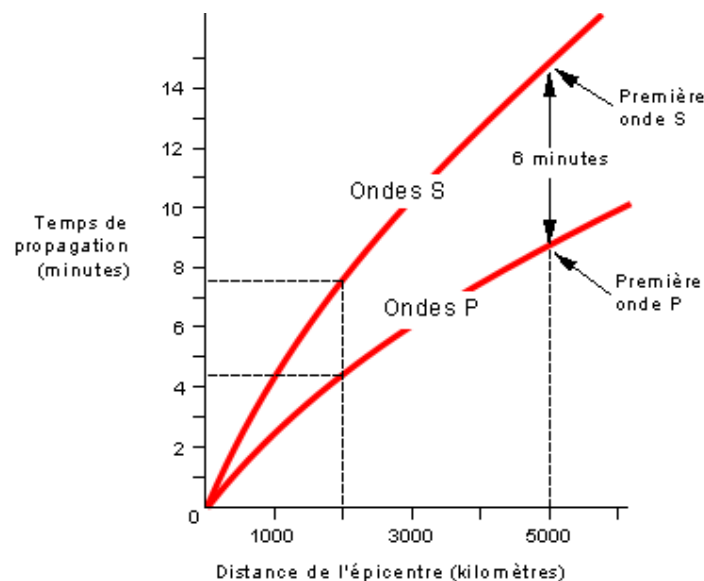
**Question I-1** Après avoir défini un séisme et sa magnitude, vous présenterez la méthode qui a permis d'obtenir la carte du document I-B

**Séisme** : Un séisme est une secousse du sol résultant de la libération brusque d'énergie accumulée par les contraintes exercées sur les roches. Cette libération d'énergie se fait par rupture le long d'une faille  
**Magnitude** : la magnitude est la représentation logarithmique du moment sismique, qui est lui-même une mesure de l'énergie libérée par un séisme. Plus le séisme a libéré d'énergie, plus la magnitude est élevée : un accroissement de magnitude de 1 correspond à une multiplication par 30 de l'énergie et par 10 de l'amplitude du mouvement.

Les données bathymétriques sont obtenues par acquisition sismique ou données de sonar.

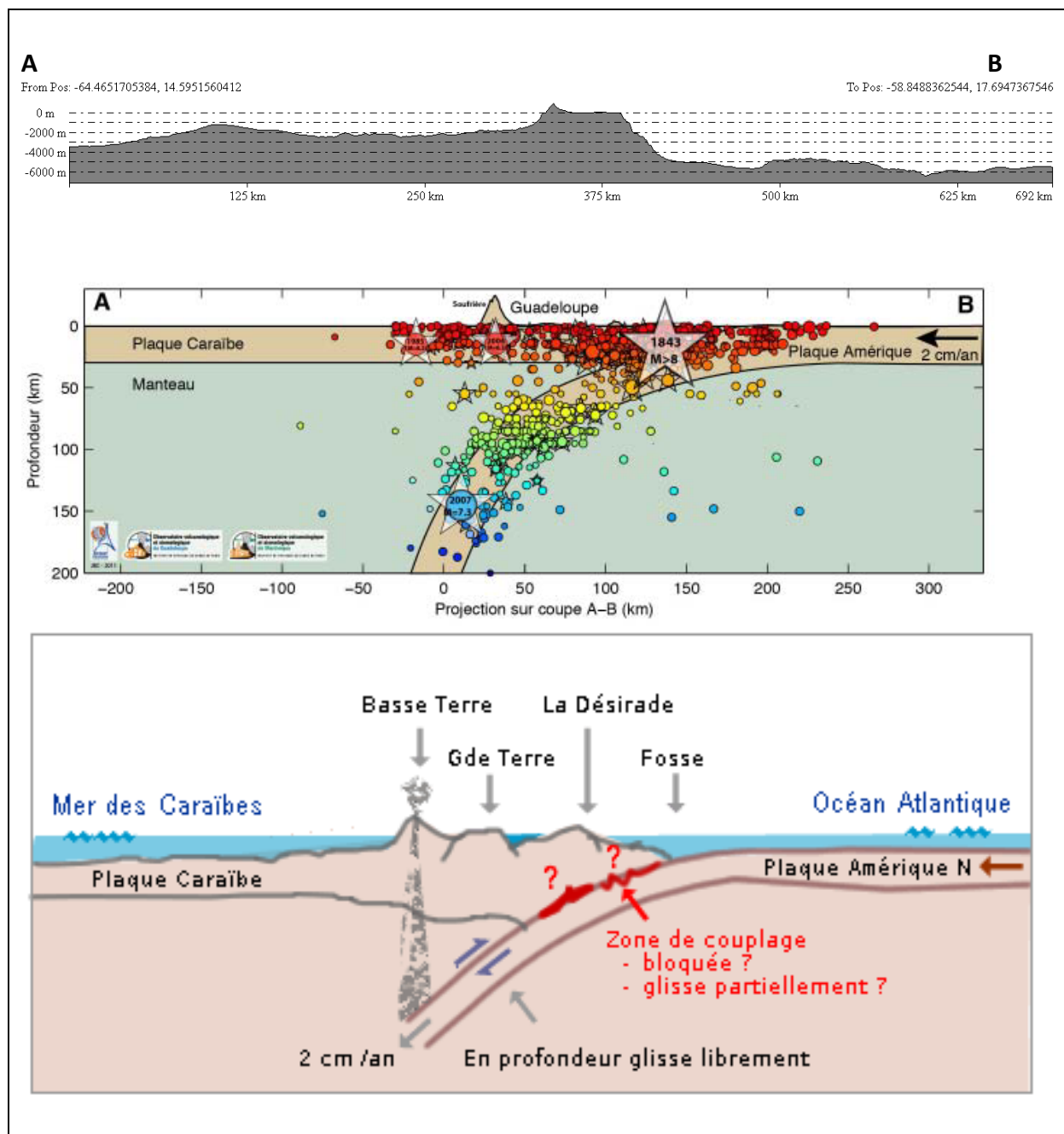
Un séisme est enregistré par de nombreux sismomètres partout à la surface de la Terre. La méthode des cercles nécessite l'utilisation d'au moins quatre stations d'enregistrement situées en des lieux différents et qui enregistrent la composante verticale des ondes P et S.

Pour cela on doit tout d'abord définir par la méthode des hodochrones la distance entre le séisme et le sismomètre.



**Question I-2** : A partir des planches I-A à I-E, vous réaliserez une coupe interprétative le long du trait de coupe A-B indiqué en pointillé passant par la Guadeloupe. Vous replacerez le long de cette coupe une représentation de la distribution des séismes en profondeur, ainsi que les différents processus identifiables.





**Question I-3** A partir de la coupe réalisée et des documents I-A à I-G, vous expliquerez plus en détail les aléas naturels présents dans la zone d'étude, ainsi que les risques associés.

- L'arc des Petites Antilles se trouve le long de la bordure nord-est de la plaque Caraïbe (voir figure 1). Il marque le processus de subduction de la lithosphère Atlantique sous cette plaque, se déplaçant vers le sud-ouest à une vitesse d'environ 2 cm par an.
- Ce phénomène géodynamique, connu sous le nom de subduction océanique, conduit à la disparition progressive de la lithosphère océanique. La subduction de la lithosphère océanique est associée à de fréquents tremblements de terre d'une grande profondeur. Les zones de subduction concentrent la majeure partie de l'activité sismique de la planète.

- Les séismes résultent du glissement et du frottement des roches le long des failles dans la zone fortement déformée entre les deux plaques convergentes.
- Dans les zones de subduction, la répartition en profondeur des séismes permet de visualiser la configuration de la plaque plongeante, appelée plan de Wadati-Benioff. Sous l'arc des Antilles, ce plan présente un fort pendage, environ 60 degrés, avec la plaque nord-américaine située à une profondeur dépassant les 100 km.
- Ces zones sont également caractérisées par des séismes pouvant atteindre des magnitudes dépassant 8 sur l'échelle de Richter. De plus, elles présentent une activité volcanique intense, avec des manifestations particulièrement explosives qui représentent un danger important pour les habitants.
- Ainsi, l'arc insulaire des Petites Antilles est une région exposée à des risques élevés liés aux activités volcaniques et sismiques, auxquels s'ajoutent les risques gravitaires et les tsunamis. L'aléa est défini par rapport aux phénomènes survenus lors d'une éruption, susceptibles de constituer une menace. Le risque représente la probabilité pour cet aléa d'occasionner des victimes humaines et des dommages matériels au sein de la collectivité. Ainsi, il implique la notion de vulnérabilité des individus et de leurs biens.
- Prenons par exemple un volcan actif qui émet régulièrement des bombes et des coulées de lave sur ses flancs. Si ce volcan se trouve dans une région inhabitée, le risque est inexistant. En revanche, si les flancs de ce volcan sont densément peuplés, les risques seront proportionnels à la fréquence de l'aléa, à la valeur des biens menacés et à la densité de la population.
- Événements volcaniques anciens : Pompéi et Herculaneum
- Événements volcaniques plus récents : Pinatubo (Indonésie, 1991), La Grande Soufrière (Guadeloupe, 1976)

## Partie II : La Montagne Pelée, un volcan de référence

La Montagne Pelée a connu alternativement des éruptions explosives et effusives. On discutera dans cette partie des modes de destruction des dômes de lave. Cette partie s'appuie sur les documents présentés sur les *planches II-A* à *II-E*.

