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. Epreuve 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. Epreuve 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. Epreuve 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 Maitriser les connaissances
6.3.2 Intégrer de nouvelles connaissances pendant la préparation de la leçon
6.3.3 Organiser l'exposé
6.3.4 Travailler à toutes les échelles et construire le sens biologique
6.3.5 S'appuyer sur du réel pour illustrer la leçon
6.3.6 Adopter une démarche scientifique dans l'exploitation des documents
6.3.7 Adopter une démarche didactique
6.3.8 Maitriser l'oral
6.3.9 Rester mobilisé pour les entretiens
6.4 Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur B
6.4.1 Des connaissances naturalistes à privilégier sans négliger les connaissances de base
6.4.2 Exploitation du matériel et intégration dans l'exposé
6.5 Commentaires particuliers concernant les leçons de secteur C
6.5.1 Connaissances scientifiques
6.5.2 Organisation de l'exposé / Démarche
6.5.3 Exploitation des documents fournis et des documents complémentaires
6.5.4 Communication
6.6 Liste des leçons d'option de la session 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
1. Épreuves écrites d'admissibilité			
1.1. Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A	5h	2	40
1.2 . Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B	5h	2	40
1.3 . Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C	5h	2	40
Total des épreuves écrites			**120**
2. Épreuves d'admission			
2.1 Épreuves de travaux pratiques			
2.1.1 Épreuve portant sur le programme du secteur choisi (secteur A, B ou C suivant le choix du candidat)	6h	3	60
2.1.2 Épreuve portant sur le programme général des deux autres secteurs	4h	2	40
Total des épreuves pratiques			**100**
2.2 Épreuve orales			
2.2.1 Épreuve portant sur le programme du secteur choisi (secteur A, B ou C suivant le choix du candidat)	4h + 50 min.+ 30 min.	5	100
2.2.2 Épreuve portant sur le programme général des deux autres secteurs	4h + 40 min.+ 30 min	4	80
Total des épreuves orales			**180**
Total général		**20**	**400**

Tableau 1. Les modalités du concours

1.2. Le déroulement du concours 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 27 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.

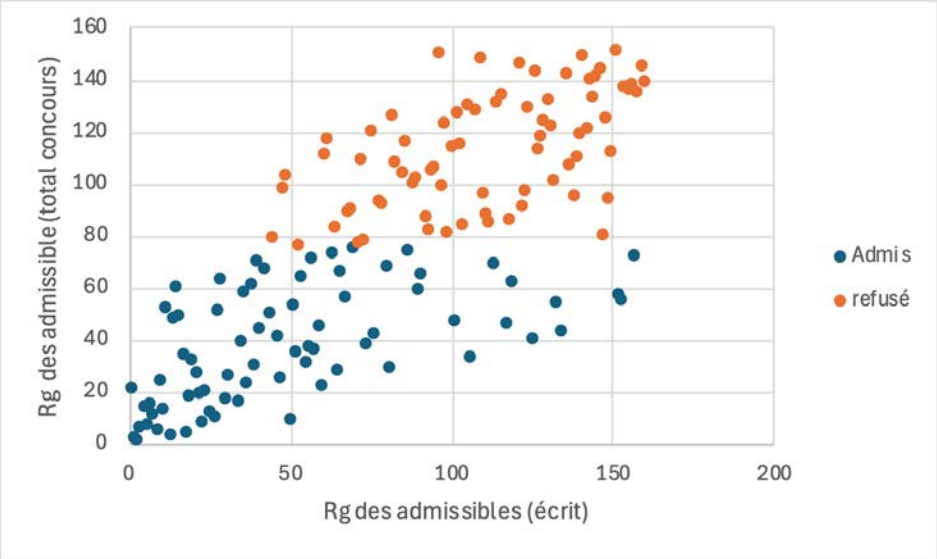
Pour cette session, la barre d'admissibilité est de 7,78/20. La moyenne des candidats qui ont présenté les trois épreuves écrites est de 6,50/20 et celle des admissibles est de 10,93/20. Les meilleurs candidats obtiennent de très bons résultats aux trois épreuves. Le jury souligne la grande homogénéité 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 120e place à l'écrit ont été admis et un candidat termine le

concours à la 40e place alors qu'il était au-delà de la 120e place à l'issue des écrits. A noter également cette année que le candidat classé 157e 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.

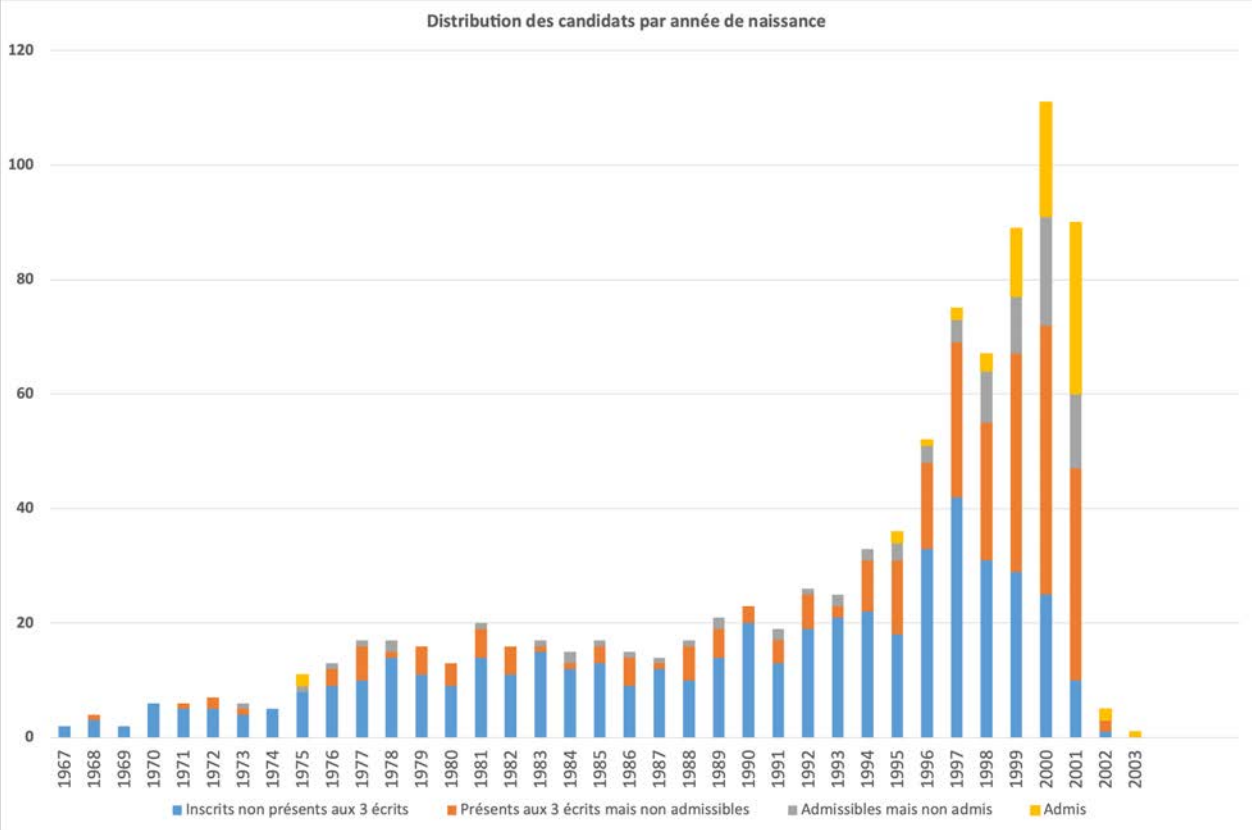
2.1.2 Les candidats par sexe

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
120
100
80
60
40
20
0
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
Inscrits non présents aux 3 écrits
Présents aux 3 écrits mais non admissibles
Admissibles mais non admis
Admis

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 / commercants	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

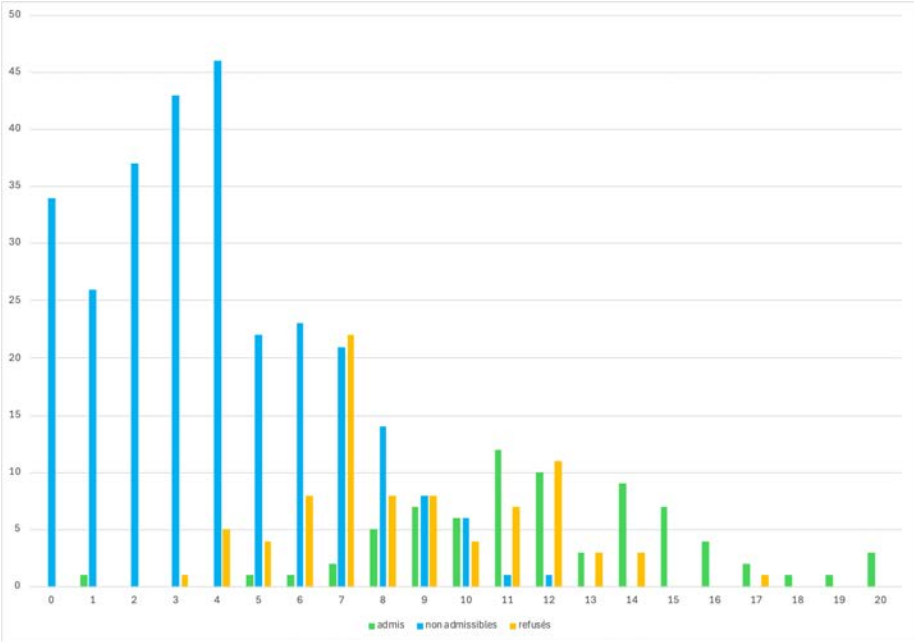
année	nombre de postes mis au concours	nombre d'inscrits	nombre de présents	nombre d'admissibles	nombre d'admis	liste complémentaire
1993	154	1439	819	233	148	Non
1994	154	1581	950	241	154	Non
1995	154	1770	1034	242	142	Non
1996	154	2041	1252	245	154	Non
1997	130	2273	1473	245	130	Non
1998	150	2416	1413	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
2919	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.

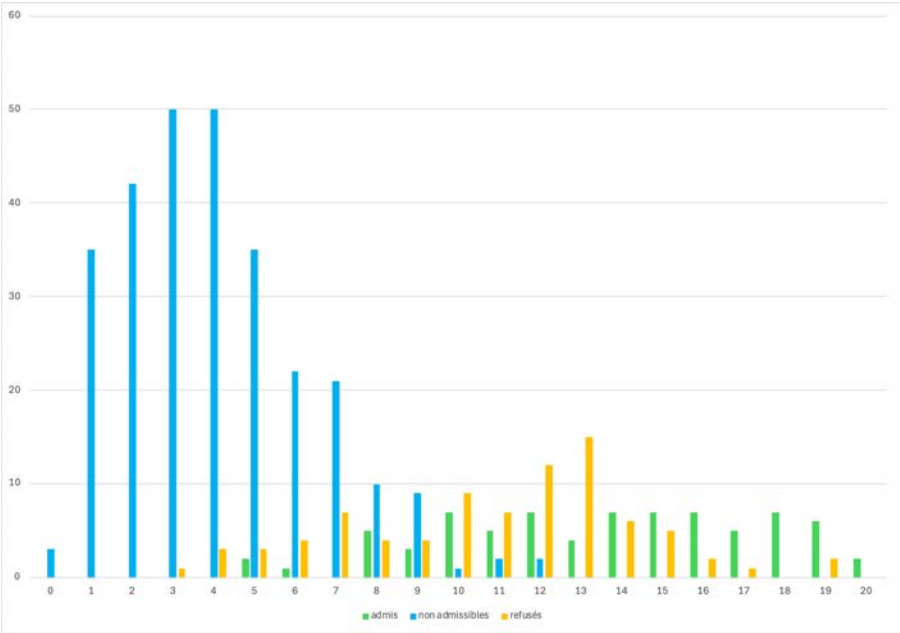
2.2.1 Épreuve écrite de secteur A

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



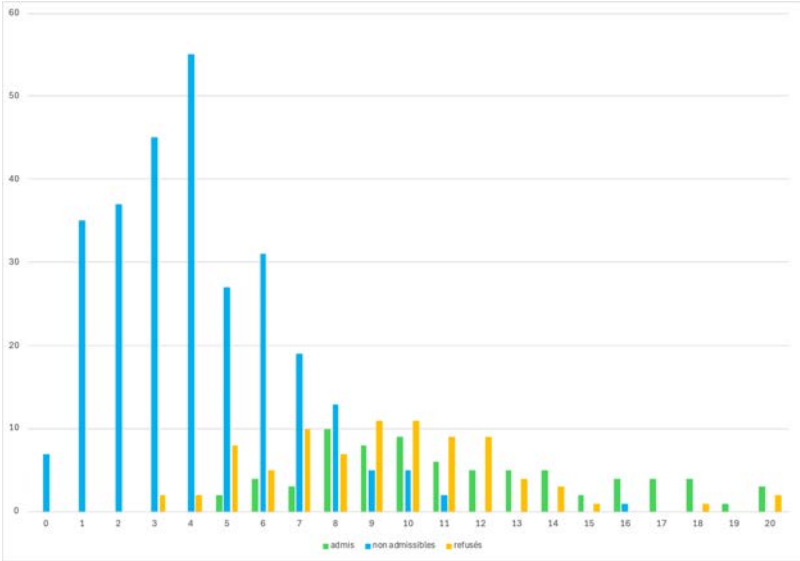
2.2.2 Épreuve écrite de secteur B

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



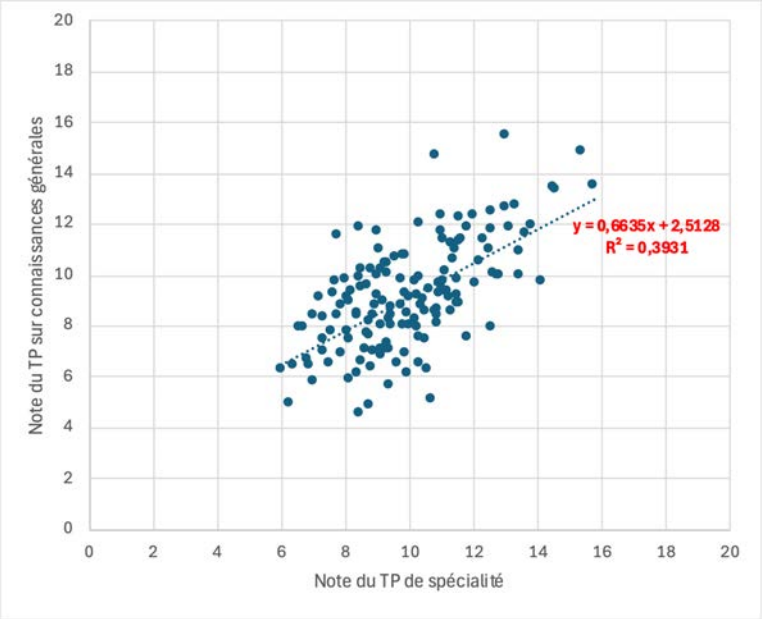
2.3 Quelques données statistiques concernant les épreuves pratiques

