

**CONCOURS EXTERNE
DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGREGES**

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

Session 2019

Rapport de jury présenté par :

Monsieur Bertrand PAJOT

Inspecteur général

Président de jury

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

Table des matières

1.1 ORGANISATION ET MODALITES DU CONCOURS	4
1.1.1 Épreuves écrites d'admissibilité.....	4
1.1.2 Épreuves d'admission.....	4
1.2 LE DEROULEMENT DU CONCOURS 2019	6
1.2.1 Le calendrier.....	6
1.2.2 Le déroulement pratique des épreuves d'admission du concours.....	7
2.1 DE LA CANDIDATURE À L'ADMISSION	10
2.2 L'ÉVOLUTION DU CONCOURS SUR LE LONG TERME	14
2.3 QUELQUES DONNÉES STATISTIQUES CONCERNANT L'ÉCRIT	15
2.3.1 Épreuve écrite de secteur A.....	15
2.3.2 Épreuve écrite de secteur B.....	15
2.3.3 Épreuve écrite de secteur C.....	16
2.4 QUELQUES DONNÉES STATISTIQUES CONCERNANT LES ÉPREUVES PRATIQUES	16
2.4 Quelques données statistiques concernant les épreuves orales	16
2.4.1 Épreuves orales de spécialité	16
2.4.1.1 Épreuve orale de spécialité de secteur A (44 candidats admissibles)	16
2.4.1.2 Épreuve orale de spécialité de secteur B (65 candidats admissibles)	16
2.4.1.3 Épreuve orale de spécialité de secteur C (36 candidats admissibles)	17
2.4.2 Épreuves orales de contre-option (maintenant notée sur 15).....	17
2.4.2.1 Épreuve orale de contre-option de sciences de la Terre et de l'Univers pour les candidats de secteurs A et B.....	17
2.4.2.2 Épreuve orale de contre option de biologie pour les candidats de secteur C.....	17
4.1 Épreuve écrite du secteur A :	20
4.1.1 Le sujet proposé :.....	20
4.1.2 Commentaires généraux sur l'épreuve.....	20
4.1.3 Grille de notation.....	22
4.2 Épreuve écrite du secteur B:	29
4.2.1 Le sujet proposé :.....	29
4.2.2 Commentaires généraux sur l'épreuve.....	29
4.2.3 Grille de notation.....	33
4.3 Épreuve écrite du secteur C:	36
4.3.1 Le sujet proposé.....	36
4.3.2 Commentaires généraux sur l'épreuve.....	36
4.3.3 Grille de notation.....	38
5.1 Épreuve de travaux pratiques de spécialité du secteur A : Sujet et commentaires	43
5.2 Épreuve de travaux pratiques de spécialité du secteur B : Sujet et commentaires	43
5.3 Épreuve de travaux pratiques de spécialité du secteur C : Sujet et commentaires	43
5.4 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur A : Sujet et commentaires	43
5.5 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur B : Sujet et commentaires	43
5.6 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur C : Sujet et commentaires	43
6.1 La leçon d'option	45
6.1.1 Déroulement de l'épreuve de spécialité.....	45
6.1.2 Constats et conseils	46
6.1.3 Commentaires particuliers concernant les leçons d'option A	50
6.1.4 Commentaires particuliers concernant les leçons d'option B	53

6.1.5	Commentaires particuliers concernant les leçons d'option C	56
6.2	La leçon de contre-option.....	63
6.2.1	Le déroulement de l'épreuve.....	63
6.2.2	Constats et conseils	64
6.2.3	Quelques particularités propres à chaque secteur	64
6.2.4	Sujets des leçons de contre-option.....	67
6.3.	Évaluation des capacités des candidats à agir en fonctionnaire de l'État et de façon éthique et responsable	70

1. Présentation du concours

1.1 ORGANISATION ET MODALITES DU CONCOURS

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

Lors de l'inscription, le candidat formule **un choix irréversible** se rapportant au champ disciplinaire principal sur lequel porteront les épreuves. Trois secteurs (A, B ou C) sont ouverts au choix des candidats (voir le détail des programmes en 3-1, 3-2 et 3-3).

Les modalités d'organisation du concours découlent de l'**arrêté du 12 août 2014 modifiant l'arrêté du 28 décembre 2009** et de l'**arrêté du 15 juillet 1999 modifiant l'arrêté du 12 septembre 1988 modifié fixant les modalités des concours de l'agrégation NOR : MENP9901240A**, publié au [J.O. N° 175 du 31 juillet 1999 page 11467UH](#).

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

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

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

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

1.1.1 Épreuves écrites d'admissibilité.

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

Elles peuvent comporter ou non une analyse de documents :

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

1.1.2 Épreuves d'admission.

1° Épreuve de travaux pratiques portant, au choix du candidat lors de l'inscription, sur le programme de l'un des secteurs A, B ou C (durée : six heures maximum ; coefficient 3).

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

coefficient 2). L'ordre de passage des candidats et les intitulés de leçons sont associés de façon totalement aléatoire par la présidence du concours.

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

Durée de la préparation : quatre heures

Durée de l'épreuve : une heure et vingt minutes maximum [présentation orale et pratique : cinquante minutes maximum ; entretien avec le jury : trente minutes maximum] ; coefficient 5.

4° Épreuve orale portant sur les programmes des connaissances générales. L'ordre de passage des candidats et les intitulés de leçons sont associés de façon totalement aléatoire par la présidence du concours.

Le sujet porte :

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

Durée de la préparation : quatre heures.

Durée de l'épreuve : une heure et dix minutes maximum, [présentation orale et pratique : quarante minutes maximum ; entretien : trente minutes maximum], coefficient 4.

Ces modalités sont résumées dans le tableau 1

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

Tableau 1. Les modalités du concours

1.2 LE DEROULEMENT DU CONCOURS 2019

1.2.1 Le calendrier.

Admissibilité : épreuves écrites

- mardi 11 Mars 2019 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A
 - mercredi 12 Mars 2019 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B
 - jeudi 13 Mars 2019 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C
- Les résultats de l'admissibilité ont été publiés le lundi 6 mai 2019.

Admission : épreuves pratiques

- Vendredi 7 juin 2019 : accueil des candidats.
- samedi 8 juin 2019 : travaux pratiques portant sur le programme de spécialité (secteur A, ou B, ou C)
- dimanche 9 juin 2019 : travaux pratiques portant sur le programme général des deux autres secteurs.

Admission : épreuves orales

- du lundi 17 juin 2019 au lundi 1 juillet 2019.

Les résultats de l'admission ont été publiés le mardi 2 juillet 2019.

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 personnels de la direction générale des ressources humaines (DGRH D). Les problèmes financiers et matériels du concours ont été résolus grâce au soutien du Service Inter-Académique des Examens et Concours (SIEC).

Les épreuves pratiques se sont déroulées au Département de Biologie de l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC, bâtiment Atrium, 4 place Jussieu 75005 Paris) pour les candidats des secteurs A et B, et au laboratoire de SVT du Lycée Saint-Louis (44 boulevard Saint-Michel, 75006 Paris) pour ceux du secteur C.

D'excellentes conditions matérielles ont été offertes dans les locaux du bâtiment Atrium grâce à l'obligeance de l'ensemble des responsables de ces bâtiments (Mr Adrien Six). Il en fut de même au lycée Saint-Louis grâce au soutien de Monsieur le Proviseur, de Madame le Proviseur adjoint, de Monsieur l'Intendant et de toute l'équipe d'intendance et d'administration. Il est important de souligner que les candidats ont pu disposer pendant les épreuves pratiques du concours de calculatrices électroniques fournies gracieusement par la Société Texas Instrument.

Les épreuves orales se sont déroulées au Lycée Saint-Louis (44 boulevard Saint Michel, 75006 Paris) grâce à l'accueil de toutes les personnes citées plus haut. Le bon fonctionnement des épreuves orales a été permis grâce à l'aide de personnels techniques de loge et d'entretien. Le lycée Henri IV a prêté une partie du matériel utilisé par les candidats pendant leurs épreuves orales. Les équipements EXAO ont été fournis par les établissements Jeulin et Sordalab. Pour le bon fonctionnement des épreuves d'admission, le bureau du concours a pu s'appuyer sur une équipe technique de grande qualité, qui comportait :

Pour les épreuves pratiques, cinq personnels de Sorbonne Université (75005 Paris) :

- BATARD Séverine Isabelle : Assistante ingénieure
- De OLIVEIRA Diana : Adjoint Technique de Laboratoire
- BROT Loïc : technicien de laboratoire
- BARBE Ullah : Assistance ingénieure
- CASTELLANI Patricia : technicienne de laboratoire
- CORVAISIER Sonia : technicienne de laboratoire

Trois professeurs ont rejoint l'équipe technique pour assurer le bon déroulement des épreuves pratiques

- SAUX Christine, professeur de chaire supérieure au lycée Saint Louis
- BOSIO Mélinée, professeure agrégée (Lycée Pierre Gilles de Gennes, Paris)
- BAUER Matthieu, professeur agrégé (Lycée J Prévert, Taverny)
- SCHOENAUER Hélène, professeure agrégée (Lycée Gustave Eiffel, Gagny)

Pour les travaux pratiques et les épreuves orales, 16 personnels de laboratoires travaillant dans le secteur des Sciences de la vie et de la Terre de différents lycées, placés sous la responsabilité de Madame DAHMANE Djamila :

- ADDOUCHE Karima, adjoint technique, (Lycée Emile Dubois , Paris)
- BOYER Rémy : ingénieur de recherche, (UEVE)
- BRAHIMI Kheira, adjoint technique, (Lycée Montaigne, Paris)
- CADOS Chantal : technicienne de laboratoire, (Lycée Louis Le Grand - Paris)
- CHAREYRE Sophie : technicienne de laboratoire, (Lycée P.-G de Gennes - Paris)
- DAVION Jérôme : technicien de laboratoire, (Lycée Janson de Sully, Paris)
- DAHMANE Djamila, technicienne de laboratoire, (Lycée Saint Louis, Paris)

- DRANE Michèle, adjointe technique, (Lycée Emilie du Châtelet)
- DUFOUR Marie-Odile : technicienne de laboratoire de classe supérieure, (Lycée A. schweitzer, Le Raincy)
- JOVIC Margarita : aide technique principal de laboratoire, (Lycée d'Arsonval - Saint Maur des Fossés)
- LUCCIN Marie-Thérèse, adjointe technique, (LIEP, Noisy le Grand)
- MILITON-PRADO Jorgelina, Adjointe technique de laboratoire, (Lycée M Berthelot, Saint-Maur)
- MORIM Isabel : adjoint technique de laboratoire, (Lycée Georges Sand, Domont)
- PALEZIS Corine : aide technique de laboratoire, (Lycée technique de St Louis – Bordeaux)
- TREBEAU Armande : aide technique de laboratoire, (Lycée Saint Louis – Paris-
- WELSH Julien, technicien de laboratoire, (Lycée Henri IV, Paris)

Pour cette session 2019, deux agrégés préparateurs ont apporté leur concours :

- BOSIO Mélinée, professeure agrégée, (Lycée Pierre-Gilles de Gennes, Paris)
- SCHOENAUER Hélène, professeure agrégée (Lycée Gustave Eiffel, Gagny)

Ce groupe a fait preuve de compétence, d'efficacité, d'une grande conscience professionnelle et d'un dynamisme de tous les instants, permettant ainsi un déroulement des épreuves des travaux pratiques du concours dans des conditions optimales malgré des contraintes matérielles qui imposaient un travail sur deux sites (Lycée Saint-Louis, Sorbonne Université Atrium), en particulier le samedi 8 juin 2018 pour deux séances d'épreuves pratiques consécutives, d'une durée de six heures chacune. De plus, la même équipe a assuré dans un délai très court la préparation des salles, des collections, de la bibliothèque et du matériel informatique nécessaire à l'oral sur le site du Lycée Saint-Louis.

Les épreuves pratiques et orales du concours ont été approvisionnées en matériel végétal grâce au service des cultures du Muséum National d'Histoire Naturelle (Madame BERAUD, directrice du département et Monsieur JOLY) et à la participation active de :

BALLOT Laurent : technicien jardinier (Muséum National d'Histoire Naturelle - Paris).

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

2. Quelques éléments statistiques

2.1 DE LA CANDIDATURE À L'ADMISSION

Les candidats par secteurs

Candidats inscrits	1217		
Candidats présents	Écrit secteur A	565	46,4 % des inscrits
	Écrit secteur B	550	45,2 %
	Écrit secteur C	548	45 %
Candidats présents aux 3 écrits	548	45 %	des inscrits
Candidats admissibles	149	12,2 %	des inscrits
		27,1 %	des présents aux 3 écrits
	Secteur A	44	29,5 % des admissibles
	Secteur B	65	43,6 %
	Secteur C	36	24,1%
Candidats admis	65	43,6 %	des admissibles
		11,8 %	des présents aux 3 écrits
		5,3 %	des inscrits
	Secteur A	18	27,6 % des admis
	Secteur B	31	47,6 %
	Secteur C	16	24,6 %

La totalité des postes mis au concours (65) a été pourvue.

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

Cette année, 149 candidats ont été déclarés admissibles. Ils représentent 27,1% des présents aux trois écrits. En effet, 55% des candidats inscrits ne se sont présentés à aucune épreuve. 3% des inscrits ont participé à seulement une ou deux épreuves.

Pour cette session, la barre d'admissibilité est de 8,52/20. La moyenne des candidats qui ont présenté les trois épreuves écrites est de 6,49/20 et celle des admissibles est de 11,18/20. Les meilleurs candidats obtiennent de bons résultats aux trois épreuves.

Pour l'admission, à l'issue de l'ensemble des épreuves, la moyenne de l'ensemble des candidats a été de 8,43 et celle des candidats admis à 10,64. La barre d'admission a été de 9,37/20.

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 professeurs. Dans les deux types d'épreuves, il est attendu du candidat qu'il démontre rigueur

scientifique et aptitudes pédagogiques Il est d'ailleurs très intéressant de noter que si les admis ont en moyenne gagné 14 places entre les deux étapes du concours, les non admis en ont perdu en moyenne 25. Les coefficients élevés des épreuves d'admission expliquent bien évidemment ce résultat.

En particulier il doit être signifié que les épreuves pratiques et orales peuvent avoir un effet reclassant spectaculaire : cette année, un candidat a progressé de 112 places et 2 autres de plus de 80 places entre l'admissibilité et l'admission. Il est donc essentiel de souligner que le concours est un processus long et qu'il ne faut jamais baisser les bras ou se relâcher avant la fin.

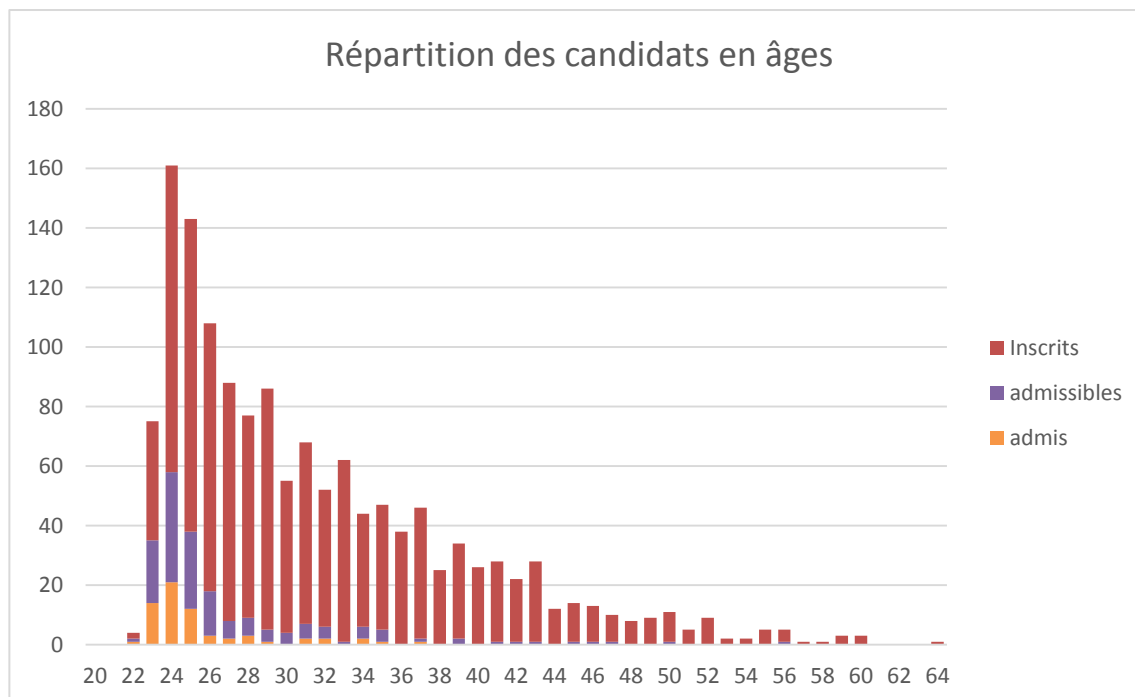
Les candidats par sexe

Répartition	Inscrits	Présents	Admissibles	Admis
♂	34%	37%	32%	38%
♀	66%	63%	68%	62%

La répartition des candidats par sexe est nettement en faveur des femmes pour les admissibles, et contrairement à l'année précédente, cette différence s'est maintenue tout au long du concours et les femmes sont nettement majoritaires parmi les admis.