**Question II-1** D'après la photo de la planche II-A, comment se sont mis en place les magmas lors des éruptions qu'a connu le volcan de la Montagne Pelée entre 1902-1905 et 1929-1932 ? Que vous apprend cette photo quant à la succession des phases de croissance des dômes lors des éruptions de 1902-1905 et 1929-1932 ?

Il s'agit de 2 éruptions à mise en place de dôme de lave. Ce type d'éruption est la plupart du temps de type effusif, car mettant en jeu un magma différencié (riche en silice) mais dégazé.

1902 : 2 phases de construction, avant l'évènement du 8 mai et une après cet évènement jusqu'en 1905 ; la cicatrice laisse supposer la destruction du dôme construit avant le 8 mai

1929 : 1 phase



**Question II-3** Quelles différences observez-vous entre les différents dépôts (Planche II-B) ?

- (1) Accumulation de ponces par « retombées » à partir du panache plinien ; dépôt trié (que des ponces), isopache (dépôt métrique, de même épaisseur sur l’affleurement), qui nappe la topographie (présence d’un sol à la base)
- (2) D-PDC = lié à un écoulement et non une retombée. Dépôt de granulométrie fine (quelques fragments centimétriques visibles dans le dépôt du 8 mai) ; dépôt peu épais (quelques dizaines de centimètres) ; invasif dans les habitations
- (3) C-PDC = lié aussi à un écoulement. Cette fois dépôt massif, épais (plusieurs mètres), non trié (quelques gros blocs dans une matrice cendreuse)

3 courtes vidéos permettaient d’illustrer

- Un panache plinien
- Un écoulement gravitaire
- Un dôme en croissance avec éboulements

**Question II-4** La planche II-C vous donne accès à la distribution en fréquence des vésicularités des fragments prélevés dans les trois différents dépôts. Que pouvez-vous en dire ?

P1, plinien = distribution unimodale, centrée sur une vésicularité élevée des ponces, 60-70 %

1929 : C-PDC = distribution unimodale, mais centrée sur une vésicularité plus faible de fragments, autour de 20-30 %

Dire que les échantillons du dôme post 1902 auraient les mêmes caractéristiques que le dôme 1929

1902 : D-PDC = distribution bimodale, avec la majeure partie des vésicularités qui correspondent au C-PDC ; et < 8% des fragments ont une vésicularité proche des ponces de P1

Dire que cet échantillon est pris dans les dépôts de la cicatrice

**Question II-5** Analysez les textures des échantillons représentatifs des dépôts, présentées sur la planche II-D. A quel mécanisme de dégazage peut-on relier ces textures ?

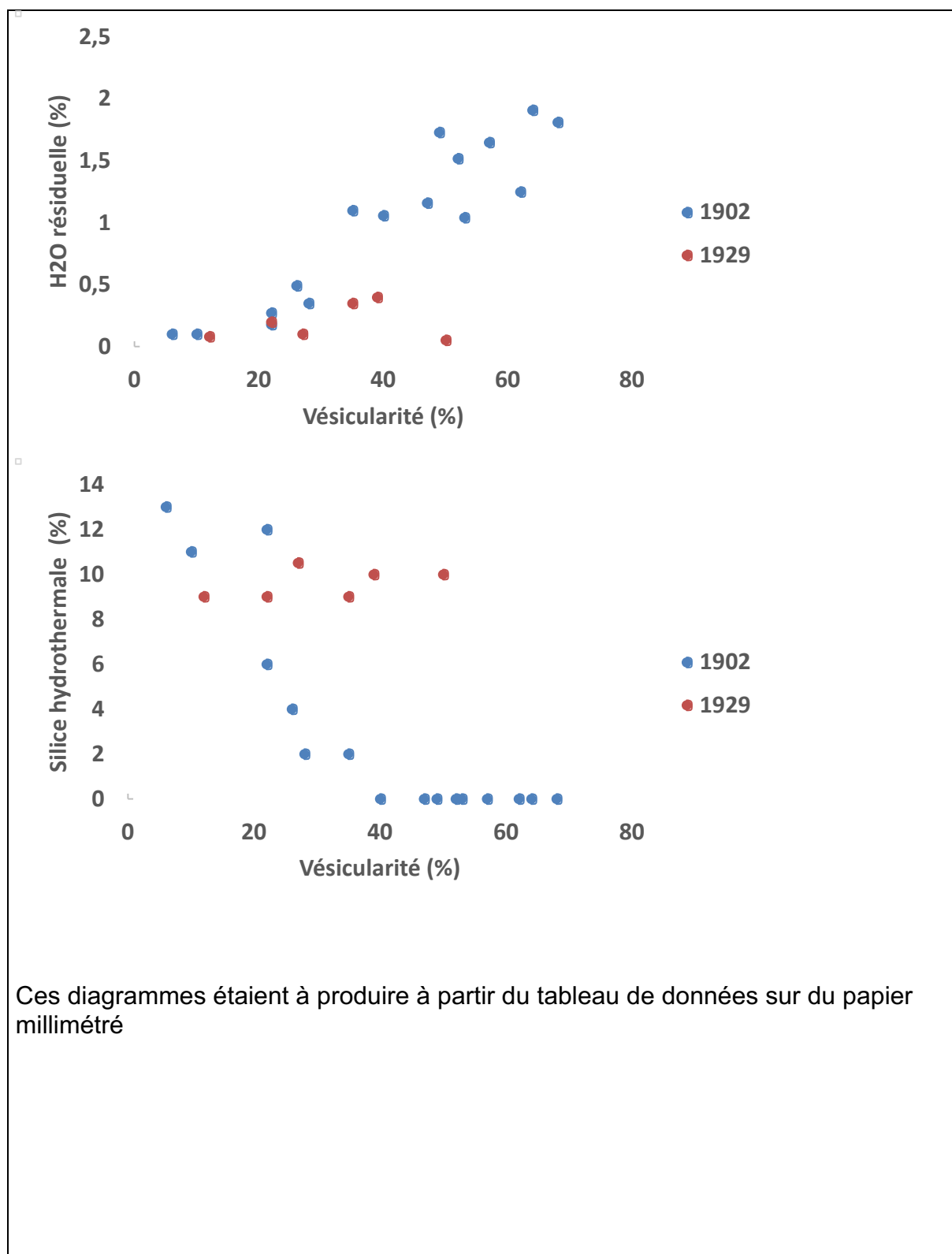
- (1) Ponce = bulles visibles, liées au dégazage ; vésicularité élevée.
- (2) Fragment dense de dôme de lave ; très cristallisé, bulles non visibles, plutôt faible vésicularité
- (3) Fragment vésiculé de dôme de lave ; texture proche d'une ponce avec des bulles bien visibles ; échantillon faiblement cristallisé
- (4) Fragment dense de dôme de lave ; très cristallisé, bulles non visibles, plutôt faible vésicularité = proche du fragment (2)

**Question II-6** Dans les échantillons les plus denses de dômes de lave, on peut retrouver une forte proportion de silice d'origine hydrothermale (Planche II-E). Comment se met en place la silice hydrothermale ? Quelle(s) hypothèses pouvez-vous formuler pour expliquer la distribution hétérogène de cette silice dans les échantillons ?

Hydrothermalisme sur volcans actifs aériens : L'hydrothermalisme se rapporte à la circulation souterraine d'une eau chaude, chargée en minéraux dissous. Cette circulation est favorisée par une source de chaleur (potentiellement un réservoir magmatique). La plupart des volcans actifs possèdent un système hydrothermal, issu de l'infiltration des eaux de pluie qui, au contact du magma, s'acidifient, se réchauffent, bouillonnent et se

transforment en partie en vapeur. Les variations de la circulation et de l'importance de ces fluides liquides ou gazeux reflètent l'évolution de l'activité volcanique.

**Question II-7** A partir du tableau de données (Tableau 1), réalisez un premier diagramme reflétant l'évolution de la quantité d'eau, l'élément volatil majeur de ces magmas, en fonction de la vésicularité des échantillons, ainsi qu'un second diagramme représentant la distribution de la silice hydrothermale (question II-6) en fonction aussi de la vésicularité des échantillons. Les données des 2 éruptions seront représentées sur les mêmes diagrammes.



**Question II-8** A partir d'une synthèse des informations recueillies dans cette partie II, proposez un modèle expliquant la phénoménologie de l'éruption du 8 mai 1902, par comparaison avec ce qui s'est passé lors de l'éruption plinienne de P1 et de l'éruption du 20 mai 1902.

1902 = éruption à mise en place de dôme, avec phase de croissance et de destruction (planche A)

Mise en place d'un magma rhyolitique (question 2 pétro)



Le 8 mai 1902 se met en place en écoulement pyroclastique dilué turbulent détruisant le dôme qui s'était déjà formé depuis le début de l'éruption (planches A, B) ; cette éruption se distingue d'une éruption plinienne et d'un écoulement pyroclastique dense (planche B). Le mode de destruction du dôme en 1902 et 1929 est différent ; alors que le 8 mai et 20 mai 1902 on a deux fois le même type d'écoulements, détruisant le dôme.