	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**
Moyenne	10	10	10	10	10	10
Écart type	2,04	1,83	2,17	2,89	2,33	2,03
Max	**14,55**	**15,77**	**15,35**	**17,87**	**15,48**	**15,41**
Min	**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(note du TP sur connaissances générales) = 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'Education 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'expliciter 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-posterieur, 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 interneurones 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 Na^+/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 syndactilie ont été abordés. 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=bascule, 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
Aspects pathophysiologiques	Atteintes développementales	Agents tératogènes (talidomide, pesticides) Mutations des gènes Hox Polydactylie Syndactilie
	Maladies dégénératives	
	Thérapie	Prothèses, greffe des membres, thérapie cellulaire
Qualité des démonstrations et de l'argumentation		
Qualité du plan et de l'organisation de la copie	Adéquation au sujet	
	Cohérent globalement (niveau hiérarchique homogène des découpages du plan)	
	Logique dans la progression de la copie	
	Unités paragraphiques : une idée par paragraphe en adéquation avec son titre	
	Transitions : explicite la logique de changer de paragraphe/partie	
Illustrations	Richesse de la copie en illustrations	
	Qualité des illustrations : soignée (titre, légende, échelle si pertinent), fait apparaître une hiérarchisation des informations apportées par l'illustration, intégrée au discours	
Orthographe/syntaxe		
Clarté/concision/soin		
Conclusion	Synthèse (qui n'est pas une simple redite) des idées fortes développées au long de l'exposé avec ou pas un schéma de synthèse	
	Ouverture de qualité vers un prolongement intéressant du sujet/remise en perspective	
Bonus	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'expliciter 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'expliciter 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.

Agrégation externe Épreuve du secteur B	Sujet : LA DISTRIBUTION DES POPULATIONS DANS LA BIOSPHERE *Cette distribution sera envisagée à différentes échelles écologiques, spatiales et temporelles.*	Compléments sur les attendus	Commentaires
Introduction	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	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	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 maitrise de ces concepts.

		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.	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.	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 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.

		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)	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.
		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 aire espèces migratrices ont des aires disjointes.	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.
		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 (α), inter-habitat (β) et sectorielle (γ)	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.
	Les variations de la distribution à différentes échelles temporelles.	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)	Les échelles temporelles ont généralement été abordées sans faire un lien explicite avec les processus pouvant affecter les populations.

		-géologiques (tectonique : rifting, mégacontinents)	
Transition possible	*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 ?*		
La distribution des populations est dynamique dans l'espace et dans le temps	Une population locale présente une dynamique propre	L'effectif d'une population dépend de la natalité et de la mortalité locale et des processus de migration (émigration et immigration (N=n-n+i-e). Ces processus dépendent : -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.) -de facteurs extrinsèques comme les interactions avec les autres populations (prédation, compétition, mutualisme) et des événements « catastrophiques » d'origine climatique, géologiques ou anthropique. 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.	Des modèles de dynamique des populations (croissance exponentielle et logistique) ont souvent été abordés de manière très détaillée mais généralement trop formelle *i.e.* sans précisions sur les processus biologiques fondamentaux impliqués 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.) 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. 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

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	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. 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.	La notion de recolonisation médiée par des flux d'individus entre populations a trop souvent été oubliée. 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 Dans certaines copies, des représentation schématiques pertinentes ont permis d'illustrer la diversité des métapopulations
	La dynamique des métapopulations entraine des modifications spatio-temporelle de la distribution des espèces	Certaines espèces sont caractérisées au cours du temps par une : - réduction de leur aire de répartition du fait de la disparition d'habitat favorables ou de la compétition avec des espèces envahissantes. - ou une extension de leur aire de répartition : exemple des espèces allochtones envahissantes. Disparition d'espèces : espèces fossiles et éteintes (enregistrées respectivement dans les paléontologiques et historiques)	Des exemples précis (Nom d'espèce avec indication de la modification de l'aire de répartition) étaient attendus. 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), connait un développement explosif souvent au détriment du maintien des espèces originairement présentes) pouvait permettre une présentation argumentée de nombreuses notions attendues dans cette partie. 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 De nombreux exemples paléontologiques pouvaient être mobilisés. Pour les espèces éteintes de nombreuses copies ont fait référence célèbre Dodo (Raphus cucullatus) disparu de l'île Maurice dans les années 1680.

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	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 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 » Notion de Hots spots ou point chaud de biodiversité (N. Myers 1988) : un des critères de priorisation des mesures conservatoires	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.) Un exemple d'oasis de biodiversité en milieu aquatique (ex : récif coralien, herbier à Posidonie etc.) et continental (ex : forêt tropicale) était attendu 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
		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. 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.	Un exemple précis de succession écologique était attendu (ex : série du chêne vert). 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 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

		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	*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 ?*		
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 (*Echelle d'une population*)	Mise en évidence de l'adéquation entre exigences écologiques et facteurs du milieu. Notion de facteur écologique et définition de la valence écologique (*amplitude des variations d'un facteur écologique permettant le maintien d'une population*). Définition d'organismes eury- ou sténo-èces en les illustrant avec des exemples précis en fonction du facteur écologique choisi L'habitat d'une population pouvait alors être défini comme *une portion délimitée de la biosphère caractérisée par une ensemble de facteurs écologiques biotiques et abiotiques permettant le maintien de cette population.* 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)	Au moins UN exemple précis impliquant des facteurs biotiques ou abiotiques était attendu. 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. La notion de valence écologique pouvait être définie et illustrée avec des exemples précis et pertinents d'espèces euryèces et sténoèces. 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) L'image, utilisée par Liebig, du tonneau avec des douelles de taille différente a été réinvestie à bon escient dans plusieurs copies.

		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
		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. 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.	La niche écologique est ainsi décrite dans un hyperespace 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. Dans de trop nombreuses copies la distinction entre niche et habitat n'est pas maitrisée.
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 (*Echelle d'une population*)	Le concept de niche réalisée se construit en prenant en compte les relations interspécifiques. Elle peut être : -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). -plus étroite que la niche fondamentale lorsque que les relations interspécifiques ont des effets négatifs sur la population étudiée. Les relations de prédation ou parasitisme illustrent des relations de dépendance à une ressource (monophagie et oïxénie) Les relations compétitives illustrent le resserrement et glissement de niche par	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. Dans de nombreuses copies les expériences d'élimination et transplantations d'individus de populations occupant différents étages de la zone intertidale (balanes et chtamales ou algues brunes) ont été exploités judicieusement L'utilisation d'intrants permet de limiter l'impact de compétiteurs (herbicides) et de

		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 changement 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 (*Echelle des communautés*)	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-pluviomètriques 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 leurs activités, les populations modifient les conditions du milieu et exercent une influence dynamique sur les assemblages	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) permettait de distinguer les ingénieurs autogéniques et allogéniques. L'espèce humaine pouvait être utilisé comme exemple d'espèce ingénieure.
		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 complémentaire 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 entrainer 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 (*mouvements d'individus dans le temps et l'espace*) peut être active à la faveur de la mobilité de l'organisme ou d'une de ses formes de vie (*propagules au sens d'unité de propagation*) 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 (*nombre d'individus qui participent réellement à la reproduction*) 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 (*voies permettant le mouvement d'individus entre habitats*). 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 explicité : 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.

		solution pour les réintroduire dans leurs territoires d'origine. 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.	
Transition possible			
	Sur un temps long, l'évolution des populations peut conduire à de nouvelles distributions par spéciation ou extinction	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 fondateuretc.).	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.
		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. Le rythme d'extinction actuel documenté dans les archives historiques et contemporaines est beaucoup plus important que par le passé. La	Les crises majeures de biodiversité ont été abordées dans de nombreuses copies ainsi que les causes responsables de ces extinctions à grande échelle. Les impacts directs et indirects des activités anthropiques sur la biodiversité actuelle ont généralement été cités mais rarement de façon « complète ». Toute comparaison pertinente des taux d'extinction passé et actuel a été valorisée.

		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	
	Sur un temps long, l'évolution des populations peut conduire à de nouvelles distributions par spéciation ou extinction	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. Plusieurs stratégies pour enrayer cette spirale de l'extinction (protection, mitigation, restauration etc.) pouvaient être soit remobilisées soit abordées dans cette partie.	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 maitrise du sujet. La mise en relation explicite de quelques stratégies de protection s.l. de la biodiversité avec les critères d'évaluation était attendue.
Transition possible	Ces différents processus ont été intégré au sein d'un modèle : la théorie de la biogéographie insulaire de MacArthur & Wilson.	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.	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. La dimension prédictive de cette théorie a rarement été évoquée.

		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.	
Conclusion	synthèse (qui n'est pas une simple redite) des idées fortes développées au long de l'exposé avec ou pas un schéma de synthèse ouverture de qualité vers un prolongement intéressant du sujet/remise en perspective	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). 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.	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.
		Idée d'ouverture : Le développement durable représente un défi sociétal, économique et culturel engageant la responsabilité humaine envers les générations futures.	Très peu de copies proposent une ouverture du sujet vers un prolongement pertinent.

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 le 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_2) 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 connaitre 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) t**ransport 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 am-poule de 40W allumée en permanence/m2). 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-pole 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_2 ou N_2. 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+** c'est pourquoi le sel est expulsé et augmente la salinité des eaux de surface environnante. De part la masse molaire du Na^+ (23 g/mol) > H_2O (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 (Cp), de 1000 J/kg/K; on peut calculer la capacité calorifique (C) par unité de surface C(atmos) = H * ro * Cp = 10^7 J.m-2.K-1 (où ro = 1,2 kg/m3) L'épaisseur de la couche de surface de l'eau permettant de stocker autant d'énergie (ro = 1027 kg/m3, Cp(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 transfert de matière.
Observation: Depuis la révolution industrielle au XIXème 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 CO2 émis par la respiration par exemple). Mais, à la différence des flux naturels, l'émission de CO2 anthropique n'est pas compensée par de nouveaux puits, qu'ils soient naturels ou anthropiques. A ce rythme, l'augmentation de la teneur en CO2 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 CO2 émis est absorbée. Parallèlement à cette déstabilisation du cycle du carbone, on observe une baisse de la teneur en dioxygène dissous (O2d) 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 CO2 est très élevée alors que celle de l'O2 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'O2. Le CO2 est un gaz mineur de l'atmosphère (pCO2 ~ 400 ppmv) comparé au N2, à l'O2 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 O2 des eaux de sur-face de l'océan peut facilement varier et ces eaux peuvent devenir localement trop pauvres en O2d 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 : 106CO2 + 16HNO3 +H3PO4 + 78H2O → C106H175O42N16P + 150 O2 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 (~10 m/jour pour une particule de diamètre ~ 100 µm) car l'écart de densité entre la matière organique (ρorg = 1067 kg/m³) et l'eau (ρocean= 1027 kg/m3) est faible. Plus les particules sont fines (diamètre < ~ 100 µm), 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 (~2GtC.an-1) et celui réellement enfouis (~0.2GtC.an-1). En effet le Corg est enfouis passivement avec une vitesse qui dépend du flux sédimentaire (1cm.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 O2/H2O possède un pouvoir oxydant très fort, à l'inverse du couple CO2/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 (ΔG0) 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 longterme.
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, connaitre 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 $d1^{8}O$ retrace le volume des glaces (illustration issue de Veizer et al, 99) *Attention : le $d^{18}O$ enregistré dans les glace 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 [CO2]d issu de la dégradation de la matière organique dans la colonne d'eau. Cette réaction favorise la réduction de CO32- (dissociation K2 = [H+][CO32-]/[HCO3-]) ce qui conduit à baisser la saturation des carbonates (omega < 1 dès 3000m dans le Pacifique contre 4000m dans l'Atlantique). La lysocline définie 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 = $[CO_3^{2-}]$ * $[Ca^{2+}]$ / Ks où KS est la solubilité du $CaCO_3$

Implication sur l'évolution passée. Il est possible de partir des notions discuter plus haut pour présenter les 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_2 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 trie chimique (diagramme de Goldschmidt pour la partie soluble et diagramme de Pedro pour le de 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 paléolatitude (ex : paléomagnétisme) sans quoi le raisonnement est incomplet).

Notion utile. Un autre exemple possible concerne l'altération de la croûte océanique (exemple gites 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, sulfure), 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 lié à l'enrichissement du fluide/silicates issue de la croute océanique. Le fluide hydrothermal (300-400°C) par circulation convective d'eau de mer et lessivage du basalte va sa composition se modifiée 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 lié aux photons (photosynthèse). Le gradient redox qui est utilisé par les organismes pour synthétiser la matière organique (les ilots de vie autour des fumeurs, le réducteur est le plus souvent le H_2S)

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 fort 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 $^{87}Sr/^{86}Sr$ (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 croute) entre carbonifère (300Ma) et début Trias (252Ma). Au premier ordre 15 km de croute 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'ile 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 Myashiro 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 H2O 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), métamorphise prograde : SV (chlorite - albite - actinote -

epidote). Dès 15km, SB (amphibole sodique), dès 30km (omphacite-jadeite), dès 45km éclogite (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 éclogite, 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)
		Evolution temporelle (sols, age, positions latitudes)
hydrothermalisme océanique		Comparaison altération cont/océanique
Action mécanique de l'hydrosphère		observation (un ex parmis : 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 cénoz//orogènes 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 pertient), fait apparaitre 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 manipulatoire, 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. boite 1 : dilution au 1/10e ; boite 2 : dilution au 1/100e.

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 boite 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.