Âges des candidats

Bien que les inscrits, et même les candidats se répartissent sur une large gamme d'âge, force est de constater que l'agrégation externe reste un concours réussi par les étudiants assez jeunes comme les histogrammes ci-dessous qui reprennent la distribution des âges en fonction des inscrits, des candidats présents aux trois épreuves et des admis. En effet, l'immense majorité des lauréats sont soit en M2: (année de naissance théorique : 1996) soit en année de préparation à l'agrégation post master (année de naissance théorique : 1994-5). Les lauréats plus âgés sont logiquement moins nombreux, mais il est possible encore comme cette année de voir des professeurs certifiés venir passer et réussir le concours de l'agrégation externe.



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

Profession	Inscrits	Présents	Admissibles	Admis
ETUD.HORS ESPE (PREPA MO.UNIV)	117	111	64	32
CERTIFIE	481	184	30	7
ELEVE D'UNE ENS	26	25	20	16
ENS.STAGIAIRE 2E DEG. COL/LYC	78	40	7	3
ETUD.HORS ESPE (SANS PREPA)	24	11	4	2
PERS ENSEIG TIT FONCT PUBLIQUE	23	8	4	1
ETUDIANT EN ESPE EN 2EME ANNEE	72	41	3	0
ETUDIANT EN ESPE EN 1ERE ANNEE	25	17	3	1
SANS EMPLOI	91	25	2	1
FONCT STAGIAIRE FONCT PUBLIQUE	3	2	2	0
CONTRACTUEL 2ND DEGRE	89	26	1	0
ASSISTANT D'EDUCATION	25	16	1	1
MAITRE AUXILIAIRE	20	6	1	0
ETUD.HORS ESPE (PREPA CNED)	17	7	1	0
SALARIES SECTEUR TERTIAIRE	13	3	1	0
PROFESSIONS LIBERALES	7	2	1	0
PLP	5	2	1	0
MAITRE CONTR.ET AGREE REM TIT	5	1	1	0
PERS FONCT TERRITORIALE	3	1	1	0
ETUD.HORS ESPE (PREPA PRIVEE)	2	2	1	1
CADRES SECT PRIVE CONV COLLECT	20	4	0	0
ENSEIGNANT DU SUPERIEUR	9	1	0	0
CONTRACT ENSEIGNANT SUPERIEUR	8	3	0	0
VACATAIRE DU 2ND DEGRE	8	2	0	0
SALARIES SECTEUR INDUSTRIEL	6	0	0	0
PROFESSEUR ECOLES	5	1	0	0
AG NON TITULAIRE FONCT PUBLIQ	4	1	0	0
ARTISANS / COMMERCANTS	4	0	0	0
FORMATEURS DANS SECTEUR PRIVE	3	1	0	0
PERS ENSEIG NON TIT FONCT PUB	3	1	0	0
AG NON TIT FONCT TERRITORIALE	2	1	0	0
CONTRACTUEL FORMATION CONTINUE	2	1	0	0
PROFESSEUR ASSOCIE 2ND DEGRE	2	1	0	0
VACATAIRE ENSEIGNANT DU SUP.	2	0	0	0
AG NON TIT FONCT HOSPITAL	2	0	0	0
MAITRE CONTR.ET AGREE REM MA	2	0	0	0
ADJOINT D'ENSEIGNEMENT	1	1	0	0
COP STAGIAIRE EN CENTRE DE FOR	1	0	0	0
EMPLOI AVENIR PROF.2ND D.PUBLI	1	0	0	0
VACATAIRE FORMATION CONTINUE	1	0	0	0
AGREGE	1	0	0	0

PERS ADM ET TECH MEN	1	0	0	0
MAITRE DELEGUE	1	0	0	0
PERS FONCT HOSPITAL	1	0	0	0
FONCT STAGI FONCT TERRITORIALE	1	0	0	0

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

En effet, les admis se répartissent en 3 grandes catégories : 49,7% sont étudiants (masters disciplinaires hors ESPE ou année de préparation à l'agrégation) ; 26 % sont élèves d'une ENS, 16% sont jeunes certifiés ou certifiés stagiaires. Les autres provenances sont anecdotiques : 1,5% en ESPE et 1,5 % sans emploi.

Il est intéressant de constater que 33% des certifiés inscrits sont admissibles. C'est un vrai plaisir de voir des professeurs certifiés, dont l'âge moyen est de 32 ans, venir passer l'agrégation externe ! Cela témoigne d'un investissement personnel très fort et nous tenons à les en féliciter. Ce constat est en totale adéquation avec l'analyse sur les années de naissances des lauréats.

Répartition géographique des candidats :

Académie	Inscrits	Présents aux 3 écrits	Admissibles	Admis
AIX-MARSEILLE	62	31	9	6
AMIENS	49	19	1	0
BESANCON	8	2	0	0
BORDEAUX	48	24	6	1
CAEN	23	6	0	0
CLERMONT-FERRAND	20	7	1	0
CRETEIL-PARIS-VERSAIL.	300	131	39	17
DIJON	17	7	1	0
GRENOBLE	41	14	2	1
GUADELOUPE	31	13	0	0
GUYANE	11	1	1	0
LA REUNION	21	2	0	0
LILLE	65	32	5	2
LIMOGES	7	4	0	0
LYON	74	53	33	24
MARTINIQUE	10	3	1	0
MAYOTTE	6	2	0	0
MONTPELLIER	54	28	11	4
NANCY-METZ	24	7	0	0
NANTES	46	14	1	0
NICE	42	22	4	2
NOUVELLE CALEDONIE	3	1	0	0
ORLEANS-TOURS	38	18	3	0
POITIERS	27	11	2	0
POLYNESIE FRANCAISE	2	0	0	0
REIMS	22	7	2	0

RENNES	47	31	5	0
ROUEN	25	14	3	0
STRASBOURG	52	32	16	7
TOULOUSE	42	12	3	1

Les candidatures se répartissent dans de très nombreuses académies. Cependant, il est frappant de constater le contraste entre ce nombre et celui, beaucoup plus modeste, des académies qui présentent des candidats admis. Sur les 31 secteurs géographiques qui présentent des candidats, 21 ont des candidats admissibles et seules 10 ont des admis.

En ce qui concerne le pourcentage des admis par académie : Lyon (37%), PCV (26%), Strasbourg (10,7 %), Montpellier (6,1) et Aix-Marseille (9% chacun) rassemblent près de 90% 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 renforce. La haute technicité du concours et des stratégies universitaires spécifiques de préparation aux concours de recrutement expliquent ce phénomène.

2.2 L'ÉVOLUTION DU CONCOURS SUR LE LONG TERME

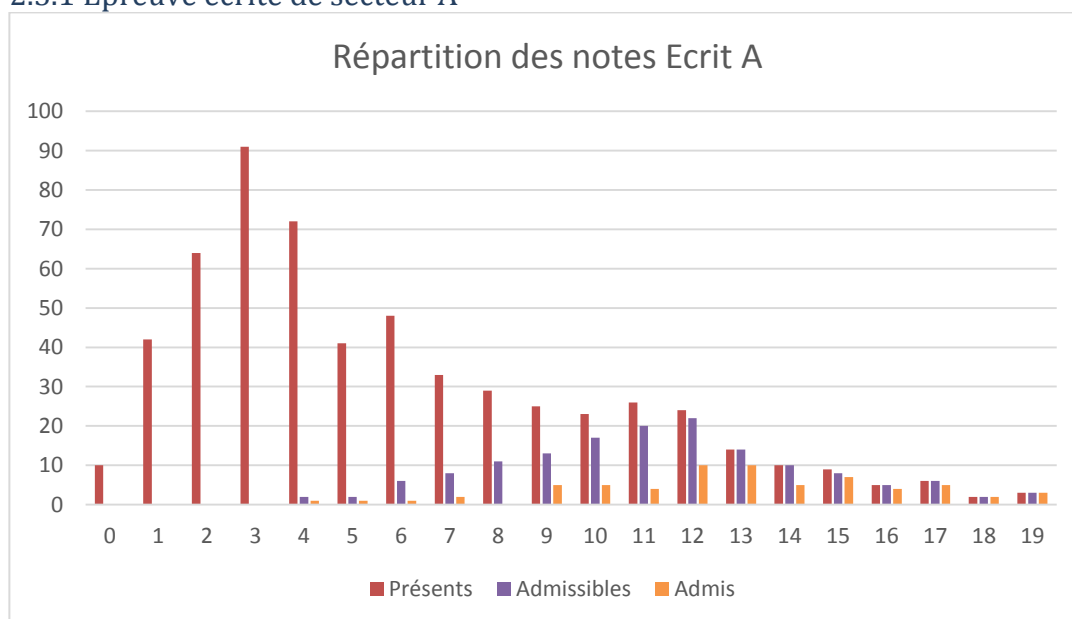
année	nombre de postes mis au concours	nombre d'inscrits	nombre présents	nombre d'admissibles	nombre d'admis	liste complémentaire
1993	154	1439	819	233	148	Non
1994	154	1581	950	241	154	Non
1995	154	1770	1034	242	142	Non
1996	154	2041	1252	245	154	Non
1997	130	2273	1473	245	130	Non
1998	150	2416	1413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

2015	101	1308	650	234	101	Non
2016	103	1464	640	231	103	Non
2017	95	1494	662	225	95	Non
2018	76	1359	578	178	76	Non
2019	65	1217	548	149	65	Non

2.3 QUELQUES DONNÉES STATISTIQUES CONCERNANT L'ÉCRIT

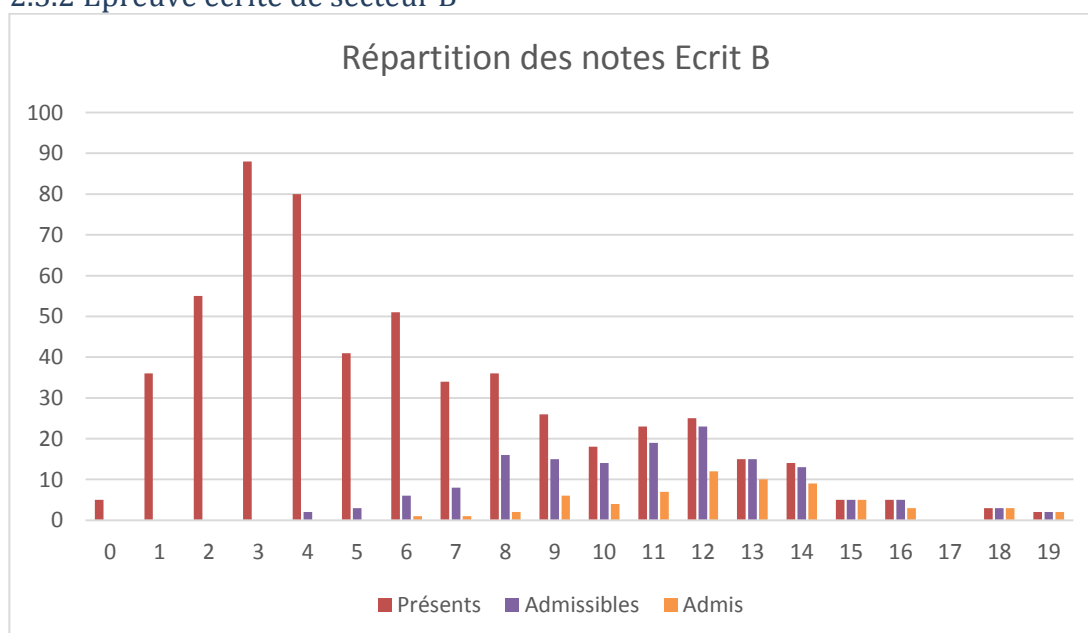
Il va de soi que ces valeurs décrivent plus les modalités adoptées pour l'harmonisation (calage des médianes et des écarts types tout en exploitant toute la gamme des notes disponibles) qu'un résultat à commenter.

2.3.1 Épreuve écrite de secteur A



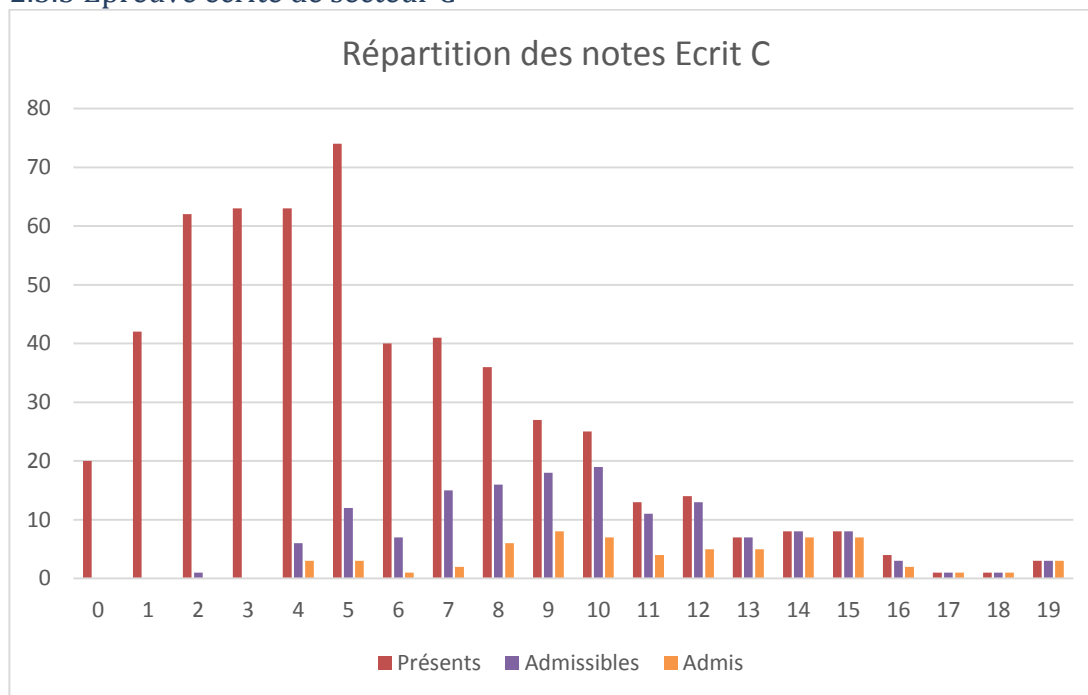
Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur A en fonction des présents, des admissibles et des admis

2.3.2 Épreuve écrite de secteur B



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

2.3.3 Épreuve écrite de secteur C



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

2.4 QUELQUES DONNÉES STATISTIQUES CONCERNANT LES ÉPREUVES PRATIQUES

	A	B	C	a	b	c
Moyenne	7,96	8,63	7,54	9,79	10,06	9,65
Écart type	2,42	2,06	2,12	1,46	2,69	2,62
Médiane	8,34	8,59	8,00	10,00	10,00	10,03
Max	13,33	13,46	15,32	14,56	14,68	20,00
Min	4,67	3,83	4,971	6,62	1,29	5,38

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

2.4 Quelques données statistiques concernant les épreuves orales

2.4.1 Épreuves orales de spécialité

2.4.1.1 Épreuve orale de spécialité de secteur A (44 candidats admissibles)

Moyenne	7,85
Écart type	3,74
Médiane	7,50

2.4.1.2 Épreuve orale de spécialité de secteur B (65 candidats admissibles)

Moyenne	8,40
Écart type	3,57
Médiane	7,40

2.4.1.3 Épreuve orale de spécialité de secteur C (36 candidats admissibles)

Moyenne	7,41
Écart type	3,84
Médiane	6,60

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

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

Pour secteur A : 44 admissibles

Moyenne	7,73
Écart type	3,84
Médiane	6,80

Pour secteur B : 69 admissibles

Moyenne	8,30
Écart type	3,50
Médiane	7,80

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

Pour secteur C : 36 admissibles

Moyenne	8,60
Écart type	4,16
Médiane	8,40

3. Programme du concours

Le programme de la session 2019 est disponible sur le site du ministère de l'éducation nationale à l'adresse suivante :

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

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

Le haut niveau scientifique de l'agrégation nécessitera donc du candidat qu'il fasse la démonstration de sa maîtrise des différents éléments 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 (à partir de la session 2018) être rédigés en langue anglaise.