On voit que les dépôts montrent des fragments avec des caractéristiques complètement différentes :

Les textures : 1902 a un dépôt plus hétérogène avec une faible proportion de fragments (<8%) qui a les mêmes caractéristiques que les ponces de P1 ; la majorité des fragments de 1902 sont des fragments denses de dômes, comme 1929 (100%). (planche C)

1902 : on a des fragments de dômes très vésiculés, « ponceux » en faible proportion par rapport à des fragments de dômes classiques, denses et cristallisés, avec peu de vésicules visibles qui n'ont pas l'aspect de bulles. (planche D)

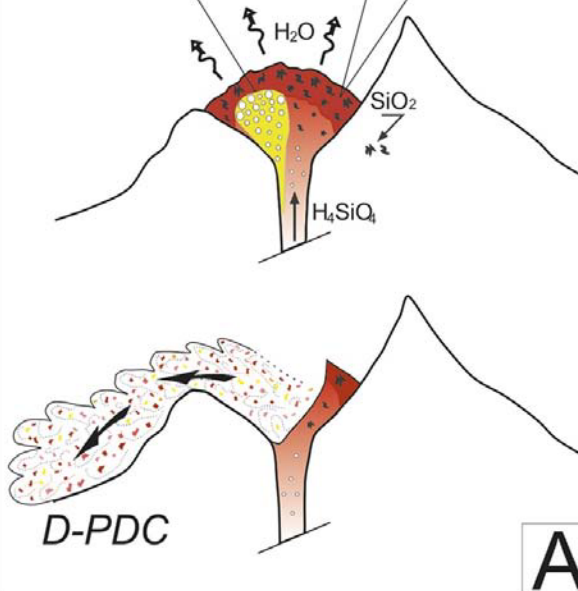
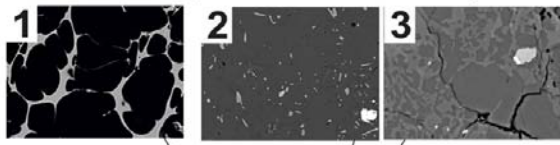
1929 + fragments denses de 1902 = silice hydrothermale qui vient de la circulation d'eau météorique percolant le dôme en croissance et qui se redépote dans les « bulles », imperméabilisant le dôme en croissance + perte de mobilité des gaz si il y en a

Avec la répartition de l'eau en fonction de la vésicularité dans les fragments on relie la forte vésicularité à un dégazage du magma en cours, contrairement aux fragments denses de dômes qui sont peu vésiculés, et dégazés (peu d'eau)

Avec la répartition de la silice hydrothermale en fonction de la vésicularité des fragments = on montre que la plupart des fragments denses de 1902, comme tous les fragments de 1929 ont de la silice ; mais que la silice est absente des fragments vésiculés, riches en eau de 1902.

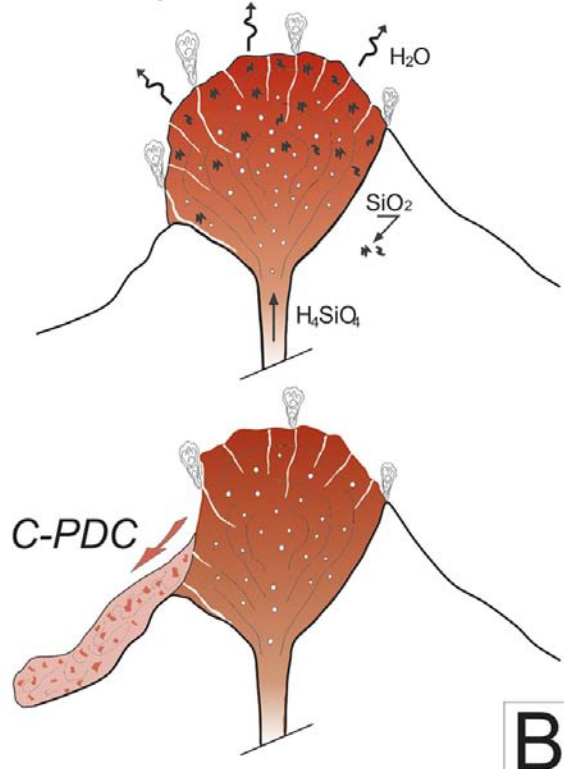
Modèle : A = 1902 ; B = 1929

### Silicified impermeable carapace



**A**

### Silicified permeable lava dome



**B**

A : 1902 = destruction explosive du dôme en croissance ; la surpression est liée à un faible volume de magma non dégazé (vésiculé), qui remonte dans un dôme déjà silicifié qui forme une carapace imperméable aux gaz et responsable de la surpression dans le dôme qui en explosant donne en D-PDC

B : 1929 = destruction gravitaire d'un dôme de lave, par poussée successive en surface d'un magma visqueux, dégazé, silicifié par percolation d'eau météorique = écoulement gravitaire donnant un C-PDC, se concentrant dans les vallées.

### Partie III : La téphrochronologie des sédiments marins autour de l'île de Montserrat dans l'arc volcanique des Petites Antilles

Cette partie s'appuie sur les documents présentés sur les *planches III-A, III-B, III-C, III-D, III-E* et *III-F*

#### Retracer l'histoire éruptive du volcan, identifier et dater les différentes couches de téphra présentes dans les archives sédimentaires marines.

Montserrat est un petit territoire britannique d'outre-mer dans les Petites Antilles (**Planche III-A ; Planche III.B**). Il est relativement petit, mesurant seulement 16 km de long, 11 km de large et couvrant une superficie de 102 km<sup>2</sup>. La plupart des îles des Petites Antilles ont une origine volcanique, et Montserrat est la plus jeune parmi elles. Avant 1995, il n'y avait eu aucune activité volcanique dans l'histoire enregistrée, et de nombreux non-géologues considéraient le volcan comme éteint. Des séismes ont commencé en janvier 1992, et les éruptions ont débuté en juillet 1995. Plymouth, sa capitale et son unique port, se trouvait au pied du volcan « **Soufrière Hills** ». Ce stratovolcan s'élevait à 915 mètres et contenait plusieurs dômes de lave portant des noms tels que Chances Peak, Katy Hill, Silver Hill et South Soufrière Hills. Jusqu'à l'été 1995, le volcan n'avait pas connu d'éruption depuis 300 ans. La géologie de l'île est dominée par des roches volcaniques (andésites) résultant d'éruptions formant des dômes, avec des vestiges de dômes de lave, de dépôts de coulées pyroclastiques résultant de l'effondrement des dômes, de lahars (coulée de boue) et de dépôts d'avalanche de débris. Ces derniers s'écoulent en direction de la côte (**Planche I-F**).

La **téphrochronologie** offre des informations précieuses sur la fréquence, l'intensité et la nature des éruptions volcaniques passées, ce qui peut être crucial pour la compréhension des risques volcaniques dans la région autour de l'île de Montserrat dans l'arc volcanique des Petites Antilles

**Question III-1** – Décrire la séquence sédimentaire du carottage CAR-MON 2 prélevé à environ 2000 m de profondeur (**planche III-C**) en termes de faciès et d'évolution des conditions de dépôt. A quel type de séquence de dépôts pourrions-nous à faire ? Quelle période de temps est-il enregistré sur cette séquence sédimentaire ? A l'aide **des planches III-C et III-E**, quel est l'âge supposé des premiers dépôts de cendre situé à environ 510 cm ?

- Séquence sédimentaire de 580 cm de longueur prélevé au large des côtes de l'île de Montserrat comprenant :
- 4 principaux faciès composés depuis la base par une alternance de bancs sableux et silteux, brutalement interrompus par des trois séquences de dépôts de cendres volcaniques, respectivement entre 490 et 510 cm, 400 et 410 cm puis entre 270 et 330 cm.
- Ces événements d'origine volcaniques, épisodiques sont ensuite scellés par des dépôts marins, avec des niveaux sédimentaires colonisés par des organismes benthiques (niveaux bioturbés). Certains niveaux sédimentaires enregistrent la présence d'organismes pélagiques (ptéropodes, mollusques gastropodes nageurs) mais également des foraminifères du genre *Globorotalia menardii s.l.*
- Cette Séquence pourrait correspondre à des dépôts de type turbiditique (prélèvement dans la plaine abyssal) ayant enregistrés des épisodes d'origine volcanique (cendres)
- Age des premiers dépôts de cendre : environ 250 Kyr

**Question III - 2** – Sur la base des documents des planches *III-B ; I-F ; III.D* et *III-E*, plusieurs séquences éruptives ont été identifiées dans le carottage. Combien d'événements éruptifs pourraient-ils avoir été identifiés ? À quels événements pourraient correspondre ces enregistrements en mer ? Justifier

- Parmi les séquences éruptives, on note « environ » 8 événements éruptives (couches sédimentaires de cendres volcaniques) ont été identifiées dans le carottage CARMON 2.
- Éruptions des dômes observés sur terre et leur enregistrement en mer
- La séquence sédimentaire comprise entre 330 et 270 cm correspond à la période de temps entre 140 et 150 Kyr. Ces enregistrements pourraient être associés à la mise en place et les effondrements des dômes situés dans les deux secteurs du sud-est de l'île « Soufrière Hills et South Soufrière »).
- En effet, à terre les datations sont corrélables avec ces événements enregistrés en mer.