Boite 1 : 40 grandes colonies *10 (dilution) / 25 (equivalent à 1mL d'eau) = 16 colonies / mL d'eau

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

R 100% P 46%

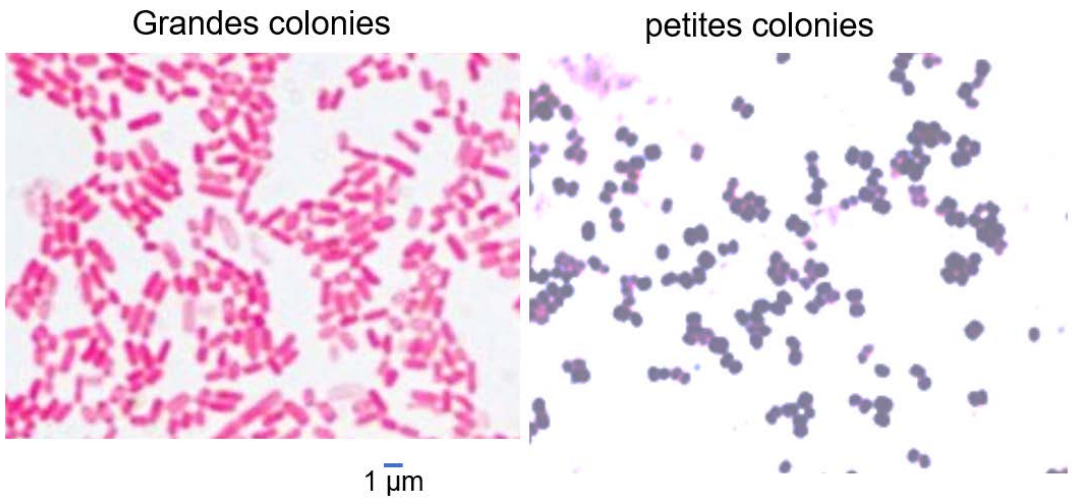
Pour caractériser les micro-organismes présents, vous allez réaliser un frottis et une coloration de Gram. Des gants sont à votre disposition dans la salle. Plusieurs frottis et colorations sont réalisables en parallèle dans des boites de Pétri séparées. Les déchets liquides peuvent rester dans la boite 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 boite 1 ou la boite 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 boite 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.

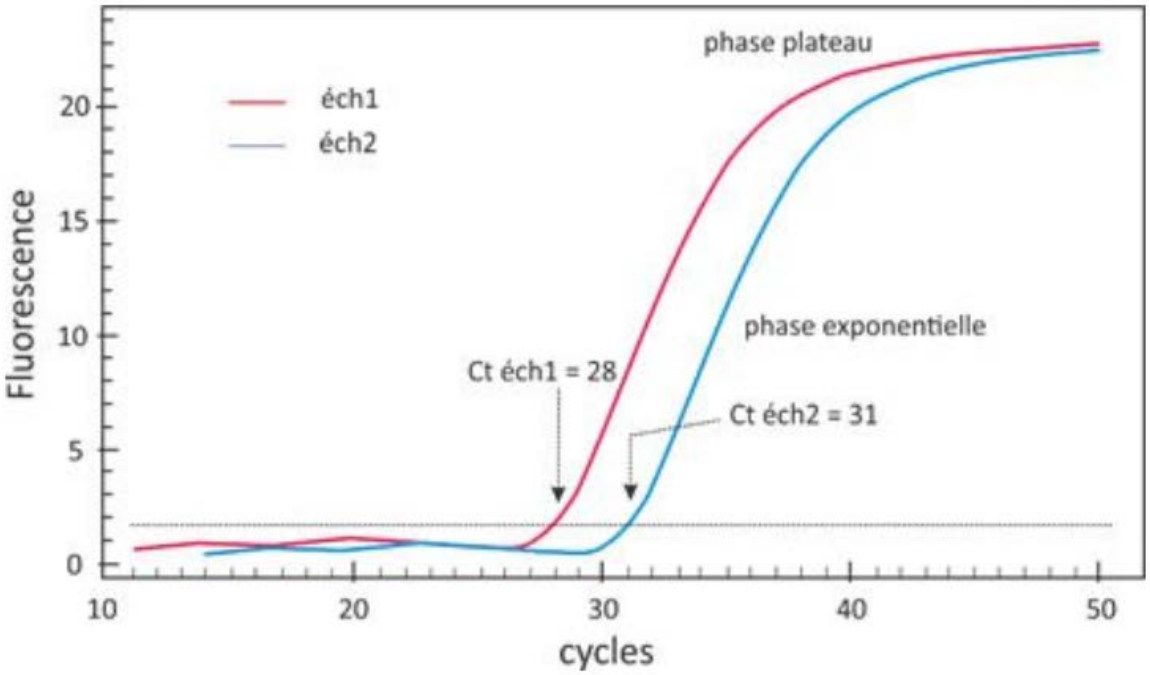


Figure I-1 *: Exemple de PCR en temps réel recherchant l'hépatite A pour 2 échantillons d'eaux.*

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

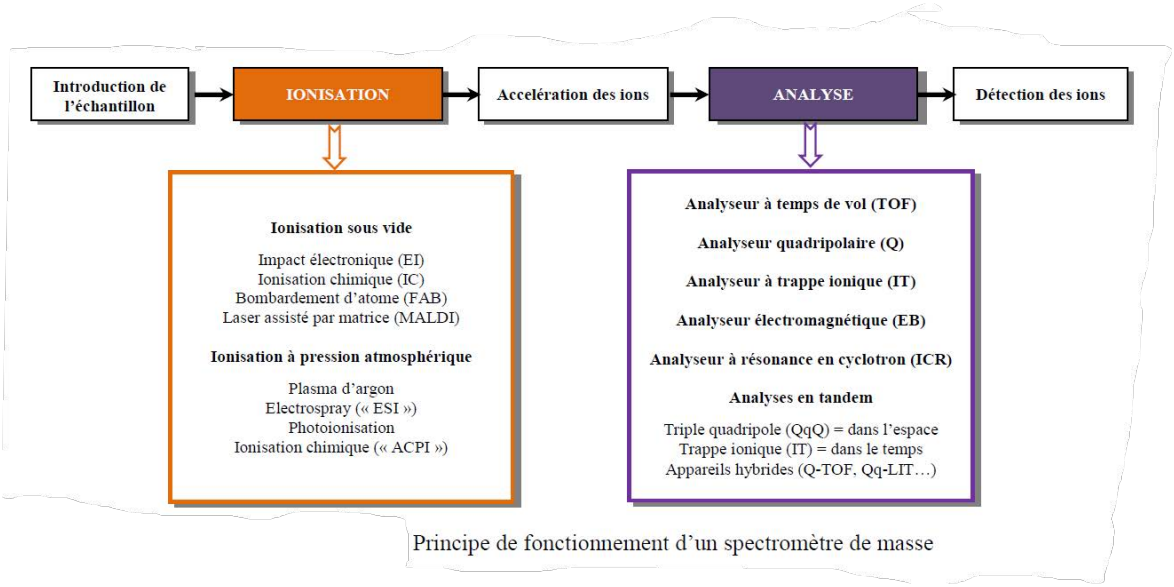
La directive cadre sur l'eau émise par la Communauté Européenne a établi des normes de qualité environnementale pour 41 substances chimiques polluantes qui doivent être recherchées dans l'eau. Ces polluants sont le plus souvent recherchés par spectrométrie de masse, précédée de diverses méthodes de fractionnement 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
Pesticides	alachlore , atrazine , chlorfenvinphos , éthylchlorpyrifos , diuron , endosulfan , hexachlorobenzène , hexachlorocyclohexane , isoproturon , pentachlorobenzène , pentachlorophénol , simazine , trifluraline
Métaux lourd	**cadmium** , **mercure** , nickel , plomb et les composés de ces métaux
Polluants industriels	**anthracène** , benzène , **C10-13-chloro-alcanes** , chloroforme , 1,2-dichloroéthane , dichlorométhane , **diphényléther bromé** , di(2-éthylhexyl)phthalate (DEHP) , naphtalène , **nonylphénol** , octylphénol , **tributylétain** , **HAP** , **benzo(b,k)fluoranthène** , **benzo(a)pyrène** , **benzo(g,h,i)perylène** et **indéno(1,2,3-cd)pyrène** , **fluoranthène** , trichlorobenzène , **hexachlorobutadiène**
Autres polluants	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.



Principe de fonctionnement d'un spectromètre de masse

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 :

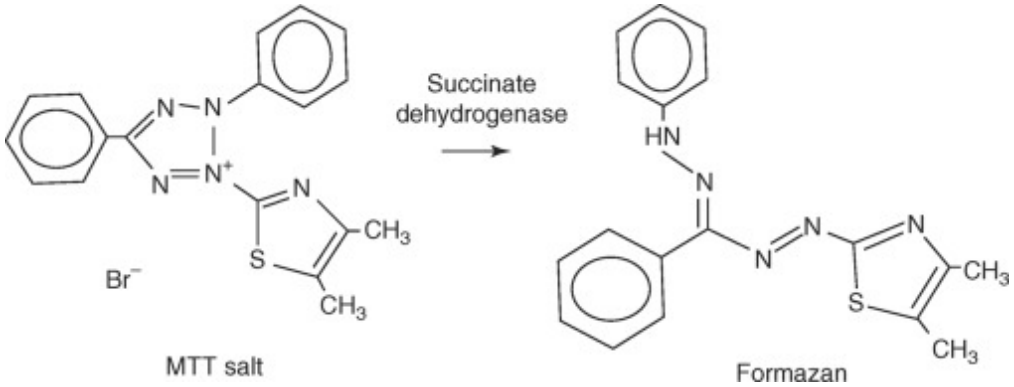


Figure I-2 *: Transformation du MTT dans la cellule*

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 chaine 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.

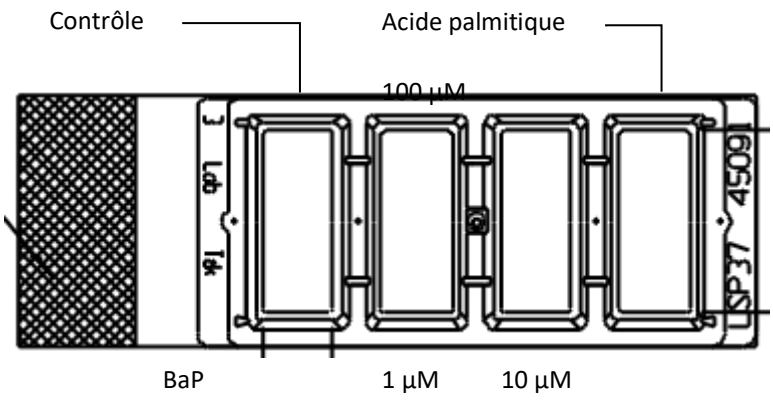
On utilise généralement le MTT pour suivre la prolifération, ou inversement la mort cellulaire.

R 100 % P 65 %

<u>Protocole : coloration ORO</u>

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.

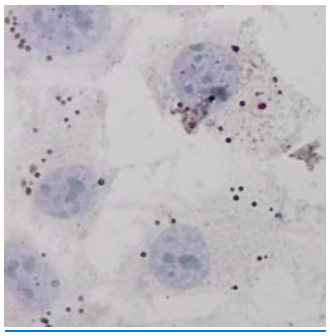
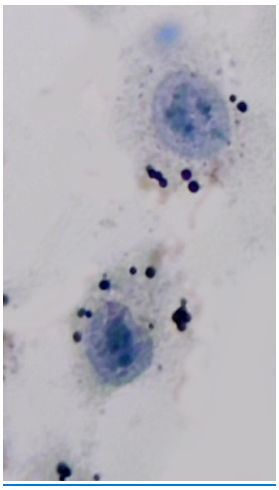
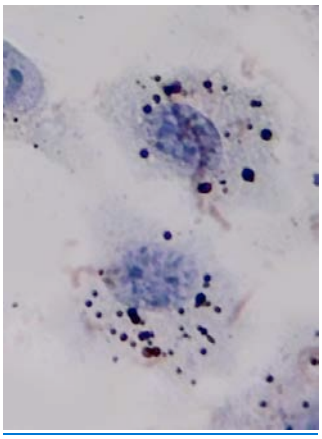
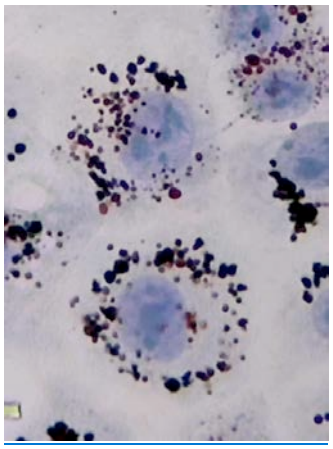
- Le réactif ORO doit être dilué dans de l'eau 15 min. avant utilisation puis il est stable pendant 2 h : mélangez 3 mL d'ORO avec 2 mL d'eau distillée et agitez vigoureusement, puis laissez reposer 15 minutes.
- Demandez une lame de culture à un correcteur.
- Eliminez le milieu de culture et lavez chaque tapis cellulaire avec 1 mL de PBS.
- Enlevez le PBS et ajouter 0,5 mL de solution de marquage à l'ORO et agitez immédiatement puis laisser incuber 10 à 20 min à température ambiante.
- Enlevez le réactif puis laver 1 fois les tapis cellulaires avec 1 mL de PBS.
- Enlevez le PBS et ajouter 0,5 mL de solution d'hématoxyline/éosine, agitez immédiatement puis laisser 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.