4. Épreuves écrites

4.1 Épreuve écrite du secteur A :

4.1.1 Le sujet proposé :

L'eau et les molécules biologiques

Le sujet a été choisi de façon à identifier les candidats capables d'exploiter des connaissances précises dans le cadre d'une réflexion menée à différentes échelles. Ainsi, le traitement du sujet nécessitait bien sûr de maîtriser parfaitement les connaissances biochimiques liées à l'interaction entre l'eau et les molécules biologiques. Mais il s'agissait également de les replacer dans le contexte des cellules, tissus et organismes, afin de donner du sens aux propriétés et mécanismes décrits.

4.1.2 Commentaires généraux sur l'épreuve

De la délimitation du sujet à son traitement par notions

La délimitation du sujet a posé problème à de nombreux candidats. L'intitulé imposait de traiter les interactions entre l'eau et les molécules biologiques. Par conséquent, un plan séparant les deux types de molécules, malheureusement rencontré dans certaines copies, ne répond absolument pas au sujet. De la même façon, les caractéristiques purement physiques de l'eau n'ont d'intérêt que si elles sont pertinentes pour l'interaction avec une biomolécule. Il est par exemple inopportun d'aborder le rôle de tampon thermique, si ce n'est pour expliquer que cette propriété peut participer à maintenir les protéines sous une conformation active dans certaines conditions... Le programme de l'agrégation liste les molécules biologiques, et les ions minéraux n'en font pas partie. Ainsi, il apparaît plus judicieux d'illustrer la notion de solvatation avec l'exemple d'un ose, d'un acide aminé ou d'une macromolécule hydrosoluble plutôt qu'en représentant une cage de molécules d'eau autour d'un ion sodique.

Le traitement du sujet doit être conçu par notions et non comme une suite d'exemples désincarnés ; il doit de plus être réfléchi avec une logique démonstrative dans la succession des idées présentées. Par conséquent, le jury attendait des candidats qu'ils partent d'un constat, expérimental dès que possible, le généralisent et en dégagent une idée biologique. La démarche démonstrative est nettement valorisée. Par exemple, la description succincte de manipulations historiques classiques permettait de mettre en évidence l'organisation en bicouche des membranes biologiques. L'analyse moléculaire précise d'un exemple de lipide membranaire prouvait son aspect amphiphile (le détail de la molécule est indispensable à la démonstration) ; la généralisation rapide de la démonstration à l'ensemble des constituants lipidiques montrait l'importance de l'eau dans la structuration de base des membranes, permettant la délimitation des compartiments. Les candidats qui ont essayé, le plus souvent possible, de démontrer les faits et non de simplement les affirmer, ont été valorisés.

Le jury est particulièrement surpris d'avoir lu des énormités sur des connaissances biochimiques supposées acquises depuis la licence : structure de la molécule d'eau ou de la bicouche lipidique inexactes, confusion entre hydratation et hydrolyse, chaînes membranaires d'oxydoréduction inversées ou sans accepteur final des électrons, voire sans lien clair avec l'eau, liaisons H mal définies, eau considérée comme un solvant organique, confusion entre osmose et loi de Fick (on rappelle d'ailleurs que la membrane doit être *semi*-perméable pour qu'il y ait phénomène d'osmose), notion d'oxydoréduction très approximative, etc. Le jury est aussi très surpris lorsqu'il rencontre de fortes incohérences qui démontrent une incompréhension des concepts utilisés, par exemple entre la définition proposée pour une molécule organique et les exemples utilisés dans ce cadre.

On insiste de nouveau sur la nécessité d'illustrer les copies de façon suffisante, sachant également qu'un schéma sans commentaire n'a que peu de valeur démonstrative : il doit être intégré dans le raisonnement.

Les copies de bonne qualité sont donc celles qui mettent en évidence, au moyen d'exemples précis et contextualisés, les caractéristiques et conséquences biologiques des interactions moléculaires entre le solvant fondamental du vivant et les différentes biomolécules. Le choix d'exemples diversifiés, pris dans différentes branches de l'arbre du vivant, a été également apprécié. D'une manière plus générale, les bonnes copies sont celles qui démontrent la maîtrise des compétences professionnelles d'un futur enseignant scientifique : mettre en œuvre une démarche, communiquer de manière claire et précise, exercer un esprit critique, analyser une problématique complexe, schématiser une idée, rédiger une définition... Une bonne copie doit pouvoir être lue par un non spécialiste et être construite de telle sorte qu'il ait la satisfaction d'avoir compris le sujet. En bref, une bonne copie, c'est celle qui donne envie d'avoir son auteur comme enseignant.

L'introduction

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

La maîtrise de cette compétence repose sur les quatre points suivants :

- « l'approche » ou « la contextualisation », partant de l'actualité, d'expériences, d'éléments d'histoire des sciences, ou autre : celle-ci doit servir d'ancrage au sujet. Le jury a trop souvent lu que l'abondance de l'eau sur Terre montrait son importance dans le vivant, déduction pour le moins douteuse...
- « les pré-requis » : il s'agit de donner des définitions précises des termes du sujet. Mais ces définitions doivent être intégrées à la phase d'élaboration d'une problématique et non isolées du reste de l'introduction. Ce souci de définition des termes ne doit pas se limiter à l'introduction mais se poursuivre tout au long de l'exposé chaque fois que cela est nécessaire.
- « la problématique » ou « les questionnements » : ils sont soulevés par l'approche et les pré-requis. Il est à noter que de nombreuses « problématiques » avancées dans les copies n'en sont pas : « quelles sont les propriétés d'eau ? » n'est pas un questionnement en accord avec un sujet imposant de mettre en relation l'eau et les molécules biologiques.
- « La stratégie de résolution de la problématique / des questionnements » : ce sont les axes directeurs de la composition, explicités et justifiés par les trois points précédents. Il ne s'agit donc pas d'annoncer son plan du type "dans une 1ère partie, etc.", mais bien d'explicitier la logique de la démarche qui va être suivie dans l'exposé. Par exemple, un plan par fonctions : "eau et solubilisation des biomolécules ; engagement des biomolécules dans des réactions ; eau et flux des biomolécules".

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

La conclusion

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

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

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

La maîtrise de la langue française et du vocabulaire scientifique

Les copies s'évaluent dans leur globalité, notamment au niveau de l'orthographe ou encore de la syntaxe. Des fautes d'orthographe ou des maladresses d'expression, relevées de façon récurrente, diminuent la qualité d'une copie et ne sont pas acceptables de la part d'un futur enseignant. Le jury rappelle qu'un discours scientifique rigoureux s'appuie nécessairement sur l'utilisation d'un vocabulaire précis. Par exemple, les noms des réactions biochimiques mentionnées étaient souvent fantaisistes, de même que les qualificatifs attribués aux propriétés des groupements chimiques.

4.1.3 Grille de notation

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

Agrégation externe		Sujet : L'eau et les molécules biologiques	Commentaires
Épreuve du secteur : A			
Fond	Introduction	Contexte servant d'ancrage clair à l'introduction	Souvent, seules les idées sont évoquées, il n'y a pas de rédaction réelle du contexte, alors que cette dernière doit permettre de sous-tendre les pré-requis du sujet
		Analyse des termes du sujet à partir du contexte	Problème sur la définition de "molécule biologique", se référer au programme officiel
		Problématique / questionnements clairement posée(s) et justifiée(s) par l'analyse du sujet	On attend un questionnement sur les types d'interactions et leurs conséquences
		Axe directeur de la composition explicité et bien justifié	Il s'agit d'expliciter la logique du raisonnement qui va être suivi dans l'exposé, l'une des stratégies défendables étant un

Les interactions à l'échelle moléculaire			plan par fonctions
	Liaisons faibles entre l'eau les groupements fonctionnels portés par les biomolécules	La molécule d'eau est neutre mais porte des charges partielles dues à une électronégativité différentielle	Les définitions de base sont peu maîtrisées, nombreuses confusions, entre autres sur les groupements fonctionnels. Ces trois aspects pouvaient être traités de façon efficace quasi simultanément avec quelques exemples bien choisis
		Les groupements fonctionnels portés par les biomolécules sont polaires (hydrophiles) ou apolaires (hydrophobes) : exemples	
		Des liaisons électrostatiques (ponts hydrogènes) se mettent en place entre l'eau et les différents groupements fonctionnels polaires ou chargés	
		L'eau est le solvant fondamental du vivant (cytosol, liquides extracellulaires) et ses interactions avec les biomolécules dépendent partiellement du pH (gain ou perte de proton) ; la concentration d'un soluté varié, entre autres grâce à la compartimentation.	Des notions basiques mais fondamentales, parfois passées sous silence.
	Solubilité différentielle des biomolécules	Les petites molécules biologiques sont souvent hydrosolubles (acides aminés et échelle d'hydropathie liée aux chaînes latérales, oses, nucléotides...)	Là encore, cet item pouvait être abordé en conclusion des trois premiers aspects (il ne s'agit que de prendre du recul et de replacer les groupements dans leur contexte biochimique)
		L'hydrosolubilité des macromolécules est variable et dépend à la fois des groupements fonctionnels présents à leur surface, de leur masse et de leur conformation (exemple : repliement des protéines, cas des fibrilles des matrices extracellulaires insolubles)	
		Le repliement peut conditionner la solubilité globale d'une protéine (protéines globulaires cytosoliques avec chaînes latérales hydrophiles en surface, cas de variation de solubilité : HbS)	
		Les hétérolipides, les chlorophylles et le cholestérol sont amphiphiles et s'organisent spontanément de telle façon	Les copies où les applications des connaissances ont été abordées ont été

			que leur pôle hydrophobe ne soit pas au contact de l'eau	appréciées (exemples: utilisation des liposomes, séparation de molécules par chromatographie...). Beaucoup d'erreurs relevées sur les molécules.
			Certaines molécules sont totalement hydrophobes : cérides, triglycérides, macromolécules lipidiques, polyphénols, carotène...	Idée rarement rencontrée et, le cas échéant, pas démontrée
		Action "en retour" des biomolécules sur l'eau	Les molécules fortement chargées négativement (GAG, pectines) attirent des cations à fort pouvoir osmotique	La structure simplifiée des molécules est indispensable à la démonstration (groupements acides carboxyliques déprotonés)
			Des enzymes hydrolytiques rendent la molécule d'eau très réactive en renforçant sa polarisation (implique souvent des radicaux chargés et / ou des ions inorganiques ; exemple : mécanisme de la carboxypeptidase)	Idée très rarement rencontrée
			Les molécules en solution attirent l'eau et font baisser la composante osmotique du potentiel hydrique dans le compartiment	Confusions fréquentes entre osmose et loi de Fick (il est rappelé qu'on ne peut pas définir une concentration pour l'eau)
	L'eau en tant que solvant des biomolécules : son rôle dans la structuration des cellules et organismes	Hydrosolubilité et transport / diffusion des biomolécules, flux d'eau	L'hydrosolubilité des petites molécules est indispensable à leur diffusion rapide et donc leur fonction (exemples : ATP, seconds messagers, neurotransmetteurs...)	L'échelle de l'organisme a été valorisée dans chaque item le permettant. Par exemple ici, il était possible d'intégrer ces données dans la communication intercellulaire ou encore dans la nutrition des organismes
			L'hydrosolubilité permet le transport dans un fluide aqueux circulant (sang, sève) : immunoglobulines, glucides de transport, hormones hydrophiles, urée...	
			Les molécules lipophiles (cholestérol, hormones stéroïdes...) sont solubilisées pour être transportées	Ces notions ont assez souvent été rencontrées
			Les GAG, protéoglycanes et acides pectiques forment un gel autorisant la diffusion dans les matrices extracellulaires et résistant aux forces de compression	

		Les flux d'eau ont des conséquences fonctionnelles : forme des cellules, mouvements de structures (protrusions, ouverture des stomates...), croissance cellulaire	
		Les flux d'eau sont contrôlés (nombre d'aquaporines, de jonctions gap, variation de concentration en solutés - exemple de la vacuole des cellules de garde)	De nombreux candidats n'ont pas le réflexe d'analyser les variations des phénomènes décrits
	Molécules amphiphiles et structuration des membranes biologiques	Les lipides membranaires s'organisent spontanément en bicouche séparant deux milieux aqueux, structure de base de la membrane jouant le rôle de barrière sélective	Idée basique souvent donnée sans démonstration
		Le mode d'insertion des protéines dans la bicouche dépend de leurs domaines hydrophiles / hydrophobes (protéines transmembranaires ou ancrées, hélices, feuilletts, profil d'hydropathie)	De bonnes approches sur ce thème
		Les canaux ménagent un conduit hydrophile permettant le passage des ions (canaux ioniques et perte de la sphère d'hydratation) ou de l'eau (aquaporines)	Il est préférable de décrire un exemple précis plutôt que de balayer l'ensemble des canaux existants sans le moindre détail
	Molécules limitant le contact avec l'eau	Les formes de stockage des biomolécules ne mobilisent pas d'eau (triglycérides sous la forme de gouttelette, amidon ou glycogène et maintien d'un potentiel hydrique raisonnable)	
		Les molécules fortement hydrophobes imperméabilisent la surface de cellules ou organes (cutine, subérine, lignine, sporopollénine...)	
		Des structures amembranaires ne font pas intervenir l'eau et concentrent des molécules (carboxysome, protéasome, nucléole, granules de stress...)	
	Eau et stress cellulaire	Les molécules antigél protègent les cellules de l'apparition des cristaux de glace	Ces notions ont été abordées mais la plupart du temps sans le support moléculaire et cellulaire nécessaire pour une épreuve de secteur A
		La vie ralentie et la dormance passent par une déshydratation partielle dans des formes de résistance pouvant à terme se réhydrater	

L'eau en tant que réactif ou produit de réactions faisant intervenir des biomolécules	Eau produit de réaction	L'eau est le produit de toutes les réactions de condensation : formation de liaisons ester, éther, amide...	On rappelle que la cyclisation d'un ose se fait à nombre d'atomes constant, contrairement à ce qu'affirment de nombreux candidats
		Les condensations aboutissent à des oligo- ou polymères à fonction biologique précise (protéines, acides nucléiques, macromolécules lipidiques, oligo- et polysides...)	Il s'agissait de donner un sens biologique aux réactions décrites, ce qui a très rarement été fait...
		Les condensations peuvent aboutir à la formation d'une liaison labile (liaisons phosphoester, thioester) et constituer un réservoir d'énergie potentielle	
	Eau substrat de réaction	Les hydrolyses peuvent rompre des liaisons carbone-carbone dans des petites molécules (exemple : rupture de l'intermédiaire à 6C du cycle de Calvin) ou séparer les monomères de polymères	
		Les hydrolyses peuvent libérer de l'énergie (utilisation de l'ATP et de ses dérivés, des transporteurs de groupements acyl et acétyl par liaison thioester)	
		Les hydrolyses peuvent modifier la conformation d'une protéine (exemple : hydrolyse du phosphate de la pompe Na ⁺ /K ⁺ , contrôle covalente de l'activité d'une enzyme)	
		Les hydrolyses peuvent libérer des petites molécules informatives (passage PIP2 - IP3)	
		L'hydratation est l'addition nucléophile d'une molécule d'eau (exemple : passage fumarate - malate)	
	Couple Redox dioxygène / eau	Le couple dioxygène / eau possède un potentiel redox particulièrement élevé et intervient dans les chaînes d'oxydoréduction membranaires	Point fondamental, qui apparaît en filigrane des items suivants mais est rarement énoncé explicitement.
		L'eau est obtenue par réduction enzymatique du dioxygène dans les chaînes respiratoires et chimiosynthétiques	Beaucoup d'erreurs graves sur les chaînes décrites, même s'il ne s'agissait pas ici d'en détailler tous les intermédiaires mais d'expliquer le rôle du
		L'eau est photodissociée par le centre manganèse des chaînes photosynthétiques	

		L'eau récupère les électrons des molécules organiques lors de la respiration (eau métabolique) et fournit les électrons permettant au carbone minéral d'être réduit en carbone organique lors de la photosynthèse	couple impliquant l'eau dans le processus.
	Conclusion	Quelques idées clés / transversales ...	La synthèse de conclusion ne doit pas être une répétition de l'exposé (et notamment de ses intitulés de grande partie) ; le candidat doit travailler par mots-clés de l'exposé, qu'il organise sous la forme d'une synthèse, que cette dernière soit écrite et/ou schématisée
		... qui permettent de dégager des réponses concrètes aux questions posées en intro	
		Ouverture pertinente et apport d'une culture générale et scientifique	Le candidat doit élargir une idée qui a été évoquée dans le sujet ; il ne s'agit pas de "parler d'autre chose", mais bien "d'aller plus loin" sur une idée du sujet. "L'eau et les biomolécules" doit toujours être présent dans cet élargissement
Qualité générale de la construction de la copie	Plan	Logique, cohérence, titres informatifs, adéquation entre titres et contenu des paragraphes	
	Transitions		
	Approches expérimentales et observations	appréciée par rapport à la richesse de la copie	
	Illustrations	Pertinence et qualité, appréciées par rapport à la richesse de la copie	
Total du fond			
Bonus			
Forme	Rédaction	Clarté, concision	Très peu de copies ont été rédigées de façon finaliste et/ou anthropocentrique, ce qui est une réelle avancée par rapport aux années précédentes.
		Orthographe, syntaxe	
	Présentation	Présentation et soin	

<i>Total de la forme</i>			
	TOTAL de la copie		

4.2 Épreuve écrite du secteur B:

4.2.1 Le sujet proposé :

Squelette et protection de l'organisme

4.2.2 Commentaires généraux sur l'épreuve

La contextualisation prenait un sens particulièrement important cette année dans la dissertation du secteur B car elle donnait les clefs de l'analyse des termes du sujet. Un certain nombre de candidats - et pas seulement les meilleurs - ont judicieusement choisi de partir de l'exemple des fossiles, pour lesquels la plupart du temps seul le squelette est conservé. L'analyse de cette constatation menait à décrire l'objet par ses propriétés à savoir une résistance physico-chimique aux contraintes et par là même une augmentation de sa durée d'existence, jusqu'à ce que le processus de fossilisation puisse avoir lieu. C'est d'ailleurs de là que le squelette tire son nom étymologiquement, littéralement « corps desséché » ou « momie » en grec. Partir de cet exemple concret avait pour avantage majeur de ne pas enfermer ce premier terme dans des limites taxinomiques qui ne font pas l'unanimité parmi la communauté scientifique : l'alinéa sous le sujet visait à prévenir les candidats contre ce genre de restrictions indues. Le barème était cependant construit de sorte que les candidats qui se seraient limités à un certain taxon ne fussent malgré tout pas pénalisés par ce choix, si ce n'est la difficulté conséquente à fournir suffisamment de diversité dans leurs exemples, point attendu pour presque chaque item.