**Question III - 3** - Sur la base des documents des planches III-C ; III.D et III-E, Quelle est la nature chimique du test du foraminifère « *Globorotalia menardii* » ? Quelle est la définition de la mesure du delta de l'oxygène 18 ? quelles sont les informations apportant l'analyse des différentes courbes d'occurrences du foraminifère « *Globorotalia menardii* » au regard de la courbe des isotopes de l'oxygène 18 ?

- Le delta 18O est une mesure qui exprime **la variation relative du ratio isotopique** de l'oxygène 18O par rapport à l'oxygène 16O dans un échantillon donné par rapport à un standard de référence. Ce ratio isotopique est souvent exprimé **en pour mille (‰) et calculé à l'aide de la formule suivante**

$$\delta^{18}O = \left( \frac{\left( \frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{\text{échantillon}}}{\left( \frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000$$

Le standard de référence utilisé pour les mesures de delta 18O est généralement l'eau de mer, notée SMOW (Standard Mean Ocean Water). Ainsi, dans les enregistrements géologiques et climatiques, des valeurs de delta 18O plus élevées sont souvent interprétées comme des périodes plus froides, tandis que des valeurs plus basses sont associées à des périodes plus chaudes. Cependant, il est important de noter que d'autres facteurs, tels que la latitude, l'altitude et la circulation atmosphérique, peuvent également influencer les variations du delta 18O et doivent être pris en compte lors de l'interprétation des données.

Cette mesure est largement utilisée dans divers domaines de la science de la Terre et des sciences de l'environnement pour étudier une gamme de processus, notamment les changements climatiques passés, les variations de température, la formation de précipitations, la diagenèse des roches sédimentaires, les cycles de l'eau, ...

- Test de squelette de nature carbonatée
- *Globorotalia menardii* peut être considéré un enregistrement des événements de changement induits par le climat qui peuvent être utilisés dans la corrélation des carottes marines.
- Les limites zonales de *G. menardii* sont déterminées aux niveaux où la proportion de *G. menardii* dans la faune passe en dessous ou au-dessus de 1% de la faune totale des foraminifères planctoniques.

- Sur la base de la proportion de *G. menardii*, les zones Z, Y, X, W et V sont nettement définies aux limites des stades isotopiques marins.
- *G. menardii* est plus abondante dans les eaux « chaudes », la distribution de ce taxon enregistre plusieurs cycles de variations chaudes et froides au cours du stade isotopique 5.
- En conclusion, il est possible de faire des corrélations entre différentes carottes avec ce bio-indicateur (% des occurrences et mesure du delta 18O). Couplées avec des datations, ces analyses permettent de préciser l'histoire éruptive pour ce volcan sur au moins sur les 250 000 dernières années.

## 6. Les Épreuves Orales

Les épreuves orales sont au nombre de deux : une épreuve de spécialité (option) et une épreuve de connaissances générales (contre-option).

**L'épreuve de spécialité (option)** porte sur le secteur choisi par le candidat lors de son inscription au concours (secteur A, B ou C). Elle doit permettre de faire la preuve que le candidat possède des connaissances approfondies dans ce secteur (i.e. du niveau d'un Master 1).

Chaque titre de leçon de spécialité est accompagné d'un nombre limité de documents (classiquement 4 ou 5) qui correspondent à des documents fournis sur clé USB (diagramme, schéma, photo, carte, vidéo...) ou à des échantillons ou des protocoles concrets. Le jeu de documents est conçu de façon à ce que leur analyse/exploitation par le candidat ne dépasse pas 45 minutes et qu'il soit complémentaire des éléments à disposition dans la bibliothèque des ouvrages, documents et matériels. La totalité des documents et matériels imposés doit être intégrée à la leçon (leur ordre de présentation est laissé à l'appréciation du candidat).

**L'épreuve de contre-option** porte sur les domaines autres que la spécialité du candidat. Ainsi un candidat d'option A ou B aura une leçon de contre-option en Sciences de la Terre et de l'Univers, suivie d'une interrogation en Sciences de la Vie (respectivement en b ou a), alors qu'un candidat d'option C aura une contre-option en Sciences de la Vie (secteur a ou b) suivi d'une interrogation dans l'autre secteur des Sciences de la Vie (b ou a). Elle doit permettre d'évaluer les connaissances générales du candidat dans les domaines relevant des Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Univers (i.e. de niveau Licence 3). Il n'y a pas de document ni 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 en version papier et sur la clé USB en format pdf. L'ordre des documents fournis dans le fichier pdf peut être modifié, un même document peut apparaître plusieurs fois au cours de l'exposé.

L'ensemble des documents numériques doivent être vidéoprojetés au cours de la leçon : des maladresses ont parfois été constatées dans leur présentation, notamment la suppression des légendes des figures. Ces imprécisions ont été évaluées dans la rubrique « communication » de la grille du barème.

#### **Quelques principes de base :**

Les divers documents utilisés doivent être intégrés à un diaporama, constitué par le candidat.

L'inclusion des images dans le diaporama permet d'isoler celles-ci et de les exploiter avec les outils bureautiques de base (surlignage, encadrement statique ou dynamique, décomposition d'une image en plusieurs secteurs, délimitation d'une enveloppe, d'une courbe moyenne, mise en valeur de données chiffrées, etc...).

Rappelons quelques conseils de base :

- une diapositive = une idée. Éviter de projeter en même temps plusieurs documents,
- une diapositive doit être vue : veiller à ce que l'image projetée soit lisible.

Quid du plan de la leçon ? S'il doit continuer à être clairement explicité et rédigé, **l'habitude du « plan rédigé au tableau pendant la leçon » peut être abandonnée si le plan en question est déroulé à l'aide du diaporama**. Le candidat gagne ainsi un temps certain, et évite de consacrer de précieuses minutes à l'écriture au tableau de lignes de texte. Le tableau peut ainsi être réservé à d'autres éléments présentés au cours de l'exposé, la confection séquentielle d'un schéma bilan par exemple.

**Au cours de la préparation, le diaporama confectionné doit être régulièrement enregistré sur la clé fournie, pour éviter tout problème lors de la leçon.**

L'utilisation du numérique dans les épreuves orales d'agrégation doit permettre à ces leçons de démontrer la capacité des candidats à utiliser les outils pédagogiques et didactiques du XXI<sup>ème</sup> siècle. Elle doit permettre aux candidats de faire la preuve de la qualité scientifique et pédagogique de leur leçon.

### **6.1.2 Présentation et entretiens de la leçon d'option**

À l'issue des 4 heures de préparation, le candidat dispose de 50 minutes pour présenter sa leçon d'option devant une commission composée de membres du jury de spécialité.

A la fin de son exposé, le candidat est interrogé en deux temps. Dans un premier temps, un entretien d'une durée de 10 minutes est conduit par le concepteur du sujet et porte sur la thématique de la leçon. Lors de cet entretien, le concepteur du sujet peut revenir sur des aspects traités durant l'exposé, sur la façon qu'a eu le candidat de le présenter au jury, la pédagogie mise en place, sur l'exploitation des documents fournis, sur des documents et du matériel présentés durant la leçon, ou encore interroger le candidat sur des aspects non traités du sujet mais liés à la thématique de la leçon. L'objectif de ce questionnement est de s'assurer que le candidat a bien compris les différents volets du sujet proposé et qu'il maîtrise les notions et les connaissances liées à ce sujet.

Dans un second temps, deux entretiens, chacun d'une durée de 7 minutes 30, sont menés par deux autres membres du jury. Ces entretiens portent sur des thématiques relevant du domaine de spécialité du candidat et visent à évaluer les aptitudes et connaissances du candidat sur ce secteur. Ils peuvent



ou non débiter par l'étude d'un document ou d'un échantillon proposé par le jury comme document d'appel pour entamer la discussion.

### 6.1.3 Présentation et entretiens de la leçon de contre-option

A l'issue des 4 heures de préparation, le candidat expose pendant 40 minutes devant une commission de quatre membres du jury, deux dans chacune des deux contre-options.

A la fin de l'exposé, l'interrogation a lieu en trois temps :

- un premier échange de 7 minutes, conduit par le concepteur du sujet, porte sur le contenu de la leçon.
- une deuxième interrogation de 9 minutes, menée par un autre membre de la commission, mobilise des connaissances dans le même domaine scientifique. Le questionnement s'écarte du thème de la leçon et explore les connaissances dans des champs du même secteur scientifique.
- enfin, le dernier questionnement de 9 minutes est conduit par un troisième interrogateur et explore les connaissances de la deuxième contre-option.

Lors de la première interrogation, le jury revient sur certains aspects de l'exposé ; cela peut concerner le déroulement d'une expérience, l'explicitation d'un cliché, l'exploitation d'un échantillon présenté, sur un aspect du sujet qui n'a pas été abordé par le candidat ou bien sur certaines erreurs pour déterminer s'il s'agissait d'un lapsus ou non. L'objectif de ce questionnement est de s'assurer que le candidat a acquis une bonne compréhension globale des différents aspects du sujet proposé et de revenir sur la démarche pédagogique 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 questionnement. Au cours de la discussion qui s'engage, le membre du jury qui interroge explore différents domaines de la contre-option.

L'oral de contre-option est donc une épreuve qui nécessite une concentration permanente, une bonne réactivité et de solides connaissances générales.

## 6.2 Constats et conseils pour les épreuves orales

Les épreuves orales sont des épreuves pour 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.