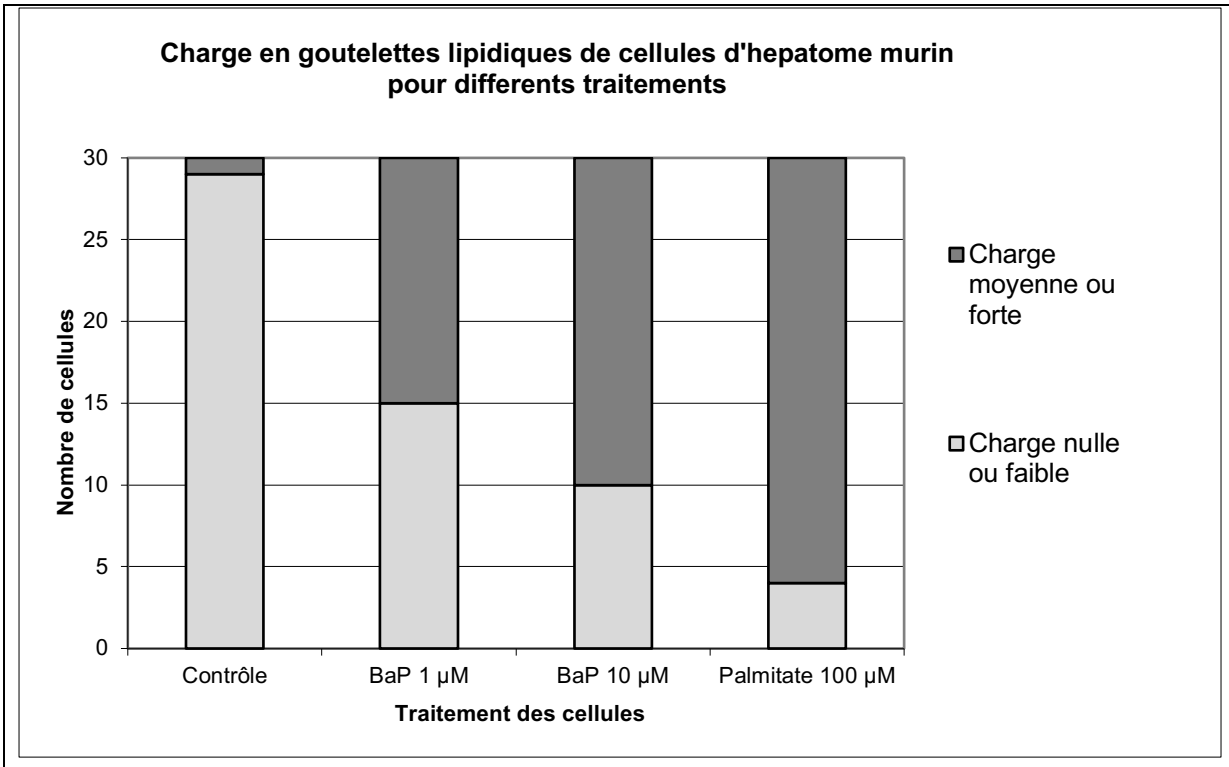
Contrôle	Bap 1 µM	Bap 10 µM	Palmitate 100 µM
			

Indiquez un grossissement et/ou un grandissement :

Grossissement de l'appareil optique x400. Grandissement ou échelle : la barre représente 20µm

R 100 % P 53 %

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.



R 56 % P 59 %

Irigaray *et al* [FEBS Journal 273(2006) 1362–1372] ont réalisé des expériences sur des adipocytes humains fraichement 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^{-1} 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).

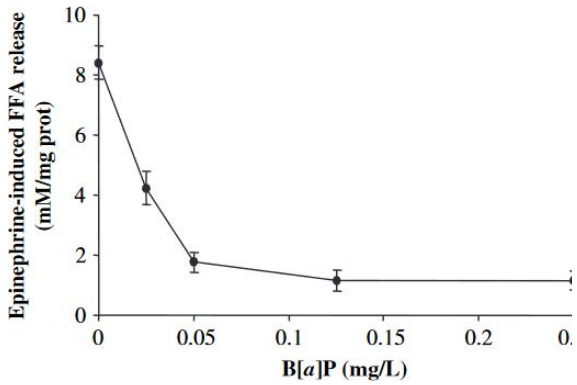


Figure I-3A *: Libération d'acides gras induite par l'épinéphrine par des adipocytes humains après exposition au BaP. Moyenne ± erreur standard*

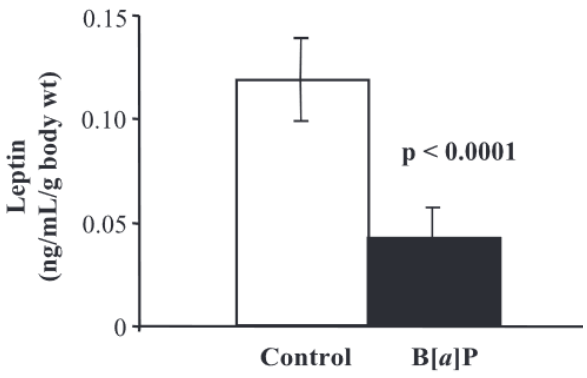


Figure I-3B *: taux de leptine des souris chroniquement exposées au BaP. Moyenne ± erreur standard*

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 µM 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.

B*x* : puit contenant des cellules traitées avec du BaP, le chiffre indiquant la concentration en µM 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 µL de réactif par puits.

Vous disposez de :

- Milieu de culture des cellules
- Solution saline PBS
- D-glucose à 0,5 g•L^{-1} ($M_{glucose}$ 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 µL de MTT à 5 mg/mL avec 2.4mL de milieu de culture. Enlever le surnageant de culture et remplacez par 100 µL de MTT dilué et incuber 3-4 h à 37 °C.

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

R 88 % P 48 %

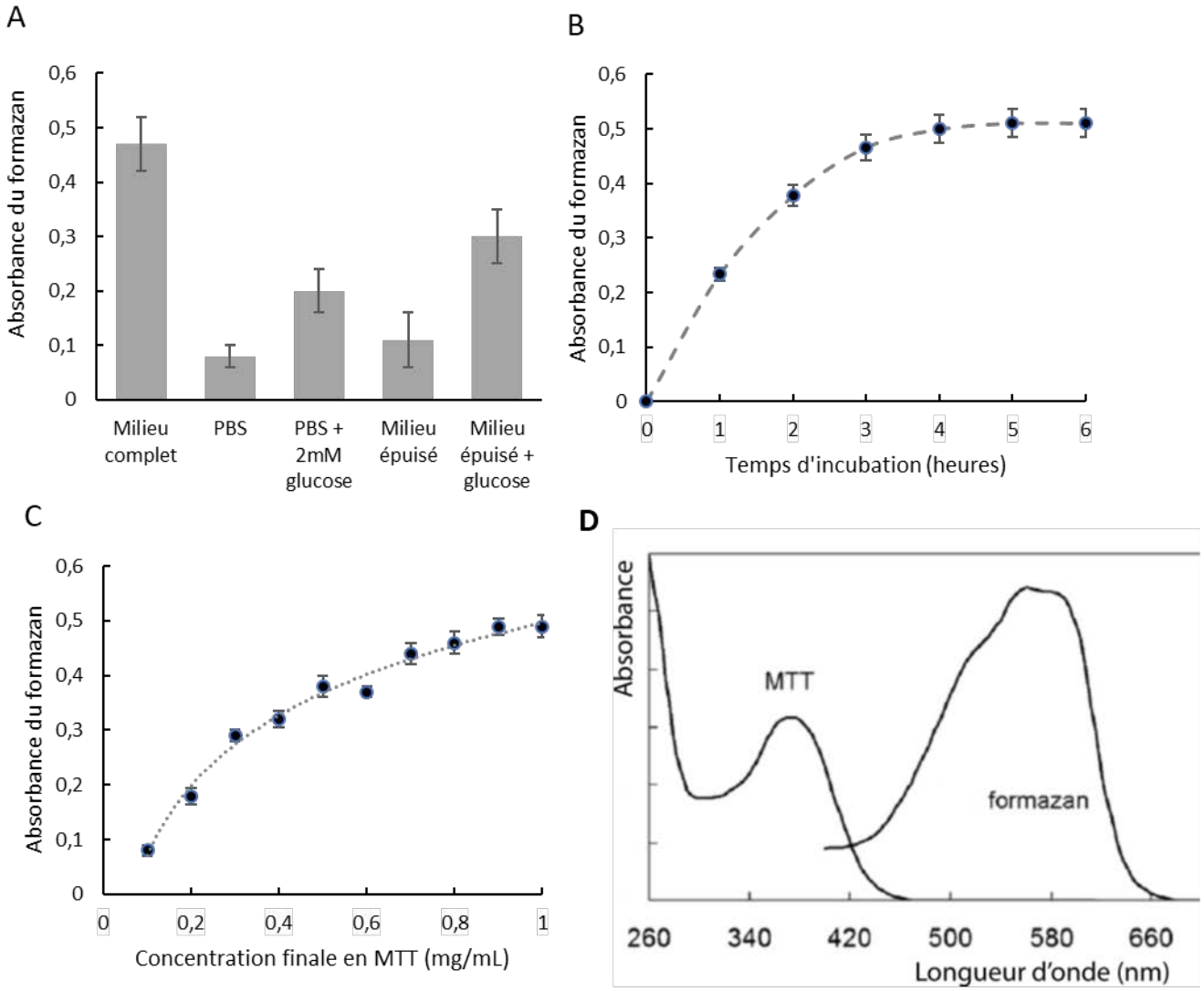


Figure I-4 *: Paramètres d'optimisation du test au MTT. Un nombre égal de cellules adhérentes ont été incubées avec du MTT en variant A) le milieu d'incubation, B) le temps d'incubation,*

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.

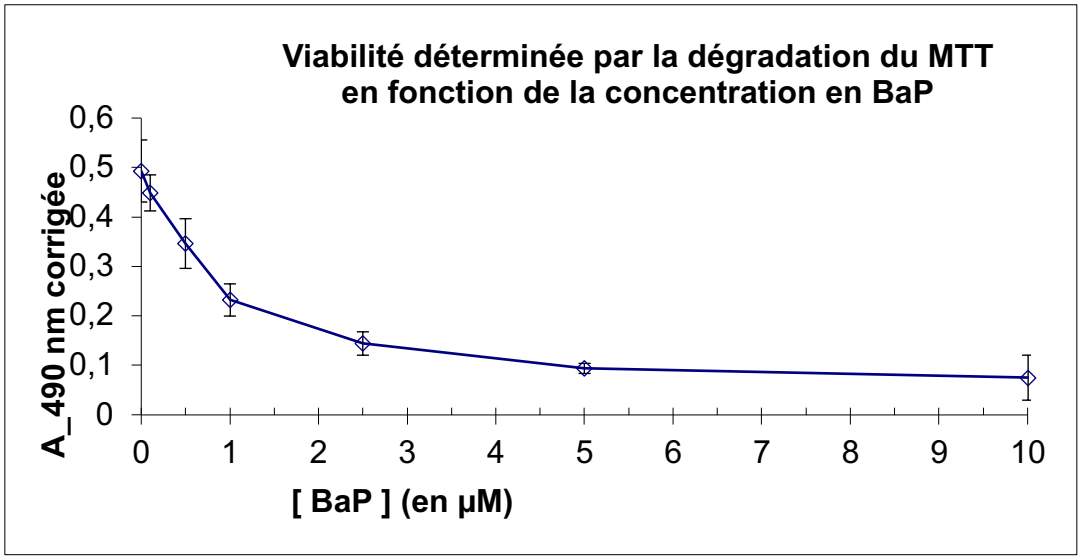
Q I-B-9 : Appelez un correcteur pour faire lire l'absorbance de votre plaque. Entourez ci-dessous et sur la feuille de suivi la/les longueur(s) d'onde à utiliser :

405 nm 450 nm 490 nm 630 nm 750 nm

R 56 % P 68 %

Q I-B-10 : Explicitez 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.

-
- Pour chaque puits soustraire A750 de A490 afin d'éliminer l'hétérogénéité du plastique
- Pour chaque condition, calculer moyenne et écart-type
- Soustraire la moyenne de la ligne A des autres = A490 corrigée
- Tracer A490 corrigée = f([Bap])



R 41 % P 36 %

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 1µM et d'environ 80% pour la dose 10µM.

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).

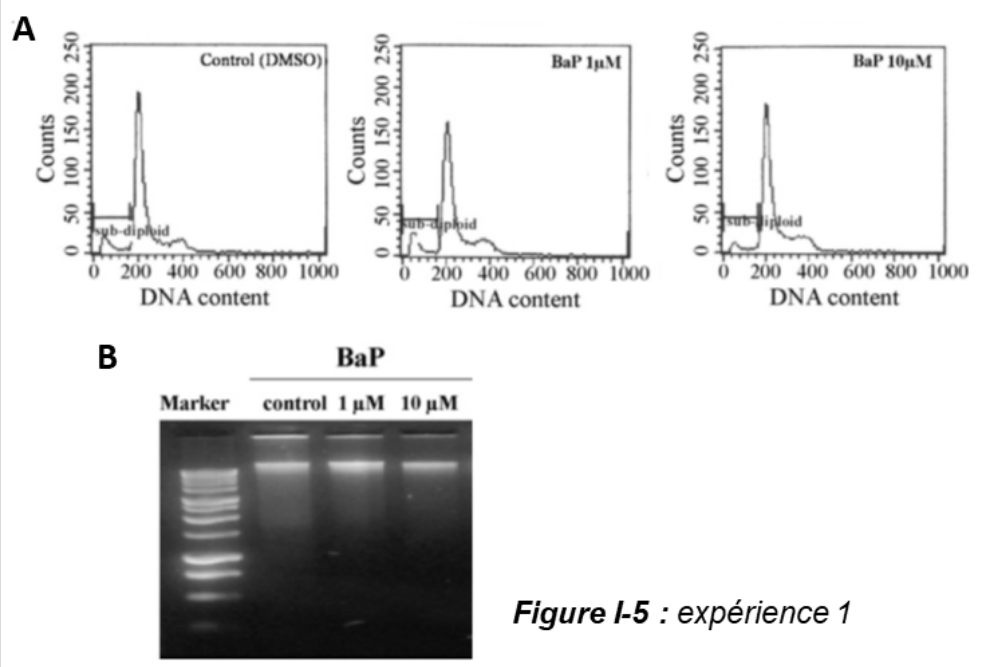


Figure I-5 : *expérience 1*

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

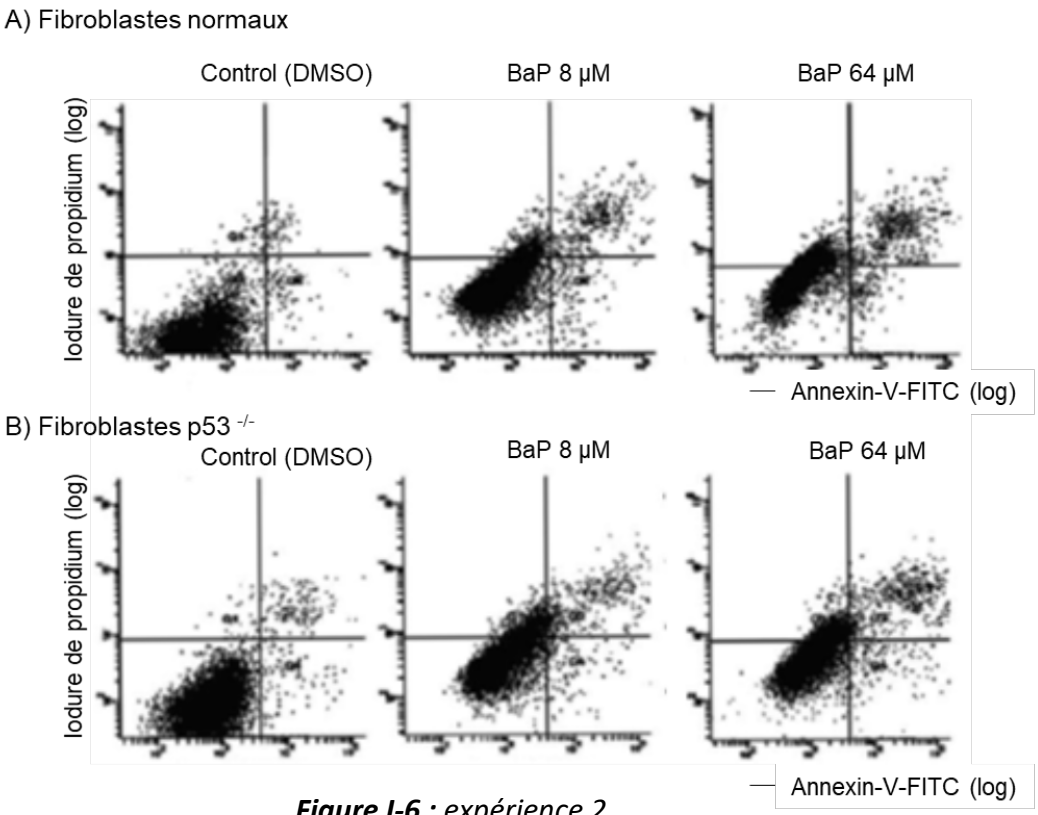


Figure I-6 : *expérience 2*

(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-diploid), 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-diploid, 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 µM 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.