La protection centrait le sujet sur cette fonction première du squelette, dont on a vu qu'elle apparaît dès lors qu'on le définit. Cette redondance sémantique devait guider les candidats à concentrer leurs efforts sur cette caractéristique essentielle. Des développements concernant la structure ou la diversité des squelettes n'apportaient que peu au sujet s'ils ne servaient pas à montrer explicitement en quoi ils protègent les organismes qui les possèdent. Il était intéressant de mentionner que la conservation de l'intégrité de l'organisme est une composante importante de la *fitness* dans la niche écologique qui lui convient le mieux. Une conséquence est notamment l'existence de compromis (*trade off*) sur les caractéristiques des squelettes, en particulier pour certains taxons contenant une grande diversité d'espèces sur un large spectre écologique.

L'exposé d'une problématique développée a été encore négligé par trop de candidats. Ils se privaient alors d'un guide fiable pour la construction d'un plan cohérent. Ainsi, les meilleures copies se sont distinguées par la présentation initiale d'une démarche justifiée, et le déroulement de celle-ci tout au long du devoir. Le jury est particulièrement sensible à cet aspect, qui révèle à la fois les capacités scientifiques et pédagogiques qui sont attendues d'un agrégé. Il y avait de multiples façons de dérouler l'argumentation sur ce sujet de manière logique et correctement enchaînée mais dans tous les cas il convenait de proposer des problèmes pour chercher à les résoudre et y répondre sous forme de leur synthèse dans la conclusion. Différentes pistes pouvaient être explorées : celle de l'origine de la diversité des squelettes ou celle de l'unité évidente de certaines de leurs caractéristiques structurales et fonctionnelles en rapport avec la protection en étaient d'assez classiques. Les multiples dilemmes inhérents à la possession d'une structure protectrice résistante aux échanges ou aux mouvements, pourtant essentiels pour tout être vivant défini comme un système hautement dynamique en interaction avec un milieu changeant, en était une autre plus spécifique au sujet.

Caractéristiques des squelettes en lien avec une résistance à la déformation

La plupart des candidats, à condition qu'ils n'aient pas trop restreint leur sujet taxinomiquement, ont mentionné des exemples pris dans des groupes variés à différentes échelles d'observation, pour des organismes unicellulaires (diatomées, foraminifères...) ou pluricellulaires. Ils ont en général décrit correctement leur forme, éventuellement aidés par un schéma, soigné dans l'ensemble. Pour les organismes pluricellulaires eux-mêmes on pouvait aussi décliner les échelles d'observation : l'organisme entier (protection par une coquille, une carapace ou un test), l'organe (crâne protégeant le cerveau) ou la cellule (paroi squelettique des végétaux autour de chaque cellule).

Une argumentation concernant les aspects mécaniques de la résistance à la déformation a en revanche été négligée par la plupart des candidats même dans sa description la plus élémentaire alors qu'ils ont *a priori* l'habitude de la mettre en œuvre en géologie par exemple. Il convenait notamment en premier lieu de démontrer de manière simple pourquoi une forme ogivale ou pointue offrait plus de résistance aux forces de compression qu'une forme plate ou concave. Les effets de la gravité en milieu aérien auraient aussi dû faire l'objet d'une attention particulière étant donné l'importance qu'ils ont sur les organismes qui peuplent ce milieu peu porteur.

Les aspects concernant la composition et la disposition des éléments formant le squelette étaient avantagusement traités par la comparaison de quelques exemples choisis. De nombreux candidats ont été valorisés en illustrant ces points par un schéma synthétique ; la mise en regard de deux ou plusieurs schémas, plus rare dans les copies, permettait de montrer de manière didactique la variété des constituants et des structures mais aussi les points communs nombreux qui existent entre des squelettes appartenant même à des taxons éloignés, en rapport avec la fonction de protection. Ils ont ainsi généralement en commun la présence d'une trame souple de nature variée (cellulose, chitine, collagène...) à la fois résistante et élastique qui dans un deuxième temps peut être imprégnée de substances dures augmentant sa résistance à la déformation (lignines, carbonates, hydroxyapatite...). Certains constituants initialement présents dans une trame souple peuvent aussi la rigidifier par leur oxydation, c'est le cas des sclérotines des arthropodes qui une fois tannées rigidifient leur exosquelette de chitine originellement très flexible. Ces matériaux sont organisés, tangentielllement pour la trame ou les couches internes, perpendiculairement à la contrainte pour la fraction dure et externe, ce qui permet alternativement de répartir la force de réaction à la contrainte et de la maximiser. L'alternance de disposition d'une couche à l'autre que l'on retrouve chez un ostéon de vertébré, la couche moyenne des lamelles entrecroisées des gastéropodes ou encore le grain oblique d'un bois permet de lutter contre la composante de cisaillement d'une contrainte. Là encore, ces points n'ont que rarement été soulignés par les candidats.

L'agencement des modules squelettiques est un point important laissé de côté par presque tous les candidats : leur recouvrement notamment dans le cas des écailles permet de continuer à exercer une protection à l'aide d'un bouclier rigide tout en permettant le mouvement des pièces les unes par rapport aux autres donc de l'individu lui-même. Les écailles des « poissons » notamment constituent un squelette périphérique qui protège le corps entier de l'animal à la manière d'une cote de maille dont les constituants primordiaux peuvent être extrêmement durs (dentine chez les requins). Le cas des hydrosquelettes en revanche a été un peu plus souvent traité, alors qu'il est plus anecdotique et surtout plus paradoxal vis-à-vis du sujet : il constitue pourtant bel et bien un moyen de protection que ce soit par sa capacité à transmettre un mouvement de fuite ou assurer une réaction aux forces de contraintes d'un substrat ou de la gravité. C'est grâce à ce type de squelette qu'on a pu étudier la majeure partie des spécimens de la faune d'Ediacara.

Caractéristiques des squelettes en lien avec les échanges

Après avoir mis en avant les arguments conférant la protection il convenait alors de nuancer cette notion en étudiant la modulation de la résistance de la barrière squelettique qui permet les échanges de matière et d'énergie entre l'organisme et son milieu de vie malgré la protection qu'elle lui apporte.

Cette partie a été bien traitée dans l'ensemble, avec des exemples pris chez les insectes (cires augmentant l'imperméabilité de la cuticule d'une part, stigmates et spiracles contrôlant les ouvertures d'autre part) ou les lamelibranches (contrôle de la fermeture des valves) la plupart du temps. Le recours à des schémas une fois encore permettait de rendre compte plus complètement de la réalité des faits notamment lors de l'explication de principes physiques élémentaires requis pour comprendre la dynamique des échanges.

Le rôle du squelette comme premier filtre aux radiations a aussi été relevé par de nombreux candidats, que ce soit en tant que protection directe contre les radiations ou au contraire comme moyen de les conserver ou même de les récolter (régulation thermique de type endotherme ou ectotherme).

Caractéristiques du squelette en lien avec les interactions biotiques

Cette grande partie regorgeait d'exemples qu'il était convenu de détailler jusqu'à montrer précisément par quels moyens le squelette des organismes participe à leur protection contre leurs congénères.

Le rôle des spicules, épines et autres aspérités en premier lieu, répandues dans tous les taxons, devait être éclairci en raison de leur capacité perforante d'une part, leur évitement par nombre d'animaux pour des raisons comportementales d'autre part. Le contournement grâce à certaines adaptations particulières (moyen de perforation adapté, voies d'entrées privilégiées...) devait être toujours illustré par des exemples précis (dentition des insectivores, appressoriums des champignons...).

Les aspects mécanistiques et comportementaux de la mobilisation des pièces du squelette permettant une défense active étaient attendus sans pour autant devoir être développés à outrance, notamment la description du mouvement qui a dans certains cas dépassé largement le cadre du sujet.

De même les exemples concernant la compétition intraspécifique devaient être décrits en lien avec les dommages potentiellement infligés par les pièces squelettiques et leurs conséquences directes en termes de comportement chez l'adversaire : la sélection sexuelle par exemple, dont ont fait état certains candidats, dépassait le cadre du sujet car seulement secondairement concernée par le phénomène.

Enfin les garants de l'immunité et de l'hémostase, qui chez les vertébrés sont situés dans la moelle osseuse, pouvaient être évoqués et décrits à propos dans leur composants, voies et acteurs (principales lignées cellulaires impliquées dans la défense immunitaire ou le clou plaquettaire).

Ontogénèse et maintien de l'intégrité du squelette

Une fois encore les candidats devaient faire montre de discernement dans cette partie et ne faire référence aux aspects ontogénétiques qu'en rapport direct avec la fonction de protection. De nombreux développements hors sujet ont décrit en détail la structure des squelettes et leur mise en place ou leur position dans le plan d'organisation, sans que cela ait un intérêt particulier ou même un lien avec la protection : par exemple le fait que les arthropodes grandissent par une succession de mues est une nécessité dérivée d'une contrainte phylogénétique, qu'ils aient un comportement

adapté de retrait dans une cache qui compense la fragilité temporaire de leur nouvelle enveloppe après exuviation en revanche devait être explicité comme tel pour être valorisé.

Le problème de la naissance chez certains groupes, les humains en particulier, avec les compromis qu'il impose en matière de résistance vis-à-vis de l'extérieur -crâne et fontanelles-pouvait être exposé dans cette section.

Le renouvellement, la restauration ou la régénération après dommage faisait aussi partie du sujet, ces processus étant liés à l'intégrité du squelette et donc à sa capacité à être opérationnel.

Adaptations et évolution

Il est fort dommage que les adaptations du squelette aient été aussi souvent laissées de côté ou traitées seulement superficiellement étant donné leurs implications évolutives. Le phénomène de compensation en particulier est un facteur très important qui justifie de fortes variations des caractéristiques du squelette selon les milieux de vie ou l'héritage évolutif des organismes. Un gastéropode terrestre par exemple, étant donné la difficulté d'approvisionnement en calcium dans son milieu mais aussi le poids de sa coquille alors qu'il n'est pas compensé par la poussée d'Archimède en milieu aérien, a un squelette beaucoup plus fin et donc fragile que nombre de ses congénères aquatiques. De même l'investissement parental dans l'alimentation en calcium des descendants, chez les mammifères et les oiseaux en particuliers, est un facteur intimement lié à leur fécondité et la survie de leurs descendants mettant en cause la robustesse de leur squelette.

Les aspects concernant la variation phénotypique ont été rarement abordés mais quelquefois correctement et les exemples à développer étaient effectivement très démonstratifs dans le cadre du sujet : la plasticité phénotypique permet aux daphnies d'ajuster la structure de leur squelette à la force de prédation de leur milieu et la flexibilité phénotypique permet d'adapter finement la structure du squelette aux contraintes exercées dessus lors de la vie et aux spécificités individuelles (bois de tension de certaines branches selon leur position, adaptation de l'ossature à un certain type d'activité...). La variabilité phénotypique quant à elle menait encore plus directement aux aspects évolutifs sur un plus long terme.

Un développement conséquent était attendu sur les variations de la structure des squelettes au cours de l'évolution dans divers phylums, telles que les renforcements (chez les chéloniens ou les xénarthres par exemple) ou les régressions (chez la majorité des vertébrés) et les compensations les accompagnant (mobilité facilitée notamment). Pour cela il était utile de faire référence à certains taxons fossiles ou non (cuirasse des placodermes, gastralias des tétrapodes, coquille des céphalopodes) pour donner des exemples concrets aux idées avancées.

La rigueur dans l'explication des mécanismes évolutifs a été comme toujours évaluée avec beaucoup d'attention de la part du jury, les formulations finalistes faisant notamment beaucoup de tort aux candidats.

Conclusion

Celle-ci devait synthétiser les idées les plus importantes de manière hiérarchisée mais aussi répondre aux questions fondamentales posées en introduction ; là encore, l'absence d'une démarche était pénalisante. Pour prendre un exemple assez spécifique au sujet, le dilemme entre protection et échange portait son lot de cas particuliers démonstratifs à rappeler brièvement selon les taxons et les milieux de vie traités dans le corps de la copie. Les ouvertures possibles à partir de ce sujet étaient tout aussi nombreuses que variées, par exemple les fonctions dérivées du squelette autres que la protection, les autres formes de protection que celles prodiguées par le squelette ou encore l'application des solutions naturelles en ingénierie biomimétique.

4.2.3 Grille de notation

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

Agrégation externe		n° de copie		
Épreuve du secteur :				
Fond	Introduction	Contexte : il doit servir d'ancrage clair à l'introduction		
		Analyse des termes du sujet à partir du contexte : squelette/2 ; protection/1		
		Problématique clairement posée et justifiée par l'analyse du sujet		
		Axe directeur de la composition explicité et bien justifié		
	caractéristiques du squelette en lien avec une résistance à la déformation	forme	mécanique de résistance à la déformation par une force extérieure selon la forme convexe/2; pointue/2; schéma explicatif avec forces de compression, cisaillement, tension /2	
		composition	trame souple organique résistante et élastique: idée / exemple détaillé / diversité	
			fraction dure cassante et résistance à la déformation: idée / exemple détaillé / diversité	
		structuration des composants	variation de l'épaisseur par apposition de couches (structuration laminaire) idée / exemple / diversité	
			orientation face à la contrainte des composants résistants : idée / exemple / diversité	
			couches surnuméraires à disposition variée de l'une à l'autre, en modules assemblés augmentant la résistance aux torsions : idée / exemple / diversité	
			schéma/1 détaillé/1 comparaison de deux schémas/1	
		cas des modules et agencement	contiguïté des éléments répétés: idée / exemple détaillé / diversité	
			recouvrement des modules en écailles: idée / exemple détaillé / diversité	
			soudures: idée / exemple détaillé / diversité	
	cas des hydrosquelettes	mécanisme de résistance à une contrainte mécanique par pression de turgescence sur une paroi		
	caractéristiques du squelette en lien avec les échanges	filtre au passage des molécules cf loi de Fick $J = -DSC/l$	perméabilité : idée / exemple détaillé / diversité	
			taille de la surface d'échange : idée / exemple détaillé / diversité	
			épaisseur de la surface d'échange : idée / exemple détaillé / diversité	
			présence d'une couche externe limite : idée / exemple détaillé / diversité	
		ouvertures	minimisation de la surface des ouvertures : idée / exemple détaillé / diversité	
organes/territoires spécialisés dans les échanges avec concentration de micro-ouvertures : idée / exemple détaillé / diversité				