Enfin, le jury apprécie que le candidat utilise le matériel et support mis à sa disposition (vidéoprojecteur, tableau, feuilles de papier) afin de réaliser une présentation projetée et des schémas et/ou dessins de qualité. Ces derniers, lorsqu'ils sont approximatifs, illisibles ou ne reflétant pas les observations microscopiques desservent les candidats.

### 6.2.8 Une indispensable réactivité

Le premier entretien, consécutif à la leçon, a pour but de faire réfléchir le candidat à l'exposé qu'il vient de produire, et à l'aider à revenir sur d'éventuelles omissions, imprécisions ou erreurs. Il sert également à évaluer l'aptitude du candidat à raisonner et à exploiter ses connaissances en temps réel. L'interrogation est ensuite ouverte à d'autres domaines du champ des SV-STU – elle peut revêtir des formes très variables qui visent à évaluer les connaissances du candidat et ses aptitudes à construire un raisonnement logique à la suite d'une question posée. Le jury insiste sur le fait qu'il est important que le candidat construise sa réponse, et qu'une juxtaposition de mots-clefs ne peut suffire. L'écoute et la réactivité sont des qualités indispensables pour une bonne réussite de cette partie de l'épreuve qui peut permettre au candidat de montrer que, malgré une leçon plus ou moins réussie, il maîtrise de larges connaissances.

Si le candidat ne connaît pas la réponse à la question posée, il est vivement conseillé qu'il n'essaie pas de gagner du temps en fournissant une réponse hors sujet ou en demandant à l'évaluateur de reformuler sa question. Cette attitude lui sera très préjudiciable. Il est préférable qu'il énonce clairement ne pas connaître la réponse.

Le jury observe souvent une baisse de réactivité très nette au cours des entretiens. Il est donc impératif de rester attentif jusqu'à la fin des entretiens. Il est ainsi important de profiter du temps proposé par le jury pour se désaltérer afin de se réhydrater mais aussi de bien se remobiliser avant de démarrer l'entretien.

### 6.2.9 Les critères d'évaluation des leçons

L'évaluation des leçons est faite autour d'items reprenant ces points fondamentaux :

- qualité de l'introduction, du plan et de la conclusion
- démarche scientifique, qualités pédagogiques/didactiques de la leçon
- maîtrise des concepts, notions et connaissances liées au sujet
- exploitation du matériel imposé (pour les leçons d'option)
- choix et exploitation du matériel complémentaire
- maîtrise des concepts et des connaissances, capacités de réflexion en temps réel aux différents entretiens
- communication, réactivité.

## 6.3 Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur A

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons par des commentaires spécifiques aux leçons de secteur A.

### 6.3.1. Maîtriser les connaissances

La réussite de cette épreuve nécessite de maîtriser des connaissances dans le secteur A : connaissances de niveau licence pour les leçons de contre-option et de niveau master 1 pour les leçons d'option. Le candidat doit également les mettre en perspective avec ses « fondamentaux » de biologie, qui sont souvent les bases d'une leçon bien construite.

Le niveau des candidats est hétérogène, que ce soit en option ou en contre-option. S'il n'est pas attendu d'un candidat qu'il connaisse parfaitement tous les intermédiaires d'une voie métabolique, ou la liste exhaustive des inducteurs embryonnaires, on rappelle que le niveau requis pour **cette leçon est au minimum d'un niveau de licence SV**. Il n'est pas possible d'acquérir des connaissances et de les mobiliser sans un travail de fond, d'appropriation, d'organisation, de recherche de sens et de curiosité scientifique.

Le jury s'étonne d'avoir encore rencontré des erreurs récurrentes sur des connaissances simples. Par exemple, de trop nombreux candidats sont incapables de raisonner en termes d'oxydoréduction sur une voie métabolique classique, d'identifier les organites et structures supramoléculaires sur une électrographie, de décrire correctement une division cellulaire, la réplication de l'ADN ou les principes de la régulation de l'expression des gènes, la diversité du monde viral, l'organisation des matrices extracellulaires, les principes fondamentaux de l'excitabilité cellulaire, etc... ou de démontrer les relations entre structure, propriétés et fonctions des molécules biologiques fondamentales. Le jury a également constaté que beaucoup de candidats ont des lacunes dans le domaine de la biologie cellulaire végétale.

Le jury a souvent observé une difficulté des candidats à hiérarchiser les connaissances. Certains candidats placent ainsi au même niveau des mécanismes fondamentaux et des détails de mécanismes biologiques : par exemple, connaître la séquence RGD de la fibronectine tout en étant incapable de décrire simplement la structure d'une lame basale.

### 6.3.2 Intégrer de nouvelles connaissances pendant la préparation de la leçon

Avec la leçon d'option le jury n'évalue pas seulement les connaissances du candidat. Les documents et la bibliographie apportent des informations qui ne sont pas forcément connues initialement du candidat ; celui-ci doit alors démontrer qu'il est capable d'intégrer rapidement ces nouvelles connaissances à son bagage scientifique. Les qualités d'analyse et de raisonnement à partir de ces données sont donc également évaluées.

De façon générale, **il est préférable pour un enseignant scientifique de comprendre et manipuler les notions de base et d'être capable de les compléter** par des détails recherchés dans des ouvrages ou sites Internet.

Que ce soit pour la leçon d'option ou de contre-option, la maîtrise de la bibliothèque mise à la disposition des candidats, dont le contenu est en adéquation avec les attendus du jury, permet de mieux appréhender l'ensemble des sujets posés. Ainsi, le jury a constaté que les candidats qui consultent un grand nombre d'ouvrages généralistes pour un sujet très pointu ont généralement du mal à faire ressortir les éléments essentiels de la leçon. *A contrario*, certains ouvrages plus spécifiques, qui auraient pu aider les candidats à traiter certains sujets, n'ont pas été consultés.

### 6.3.3 Organiser l'exposé

Dans l'introduction, il est conseillé d'exposer avec rigueur les définitions des différents mots du sujet pour ensuite les associer, ce qui amène à proposer une démarche construite. La plupart des problématiques proposées étaient satisfaisantes.

Les plans catalogues qui ne font pas suffisamment ressortir les concepts sont à proscrire. La recherche d'un plan original peut toutefois être contre-productive quand elle aboutit à l'oubli d'un pan majeur du sujet. De la même façon, dans la leçon d'option, lorsque le plan se limite à la succession des documents proposés, il est souvent incomplet. Les documents proposés par le jury doivent être intégrés dans une réflexion d'ensemble et il ne faut pas oublier qu'ils ne recouvrent en général qu'une partie du sujet. Mieux vaut faire la démonstration de sa maîtrise des concepts de base de la biologie dans un plan classique, en particulier quand le sujet n'est pas parfaitement maîtrisé par le candidat.

Au cours de l'exposé, la compréhension du plan par le jury est trop souvent perturbée par des titres de paragraphes annoncés et écrits *a posteriori*, plus souvent du fait d'un oubli du candidat que de sa volonté de ménager le suspense...**Rappelons qu'il n'est pas nécessaire d'écrire le plan au tableau** (ce qui représente une perte de temps pour le candidat et de place au tableau pour illustrer la leçon), **il peut être déroulé au fur et à mesure de la leçon en étant intégré au diaporama**. Si le candidat souhaite mettre en évidence une notion avant de la formaliser, ce qui est tout à fait pertinent, il doit choisir un titre qui le permet et pourquoi pas le compléter par la conclusion dans le plan ou sur un schéma bilan. Le jury a été surpris par l'inadéquation qui existe parfois entre le titre d'un paragraphe et son contenu.

Il n'y a aucun formalisme imposé pour les leçons. Ainsi, un schéma bilan n'est pas exigé, surtout si celui-ci n'apporte rien. Cependant, certains schémas, souvent construits progressivement, peuvent être intéressants s'ils synthétisent les notions développées au cours de l'exposé.

Certaines conclusions, qui ne se bornaient pas à une répétition des grandes lignes du plan, mais qui dégageaient une idée transversale et mettaient en perspective les notions développées, ont été particulièrement appréciées.

#### 6.3.4 Travailler à toutes les échelles et construire le sens biologique

Dans le programme officiel de l'agrégation, le secteur A est désigné par le titre : « Biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire ; leur intégration au niveau des organismes ». Les candidats oublient trop souvent cette seconde partie de l'intitulé et se concentrent sur des mécanismes moléculaires précis sans les resituer au niveau physiologique. Par exemple, il est difficile de décrire les mécanismes immunitaires ou neurobiologiques sans les localiser dans les différents organes lymphoïdes ou les différents organes nerveux. On attend des candidats un certain recul sur les notions développées, qui doit leur permettre de les intégrer à différentes échelles et de leur donner du sens biologique.

#### 6.3.5 S'appuyer sur le réel pour illustrer sa leçon

Même si le secteur A n'est pas celui où il est le plus facile de présenter des échantillons biologiques « réels », l'apport de ces éléments augmente fortement la plus-value de la leçon, lorsqu'ils sont bien évidemment utilisés à bon escient et dans une démarche explicative. Ce matériel peut être imposé dans les documents fournis par le jury ou proposés par le candidat pour illustrer les points-clés de son exposé. La liste des ouvrages, matériels, lames histologiques, matériel expérimental est disponible pendant la phase de préparation de la leçon et le candidat est accompagné durant cette phase par l'équipe technique qui lui fournit le matériel complémentaire qu'il souhaite. L'ensemble des documents et matériels, imposés et demandés, doit être intégré à la leçon (le jury vérifie l'adéquation de la liste des demandes du candidats avec le contenu de l'exposé).