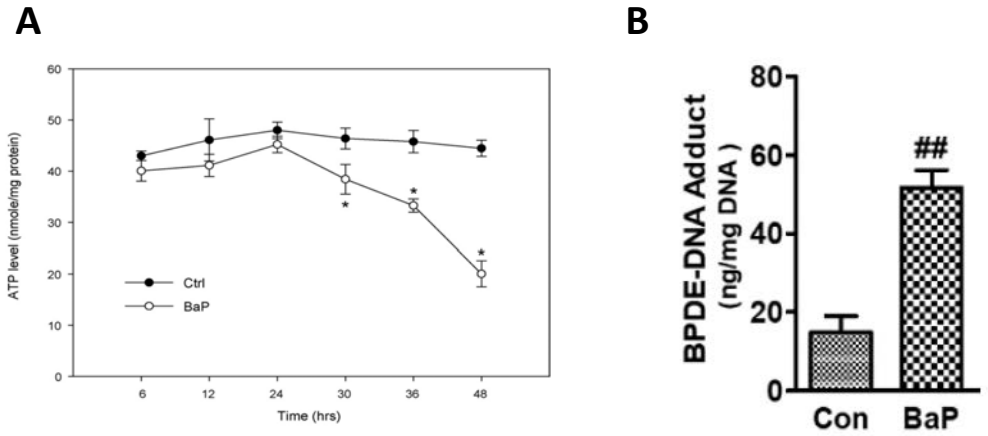


Figure I-7 *: expérience 3 A et B*

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 réplicatif.

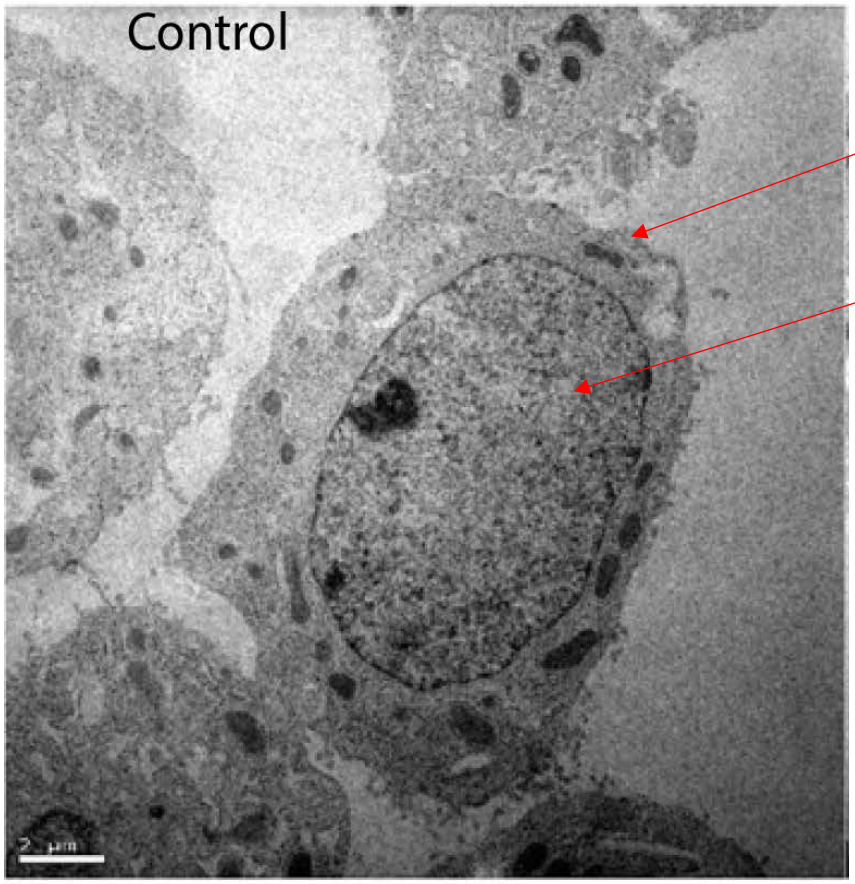
R 76 % P 45 %

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.

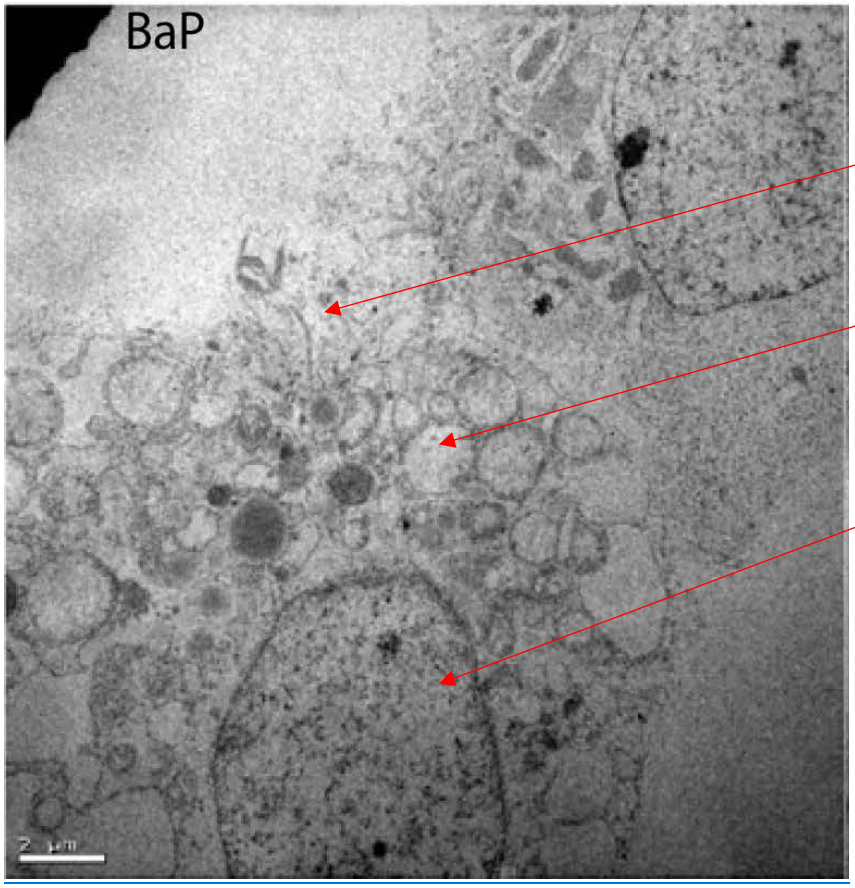
Les cellules doivent être fixées, imprégnées par des métaux lourds, déshydratées et inclues en résine. La coupe < 100 nm est faite sur un ultramicrotome et déposée sur une grille métallique avant d'être bombardée par un flux d'électron.

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 µm.*

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

- Délactosation 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 délactosation 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.

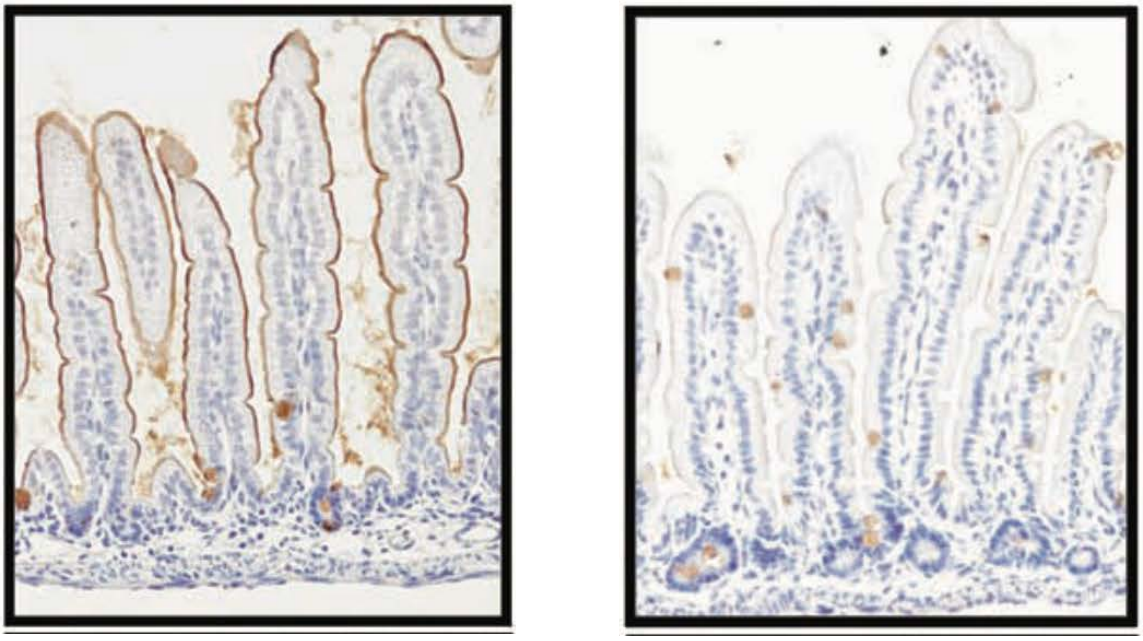


Figure II-1 *: Coupes histologiques de jéjunum d'une souris juvénile (à gauche) et d'une souris adulte (à droite) traitées par marquage immunohistochimique avec un anticorps dirigé contre la lactase. Le marquage immunohistochimique se traduit par un dépôt brun avec une contre-coloration à l'hématoxyline.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

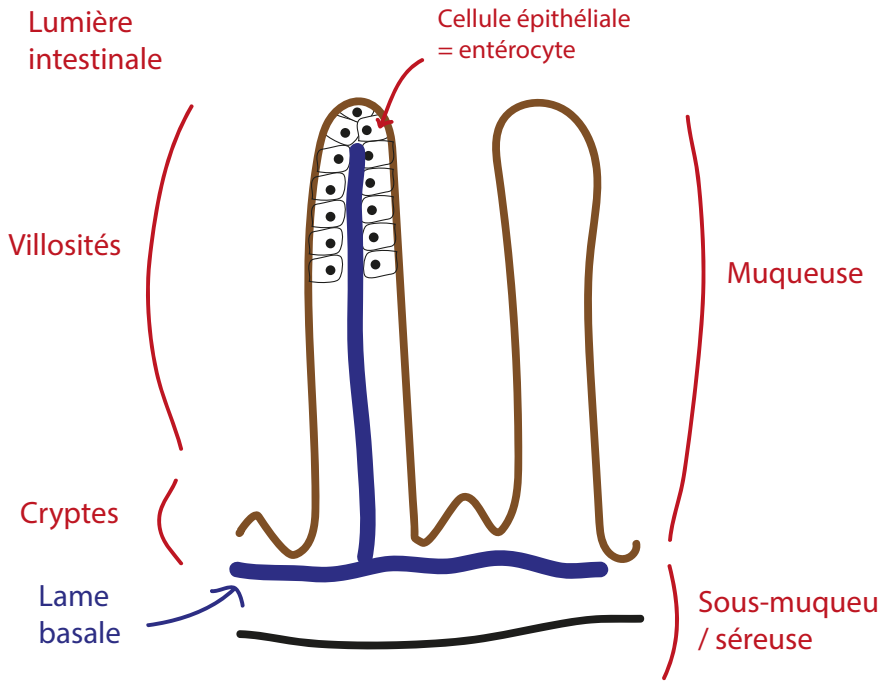


Schéma interprétatif d'une coupe de jéjunum de souris (x80)

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 connaitre 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.