		mécanismes d'obstruction et son contrôle : idée / exemple détaillé / diversité
		surface d'échange interne (second filtre) : idée / exemple détaillé / diversité
	filtre énergétique	isolation thermique
		protection contre les radiations
caractéristiques du squelette en lien avec les interactions biotiques	défense passive	structures saillantes du squelette : idée / exemple / diversité
		homochromie : idée / exemple / diversité
		homotypie : idée / exemple détaillé / diversité
	défense active	assemblage dirigé des pièces protectrices : idée / exemple détaillé / diversité
		intimidation : idée/ exemple détaillé / diversité (visuel/sonore)
	compétition	compétition intraspécifique : idée / exemple détaillé / diversité
		compétition apparente : idée/ exemple/ développé
	contournement	mécanismes permettant de traverser la barrière squelettique : idée / exemple / diversité
ontogénèse et maintien de l'intégrité du squelette	source des matériaux	recyclage (sélection de matériaux résistants dans l'environnement) : idée / exemple détaillé / diversité
		alimentation (disponibilité des molécules selon le milieu de vie et le mode de nutrition) : idée / exemple / diversité
		remobilisation (réserves et allocations) : idée / exemple détaillé / diversité
	remodelage	mécanisme de l'adaptation progressive de la forme du squelette aux parties à protéger : idée / exemple / diversité
		entretien (vascularisation des formations épaisses) : idée / exemple détaillé / diversité
		problème potentiel de la naissance : idée / exemple détaillé / diversité
	néogénèse	ajout module nouveau recouvrant : idée / exemple détaillé / diversité
		remplacement : idée / exemple / développé ou diversifié
	réparation	restauration à partir de l'existant : idée / exemple / détaillé
		régénération : idée / exemple / détaillé
adaptation	en lien avec la dispersion	formes de résistance dans le biocycle : idée / exemple détaillé / diversité
	compensation (trade off)	optimisation des caractéristiques du squelette selon ses avantages et ses inconvénients dans différents contextes éco-évolutifs : idée / exemple / développé
		déterminisme de l'allocation des ressources entre les parents, les descendants et leur nombre (investissement parental) : idée / exemple / développé

		variation phénotypique	variabilité phénotypique / bethedging : idée / exemple détaillé / diversité	
			plasticité phénotypique : idée / exemple détaillé / diversité	
			flexibilité phénotypique : idée / exemple détaillé / diversité	
	évolution	diversité des formes protectrices et place dans le plan d'organisation en lien avec leur histoire évolutive: idée/exemples/détaillés		
		allométries positives taille/poids : idée / exemple / détaillé		
		course aux armements intraspécifique : idée / exemple détaillé / diversité		
		coévolution interspécifique : idée / exemple détaillé / diversité		
		régressions évolutives et compensations : idée / exemple détaillé / diversité		
		renforcement : idée / exemple détaillé / diversité		
		convergences : idée / exemple détaillé / diversité		
Conclusion	Quelques idées clés ...			
	... qui permettent de dégager des réponses concrètes aux questions posées en intro			
	Ouverture pertinente			
Qualité générale de la construction de la copie	Plan	Logique, cohérence, titres informatifs, adéquation entre titres et contenus des paragraphes		
	Transitions	Les transitions sont globalement : absentes (0), artificielles (1) , logiques (2) , logiques et bien justifiées (3)		
	Approches expérimentales et observations	à apprécier par rapport à la richesse de la copie		
	Illustrations	Pertinence, qualité : à apprécier par rapport à la richesse de la copie		
	Total du fond			
	Bonus	<i>lien avec le système immunitaire chez les vertébrés</i>		
Forme	Rédaction	Clarté, concision		
		Orthographe, syntaxe		
	Présentation	Présentation et soin		

4.3 Épreuve écrite du secteur C:

4.3.1 Le sujet proposé

Les bassins sédimentaires en liaison avec le contexte géodynamique divergent

4.3.2 Commentaires généraux sur l'épreuve

Ce sujet traite des relations génétiques qui existent entre la dynamique de la lithosphère et le développement des bassins sédimentaires. Il ne s'agissait pas de traiter séparément, d'une part la divergence des plaques tectoniques, d'autre part les bassins sédimentaires du rift continental à la marge. Au contraire, il fallait insister sur les liens de cause à effet qui existent entre les deux, dans le contexte particulier de la divergence.

Notions attendues sur l'épreuve

Il fallait montrer comment les déformations de la lithosphère continentale en divergence et son évolution en marge passive, voire en rift océanique, ont une influence sur le développement, la structure, la nature et l'évolution des bassins sédimentaires à l'interface lithosphère-hydrosphère.

Pour traiter le sujet, on pouvait partir d'une description des principales caractéristiques des bassins sédimentaires dans les contextes connus pour être divergents, ainsi qu'une mise en évidence de la divergence lithosphérique et de ses caractéristiques. La répartition mondiale des bassins actuels et fossiles pouvait être décrite dans le contexte des plaques tectoniques par l'intermédiaire d'un schéma. Puis, il fallait coupler ces éléments dans une compréhension dynamique où les étapes de formation des bassins sont reliées à la déformation de la lithosphère. Enfin, il fallait en tirer les conséquences sur la diversité des bassins et les ressources et risques associées.

Dans une première partie, on attendait en premier lieu une mise en évidence par les observations modernes, des bassins sédimentaires dans leur diversité. Après les avoir définis en quelques chiffres (épaisseurs de quelques centaines de mètres à plus de 10km, tailles de quelques km à plusieurs milliers de km, âges de quelques milliers à plusieurs centaines de millions d'années), il fallait décrire les mécanismes de remplissages (détritique, biologique, chimique) ainsi que les facteurs qui les contrôlent (bathymétrie, CDD, flux terrigènes, latitudes, paléo-environnements ...) et le rôle de la subsidence. En effet, ces facteurs seront eux-mêmes influencés par la dynamique lithosphérique. Les candidats pouvaient décrire les outils utilisés par les géologues pour étudier les bassins (tomographie, sismique, séismologie, tectonique, logs, paléo-bathymétrie, paléo-environnement, back-stripping, modélisation 3D structurale, thermo-dynamique, analogique, ...). En second lieu, la lithosphère devait être décrite en termes de structure et de rhéologie (profils rhéologiques, loi de Byerlee, limite ductile ; transitions croûte continentale /océanique) car ceci est fondamental dans la mise en œuvre de la divergence. On pouvait ici faire un schéma de la lithosphère en divergence (rifts, aulacogènes, marges passives, rides médio-océaniques). La divergence lithosphérique pouvait être démontrée sur des exemples avec les méthodes de mesure actuelles et témoins associés, ainsi que sur des exemples fossiles bien connus de l'histoire de la géologie. Il convenait de préciser les moteurs de la divergence à partir des

connaissances physiques de la lithosphère et de la tectonique des plaques, en mentionnant la cinématique et les anomalies thermiques.

Après avoir précisément décrit les bassins et la lithosphère dans leur diversité et leur dynamisme, il fallait mettre en évidence le lien génétique qui les relie.

Ainsi la seconde partie du sujet pouvait traiter du mécanisme de la formation des bassins depuis la formation des rifts continentaux et jusqu'à la dérive des lithosphères. Il convenait d'expliquer l'enclenchement de l'amincissement de la lithosphère et du rifting en décrivant à l'échelle lithosphérique le rifting actif/passif, les anomalies thermiques, le bombement lithosphérique, l'érosion et amincissement lithosphère, la remontée de l'asthénosphère et des isothermes. On pouvait se référer au modèle de rifting de Mc Kenzie, de Wernicke (cisaillement pur ; cisaillement simple, mixte), leurs améliorations et aborder la notion d'isostasie en réponse au rifting. Il fallait ensuite décrire les bassins sédimentaires associés à ces phénomènes continentaux et la transition marine, en insistant sur les modèles de dépôt (sédimentation continentale, fluviatile, lacustre, puis passage aux sédiments marins) et les structures tectoniques (accommodation de la divergence par les failles, blocs basculés, failles normales, géométries en éventail en relation avec les failles). On pouvait mentionner le volcanisme associé au rifting et visible en surface, ainsi que le phénomène de sous-plaquage en profondeur. Suite à cela, on abordait la transition du *rifting* au *drifting*. Lors de l'amincissement total de la lithosphère il y a mise en place du rift océanique et de la marge passive. Il fallait décrire la structure lithosphérique de la transition croûte continentale - croûte océanique, l'arrêt de l'accommodation tectonique de la divergence par les failles, la formation de lithosphère océanique, mise en place de la ride médio-océanique et l'expansion océanique. Dans ce contexte, on pouvait décrire les conséquences pour la sédimentation sur une marge passive, comprenant la structure plate-forme/talus/bassin, la répartition des types de sédimentation en fonction de la bathymétrie et des flux sédimentaires, la sédimentation sur la plate-forme (carbonatée et détritique), sur le talus (dépôts et processus gravitaires) et les structures sédimentaires fossiles (géométrie en lien avec l'outil de stratigraphie séquentielle, les modalités de la tectonique salifère et de la tectonique gravitaire). En ce qui concerne les bassins océaniques, il fallait expliquer l'origine de la bathymétrie et son évolution dans le temps et l'espace en lien avec la subsidence thermique et la création de croûte océanique. Il était possible de faire un schéma de l'évolution d'une ride médio-océanique jeune à mature (évolution dans le temps et l'espace). Partant de ces mécanismes à la transition croûte continentale – croûte océanique, on pouvait décrire la formation des *deep-sea fans* au pied des talus, la notion de CDD avec ses conséquences sur le taux faible de la sédimentation et la nature des sédiments pélagiques.

Dans une troisième grande partie, il fallait envisager les conséquences du mécanisme dynamique liant lithosphère et bassins, en décrivant les influences sur la subsidence, les différents types de bassins et leur remplissage, et enfin les ressources et risques qui en découlent. L'origine de la subsidence devait être expliquée avec l'aide des courbes de subsidence qui évoluent dans le temps. On pouvait distinguer la subsidence totale de la subsidence tectonique et thermique, et la part de l'isostasie et du poids des sédiments. Il fallait décrire les courbes spécifiques des bassins en extension, du rift à la marge passive et

celle des rides médio-océaniques. La subsidence faisant le lien entre la structure lithosphérique et la sédimentation dans les bassins, on pouvait alors décrire la succession sédimentaire trouvée dans les bassins fossiles de rift continental, de marge et océanique et expliquer les géométries et dimensions, les géométries syn-rift, post-rift, discordances, ainsi que les types de roches. On pouvait accompagner les explications par des log types, des exemples actuels et fossiles. En se basant sur la subsidence, l'évolution thermique et les types de roches dans les bassins fossiles, il était alors logique de mentionner les ressources, par exemple les hydrocarbures et la notion de « système pétrolier ». Il fallait également mentionner la géothermie, les pierres et matériaux de construction, les aquifères, les minéraux, l'uranium, ressources carbonées, le sel. Enfin, on pouvait discuter des risques en lien avec les contextes tectoniques divergents actifs, ou évoquer le problème des ressources non renouvelable provenant des bassins sédimentaires.

D'autres plans, ou manières de traiter le sujet étaient possibles sans défavoriser le candidat.

4.3.3 Grille de notation

Agrégation externe				
Épreuve du secteur : C				
Fond	Introduction	Contexte : il doit servir d'ancrage clair à l'introduction		
		Analyse des termes du sujet à partir du contexte		
		Problématique et (contexte), clairement posée et justifiée par l'analyse du sujet		
		Axe directeur de la composition explicité et bien justifié		
	Partie I : Mise en évidence, observations, méthodes d'étude	A: Les bassins sédimentaires	Définition	Dépression topographique, taille variable du lac à l'océan, accumulation de sédiments, épaisseur de qq mètres à plus de 10 km, durée jusque plusieurs centaines de My, subsidence
				Nature du remplissage, domaine continental ou marin
				Répartition mondiale des bassins, carte, bassins actuels et bassins fossiles, comparaison avec la carte des plaques tectoniques
			Le remplissage sédimentaire	Mécanismes de dépôt: détritique (transport sédimentaire, clastique), biologique et biodétritique (production et transport carbonaté), chimique.
				Contrôle du climat et variation du niveau marin absolu, eustatisme: bathymétrie et CCD, Lysocline; origine et flux des apports terrigènes, latitude
				Subsidence: définition, vitesses, subsidence tectonique, thermique, isostatique.
	Caractérisation des bassins à travers différents outils: mise en évidence géologique et géophysique	Tomographie sismique, sismologie, back-stripping		
		Bassins actuels: seismes, relevés bathymétriques, carottes		

			Caractérisation morphologique et morphostructurale des bassins sédimentaires fossiles: roches sédimentaires à l'affleurement, successions litho-stratigraphiques fossiles, structures tectonique (failles normale), structures sdimentaires, géométrie des dépôts
	B: Le contexte géodynamique divergent	Structure de la lithosphère	Profils rhéologiques, byerlie / ductile ; Transitions croûte continentale / océanique
			Schéma de lithosphères en divergence, transitions croute continentale-croute océanique
			Dessin des structure des rifts, marges passives, rides médio-océaniques avec des exemples actuels ou anciens (Rhin-Bresse, Mer Rouge, marges Atlantique, Golfe du Lion, ...)
		Mise en évidence de la divergence	Zones de divergence actuelle : sismicité des zones divergentes, relevés GPS, géomorphologie et topographie, failles normales Zones divergentes fossiles : mise en évidence de la fragmentation des super-continentes (Pangée, Rhodinia) et de la divergence des lithosphères (théorie Wegener, anomalies magnétiques des fonds océaniques, paléontologie, ...)
		Moteur de la divergence	Cinématique des plaques: carte des zones divergentes, bilan par une coupe à l'échelle du globe Anomalies thermique de la lithosphère, carte des flux de chaleur à la surface
Partie II : Mécanisme de la formation : Du rifting au drifting	A: Amincissement de la lithosphère continentale, enclanchement du rifting	A l'échelle de la lithosphère	Rifting actif (panache mantellique, bombement régional) ou passif (étirement lithosphère, soulèvement local); Anomalie thermique; En profondeur: remontée asthénosphérique, isothermes, convection, réponse isostatique de la lithosphère
			En surface: Erosion superficielle, extension de l'extrado, failles normales, failles listriques, structures des jonctions triples
		Bassins et sédimentation associée au rifting	Modèle de rifting, modèle d'amincissement uniforme par cisaillement pur (Mc Kenzie), par cisaillement simple (Wernicke), ou mixte, Exemples Schéma de l'évolution d'un Rift juvénile continental à un Rift mature marin; Structures tectoniques : accomodation de la divergence par les failles, blocs basculée failles normales, Géométrie des grabens Modèle de dépôts de continental à marin: environnements fluviatiles, lacustres, et passage à la sédimentation marine détritique, deltaïque, évaporites, carbonatée sur les têtes de blocs basculés; Géométries des corps sédimentaires en éventail en relation avec les failles

Partie III: Conséquences : types de bassins, subsidence et ressources	B:Du rifting au drifting	Amincissement total de la lithosphère	Amincissement total de la lithosphère
			Mise en place de la marge passive, structure lithosphérique de la transition croute continentale - croute océanique
			Arrêt de l'accommodation tectonique de la divergence par les failles, création de lithosphère océanique par la ride médio-océanique,
			Coupe d'une ride océanique et du plancher océanique, subsidence par refroidissement-éloignement de la ride
		Sédimentation sur une marge passive	Dessin de la structure plateau continental- talus - bassin
			Répartition des types de sédimentation en fonction de la bathymétrie et des apports détritiques. Sédimentation de plate-forme (carbonatée et détritique évaporites) et de talus (dépôts et gravitaires)
			Notion d'espace d'accommodation, stratigraphie séquentielle, transgression-régression, schémas de l'aggradation, progradation, rétrogradation
			Structures sédimentaires, tectonique salifère, tectonique et sédimentation gravitaire
		La sédimentation de bassin océanique	Deep-sea fans au pied des talus, origine et nature des sédiments, courants turbidité, debris flow, canyons
			Taux de sédimentation faible, origine des sédiments pélagiques, Lysocline et CCD,
	Ride: dépôts phosphates, carbonates, nodules de manganèse, hydrothermalisme		
	A. Origine et évolution de la subsidence	Mise en évidence de la subsidence	Roches d'environnements peu profonds empilés sur des km d'épaisseur
		Origine des différentes courbes de subsidence	Subsidence tectonique, subsidence thermique, contribution de l'isostasie, contribution du poids des sédiments, compaction
			Courbe de subsidence dans un rift, sur une marge passive, dans un bassin océanique (subsidence du fond océanique avec l'éloignement de la ride)
		Apports de la modélisation	Courbes de susidence théoriques par le modèle de Mc Kenzie, coeficient d'amincissement β et délai de retour à l'équilibre (exemple 150Ma pour $\beta=4$), améliorations du modèle (déformation latérale, sous-plaquage par fusion mantellique, , pertes de chaleur verticale et latérale, délai de rifting initial)
	Back-stripping, séparation des contributions thermiques et isostatiques de la subsidences pour isoler la subsidence tectonique		