Il semble encore nécessaire de rappeler qu'un échantillon ou un document ne doit pas être fourni au jury de façon brute : il doit être accompagné de tous les éléments permettant de rendre sa compréhension aisée (et que pour qu'une dissection soit exploitable, cela implique qu'elle soit recouverte d'eau).

Les préparations histologiques doivent toujours être exploitées/léguées (par tout moyen au choix du candidat : dessin, annotation d'une capture d'image...) afin de démontrer au jury la capacité du candidat à identifier (et retrouver) les structures présentes et à intégrer leur présentation à la problématique. C'est aussi l'occasion de rappeler que l'usage du microscope optique et de la loupe binoculaire doit être parfaitement maîtrisé par les candidats. Plus largement, les différentes échelles d'observation et le principe des différents microscopes doivent être connus. Les électrographies sont des supports trop peu exploités par les candidats.

Quand une manipulation est demandée, elle doit être réalisée au moins en partie devant les membres du jury, sauf si sa réalisation demande beaucoup de temps. C'est le cas de certaines manipulations de type ExAO. On note d'ailleurs que trop peu de candidats proposent spontanément ce type de mesures.



Enfin, on rappelle que toute situation expérimentale nécessite d'y inclure des témoins : ils doivent être présentés, ou au moins explicités, lors de la présentation des observations ou des résultats des expériences.

Des manipulations simples de biochimie ou de biologie cellulaire peuvent être appréciées, et ont tout leur intérêt si elles sont réalisées et analysées avec rigueur et que les interprétations sont en adéquation avec les résultats observés et le sujet de la leçon. En cas de résultat imprévu (qui aurait parfois pu être évité par un essai préalable pendant le temps de préparation), il ne faut pas s'arrêter au constat d'échec mais proposer des explications. Le jury y reviendra forcément lors de l'entretien, si cela n'a pas été fait spontanément par le candidat. L'utilisation de programmes de manipulation de modèles moléculaires doit être maîtrisée par les candidats ; elle est parfois imposée par les documents proposés par le jury, qui attend une véritable exploitation des modèles (et non leur simple présentation, qui n'a alors qu'un rôle illustratif).

Au-delà de l'exploitation de matériel réel pour illustrer les leçons, la mise en place d'une démarche démonstrative tout au long de l'exposé est absolument requise. Chaque partie doit être introduite par un questionnement, auquel le candidat doit proposer de répondre par l'observation, avant de dégager des notions générales qui peuvent alors être complétées de données plus théoriques. Cette démarche s'applique particulièrement aux documents fournis par le jury dans le cas de la leçon d'option, mais doit être généralisée à l'ensemble des leçons (y compris contre-option).

S'appuyer sur une approche historique pour exposer l'évolution des connaissances dans un domaine donné peut être pertinent, il ne faut cependant pas en abuser ni y consacrer l'ensemble de la leçon.

### 6.3.6 Adopter une démarche scientifique dans l'exploitation des documents

On rappelle que les documents imposés par le jury pour la leçon d'option sont des supports d'une partie de la démarche que le candidat doit construire. Ainsi, certains aspects du sujet, souvent classiques, peuvent ne pas être abordés dans les documents proposés par le jury mais sont néanmoins attendus.

Que ce soit des documents imposés ou des documents choisis par le candidat, y compris dans les leçons de contre-option, il est judicieux d'introduire le document par un questionnement, et de justifier en quoi le protocole réalisé peut permettre d'y répondre. S'il est inutile de passer du temps à paraphraser le protocole décrit, un schéma expérimental peut parfois être très didactique. On attend que les documents soient analysés et interprétés avec précision. L'analyse proposée par le candidat doit être quantifiée lorsque c'est possible (travail sur des histogrammes, des graphiques, etc.). Indiquer que « tel paramètre mesuré augmente dans telle situation » est beaucoup moins informatif que de préciser que « tel paramètre mesuré est multiplié par 50 dans telle condition par rapport à telle autre ». Le jury a apprécié que certains candidats 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 exploitable. 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...).

## **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 plus 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 démarches 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 valorisé. 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.

## **Les entretiens**

Au cours du premier entretien, le jury revient sur certains points abordés pendant l'exposé pour lever certaines ambiguïtés, permettre au candidat de corriger des erreurs ou obtenir des explications ou des

compléments sur des points choisis. Il est important que le candidat reste mobilisé pendant l'entretien et, ce, même s'il perçoit, avec les questions qui lui sont posées, certaines faiblesses de sa leçon. La capacité des candidats à revenir sur d'éventuelles erreurs faites ou à compléter des points restés flous lors de la leçon est une qualité appréciée.

Les autres entretiens permettent d'évaluer les connaissances du candidat dans d'autres domaines du secteur B et de tester ses capacités de raisonnement. Cette interrogation menée successivement par d'autres membres du jury est généralement initiée à partir d'un échantillon (coquilles de mollusque, crânes et squelettes, spécimens empaillés, échantillon végétal...) ou un document (photographie d'une coupe histologique, graphe montrant les résultats d'une expérience, tableaux de données...). Ces approches permettent de valoriser les qualités d'observations, d'analyse des candidats et l'exploitation de savoirs opérationnels au service de l'étude d'un échantillon ou d'un phénomène biologique. L'argumentation est un aspect fondamental des Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Univers, et le jury tient à rappeler qu'il attend alors un raisonnement argumenté à partir de l'échantillon ou du document fourni et non un placage de connaissances. L'entretien se poursuit ensuite par un questionnement suivant un fil directeur orienté par les réponses du candidat. Les réponses attendues doivent être ni trop courtes, ni trop longues de manière à couvrir un champ de connaissances scientifiques suffisant et, lorsque l'échantillon soumis à l'analyse s'y prête, le jury apprécie particulièrement les candidats capables d'en mener une présentation construite, active et rigoureuse en lien avec la biologie, l'écologie, la physiologie ou l'évolution des organismes. Le jury tient à rappeler que ces entretiens, effectués dans des domaines complémentaires du secteur B, peuvent permettre de contrebalancer, dans une certaine mesure, d'éventuelles faiblesses révélées par l'exposé et le premier entretien. Ainsi, comme cela a déjà été dit, les candidats sont encouragés à rester totalement mobilisés pendant toute la durée des entretiens.

## 6.5 Commentaires particuliers concernant les leçons d'option C

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons d'option par des commentaires spécifiques propres aux leçons de secteur C.

### 6.5.1 Connaissances scientifiques

Le jury déplore un manque de maîtrise des bases scientifiques en général, non seulement en Sciences de la Terre et de l'Univers mais aussi sur des notions simples de chimie ou de physique : des notions de thermodynamique et de chimie (notamment isotopique) sont requises pour aborder le système Terre. Des connaissances quelquefois pointues sur des sujets d'actualité peuvent être mal valorisées en l'absence d'une culture géologique de base. Il est rappelé que préparer l'agrégation ne se fait pas uniquement au cours de l'année de préparation mais que cela implique d'avoir assimilé les enseignements fondamentaux de niveau Licence. L'application d'une méthode pédagogique standardisée ne suffit pas à remplacer les connaissances fondamentales approfondies.

Les connaissances de bases suivantes posent un problème de manière récurrente aux candidats :

- Les notions faisant appel à une quantification ou une estimation de vitesse, débit, durée ou de la cinématique des processus géologiques ;
- Le principe du fonctionnement du microscope optique et des propriétés utilisées pour la détermination des minéraux (biréfringence, pléochroïsme, réfringence...) ;
- Les principes et acquis fondamentaux de la minéralogie (systèmes cristallins, formules chimiques, classification...) ;
- L'analyse de roches et/ou d'échantillons macroscopiques et de lames minces (confusion entre 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  $\delta^{18}\text{O}$ , de même que la signification de ses variations dans la glace ou dans les organismes calcifiés ;
- La signification des roches sédimentaires et des environnements de dépôts associés, souvent très approximative ;
- Le principe et le fonctionnement des outils expérimentaux les plus classiques (GPS, radar, microsonde électronique, spectromètre) ;
- L'utilisation des cartes géologiques adaptées par les candidats : utilisation correcte des cartes au millionième, au 1/50000 et au 1/250000 ;
- L'utilisation des modèles analogiques (exploité mécaniquement et trop souvent sans compréhension des lois d'échelle, des limites et des biais).

Enfin, les membres du jury du secteur C souhaitent rappeler qu'une solide formation naturaliste est attendue des candidats à l'Agrégation externe de SV-STU. De solides connaissances géographiques sont également exigées en particulier pour situer certaines structures ou régions géologiques remarquables.

### 6.5.2 Organisation de l'exposé / Démarche

Les plans proposés par les candidats sont souvent scolaires et présentent des titres peu démonstratifs ou non homogènes. Si le plan est projeté, il n'est pas nécessaire de l'écrire une seconde fois au tableau. Par contre il reste indispensable de l'énoncer au fur et à mesure de la leçon.