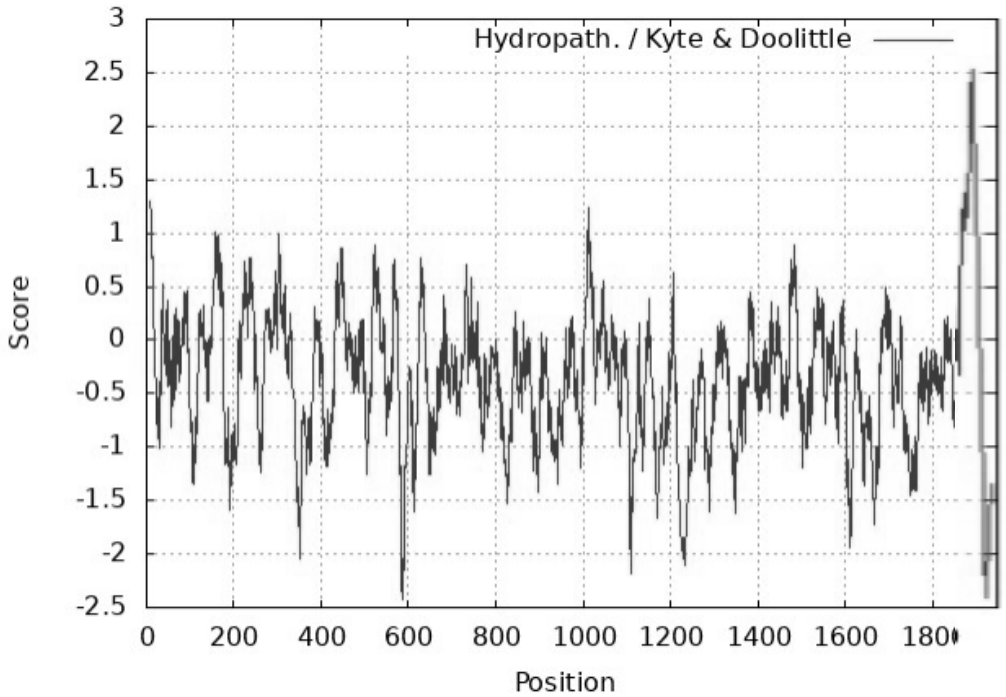


Figure II-2 *: Profil d'hydropathie pour la séquence protéique de la lactase humaine LPH. Le score d'hydropathie à une position X dans la séquence est obtenu en faisant la moyenne de l'hydrophobie des vingt résidus d'acides aminé centrés autour de la position X. Le modèle utilisé ci-dessous est celui 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'hydropathie 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.

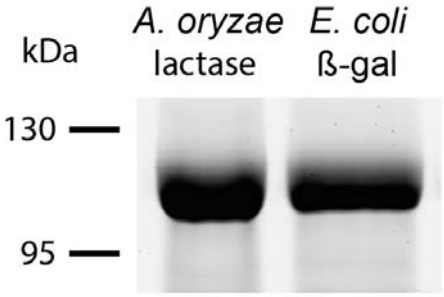
Cependant, le région C-terminale est beaucoup plus hydrophobe avec une valeur maximale à 2,5, indiquant un domaine transmembranaire.

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 ß-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 :



Piste 1 : Enzyme d'*A. oryzae* issue du comprimé, considérée comme une lactase.

Piste 2 : Beta-galactosidase purifiée d'*Escherichia coli*

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 ß-galactosidase humaine et la ß-galactosidase d'*E. coli* sont fournies sur l'ordinateur. Les séquences peuvent être ouvertes et comparées avec le logiciel Geniegen2 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 limité 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 ß-galacosidase 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 ß-galactosidases (humaine et E. coli) révèle que la lactase d'A. oryzae présente dans le comprimé partage plus d'identité de séquence avec les ß-galactosidases qu'avec la lactase humaine.

Il semblerait que la lactase utilisée soit en fait plutôt une ß-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, entrainant 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 délactosation 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-ß-galactoside), un analogue structural du lactose pouvant être hydrolysé par la lactase en galactose et ONP (ortho-nitrophénol).

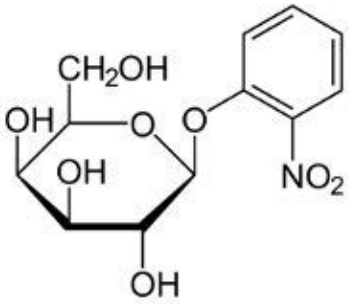
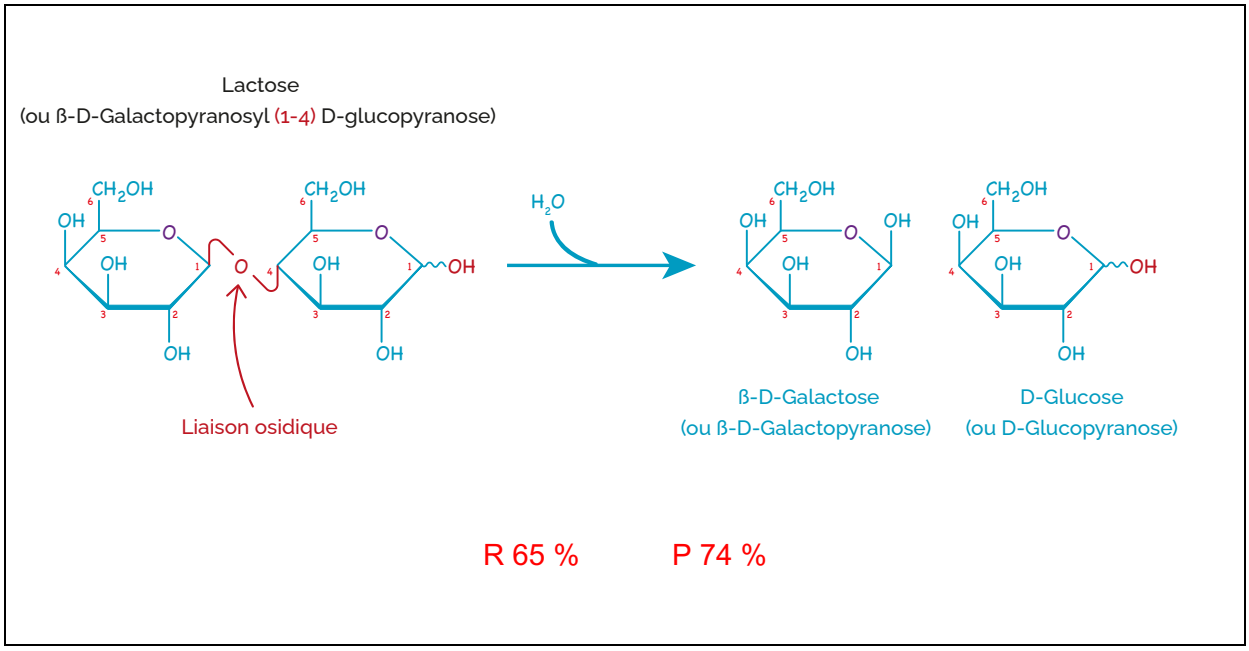


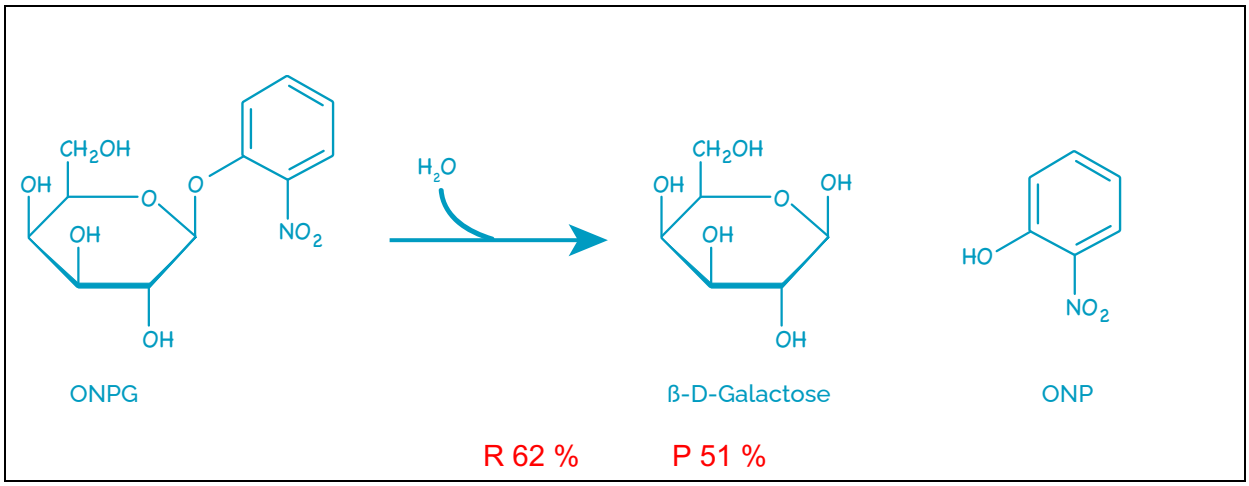
Figure II-4 *: Formule semi-développée de l'ONPG.*

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.

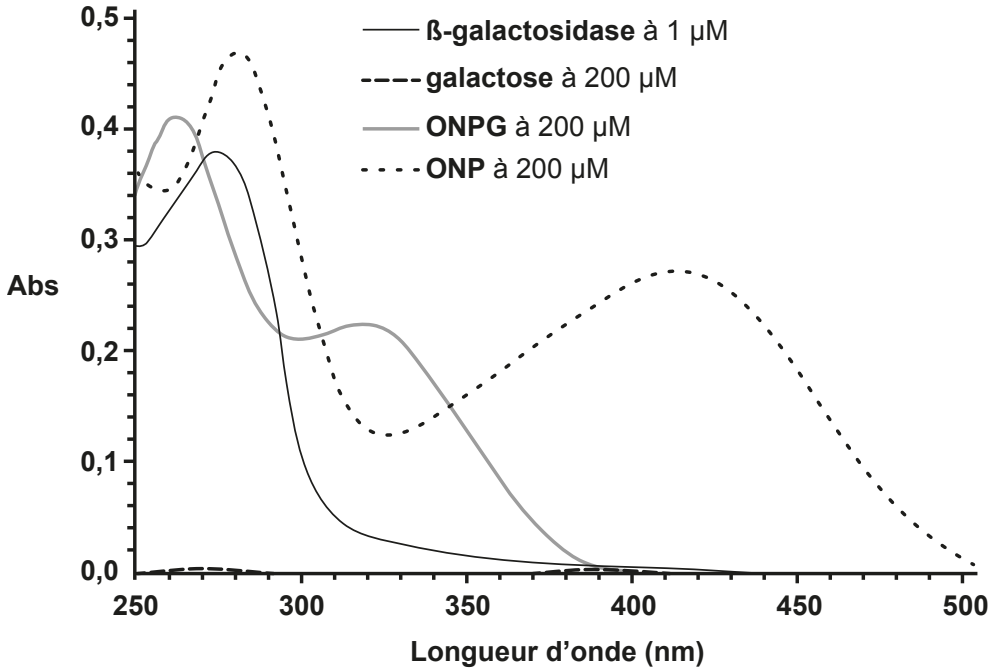


Figure II-5 *: Spectres d'absorption de différentes molécules à pH 7. Les concentrations des molécules sont les suivantes : [ONPG] = [ONP] = [galactose] = 200 µM ; [ß-galactosidase] = 1 µM.*

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 ε_λ de l'ONP à la longueur d'onde λ choisie en Q-II-B-1-3. Vous exprimerez le résultat en $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$.

<u>Donnée</u> : 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 : $A_{440} = \varepsilon_{(ONP\,;\,440\,nm)} \times \ell \times c_{ONP}$

D'où $\varepsilon_{(ONP\,;\,440\,nm)} = \frac{A_{440}}{\ell \times c_{ONP}} = \frac{0{,}26}{1 \times 200.10^{-6}} = 1100$ L•mol^{-1}•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 1/10ème 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
$m_{(BSA\,;\,cuve)}$ (µg)	2	5	10	20	-
Volume solution étalon BSA 0,100 mg·mL^{-1} (µL)	20	50	100	200	
Volume solution E1					100
Volume H_2O (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 mg•mL^{-1}, puis la concentration en quantité de matière en µM.

Données : Masse moléculaire de la lactase Ao = 109 kDa ;

1 Da = 1 g•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.

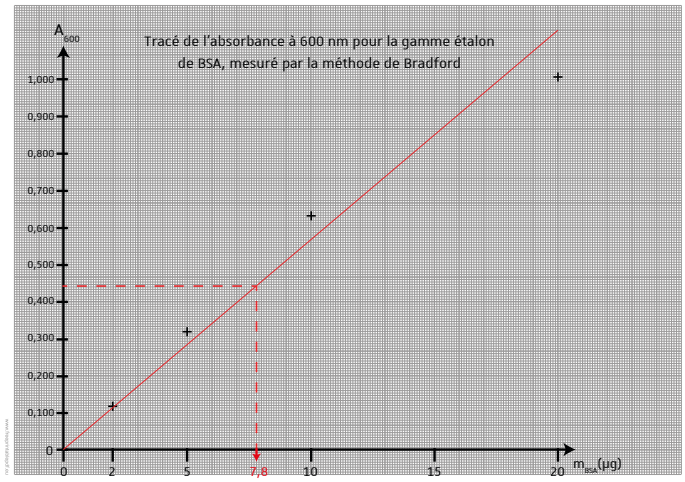
Graphiquement, on trouve 7,8 µg de protéines provenant de 100 µL de E1.