Qualité générale de la construction de la	Diversité des types de bassins	Les bassins de rift continental	Coupe d'un rift à partir d'exemples actuels et fossiles (échelle lithosphérique, moho et bassin), géométries des roches (éventails, blocs basculés, failles), géométries syn-rift, post-rift et discordances syn- et post-rift; types de roches (conglomérats, grès, argiles, évaporites), log type, dimensions, exemples actuels et fossiles (Bassins mer du Nord, Rhin Bresse)	
		Les bassins de marge passive	Coupe d'une marge passive à partir d'exemples actuels et fossiles (marge Atlantique, offshore Afrique et Amérique, bassins Mer du Nord, Golfe du Lion, Golfe du Mexique, géométrie et dimension de la plate-forme, géométrie des sédiments post-rift (couches continues, sub-parallèles, géométries steer head, Fan delts proximaux), types de roches (évaporites, calcaires, grès), log type	
		Les bassins Océaniques	Coupe d'un bassin océanique à partir d'exemples actuels et fossiles log type, exemples actuels et fossiles	
		Ressources	Ressources pétrolières	Notion de système pétrolier et charte pétrolière, Nature d'un système pétrolier, origine des roches mères (marines, ou continentales), des roches réservoirs (carbonates, détritiques). Roches couverture dans les bassins en divergence. Lien entre subsidence, enfouissement et évolution thermique, diagénèse
			Autres ressources	Géothermie, pierres et matériaux de construction, aquifères, minéraux, fer, Uranium, ressources carbonées, sel Risques en lien avec les contextes divergents,
	Conclusion		Quelques idées clés qui permettent de dégager des réponses concrètes aux questions posées en intro Ouverture pertinente	
	Plan		Logique, cohérence, titres informatifs, adéquation entre titres et contenus des paragraphes	
	Transitions		Les transitions sont globalement : absentes (0), artificielles (1) , logiques (2) , logiques et bien justifiées (3)	
	Approches expérimentales et observations		A apprécier par rapport à la richesse de la copie	
	Illustrations		Pertinence, qualité : à apprécier par rapport à la richesse de la copie	
Total du fond				

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

Cf. fichier lié TP A

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

Cf. fichier lié TP B

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

Cf. fichier lié TP C

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

Cf. fichier lié TP2ha

5.5 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur B : Sujet et commentaires

Cf. fichier lié TP 2hb

5.6 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur C : Sujet et commentaires

Cf. fichier lié TP 2hc

6. Épreuves orales

6.1 La leçon d'option

6.1.1 Déroutement de l'épreuve de spécialité

Conditions de préparation

Après avoir pris connaissance du sujet, le candidat dispose de 4 heures pour préparer sa leçon. Après un premier temps de réflexion de 15 minutes, l'accès à la bibliothèque est autorisé. Le candidat remplit une fiche lui permettant d'obtenir les ouvrages, documents et matériels dont il estime avoir besoin. Le jury rappelle qu'il est impératif que le candidat indique bien sur la fiche prévue à cet effet les ouvrages et le matériel demandé. Aucun matériel d'expérimentation n'est fourni durant les 30 dernières minutes de la préparation, et aucun document ou support n'est fourni durant les 15 dernières minutes de la préparation. Durant son temps de préparation, le candidat doit construire sa leçon, réaliser les transparents (et le cas échéant les montages expérimentaux) qui lui semblent nécessaires à sa démonstration, et analyser-interpréter l'ensemble des documents qui lui ont été fournis. Chaque titre de leçon de spécialité est accompagné d'un nombre limité de documents (classiquement 4 ou 5) qui peuvent correspondre à des documents fournis sur transparent, des documents numériques (vidéos notamment), ou à des échantillons concrets. Le jeu de documents est conçu de façon à ce que leur analyse/exploitation par le candidat ne dépasse pas 45 minutes.

Une « nouveauté » : le support numérique à l'agrégation de SV-STU

Pour cette session, les candidats avaient à leur disposition un ordinateur équipé avec les logiciels du pack Libre Office. Les documents imposés par le jury sont fournis en version papier, et, dans une clé USB, en format .pdf. Comme les années précédentes, les documents demandés par le candidat sont fournis par le personnel technique en format jpeg, après numérisation ou téléchargement, à la demande du candidat.

L'ensemble des documents numériques peuvent être vidéo projetés au cours de la leçon. Pour cette session 2019, l'équipement classique (transparents + rétroprojecteur) était toujours disponible (les candidats étant avertis de ne pas trop diversifier les modes de présentation des documents, cela s'avérant chronophage et source de stress). Mais, à compter de la session 2020, ces équipements classiques ne seront plus disponibles : les candidats sont donc encouragés à utiliser le mieux possible l'équipement informatique fourni, qui doit permettre une bonne exploitation des documents. Lors de la session 2019, de nombreuses maladresses ont été constatées dans la présentation des documents numériques : elles n'ont pas été évaluées et n'ont pas affecté la notation de la rubrique « communication » du barème. L'utilisation de cet outil numérique, devenu « basique » dans les salles de classe, sera cependant évalué en 2020.

Quelques principes de base :

Les divers documents utilisés peuvent être intégrés à un diaporama, constitué par le candidat. Ainsi, l'ordre des documents fournis dans le fichier .pdf peut être modifié, un même document peut apparaître plusieurs fois au cours de l'exposé. Une simple capture d'écran à partir du fichier .pdf et le transfert de l'image dans le diaporama permet d'isoler celle-ci et de l'exploiter avec les outils bureautiques de base (surlignage, encadrement statique ou dynamique, décomposition d'une image en plusieurs secteurs, délimitation d'une enveloppe, d'une courbe moyenne, mise en valeur de données chiffrées, etc...).

Rappelons quelques conseils de base :

- une diapositive = une idée . Éviter de projeter en même temps plusieurs documents.

- une diapositive doit être vue : veiller à ce que l'image projetée soit lisible

Quid du plan de la leçon ? S'il doit continuer à être clairement explicité et rédigé, l'habitude du « plan rédigé au tableau pendant la leçon » peut être abandonnée si le plan en question est déroulé à l'aide du diaporama. Le candidat gagne ainsi un temps certain, et évite de consacrer de précieuses minutes à l'écriture au tableau de lignes de texte. Le tableau peut ainsi être réservé à la confection d'un schéma bilan par exemple.

Au cours de la préparation, le diaporama confectionné doit être régulièrement enregistré sur la clé fournie, pour éviter tout problème lors de la leçon.

L'utilisation du numérique dans les épreuves orales d'agrégation ne doit pas être vécue comme une contrainte supplémentaire mais bel et bien comme un progrès permettant à ces leçons de se rapprocher de ce qui peut être effectué devant une classe au XXI^{ème} siècle. Elle offre un degré de liberté supplémentaire aux candidats dans la préparation de leur leçon, et assouplit un peu son cadre dont le jury est conscient du caractère très contraint. Les candidats devraient, en exploitant au mieux cet outil, améliorer la qualité scientifique et pédagogique de leur leçon.

Présentation et entretiens

À l'issue des 4 heures de préparation, le candidat dispose de 50 minutes pour présenter sa leçon devant une commission composée de membres du jury de spécialité. A la fin de son exposé, le candidat est interrogé en deux temps. Dans un premier temps, un premier entretien d'une durée de 10 minutes, est conduit par le concepteur du sujet, et porte sur la thématique de la leçon. Lors de cet entretien, le jury peut revenir sur des aspects traités durant l'exposé, sur la façon qu'a eu le candidat de l'exposer devant une classe / la pédagogie mise en place, sur l'exploitation des documents fournis, sur des documents et du matériel présentés durant la leçon, ou encore interroger le candidat sur des aspects non traités du sujet mais liés à la thématique de la leçon. L'objectif de ce questionnement est de s'assurer que le candidat a bien compris les différents volets du sujet proposé et qu'il maîtrise les notions et les connaissances liées à ce sujet. Dans un second temps, deux entretiens, chacun d'une durée de 7 minutes 30, sont menés par deux autres membres du jury. Ces entretiens portent sur des thématiques relevant du domaine de spécialité du candidat et visent à évaluer les aptitudes et connaissances du candidat sur ces thématiques. Ils peuvent ou non débiter par l'étude d'un document ou d'un échantillon proposé par le jury comme document d'appel pour entamer la discussion.

6.1.2 Constats et conseils

Une épreuve de haut niveau scientifique visant à répondre à une problématique

L'épreuve orale de spécialité est une épreuve pour laquelle le jury se montre exigeant, et attend des candidats une réelle démarche et rigueur scientifique dans leur démonstration. Cette épreuve porte sur les différentes rubriques du programme de connaissances générales relevant du domaine de spécialité du candidat ainsi que sur les 15 thèmes de spécialité associés. Les champs disciplinaires concernés sont ceux qui doivent permettre aux candidats de démontrer leur maîtrise de la démarche scientifique et leurs aptitudes pédagogiques à présenter clairement des notions de haut niveau. Beaucoup de candidats ont une perception malheureuse de ce qu'est une leçon d'agrégation externe. Vestige d'un autre siècle ou malentendu sur les attendus du jury, beaucoup de candidats

cherchent en 40 ou 50 minutes à tout dire sur un sujet. Le jury rappelle qu'il est fondamental que le candidat dégage une problématique claire dans son introduction qui servira de fil directeur à sa démonstration, et ce, à partir d'une analyse rigoureuse des termes de son sujet. La leçon peut ne pas aborder tous les aspects du sujet si la limitation de celui-ci est clairement exposée et justifiée. Et ensuite, elle doit se tenir à cette problématique, ce qui signifie apporter des réponses à des questions et non pas asséner des vérités à la chaîne, de façon dogmatique.

Les documents présentés et les connaissances apportées doivent être au service de la réponse à cette problématique. La présentation doit se terminer par une synthèse des éléments présentés et une ouverture visant à replacer le sujet dans un contexte plus général. Ainsi, la stratégie d'apprendre par cœur des plans préconçus n'est pas une façon pertinente de se préparer à cet exercice qui demande, plutôt que la capacité à restituer une organisation préétablie, une capacité à réorganiser ses idées le moment venu, autour de la problématique proposée. Et ce, d'autant que les documents fournis par le jury, risquent fort de ne pas cadrer avec cette organisation préétablie.

Le recul nécessaire pour traiter des thèmes plus ou moins classiques

Le titre de la leçon renvoie le plus souvent à des thèmes classiques connus de la majorité des candidats, il peut cependant faire référence à des thèmes a priori plus délicats à cerner ou à des synthèses transversales, et pour lesquels les candidats estiment leurs connaissances initiales plus limitées. Paradoxalement, les candidats ont souvent moins de difficultés à traiter des leçons jugées a priori ardues que des leçons jugées plus classiques. Leurs connaissances initiales ne pouvant servir de refuge, ils sont en effet forcés de rentrer dans une réelle démarche de raisonnement. Ce constat oblige à répéter qu'il est indispensable de prendre du recul pour construire sa leçon : elle doit constituer un exposé personnel mettant en avant les qualités scientifiques et pédagogiques du candidat. Les membres du jury insistent sur le fait que la leçon est un exercice scientifique avec toutes les exigences de raisonnement et de justification que cela impose. Il est regrettable de voir des leçons où les connaissances sont présentes mais simplement restituées et énoncées dans une juxtaposition sans raisonnement ou de façon très dogmatique. Un point important mérite d'être souligné à propos des sujets de leçon comportant un « et » dans l'intitulé : un certain nombre de candidats traitent chacun des items séparés par le « et » de façon indépendante, alors que l'enjeu est évidemment d'analyser les interrelations entre les deux composantes du sujet.

L'exploitation des documents imposés

Une analyse rigoureuse des documents fournis par le jury doit aider le candidat à dégager, au moins partiellement, la problématique de sa leçon. Le jury tient cependant à rappeler que (i) les documents ne sont en aucun cas supposés refléter l'intégralité des notions à aborder par le candidat durant sa leçon et que (ii) l'ordre de numérotation des documents ne présage en aucun cas de l'ordre attendu de présentation des documents au cours de la leçon. Les documents fournis doivent, bien sûr, **être exploités au cours de l'exposé**, et les notions dégagées doivent être intégrées dans la démarche démonstrative de la leçon. Il est regrettable que certains candidats omettent de présenter (volontairement ou faute de temps) certains documents, ce qui naturellement les pénalise lors de l'évaluation de l'exploitation du matériel fourni.

Inversement, le jury assisté a assisté à des leçons présentant de trop nombreux supports choisis par le candidat (souvent plus d'une vingtaine !), ne pouvant décemment pas être exploités dans le temps imparti

Lorsque cela s'y prête, une réalisation du candidat pour exploiter le document (par exemple un schéma explicatif de l'expérimentation ou un schéma résumant les principaux résultats) est très appréciée.

Rappelons quelques principes de base pour ce qui concerne l'utilisation de documents :

- Expliquer de quoi il s'agit (un fait d'observation ? un fait analytique ? un fait expérimental ? un modèle ?). Justifier son intérêt (dans le cadre de la problématique exprimée, qu'il ne faut pas hésiter à rappeler régulièrement au cours de l'exposé)
- Si c'est une photographie : méthode d'obtention ? colorations éventuelles ? échelle ?
- Si c'est un graphe (nuage de points, courbe, histogramme...) : nature des ordonnées ? des abscisses ? méthode d'obtention des données ? description du graphe ? (ne pas hésiter à lisser une courbe, à mettre en valeur différents domaines, à calculer des moyennes...). Attention à la nuance entre corrélation et causalité ! Si des incertitudes sont indiquées sur le document, ne pas les ignorer !

Une telle exploitation quantitative doit être effectuée quel que soit le type de graphe ou diagramme (histogramme, boîte à moustache), donc le candidat ne doit pas hésiter à demander une calculatrice pendant le temps de préparation. Il faut veiller à interpréter le document en formulant clairement des hypothèses et/ou des conclusions (proscrire le parachutage de formules du genre « on voit bien que »)

Il est rappelé à l'attention des futurs candidats que depuis la session 2016, certains documents fournis par le jury peuvent être rédigés en langue anglaise, compte tenu de leur nature scientifique (Arrêté du 13 mai 2015 modifiant certaines modalités d'organisation des concours de recrutement de personnels enseignants des premiers et seconds degrés relevant du ministre chargé de l'éducation nationale).

Le choix et l'exploitation du matériel complémentaire

Comme déjà souligné, les documents proposés par le jury ne couvrent pas tous les aspects du sujet. Le concepteur du sujet peut notamment choisir de ne pas aborder, par les documents qu'il propose, certains aspects importants du sujet afin de laisser au candidat l'initiative de certains documents et matériels. L'exposé ne peut donc pas être construit seulement autour des thèmes que les documents permettent d'aborder. Il revient donc au candidat de compléter l'illustration de sa leçon par des documents (y compris de courtes séquences vidéo), du matériel ou des expérimentations complémentaires. L'exploitation du matériel complémentaire doit faire l'objet de la même rigueur que celle du matériel imposé, et elle est très clairement prise en compte dans l'évaluation de la leçon. Dès que cela est possible, le jury rappelle que l'observation directe d'un échantillon plutôt que sa présentation sous forme d'image doit être privilégiée. Prendre l'initiative de demander, de présenter et de manipuler du matériel est aussi une occasion que trop peu de candidats saisissent pour montrer leur créativité, leur habileté à manipuler, leurs connaissances naturalistes et leur goût pour le concret et l'observation de terrain. Le jury déplore que de nombreux candidats préfèrent des schémas théoriques (souvent approximatifs) à du matériel (coupes, dissections, échantillons, montages, etc.), et rappelle à cette occasion que l'observation et l'analyse du réel sont fondamentales en Sciences de la Vie et de la Terre. Toutefois, le matériel sorti doit être utilisé de façon pertinente, et une stratégie erronée visant à demander de nombreux documents et/ou matériels afin de répondre à cette évaluation mais sans les utiliser à bon escient serait préjudiciable.

Une démarche scientifique incontournable

Au cours de la leçon, la démarche scientifique doit s'appuyer sur une analyse rigoureuse des objets proposés par le jury ou apportés par le candidat. Cette démarche doit commencer par une

description des objets, spécimens et faits expérimentaux, suivie d'une interprétation raisonnée qui pourra soit conclure un paragraphe et donc répondre à une question, soit donner lieu à une nouvelle question, et servir alors de transition avec la suite de l'exposé. L'exploitation des documents est trop rarement accompagnée d'un véritable travail traduisant sa réelle appropriation par le candidat. Trop souvent, le document est seulement décrit ou n'est utilisé que comme prétexte pour exposer des généralisations et des modèles théoriques recopiés dans des ouvrages, et donc écrits dans un autre contexte que celui de la leçon. Trop souvent aussi, la théorie est présentée en premier, les documents n'étant ensuite utilisés que comme une simple illustration *a posteriori* sans que ne se construise une vraie démarche scientifique fondée sur la confrontation entre les faits et les idées.