Globalement la problématique est présente, mais il ne faut pas oublier qu'elle doit permettre la construction d'une leçon suivant un fil directeur bien identifié et elle ne doit pas simplement reprendre le titre.

Durant la leçon, un des problèmes majeurs reste que les candidats ne partent pas assez de l'observation et de l'exploitation du matériel et des documents pour construire des notions. Les supports ne doivent pas être de simples illustrations d'un propos mais une base pour discuter des processus, un modèle... Le jury constate que globalement les candidats ne partent pas suffisamment des objets géologiques, mais préfèrent traiter des processus de façon très théorique ; et qu'il y a un gros travail à faire sur la bibliographie, car les ouvrages sortis par les candidats sont souvent trop nombreux, et pas toujours les plus appropriés pour traiter de la leçon.

### 6.5.3 Exploitation des documents fournis et des documents complémentaires

Trop de documents (imposés ou non) ne sont pas exploités ou pas dans le sens de l'intitulé de la leçon. Il faut que le candidat ne perde jamais de vue sa problématique, et exploite les documents afin d'y répondre.

Les documents et objets géologiques (imposés et choisis en option) doivent être placés au cœur de l'argumentation. Concrètement, ils doivent être exploités.

Les recommandations du jury sont ainsi (1) de s'appuyer sur des supports concrets et (2) d'exploiter efficacement les documents sans multiplier de façon exagérée les documents complémentaires. L'exercice de présentation et d'exploitation des documents permet ainsi d'évaluer conjointement les capacités d'analyse scientifique et les qualités pédagogiques.

Les documents proposés par le jury sont souvent des données géophysiques ou géochimiques, des résultats d'expériences, mais cela peut également être des cartes géologiques, des échantillons de roches, des lames minces, des photos d'affleurements... Le candidat doit les présenter au jury, les décrire systématiquement avant de les interpréter. Rares sont les candidats qui pensent à encadrer, souligner les points importants de façon graphique. L'utilisation d'un pointeur ou du curseur n'est pas systématiquement utilisée. Traduire des données fournies (ex : tableau) en graphique est maintenant facile en utilisant un tableur, peu de candidat se sont néanmoins livrés à l'exercice.

Le jury a remarqué que certains candidats ne présentaient pas la globalité des documents imposés en leçon d'option ou occultaient certaines parties de ceux-ci, ce qui les pénalise lors de la notation.

Les échantillons et photos des lames minces sont inégalement exploités ; une présentation complète des échantillons à différentes échelles, accompagnée de schémas et croquis explicatifs soignés est fortement conseillée. Pour une analyse raisonnée d'échantillon, il convient d'utiliser des critères qui permettent de s'orienter vers le type de roche (magmatique, sédimentaire, métamorphique) puis d'affiner les observations afin de conclure sur la nature de la roche et son histoire. Dans cette démarche, l'analyse inclut la texture, la description précise et le nom des minéraux, la caractérisation morphologique des objets. Le vocabulaire qui permet de décrire les échantillons est souvent très approximatif, et on note de nombreuses confusions (matrice pour mésostase, confusion macle/clivage, teinte/couleur/pléochroïsme d'un minéral...).

De même, les cartes géologiques sont souvent présentées de manière trop superficielle sans réelle exploitation : une production autour des cartes est souhaitable (schéma structural, coupe...).

Les échantillons et les cartes utilisés doivent être replacés dans leur contexte géographique et géologique.

Les candidats présentent parfois des modèles analogiques, mais leur utilisation est très fréquemment maladroite. En effet, il ne faut pas confondre modèle et phénomène naturel. Le transfert d'échelle entre les objets naturels et le modèle doit être souligné. L'utilisation d'un modèle doit découler d'un certain cheminement qui pose préalablement une hypothèse. Les limites et les biais des modèles doivent être discutés.

Rares sont les candidats qui cherchent à quantifier les phénomènes par des calculs simples qui s'appuient sur des lois physiques et chimiques. Les ordres de grandeur des vitesses, débits, durées, concentrations ... sont rarement présentés.

#### 6.5.4 Communication

Les candidats maîtrisent de mieux en mieux les différents moyens de communication parfois au détriment d'une bonne utilisation du tableau. L'occupation de celui-ci est souvent mal gérée et il serait bien de ne pas y trouver que le plan à la fin de la leçon.

Rares sont les leçons où le tableau se construit progressivement et à la fin desquelles le candidat présente un schéma de synthèse répondant au sujet ou, une représentation graphique des points forts de la leçon.

Tous les sujets ne se prêtent pas à un "schéma bilan" et il n'est donc pas nécessaire de vouloir à tout prix en réaliser un. Quand il peut être réalisé, ce schéma doit être construit au fur et à mesure de la leçon et présenter un aspect « fonctionnel » (relations de cause à effet, mécanismes de contrôle positif ou négatif). Un schéma qui consiste à écrire des mots clés reliés entre eux par des traits sans signification n'a strictement aucun intérêt et ne pallie pas le manque de connaissances approfondies sur le sujet. Il doit nécessairement présenter l'échelle à laquelle il s'applique (croûte, lithosphère...).

### 6.6. Liste des leçons d'option de la session 2024

#### LECONS OPTION SECTEUR A

les cellules souches animales

Le xénope un modèle animal

Les complexes hypothalamo-hypophysaire

Le contrôle de la balance énergétique

Les enzymes dans le système digestif

L'adressage des protéines dans la cellule animale

Les modifications post-traductionnelles des protéines

les catécholamines

Modifications physiologiques et régulations hormonales associées à la grossesse, à l'accouchement et à la lactation dans l'espèce humaine

Oxydants et anti-oxydants

Le foie, un organe de détoxification et d'interface avec l'extérieur

Réponses immunitaires et mécanismes de l'échappement

Les matrices extracellulaires chez les Mammifères

la complémentarité des bases azotées

Immunité et cancer

L'utilisation des virus par l'Homme

Le contrôle hormonal de la pression artérielle

les enzymes du métabolisme énergétique microbien

Les gradients morphogénétiques

Détection et conduction de l'information visuelle chez l'homme

Les enzymes du système digestif

Les tissus conjonctifs

les oestrogènes

La formation des neurones

La Dengue

Le rôle du néphron dans le contrôle de l'équilibre hydro-électrolytique

Génotype, phénotype, environnement

maîtrise de la reproduction dans l'espèce humaine

Les dysfonctionnements du système immunitaire

Dynamique du cytosquelette des cellules eucaryotes

Paroi cellulaire et développement végétatif des Angiospermes

Cofacteurs et effecteurs de la réaction enzymatique

Les systèmes-portes

Les cellules musculaires striées

## LECONS OPTION SECTEUR B

Les couleurs chez les animaux

Polymorphisme et Traits d'histoire de vie

Dynamique et conservation d'un écosystème forestier

La nutrition azotée des angiospermes

Le cycle biologique de l'azote

Adaptations des Angiospermes au milieu aquatique

Le cœur des vertébrés

Biologie et écologie des êtres vivants des cours d'eau

La biologie des graines

Les vaisseaux sanguins chez les mammifères

Structure et fonctions de la racine chez les Angiospermes

Les rôles du sang chez les mammifères

Les systèmes à contre-courant

L'érosion de la biodiversité



Les interactions entre les champignons et les plantes  
De l'induction florale à la fleur  
L'homéostasie glucidique  
Les poumons des vertébrés  
biologie de la conservation : principes et approches pour préserver la biodiversité  
Le sélection sexuelle  
Biomes et aires biogéographiques  
La domestication  
Espèce et spéciation  
La vie dans la zone intertidale  
Flux de matière au sein de l'écosystème forestier  
Les endosymbioses  
Les bourgeons chez les Angiospermes  
la sélection naturelle  
Le parasitisme et ses conséquences dans les communautés écologiques  
Les sèves et leur circulation  
Régulation neurophysiologique et hormonale de la pression artérielle  
Interrelation cœur-vaisseaux  
Pollen et pollinisation  
La feuille des Angiospermes et la fonction de nutrition  
Les êtres vivants du sol  
La recherche de nourriture chez les animaux  
Comportements reproducteurs et systèmes d'appariement chez les vertébrés  
Les maladies neurodégénératives chez l'être humain  
Les fonctions ovariennes chez les mammifères  
Homéostasie et perturbations  
Les cycles de reproduction chez les embryophytes  
Communication hormonale et nerveuse dans l'espèce humaine  
Les conséquences génétiques de la reproduction  
La circulation de l'eau dans la plante  
La fleur des Angiospermes  
L'autotrophie pour l'azote chez les angiospermes  
Le plancton  
La dynamique des populations et ses modèles  
Les stomates  
Mesurer la biodiversité  
L'écosystème prairie en climat tempéré  
Homologies et homoplasies  
La lumière chez les végétaux  
Unité et diversité des champignons  
Ecologie et conservation des tourbières  
Edification de l'appareil végétatif des Angiospermes  
La coévolution  
La fonction testiculaire

Le passage de la mauvaise saison chez les végétaux en milieux tempérés  
Autofécondation et allofécondation  
L'excrétion azotée et les milieux de vie des animaux  
Les symbioses chez les végétaux  
Parasitisme et mutualisme  
Les agrosystèmes  
La motricité somatique et son contrôle  
L'adaptation dans le cadre de l'évolution  
La dynamique des populations et ses modèles  
La vie en montagne  
Unité et diversité des mollusques  
Le groupe écologique des algues  
les microorganismes dans le vivant  
Les constructions animales