D'où une concentration en masse :

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

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

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



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

Masse calculée bien inférieure à la valeur indiquée, surement 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 ß-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 (µL)	40	100	200	400
Volume tampon phosphate (µL)	910	850	750	550
Volume solution E1 (µL)	Ajout de 50 µL 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 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

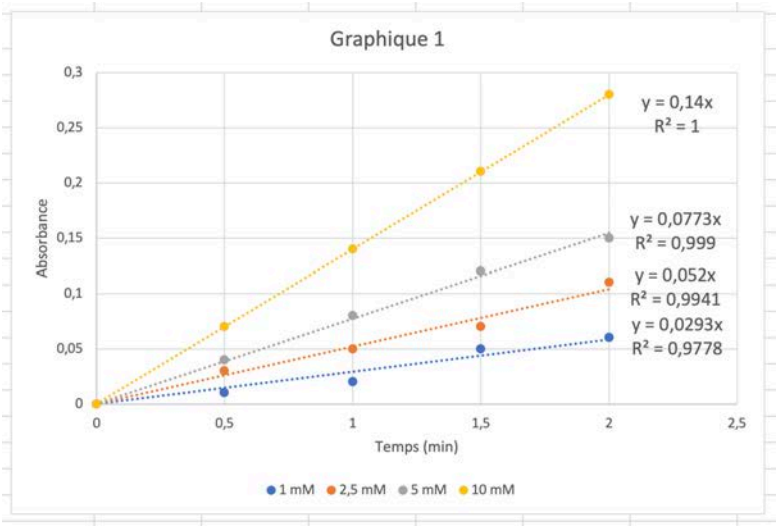


	Tableau 2				
	[ONPG] mM	1	2,5	5	10
((1))	ΔA/Δt (min-1)	0,0293	0,052	0,0773	0,14
((2))	vi (µmol.L-1.min-1)				
	1/[ONPG] (mM-1)	1	0,4	0,2	0,1
	1/vi (µmol-1.L.min)				

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 ΔA/Δt en µmol•L^{-1}•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_{ONP} : $A_{440} = \varepsilon_{(ONP\,;\,440\,nm)} \times \ell \times c_{ONP}$

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

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

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

Donc $\frac{\Delta c_{ONP}}{\Delta t} = \frac{\Delta A_{440}}{\Delta t} \times \frac{1}{\ell \times \varepsilon_{(ONP;440)}} = 0{,}0293 \times \frac{1}{1 \times 1100.10^{-6}} =$

Seules les cases grisées sont à compléter

Tableau 2

	[ONPG] mM	1	2,5	5	10
((1))	ΔA/Δt (min-1)	0,0293	0,052	0,0773	0,14
((2))	vi (µmol.L-1.min-1)	26,63636364	47,2727273	70,2727273	127,272727
	1/[ONPG] (mM-1)	1	0,4	0,2	0,1
	1/vi (µmol-1.L.min)	0,037542662	0,02115385	0,01423027	0,00785714

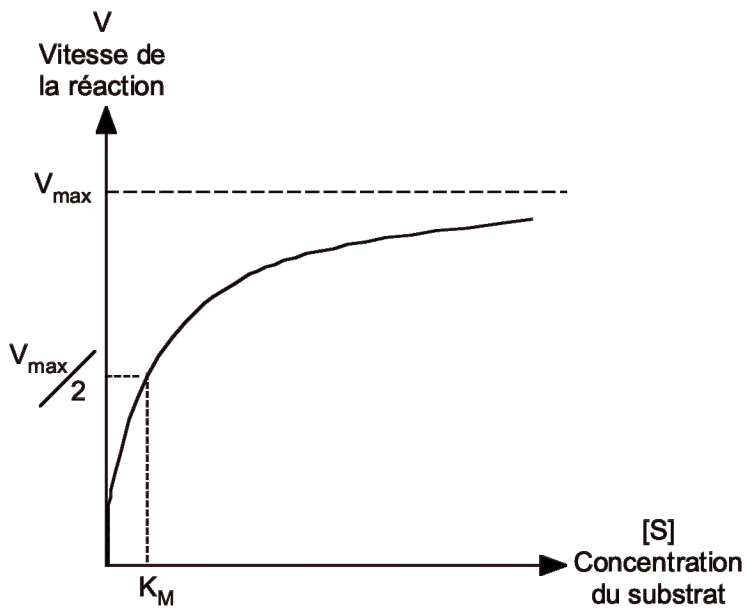
R 64 % P 24 %

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

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

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/vi = f(1/[S]) conduit à une droite dont les paramètres permettent d'obtenir rapidement v_{max} et K_m.

$$\frac{1}{v} = \frac{Km + [S]}{V_{max}[S]}$$

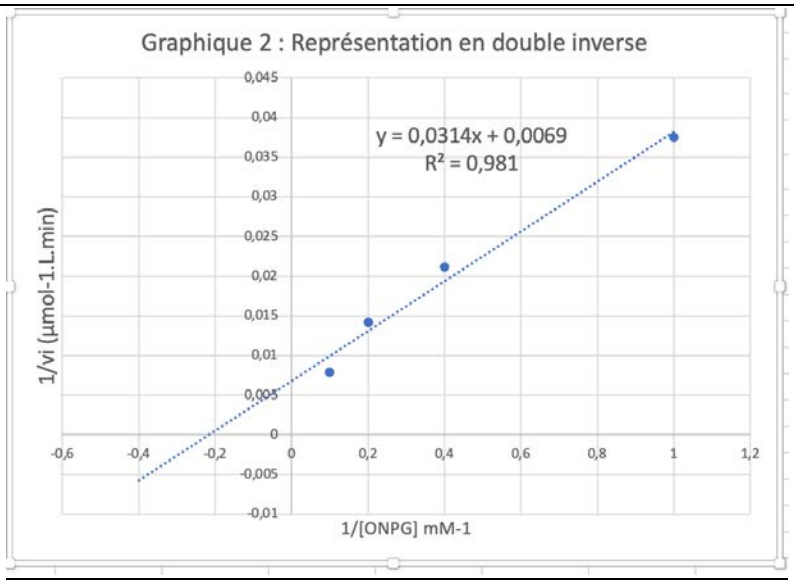
$$\frac{1}{v} = \frac{Km}{V_{max}[S]} + \frac{[S]}{V_{max}[S]}$$

$$\frac{1}{v} = \frac{Km}{V_{max}} \cdot \frac{1}{[S]} + \frac{1}{V_{max}}$$

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 µmol•L^{-1}•min^{-1}) et K_m (en mM) pour vos conditions expérimentales.



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

$v_{max} = \frac{1}{0,0069} = 145$ µmol•L^{-1}•min^{-1}

$K_m = \frac{0,0314}{0,0069} = 4,55$ *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 :

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

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

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 µM) diluée 10 fois dans E1 puis 20 fois dans l'essai, donc 200 fois total ([E] = 1,5/200 = 0,0075 µM = 7,5 nM)

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

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

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 mM

k_{cat} = 525 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 $mM^{-1}.s^{-1}$, 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 délactosation 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.

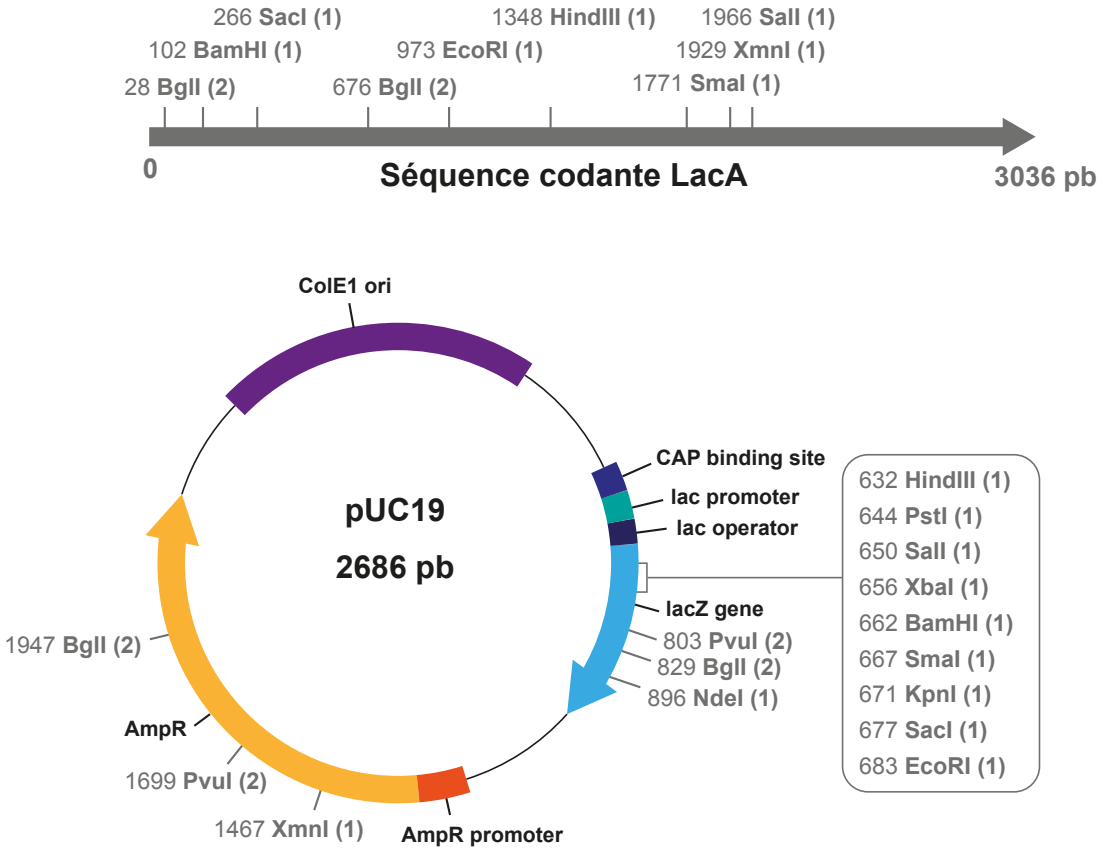


Figure II-6 *: Représentation schématique du gène de la lactase Ao (en haut) et du plasmide pUC19 (en bas). La position des sites de restrictions le long de chaque séquence est donnée par le numéro, suivi du nom de l'enzyme de restriction, puis du nombre d'occurrence du site sur la séquence (noté entre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

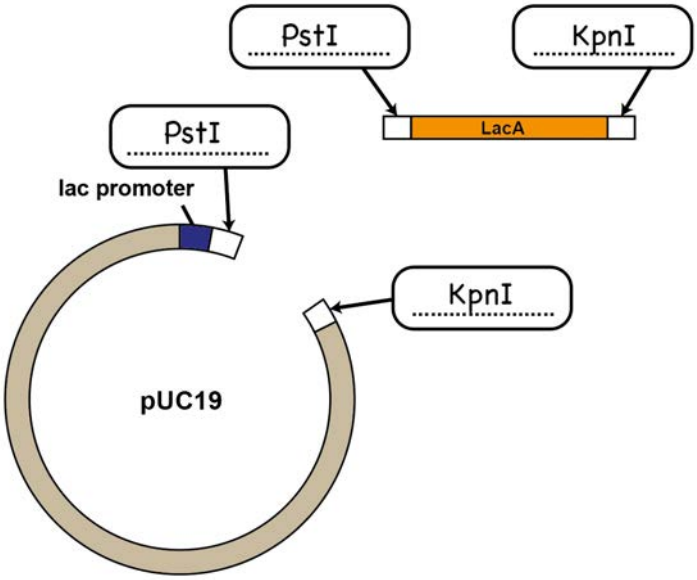
R 80 % P 76 %

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, SalI), 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-desous.

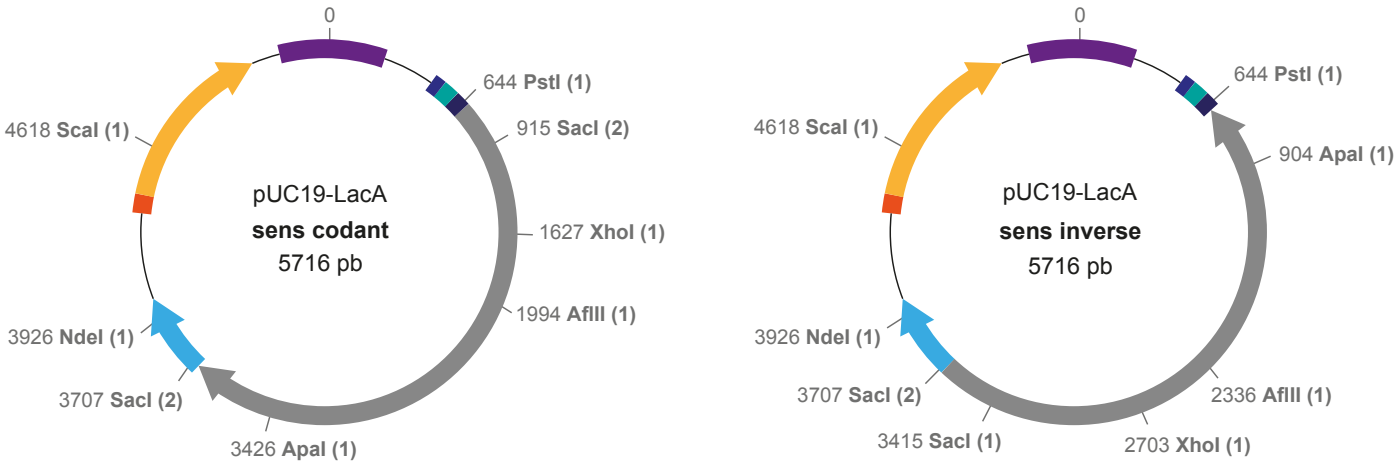


Figure II-7 *: Représentation schématique des deux plasmides pouvant être obtenus après une stratégie de clonage. La position des sites de restrictions le long de chaque séquence est donnée par le numéro, suivi du nom de l'enzyme de restriction, puis du nombre d'occurrence du site sur la séquence (noté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

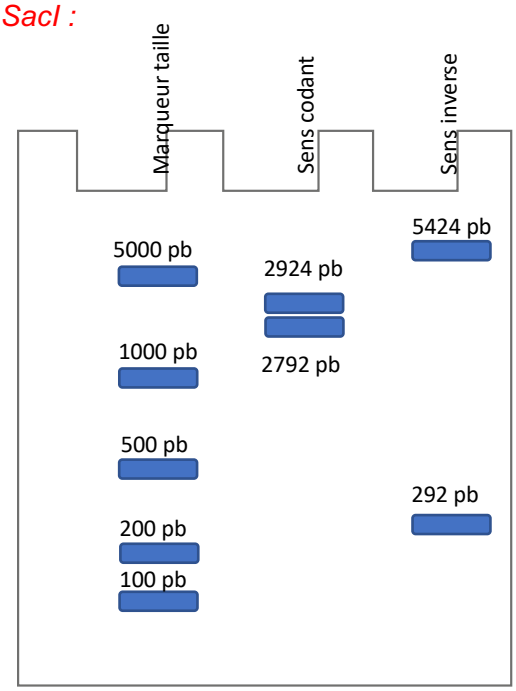
Q-II-C-1-4 : On souhaite différencier ces deux plasmides par restriction enzymatique puis électrophorèse en gel d'agarose. Choisissez la/les enzyme(s) de restriction (2 au maximum) qui vous permettront de discriminer ces deux plasmides, et schématisez sur le schéma du gel le profil de migration de chaque 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 délactosation, 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 µL 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 $CaCl_2$ **froid**.
- Éjecter tout doucement la solution de votre cône, de façon à faire couler des gouttes qui formeront des billes dans la solution de $CaCl_2$.
- Laisser les billes 5 min dans la solution de $CaCl_2$ froide.
- À l'aide d'une gaze posée sur le bécher, éliminer la solution de $CaCl_2$ 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 délactosation, 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 nmol•L^{-1}).

E0 à 7,15 µM de lactase.

Dilué 3 fois avec l'alginate : environ 2,4 µM 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 : 3,6/5.10^{-3} = 720 nM = 0,72 µM

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 délactosation, exprimée en % de v_{max}, en utilisant la relation {1}.

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

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

$c_{lactose}$ = 49/342,3 = 0,143 mol.L^{-1} = 143 mM >> Km = 4,55 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.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 délactosation

L'enzyme contenue dans les billes va maintenant permettre la délactosation 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 délactosé du commerce.
- De comparer la concentration en glucose d'un lait délactosé par rapport à celle d'un lait classique.