Un véritable travail de synthèse et de choix

Le jury est tout à fait conscient que 50 minutes est un temps d'exposé limité. Le candidat sera généralement amené à faire un important travail de synthèse : il devra alors clairement justifier, dans son introduction, les différents aspects du sujet qu'il souhaite traiter et, inversement, les différents aspects du sujet qu'il souhaite délaissier. C'est la rigueur de la démarche qui justifiera la validité de ses choix, et il est impératif que le candidat présente au jury les raisons de ce choix. Si le jury entre en salle avec une idée claire de ce qui doit figurer dans la leçon, il n'arrive pas avec un plan préconçu et est prêt à entendre les propositions que pourra lui faire le candidat et à les accepter pour peu que ces choix assumés puissent être justifiés par le candidat. En fin d'exposé, la conclusion doit mettre en valeur les idées-clés dégagées au cours de la démonstration et déboucher sur une ouverture liée avec la thématique abordée durant la leçon. Elle peut s'appuyer sur un schéma bilan récapitulatif à la condition que celui-ci se justifie et soit réellement construit à partir des éléments de la leçon.

Une communication d'une qualité suffisante

L'épreuve de leçon de spécialité est aussi l'occasion d'évaluer par les membres du jury les qualités de communication des candidats et la pédagogie mise en place. Le jury déplore que certains candidats lisent de manière excessive leurs notes durant leur exposé ou qu'ils oublient totalement de regarder leur auditoire. Ces pratiques sont naturellement inadaptées aux exigences du métier d'enseignant et se voient pénalisées. De même, une mauvaise gestion du temps, une expression orale confuse et une utilisation trop imprécise du vocabulaire se voient sanctionnées.

Cette année, un relâchement certain dans les tenues vestimentaires et l'attitude des candidats a pu être remarqué, et dessert évidemment les candidats. Le jury tient à rappeler que ces épreuves orales font partie d'un concours de recrutement et que la présentation, la posture et le vocabulaire choisi relèvent des qualités attendues pour un futur enseignant.

Une indispensable réactivité

Le premier entretien, consécutif à la leçon, a pour but de faire réfléchir le candidat à l'exposé qu'il vient de produire, et à l'aider à revenir sur d'éventuelles omissions, imprécisions ou erreurs. Il sert également à évaluer l'aptitude du candidat à raisonner et à exploiter ses connaissances en temps réel. L'interrogation est ensuite ouverte à deux autres domaines de la spécialité – elle peut revêtir des formes très variables qui visent à évaluer les connaissances du candidat et ses aptitudes à construire un raisonnement logique suite à une question posée. Le jury insiste sur le fait qu'il est important que le candidat construise sa réponse, et qu'une juxtaposition de mots-clefs ne peut suffire. L'écoute et la réactivité sont des qualités indispensables pour une bonne réussite de cette partie de l'épreuve qui peut permettre au candidat de montrer que, malgré une leçon plus ou moins réussie, il maîtrise de larges connaissances dans son secteur de prédilection.

6.1.3 Commentaires particuliers concernant les leçons d'option A

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons d'option par des commentaires spécifiques aux leçons d'option A.

Maîtriser les connaissances

La réussite de cette épreuve nécessite de maîtriser des connaissances pointues dans le secteur A. Cependant, le candidat doit également les mettre en perspective avec ses « fondamentaux » de biologie, qui sont souvent les bases d'une leçon bien construite. Le jury s'étonne d'avoir encore rencontré des erreurs récurrentes sur des connaissances simples. Par exemple, de trop nombreux candidats sont incapables de raisonner en termes d'oxydoréduction sur une voie métabolique classique, d'identifier les organites et structures supramoléculaires sur une électronographie, de décrire correctement une division cellulaire, la diversité du monde viral, l'organisation des matrices extracellulaires, ou de démontrer les relations entre structure, propriétés et fonctions des molécules biologiques fondamentales.

Le jury a écouté cette année des candidats de niveau très hétérogène. Certains ont des connaissances à la fois très étendues et précises, alors que d'autres ont un niveau de connaissances dans le secteur A proche de celui du lycée. S'il n'est pas attendu d'un candidat qu'il connaisse parfaitement tous les intermédiaires d'une voie métabolique, ou la liste exhaustive des inducteurs embryonnaires, on rappelle tout de même que le niveau requis pour cette leçon d'option est un niveau master. Il n'est pas possible d'acquérir des connaissances et de les mobiliser sans un travail de fond, d'appropriation, d'organisation, de recherche de sens et de curiosité scientifique. Le jury a souvent observé une difficulté des candidats à hiérarchiser les connaissances. Certains candidats placent ainsi au même niveau des mécanismes fondamentaux et des détails de mécanismes biologiques : par exemple, connaître la séquence RGD de la fibronectine tout en étant incapable de décrire simplement la structure d'une lame basale.

Intégrer de nouvelles connaissances pendant la préparation

Le jury insiste également sur le fait que les connaissances ne sont pas, loin de là, le seul paramètre évalué lors de cette leçon d'option. Les documents et la bibliographie apportent des informations qui ne sont pas forcément connues initialement du candidat ; celui-ci doit alors démontrer qu'il est capable d'intégrer rapidement ces nouvelles connaissances à son bagage scientifique. Les qualités d'analyse et de raisonnement à partir de ces données sont donc également évaluées. De façon générale, il est préférable pour un enseignant scientifique de comprendre et manipuler les notions de base et d'être capable de les compléter par des détails recherchés dans des ouvrages ou sites Internet. A cet égard, la maîtrise de la bibliographie mise à la disposition des candidats, dont le contenu est en adéquation avec les attendus du jury, permettrait de mieux appréhender l'ensemble des sujets posés. Ainsi, le jury a constaté que les candidats qui consultent un grand nombre d'ouvrages généralistes pour un sujet très pointu ont généralement du mal à faire ressortir les éléments essentiels de la leçon. *A contrario*, certains ouvrages plus spécifiques, qui auraient pu aider les candidats à traiter certains sujets, n'ont pas été consultés.

Organiser l'exposé

Dans l'introduction, il est conseillé d'exposer avec rigueur les définitions des différents mots du sujet pour ensuite les associer, ce qui amène à proposer une démarche construite. La plupart des problématiques proposées étaient présentes et correctes au vu des sujets.

Les plans catalogues qui ne font pas suffisamment ressortir les concepts sont à proscrire. La recherche d'un plan original peut toutefois être contre-productive quand elle aboutit à l'oubli d'un pan majeur du sujet. De la même façon, lorsque le plan se limite à la succession des documents proposés, il est souvent incomplet. Les documents proposés par le jury doivent être intégrés dans une réflexion d'ensemble et il ne faut pas oublier qu'ils ne recouvrent en général qu'une partie du sujet. Mieux vaut faire la démonstration de sa maîtrise des concepts de base de la biologie dans un plan classique d'exposé, en particulier quand le sujet n'est pas parfaitement maîtrisé par le candidat. Au cours de l'exposé, la compréhension du plan par le jury est trop souvent perturbée par des titres de paragraphes annoncés et écrits *a posteriori*, plus souvent du fait d'un oubli du candidat que de sa volonté de ménager le suspense... Si le candidat souhaite mettre en évidence une notion avant de la formaliser, ce qui est tout à fait pertinent, il doit choisir un titre qui le permet et pourquoi pas le compléter par la conclusion dans le plan ou sur un schéma bilan. Le jury a été surpris par l'inadéquation qui existe parfois entre le titre d'un paragraphe et son contenu.

Il n'y a aucun formalisme imposé pour la leçon. Ainsi, un schéma bilan n'est pas exigé, surtout si celui-ci n'apporte rien. Cependant, certains schémas, souvent construits progressivement, sont très intéressants car ils synthétisent les notions développées au cours de l'exposé.

Certaines conclusions, qui ne se bornaient pas à une répétition des grandes lignes du plan, mais qui dégageaient une idée transversale et mettaient en perspective les notions développées, ont été particulièrement appréciées.

Travailler à toutes les échelles et construire le sens biologique

Dans le programme officiel de l'agrégation, le secteur A est désigné par le titre : « Biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire ; leur intégration au niveau des organismes ». Les candidats oublient trop souvent la seconde partie de l'intitulé et se concentrent sur les mécanismes moléculaires précis sans les resituer au niveau physiologique. Par exemple, il est difficile de décrire les mécanismes immunitaires ou neurobiologiques sans les localiser dans les différents organes lymphoïdes ou les différents organes nerveux. On attend des candidats un certain recul sur les notions développées qui doit leur permettre de les intégrer à différentes échelles et de leur donner du sens biologique.

S'appuyer sur le réel pour illustrer sa leçon

Même si le secteur A n'est pas celui où il est le plus facile de présenter des échantillons biologiques « réels », l'apport de ces éléments augmente fortement la plus-value de la leçon, lorsqu'ils sont bien évidemment utilisés à bon escient et dans une démarche explicative. C'est ici l'occasion de rappeler qu'un échantillon ou un document ne doit pas être fourni au jury de façon brute : il doit être accompagné de tous les éléments permettant de rendre sa compréhension aisée. En particulier, les lames histologiques présentées sous microscope doivent être accompagnées d'un dessin d'observation légendé. Les électrographies sont des supports trop peu exploités par les candidats. Quand une manipulation est demandée, elle doit être réalisée au moins en partie devant les membres du jury, sauf si sa réalisation demande beaucoup de temps. C'est le cas de certaines manipulations de type ExAO. On note d'ailleurs que trop peu de candidats proposent spontanément ce type de mesures.

Des manipulations simples de biochimie ou de biologie cellulaire peuvent être appréciées, et ont tout leur intérêt si elles sont réalisées et analysées avec rigueur et que les interprétations sont en adéquation avec les résultats observés et le sujet de la leçon. En cas de résultat imprévu (qui aurait parfois pu être évité par un essai préalable pendant le temps de préparation), il ne faut pas s'arrêter au constat d'échec mais proposer des explications. Le jury y reviendra forcément lors de l'entretien, si cela n'a pas été fait spontanément par le candidat. L'utilisation de programmes de manipulation de

modèles moléculaires doit être maîtrisée par les candidats ; elle est parfois imposée par les documents proposés par le jury, qui attend une véritable exploitation des modèles (et non leur simple présentation, qui n'a alors qu'un rôle illustratif).

Au-delà de l'exploitation de matériel réel pour illustrer les leçons, la mise en place d'une démarche démonstrative tout au long de l'exposé est vivement appréciée. Chaque partie doit être introduite par un questionnement, auquel le candidat doit proposer de répondre par l'observation, avant de dégager des notions générales qui peuvent alors être complétées de données plus théoriques. Cette démarche s'applique particulièrement aux documents fournis par le jury (voir ci-dessous), mais doit être généralisée à l'ensemble de la leçon.

Adopter une démarche scientifique dans l'exploitation des documents

On rappelle que les documents imposés par le jury sont des supports d'une partie de la démarche que le candidat doit construire. Ainsi, certains aspects du sujet, souvent classiques, peuvent ne pas être abordés dans les documents proposés par le jury mais sont néanmoins attendus.

Il est très souvent judicieux d'introduire le document par un questionnement, et de justifier en quoi le protocole réalisé peut permettre d'y répondre. S'il est inutile de passer du temps à paraphraser le protocole décrit, un schéma expérimental peut parfois être très didactique. On attend que les documents soient analysés et interprétés avec précision. L'analyse proposée par le candidat doit être quantifiée lorsque c'est possible (travail sur des histogrammes, des graphiques, etc.). Indiquer que « tel paramètre mesuré augmente dans telle situation » est beaucoup moins informatif que de préciser que « tel paramètre mesuré est multiplié par 50 dans telle condition par rapport à telle autre ». Le jury a apprécié que certains candidats légendaient intelligemment les documents, c'est-à-dire leur donnent du sens. L'analyse doit se poursuivre par une conclusion clairement explicitée. Là encore, une phrase du type « le paramètre joue un rôle dans... » est imprécise : ce rôle peut être positif ou négatif ! Un effort d'interprétation, c'est-à-dire une mise en perspective vis-à-vis de la démarche globale de la leçon, doit être fait. Lorsque cela s'y prête, la formulation d'hypothèses pour expliquer les observations est appréciée, de même que la critique de la démarche expérimentale ou des résultats obtenus.

S'il n'y a pas de lien entre les différents documents proposés par le jury, il y a en revanche un lien entre les différentes parties d'un même document : il est donc dans ce cas recommandé de les étudier successivement et d'établir les liens entre les différentes données présentées. Dans certains cas, il peut toutefois être pertinent de faire appel et d'exploiter les différentes parties d'un même document à différentes étapes de la démarche globale de la leçon, pour illustrer différentes notions associées à un même phénomène biologique.

Idéalement, les documents doivent venir apporter des éléments de réponse à un questionnement explicité par le candidat et découlant des parties précédentes de l'exposé. Les documents sont trop souvent présentés dans le plan comme un exemple illustrant une situation particulière, alors que ce n'est pas spécifiquement cet exemple ou ces conditions qui importent mais le mécanisme cellulaire ou moléculaire mis en évidence.

Adopter une démarche didactique

La démarche didactique n'est souvent pas assez mise en avant par les candidats. Le haut niveau des connaissances demandées au cours de la leçon de spécialité ne doit pas faire oublier au candidat que le jury teste aussi et surtout ses capacités à faire passer un message clair et compréhensible. Les candidats passent souvent très rapidement sur des mécanismes thermodynamiques, moléculaires ou cellulaires complexes, faisant douter le jury sur leur capacité à transmettre ce type de notion à leurs futurs élèves.

Maîtriser l'oral

Les candidats ont globalement des qualités de communication satisfaisantes (positionnement de la voix, occupation de l'espace, etc.) et la gestion du temps d'exposé est correcte. Le tableau, souvent délaissé ces dernières années, est de nouveau utilisé abondamment par les candidats pour compléter des schémas en direct, ce qui est positif. Le fait de recopier au tableau certaines voies métaboliques ou équations bilans à l'aide de ses notes, sans exploitation particulière, n'est toutefois pas judicieux et peut faire perdre un temps précieux pour le traitement de la leçon. Certains candidats ont pris le temps de construire une présentation sur ordinateur, intégrant au fur et à mesure les documents désormais fournis sous forme numérique, ce qui rend l'exposé plus fluide car demande moins de changements de supports. Les candidats devraient toutefois veiller à passer l'affichage en mode « présentation » au début de la leçon pour un résultat optimal. Le jury attire l'attention sur des formulations inappropriées qui faussent la compréhension par l'auditoire et peuvent dénoter un problème de logique du candidat, par exemple l'usage du futur qui suggère faussement des successions d'évènements. Le jury note avec satisfaction que le finalisme a quasiment disparu des exposés.

Rester mobilisé pour les entretiens

Le jury est conscient que la durée totale de l'épreuve, leçon et entretien compris, est conséquente, mais il tient à souligner l'importance de rester mobilisé pour les entretiens. En effet, quelle que soit la qualité de la leçon présentée, les entretiens jouent un rôle essentiel dans l'évaluation, par le jury, du niveau scientifique et de la capacité de réflexion des candidats, et ont un poids assez important dans la note finale. Ainsi, il peut arriver qu'un candidat ait à traiter une leçon sur laquelle il n'est pas à l'aise, mais puisse tout de même montrer de très bonnes compétences scientifiques lors des entretiens. Le jury rappelle que les deux entretiens qui permettent d'explorer les connaissances dans des domaines différents de celui de la leçon sont l'opportunité pour les candidats de montrer leur expertise particulière sur tel ou tel aspect du secteur, indépendamment du sujet traité au cours de la leçon. Lors des entretiens, le jury constate que de trop nombreux candidats ne maîtrisent pas les notions associées aux mots qu'ils utilisent, en particulier des notions de base, et ne sont pas capables d'en proposer des définitions pertinentes. En revanche, il apprécie les candidats qui assument avec honnêteté de ne pas connaître une réponse et qui construisent alors un raisonnement en interagissant avec le jury pour élaborer cette réponse. Il ne faut donc pas se laisser déstabiliser par une discussion qui se ferait à partir d'un support volontairement inconnu : ce qui est alors évalué n'est pas la connaissance de ce support par le candidat mais sa capacité à réfléchir en mobilisant les connaissances appropriées. Les entretiens peuvent également être l'occasion d'estimer la culture scientifique des candidats. Une bonne réactivité sur des sujets d'histoire des sciences ou des sujets d'actualité en lien avec le programme est appréciée.

6.1.4 Commentaires particuliers concernant les leçons d'option B

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons d'option par des commentaires spécifiques propres aux leçons d'option B.