### LECONS OPTION SECTEUR C

Les changements climatiques majeurs du Phanérozoïque  
La rhéologie : des roches à la lithosphère  
Marges passives  
Spécificité de la planète Terre et zone d'habitabilité du système solaire.  
Reconstitution des paléoenvironnements continentaux  
Rôle des organismes marins sur la genèse des sédiments  
Les grandes lignes de la géologie de l'Europe  
Fossiles et processus de fossilisation  
Mobilité verticale de la lithosphère  
Durée et vitesses des processus géologiques  
Forme de la Terre et champ de pesanteur  
Bioconstructions et plateformes carbonatées  
L'univers et les grandes étapes de la formation du système solaire  
L'analyse des marqueurs métamorphiques en France  
Géodynamique de la Méditerranée  
Formation et différenciation des planètes telluriques  
Les crises de la biodiversité  
Le cycle du carbone  
Origine et évolution de la lignée humaine  
Le dynamisme des éruptions volcaniques  
Les périodes glaciaires dans l'histoire de la Terre  
Comparaison géodynamique actuelle et géodynamique archéenne  
L'histoire de la France métropolitaine à partir de l'étude des bassins sédimentaires  
Le manteau terrestre  
Les ressources énergétiques d'origine géologique  
L'histoire géologique du Massif Armoricaïn à partir de cartes géologiques et d'échantillons  
La collision continentale à travers l'exemple de l'Himalaya-Tibet

Les minéraux en géoscience  
Les météorites  
Les risques naturels  
L'eau : une ressource du sous-sol en France  
La température interne du globe terrestre  
Le modèle PREM - sismologie et structure interne de la Terre  
Le magnétisme terrestre et ses apports aux géosciences  
Les ressources minérales et leurs processus de concentration  
Le temps en géologie : apport des fossiles  
Le contrôle astronomique des climats durant le Quaternaire  
Altération et érosion des continents  
Fossiles et paléoenvironnements  
Les anomalies en géophysique  
Les dorsales océaniques  
Mobilité verticale de la lithosphère  
Le magmatisme du Massif Central  
Du rift continental à la dorsale  
Aléas et risques sismiques

## 6.7 Liste des leçons de contre-option de la session 2024

### LECONS CONTRE OPTION SECTEUR A

Les anticorps et leurs fonctions  
Relations génotype-phénotype  
Les hormones peptidiques et leurs mécanismes d'action  
La vaccination  
Les cellules procaryotes  
Une pathologie dégénérative au choix du candidat  
Les cycles des virus  
Processus moléculaires et cellulaires de la fécondation et ses conséquences  
Cancer et cycle cellulaire  
Les gènes homéotiques  
Les potentiels membranaires  
Les mutations  
Les mitochondries  
Relation structure / fonction des protéines  
Mitose et méiose  
Les hormones stéroïdes et leurs axes endocriniens  
L'apport des bactéries et des virus en génétique et biologie moléculaire  
Les protéines membranaires  
Les enzymes, des biocatalyseurs  
Les hormones surrénaliennes, des molécules à la physiologie  
Comparaison cellules méristématiques, cellules différenciées

Les ARN des eucaryotes  
Le glucose dans les cellules végétales  
La coopération cellulaire au cours de la réponse immunitaire

### **LECONS CONTRE OPTION SECTEUR B**

Le sol: un écosystème  
Le parasitisme  
Les êtres vivants et le cycle biogéochimique de l'azote  
Un écosystème au choix du candidat  
Les cycles de développement des Embryophytes  
La vie végétale en milieux secs  
Espèce et spéciation  
Le polymorphisme  
Les symbioses mutualistes  
Classer les êtres vivants  
Les conséquences génétiques de la reproduction  
La dispersion chez les Embryophytes  
La vie dans la zone intertidale  
La vie en montagne  
L'exercice physique  
L'homéostasie glucidique  
Structure et dynamique des écosystèmes forestiers  
Communication hormonale et nerveuse dans l'espèce humaine  
Les relations à bénéfices réciproques chez les êtres vivants  
Les agrosystèmes  
Homologie et liens de parenté

### **LECONS CONTRE OPTION SECTEUR C**

la Réunion à partir de cartes géologiques de son choix  
Le magmatisme des chaînes de montagnes  
L'apport des données paléontologiques à la reconstitution paléoenvironnementale  
La géologie de la Corse à partir de cartes géologiques au choix du candidat  
La radiochronologie  
Processus de fossilisation  
La formation des roches par les organismes vivants  
La chaîne varisque en France  
Géochronologie du quaternaire : enjeux, méthodes, limites  
Le champ magnétique terrestre  
Transferts de matières du continent à l'océan  
Le modèle de la tectonique des plaques  
Géologie de l'Océan Atlantique  
Sismologie et structure de la lithosphère

Origine et genèse des granites  
Énergie solaire et bilan énergétique de la Terre  
Les magmas dans leur contexte géodynamique  
Sédimentation et ressources énergétiques  
Le phénomène El Niño-oscillation australe (ENSO)  
La théorie astronomique des climats  
Dynamique des reliefs et influences sur les variations climatiques  
Les variations du niveau marin à différentes échelle de temps  
Les grandes crises de la biodiversité  
Influence de la lithologie et du climat sur l'évolution des reliefs continentaux (intitulé modifié)  
Le volcanisme cénozoïque en France métropolitaine  
Géologie de l'Océan Atlantique  
Radiations adaptatives, extinctions et changements environnementaux  
Le Bassin d'Aquitaine  
Les formations superficielles, source de métaux d'intérêt économique  
La structure et la dynamique interne des planètes telluriques  
Les processus d'altération et érosion des reliefs, et leur évolution au cours des temps géologiques  
La reconstitution des températures des océans anciens  
Le magmatisme de points chauds  
Un cycle biogéochimique au choix du candidat  
De l'ouverture océanique à la naissance d'une chaîne de montagne  
Le découpage du temps géologique  
Le magmatisme tertiaire et quaternaire du Massif Central  
Les grandes lignes de la géologie de la Provence  
Les enveloppes internes de la Terre  
La sismicité de la France dans son cadre géod  
La bassin de Paris à partir de la carte géologique au millionième  
L'apport des données satellitaires à l'étude de la Terre  
Les variations du niveau marin à différentes échelle de temps  
le changement climatique causé par l'activité humaine  
La Terre dans le système solaire  
Le fossé rhénan  
Reliefs de la Terre  
Les contextes métamorphiques à partir de cartes au choix du candidat  
Vitesse des processus géologiques  
Les grands ensembles géologiques à la surface de la Terre à partir de la carte géologique mondiale  
Les ressources énergétiques du sous-sol  
Expérimentation et modélisation en géologie / à partir d'un processus (ou 2) au choix du candidat  
Les ressources énergétiques fossiles  
L'orogénèse hercynienne à partir de la carte géologique de la France au millionième  
Le magmatisme d'origine mantellique

Les apports de la (bio)géochimie des fossiles  
Radiochronologie : principes et application  
Les eaux continentales de surface et souterraines : des ressources  
Sources et transferts de chaleur dans le système Terre  
La diagenèse  
Les grandes lignes de l'histoire géologique du Jura à partir de cartes géologiques au choix du candidat  
Comparaison des géodynamiques actuelle et archéenne  
Le noyau terrestre  
Géomorphologie continentale et océanique  
Reconstitution d'un cycle orogénique en France au choix du candidat à partir des marqueurs métamorphiques  
Les grands cycles orogéniques à partir de la carte géologique de France au millionième  
Géoïde et champ de pesanteur de la Terre  
La mesure du temps en géologie  
Géologie de l'Océan Pacifique  
Les évaporites  
La biostratigraphie  
La cinématique des plaques à différentes échelles de temps  
Le géotherme terrestre  
L'apparition de la vie sur la Terre primitive  
Les métamorphismes liés au cycle alpin en France  
La tectonique en décrochement  
Le magmatisme associé à la divergence lithosphérique  
Le modelé karstique et le karst, ressource en eau renouvelable dans les roches calcaires (Proposition)  
La circulation atmosphérique  
Le manteau terrestre  
Genèse et évolution des magmas  
Une méthode géophysique au choix du candidat  
Diversité des dynamismes éruptifs  
La connaissance de l'intérieur de la Terre  
la circulation thermo-haline  
Le Cénozoïque en France métropolitaine  
Séismes et ondes sismiques  
Déformations associées aux chaînes de convergence  
Les microfossiles : outils pour le géologue  
Les mouvements verticaux de la lithosphère  
La subduction en Méditerranée  
Données géologiques, chimiques et biologiques sur les origines de la Vie  
Reconstitutions des paléoenvironnements marins  
La différenciation de la Terre  
Géomorphologie côtière, hausse du niveau de la mer et risques associés  
La datation des roches magmatiques  
Désagrégation mécanique et altération chimique en domaine continental  
Les transferts de chaleur à l'intérieur de la Terre  
la composition chimique de l'atmosphère terrestre

Origine et évolution de la lignée humaine

La chronologie relative à partir de cartes et d'échantillons

La circulation océanique

Les grandes lignes de l'histoire géologique des Alpes

Les bassins houillers

Les métamorphismes liés au cycle alpin en France

Volcans et climat