Vous disposez pour cette partie :

- D'une solution étalon de glucose à 0,5 g•L^{-1}
- D'un lait commercial délactosé « 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 délactosé.

- Dans un microtube de 1,5 mL, mélanger 100 µL de lait avec 50 µL d'acide trichloroacétique (TCA). Vortexer la solution.
- Ajouter 100 µL de solution NaOH. Vortexer.
- Ajouter 750 µL d'eau distillée.
- Centrifuger le tube 2 minutes à 10 000 × g.
- Récupérer le surnageant dans un nouveau tube.
- L'échantillon de lait délactosé est à diluer dans un nouveau microtube au 1/100ème 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'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.

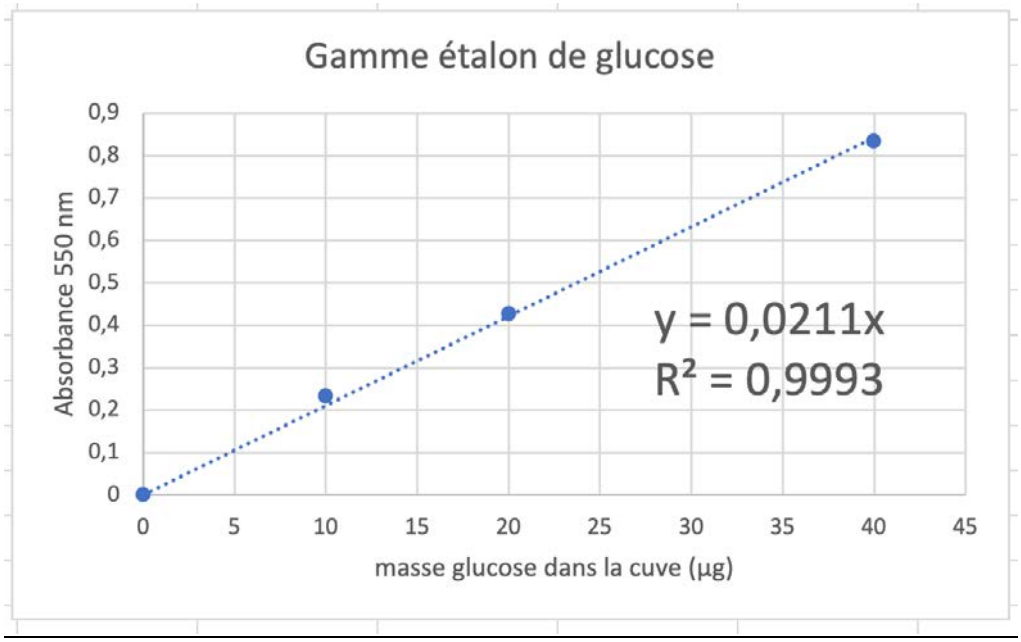
Q-II-C-3-1 Réalisez 7 solutions en microtubes de 1,5 mL en suivant le protocole ci-dessous, puis notez vos valeurs d'absorbances dans la dernière ligne.

	Lait commercial	Lait commercial hydrolysé	Lait délactosé dilution 1/100ème	Solution étalon de glucose à 0,5 g•L^{-1}			
Volume échantillon (µL)	200	200	50	0	20	40	80
Volume H_2O (µL)	0	0	150	200	180	160	120
	Ajout de 800 µL de solution enzymatique GOD-PAP						
	Mélanger par retournement. Incuber les microtubes à 37 °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 : $A_{550} = 0{,}0211 \times m_{(glucose\ ;\ cuve)}$

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 :

$$\rho_{(glc\ ;\ lait\ commercial)} = \frac{m_{(glc\ ;cuve)}}{V_{lait\ testé}} = \frac{A_{550}}{0{,}0211 \times V_{lait\ testé}} = \frac{0{,}011}{0{,}0211 \times 200} = 2{,}6.10^{-3}\ g.L^{-1}$$

$$\rho_{(glc\ ;\ lait\ hydrolysé)} = \frac{m_{(glc\ ;cuve)}}{V_{lait\ testé}} = \frac{A_{550}}{0{,}0211 \times V_{lait\ testé}} = \frac{0{,}345}{0{,}0211 \times 200} = 8{,}1.10^{-2}\ g.L^{-1}$$

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

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 délactosé pouvant être commercialisé).

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

$$Avancement = \frac{\rho_{(glc\ ;lait\ hydrolysé)}}{\rho_{(glc\ ;lait\ délactosé)}} \times 100 = 0{,}74\ \%$$

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 :

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

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'examinateur.**

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.

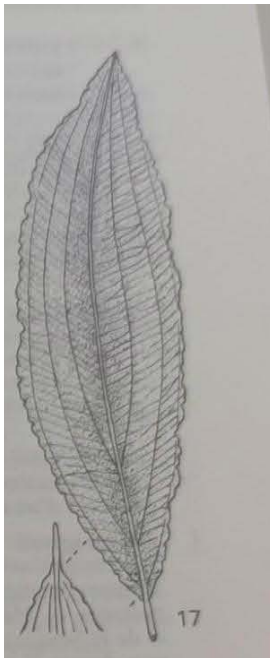
Vous avez à disposition 3 échantillons de plantes aquatiques notés A, B et C récoltés dans un bras peu courant d'une rivière, ainsi qu'une clé de détermination des plantes aquatiques *(adaptée de Schou, J. C., Moeslund, B., van de Weyer, K., Wiegleb, G., Lansdown, R. V., Holm, P., ... & Sand-Jensen, 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



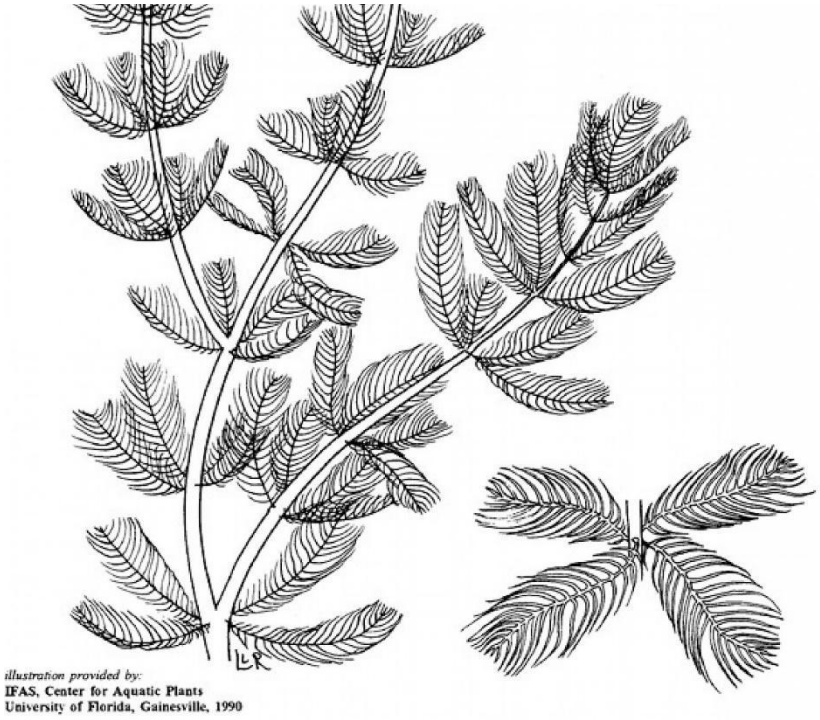
Lambinon et al. 2015

@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 » ecailleuses / 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.

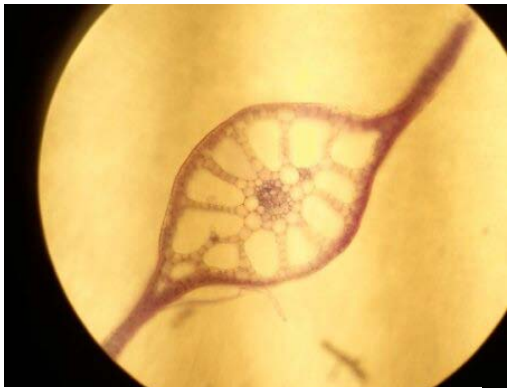
Question I.A.2.1. En utilisant les moyens à votre disposition, **mettez en évidence** les adaptations de ces deux feuilles à la vie en milieu aquatique. Une fiche technique pour d'éventuelles colorations est à votre disposition.

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

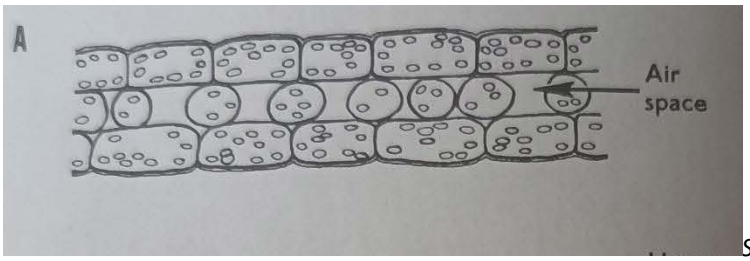
Le jury attend les éléments suivants : Réalisation de coupe transversales de feuilles avec coloration carmino-vert. Il y a eu valorisation du geste technique effectué.

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 / ép inférieur sans cuticule / aérenchyme 1 ou peu de couches de cellules*



Exemple sur P. acutifolius :



Sculthorpe 1967

Échantillon D : Feuille de Nénuphar (Nuphar ou Nymphea)

Titres légendes et échelles

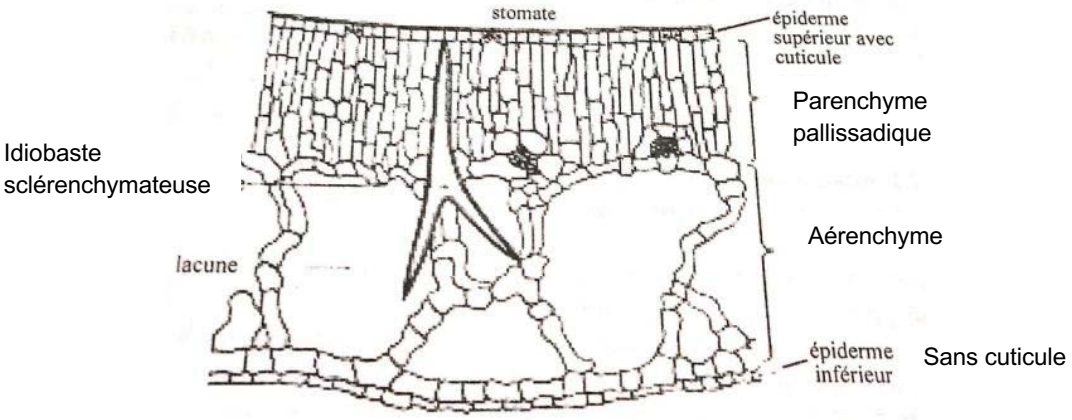
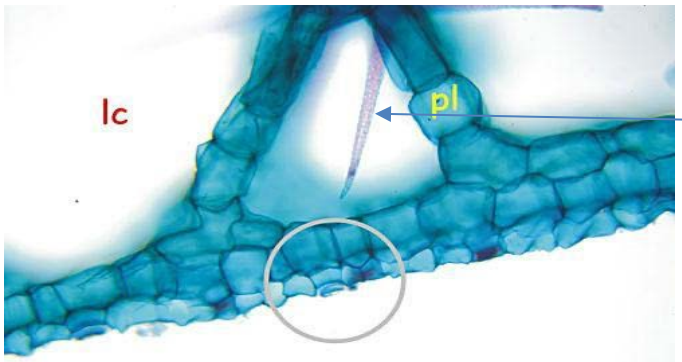


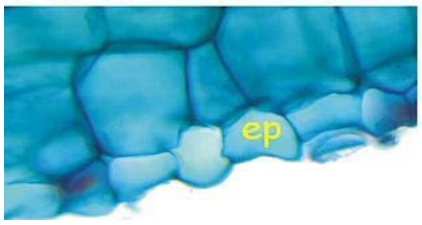
Schéma de la coupe transversale d'un limbe de nénuphar

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 aérifères, épiderme à cuticule fine et sans stomates, ...).



Idiobaste sclérenchymateuse



Face inférieur de la feuille. pl: Parenchyme lacuneux ou aérifère lc: Lacunes aérifères 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 CO2, O2

Épiderme sans cuticule : échanges, absorption ionique, circulation CO2 dissous, O2 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 *Sambuscus 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 Na2HPO4 + 16,6 g de KH2PO4 pour 1000 ml d'eau distillée.)
- éliminez un maximum de fragments pour pouvoir récupérer le surnageant (1 ml nécessaire).

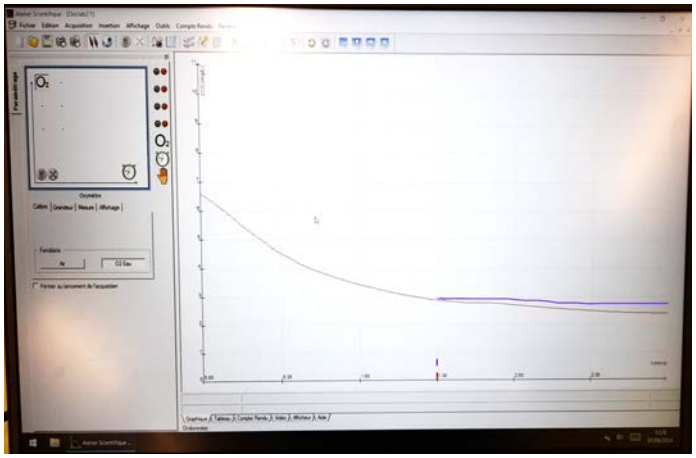
Test 1 :
- Ajoutez 15 mL de suspension de levures dans l'enceinte et lancez l'agitateur modérément.
- Démarrez la mesure ExAO du taux de dioxygène puis à 1,5 minute injectez dans l'enceinte 1 ml de tampon P-saccharose. Stoppez l'agitation.
- Arrêtez l'enregistrement à 3 minutes.
- Rincez la cuve.

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 O2 pour le témoin avec injection tampon (ou pas !)
- courbe bleue : diminution d'O2 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'O2 dans l'enceinte = **respiration cellulaire des levures**.
La consommation d'O2 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'O2 (conformation proche) = **inhibition** du métabolisme respiratoire.