Des connaissances naturalistes à privilégier sans négliger les connaissances de base

Une solide formation naturaliste est attendue des candidats de secteur B à l'Agrégation externe de SV-STU en tant que futurs enseignants. Les dossiers proposés par le jury comprennent donc souvent du matériel concret comme des échantillons biologiques, des dissections à réaliser, des lames

histologiques ou des coupes à faire, des cartes de végétation ou même de courtes séquences vidéo. L'entretien avec le jury après l'exposé est aussi très souvent amorcé à partir d'un échantillon, d'une photographie ou d'un document. Comme les années précédentes, le jury attend un minimum de connaissances sur les organismes classiques de la faune et de la flore française. Plusieurs candidats présentent des lacunes importantes dans la diagnose des échantillons, la description de l'anatomie des organismes, de leur écologie et de leur positionnement dans les classifications phylogénétiques. La maîtrise des connaissances naturalistes ne doit pas se faire au détriment des autres domaines de l'option B. Ainsi, des notions de base sur la biologie de la reproduction, la physiologie respiratoire et cardiovasculaire mais aussi sur la biodiversité, la biologie de la conservation, les comportements animaux et l'évolution de organismes végétaux semblent souvent négligées. Le jury a aussi constaté que les mécanismes évolutifs ainsi que les méthodes de reconstruction phylogénétique sont mal maîtrisés chez de nombreux candidats.

Le jury de l'option B encourage donc les futurs candidats à travailler leur culture naturaliste en zoologie, botanique, écologie et évolution tout en maîtrisant des connaissances de base en biologie et physiologie. Il veillera à continuer cette évaluation lors de la prochaine session.

Exploitation du matériel et intégration dans l'exposé

Exploitation du matériel et des documents imposés

Le dossier proposé par le jury comporte, quand le sujet s'y prête, des supports concrets et des manipulations auxquels s'ajoutent des documents organisés sous la forme d'un diaporama. Tous ces supports doivent être impérativement exploités. Il n'est pas normal d'assister encore à des exposés où certains documents sont "oubliés". Le jury rappelle que l'ordre des documents dans le dossier ne fournit aucune indication sur leur séquence d'analyse. De même, les documents ne couvrent généralement pas la totalité du sujet. Ils servent seulement à illustrer des notions précises que le jury souhaite voir intégrées dans la démarche (sans pour autant être surdéveloppées) ou encore à traiter un point un plus complexe, peu illustré dans la bibliographie disponible. Le jury attend une exploitation rigoureuse et approfondie des éléments du dossier avant leur intégration dans une démarche scientifique. Trop souvent, les candidats se limitent à la seule description des documents en les paraphrasant. De même, un manque de rigueur dans l'observation, l'expérimentation et l'argumentation a été souvent observé. Une démarche scientifique doit s'appuyer sur des faits qui permettent d'envisager des hypothèses dont les plus raisonnables sont testées et validées ou invalidées afin de dégager les notions qui peuvent parfois être généralisées.

Les échantillons imposés doivent être utilisés pour illustrer certaines notions dans la leçon. Le jury attend, sauf indication contraire, que les candidats exploitent efficacement les supports proposés en réalisant des préparations de qualité (dissections, coupes histologiques, colorations...). Ces montages doivent être impérativement complétés de dessins légendés et/ou de fléchages des structures d'intérêt pour le sujet (exemple des dissections). Le jury rappelle que les observations présentées lors de l'exposé doivent correspondre au dessin, le microscope ou la loupe étant correctement réglé/e. Les zones d'observation en microscopie doivent être au préalable repérées pour être rapidement retrouvées lors de l'exposé. Enfin, le jury regrette que de nombreux candidats présentent les structures d'intérêt sans réelle démonstration: observation de dissections sans éclairage et sans utiliser des pinces, présentation d'échantillons sans utiliser de loupe, observation de coupes histologiques à un grossissement microscopique insuffisant etc. Par contre, il a remarqué un réel progrès dans les dissections maintenant toutes présentées sous l'eau.

Choix et exploitation du matériel complémentaire

Le jury est attentif au matériel complémentaire demandé par le candidat. Ce matériel est très souvent prévu lors de la construction du dossier et préparé par l'équipe technique dans l'attente d'une demande de la part du candidat. Le jury apprécie ainsi la pertinence des demandes (diversité des échelles, richesse du contenu, etc.), la diversité des supports complémentaires (matériel frais, vidéos, bandes sonores, cartes, etc.) et surtout l'exploitation qui en est faite. Trop souvent, ces supports sont simplement intégrés au déroulé de l'exposé sans qu'une réelle démarche scientifique soit adoptée. Le matériel complémentaire demandé par le candidat doit être utilisé avec le même soin que les supports imposés.

L'exposé

Construction et organisation

Si la plupart des candidats enracinent bien leur exposé autour d'une problématique scientifique clairement énoncée dans l'introduction, le reste de leur leçon ressemble trop souvent à une juxtaposition de notions reliées par des transitions artificielles. La conclusion, au combien fondamentale, est aussi très fréquemment un simple résumé des points développés sans aucun lien avec la problématique posée en introduction. Le jury rappelle donc aux futurs candidats que le travail de construction d'une leçon est une étape cruciale afin que celle-ci exploite au mieux les différents outils (ceux du dossier imposé, le matériel complémentaire, les ressources collectées dans les ouvrages et les connaissances scientifiques du candidat) dans une progression logique et articulée.

Les candidats ont accès à un certain nombre d'ouvrages figurant dans la bibliothèque de l'agrégation. Les coordonnées des livres demandés (auteurs et titre et pas que le code) doivent être clairement indiquées sur une feuille qui sera consultée par le jury pendant la leçon. Celui-ci est attentif à l'adéquation et à la pertinence des ouvrages consultés en rapport avec le sujet. Pour certains candidats, la liste des ouvrages est beaucoup trop longue et s'avère contre-productive. Pour d'autres qui ne consultent que des ouvrages généraux, elle révèle une méconnaissance des ouvrages traitant de tous les sujets spécialisés proposés. Le jury invite donc les futurs candidats à mieux s'appropriier les ouvrages de la liste durant leur préparation.

Dimension pédagogique de l'exposé

Au-delà des qualités scientifiques des candidats, le jury prête une attention marquée à leurs capacités à communiquer, à la rigueur du vocabulaire utilisé, à l'utilisation du vidéoprojecteur et du tableau.

De manière judicieuse, la grande majorité des candidats a choisi de projeter directement les documents imposés ou complémentaires sans oublier d'en faire ressortir les éléments pertinents. Toutefois, beaucoup de ceux-ci n'ont pas été présentés efficacement du fait d'un grossissement et/ou d'un éclairage insuffisant. Les candidats devraient prendre un peu de temps avant le début de leur exposé pour tester la gestion des différents tableaux, l'éclairage de la salle et la qualité de la projection des documents.

Le jury est aussi attentif à la tenue du tableau et aux schémas réalisés. Il rappelle que le tableau ne se limite pas à la seule présentation d'un plan. A l'inverse, la construction d'un schéma bilan n'est pas une obligation et doit être une réelle plus-value dans l'exposé. On observe encore des exposés où les schémas bilan sont squelettiques, non finalisés, voire en partie hors-sujet. Certains candidats le dessinent à la place de la conclusion alors qu'il devrait être construit au fur à mesure de l'exposé.

Malgré ces réserves, le jury tient à souligner que la majorité des candidats montre des qualités de communication tout en sachant gérer le temps imparti pour les exposés d'option.

Entretiens

Au cours du premier entretien, le jury revient sur certains points abordés pendant l'exposé pour lever certaines ambiguïtés, obtenir des explications ou des compléments sur des points choisis. Même si ces questions concernent directement certaines activités ou pièces du dossier documentaire, il est important que le candidat reste mobilisé pour y répondre sans préjuger le résultat final.

Les seconds et troisièmes entretiens permettent d'évaluer les connaissances du candidat dans d'autres domaines du secteur B et de tester ses capacités de raisonnement. Cette interrogation menée successivement par les deux autres membres du jury est généralement enclenchée à partir d'un échantillon (coquilles de mollusque, crânes et squelettes, crabe, échantillon végétal, etc.) ou un document (photographie d'une coupe histologique, graphe montrant les résultats d'une expérience, etc.). L'entretien se poursuit ensuite par un questionnement suivant un fil directeur orienté par les réponses du candidat. Les réponses attendues doivent être ni trop courtes, ni trop longues de manière à couvrir un champ de connaissances scientifiques suffisant. Malgré l'attitude d'abandon de quelques candidats, ces entretiens effectués dans des domaines complémentaires du secteur B permettent souvent d'équilibrer l'impression laissée par l'exposé et le premier entretien.

6.1.5 Commentaires particuliers concernant les leçons d'option C

Cette section vise à compléter les commentaires généraux communs à toutes les leçons d'option par des commentaires spécifiques propres aux leçons d'option C.

Connaissances scientifiques

Le jury déplore un manque de maîtrise des bases scientifiques en général, non seulement en sciences de la Terre et de l'univers mais aussi sur des notions simples de chimie ou de physique : des notions de thermodynamique et de chimie (notamment isotopique) sont requises pour aborder le système Terre. Des connaissances quelquefois pointues sur des sujets d'actualité peuvent être mal valorisées en l'absence d'une culture géologique de base. Il est rappelé que préparer l'agrégation ne se fait uniquement au cours de l'année de préparation mais que cela implique d'avoir assimilé les enseignements fondamentaux de niveau Licence. L'application d'une méthode pédagogique standardisée ne suffit pas à remplacer les connaissances fondamentales approfondies.

Les connaissances de bases suivantes posent un problème de manière récurrente aux candidats :

- Les notions faisant appel à une quantification ou une estimation de vitesse, débit, durée ou de la cinématique des processus géologiques ;
- Le principe du fonctionnement du microscope optique et des propriétés utilisées pour la détermination des minéraux (biréfringence, pléochroïsme, réfringence...) ;
- Les principes et acquis fondamentaux de la minéralogie (systèmes cristallins, formules chimiques, classification...) ;
- L'analyse de roches et/ou d'échantillons macroscopiques et de lames minces (confusion entre péridotite-gabbro ; plagioclase-pyroxène ; organismes fossiles ; ciment-matrice) ;
- La confusion entre les trajets PTtps et les gradients, l'absence de lien entre les gradients métamorphiques et le contexte géodynamique ;
- La notion d'anomalie en géophysique (les candidats ne mentionnant souvent pas l'existence d'un modèle de référence) ;
- La différence entre géoïde et ellipsoïde ;
- L'exploitation de diagrammes de phase lors de l'étude de processus magmatiques ;
- Les relations contraintes-déformations ;

- La définition du $\delta^{18}O$, de même que la signification de ses variations dans la glace ou dans les organismes calcifiés ;
- La signification des roches sédimentaires et des environnements de dépôts associés, souvent très approximative.
- Le principe et le fonctionnement des outils expérimentaux les plus classiques (GPS, radar, sonde électronique, spectromètre).
- L'utilisation des cartes géologiques adaptées par les candidats : utilisation correcte des cartes au millionième, au 1/50000 et au 1/250000.
- L'utilisation des modèles analogiques (exploité mécaniquement et trop souvent sans compréhension des lois d'échelle, des limites et des biais).

Enfin, les membres du jury de l'option C souhaitent rappeler qu'une solide formation naturaliste est attendue des candidats à l'Agrégation externe de SV-STU. De solides connaissances géographiques sont également exigées en particulier pour situer certaines structures ou régions géologiques remarquables.

Organisation de l'exposé / Démarche

Les plans proposés par les candidats sont souvent scolaires et présentent des titres peu démonstratifs ou non homogènes. Le manque de problématique définie, posée en introduction empêche souvent la construction d'une leçon suivant un fil directeur bien identifié : les candidats se contentent d'un empilement de résultats, données ou modèles, sans hiérarchie claire. De façon générale, il semble que les candidats s'interdisent l'utilisation de documents d'appel ou d'accroche dans leur introduction. L'arrivée de supports électroniques a été utilisée par certains pour projeter leur plan dans une présentation. Il s'agit d'un gain de temps précieux, et dans ce cas écrire le plan une seconde fois au tableau devient inutile et freine la démonstration. Le tableau peut dans ce cas être réservé à la confection d'un schéma bilan qui sera par exemple d'avantage exploité.

Il a été remarqué cette année que certains candidats ont eu tendance à énumérer une liste de 'mots clé' en lien avec la leçon mais sans réellement les exploiter (ou même parfois les comprendre). Beaucoup de candidats cherchent en 40 ou 50 minutes à tout dire sur un sujet. Il est recommandé que la leçon doit rapidement (dès les premières minutes d'exposé) afficher une problématique claire, qui peut ne pas aborder tous les aspects du sujet si la limitation de celui-ci est clairement exposée et justifiée. La leçon doit par la suite se tenir à cette problématique, ce qui signifie apporter des réponses à des questions et non pas asséner des vérités à la chaîne et de façon dogmatique.

Rares sont les candidats qui partent de l'observation pour construire une démarche scientifique intégrée, permettant d'aboutir à une interprétation et des modèles. On observe trop souvent des processus déconnectés d'exemples concrets.

Toutefois la démarche scientifique n'interdit pas de partir d'un modèle pour en comprendre la construction, ou pour tester ledit modèle et montrer comment les connaissances permettent de l'améliorer : exemple de l'utilisation du modèle PREM dans la connaissance de la structure interne de la Terre.

Trop souvent, lorsqu'ils ne maîtrisent pas bien le sujet de la leçon, les candidats ont tendance à se plonger dans les ouvrages les plus spécialisés sur le sujet et à présenter devant le jury des concepts et des dispositifs expérimentaux qu'ils ne maîtrisent pas du tout, alors que les notions de base sur le sujet sont à peine abordées. Lorsqu'un sujet n'est pas du tout maîtrisé, il est recommandé de consulter les ouvrages généralistes. Il faut alors privilégier la présentation des concepts de base sur le sujet, afin de prendre le temps pendant la préparation de la leçon, de s'approprier ces concepts et de les maîtriser au mieux.

Le jury rappelle qu'il est inutile de demander de trop nombreux ouvrages et documents pour préparer la leçon, le candidat n'aura de toute façon pas le temps de les intégrer (surtout si le sujet est mal maîtrisé). Demander plus de 6-7 ouvrages (variable selon les leçons) est donc fortement déconseillé. De même l'exploitation de trop nombreux documents (figures d'ouvrages ou échantillons) peut nuire à la progression de la leçon s'ils sont simplement survolés.

Exploitation des documents fournis et des documents complémentaires

Les documents proposés par le jury sont souvent des données géophysiques ou géochimiques, des résultats d'expériences, mais cela peut également être des cartes géologiques, des échantillons de roches, des lames minces, des photos d'affleurements... Le candidat doit les présenter au jury, les décrire systématiquement avant de les interpréter. Un changement notable cette année était l'utilisation de documents numériques et l'abandon des transparents imprimés. Ce changement a induit chez beaucoup une attitude passive vis à vis des documents. Même projeté, un document doit être mobilisé, augmenté. Rares sont les candidats qui pensent à encadrer, souligner les points importants de façon graphique. L'utilisation d'un pointeur ou du curseur n'est pas systématiquement utilisée. Traduire des données fournies (ex tableau) en graphique est maintenant facile en utilisant un tableur, peu de candidat se sont néanmoins livrés à l'exercice.

Les documents et objets géologiques (imposés et choisis en option) doivent rester en nombre limité et être placés au cœur de l'argumentation. Concrètement, ils doivent être exploités. Nous avons assisté à des leçons présentant de trop nombreux supports (souvent plus d'une vingtaine !), ne pouvant décemment être exploités dans le temps imparti. Les recommandations du jury sont ainsi (1) de s'appuyer sur des supports concrets et (2) d'exploiter efficacement les documents sans multiplier de façon exagérée les documents choisis. Les leçons qui ont noyé le jury sous une avalanche de données superficiellement exploitées ont été pénalisées.

L'exercice de présentation et d'exploitation des documents permet ainsi d'évaluer conjointement les capacités d'analyse scientifique et les qualités pédagogiques.

- L'utilisation des documents au format pdf doit être personnalisée et produire une interprétation. Pour être efficace dans la présentation et l'exploitation de ces documents, il faut à la fois penser à décrire de façon précise et compréhensible le document et en tirer rapidement les résultats principaux. Les candidats doivent donner les informations essentielles (et/ou utiles à leur leçon) précisées sur le document (orientation, localisation, échelles, unités, etc.). Il ne s'agit pas non plus pour le candidat de passer trop de temps à relire toutes les légendes et à essayer de retrouver ses conclusions. Il faut faire ressortir l'apport du document à la compréhension du sujet et non se limiter à une simple description, en intégrant pleinement le document dans la construction de l'exposé.

- Les échantillons et lames minces sont inégalement exploités ; une présentation complète des échantillons à différentes échelles, accompagnée de schémas et croquis explicatifs soignés est fortement conseillée. Pour une analyse raisonnée d'échantillon, il convient d'utiliser des critères qui permettent de s'orienter vers le type de roche (magmatique, sédimentaire, métamorphique) puis d'affiner les observations afin de conclure sur la nature de la roche et son histoire. Dans cette démarche, l'analyse inclut le nom des minéraux, la texture, la caractérisation morphologique des objets. Le vocabulaire qui permet de décrire les échantillons est souvent très approximatif, et on note de nombreuses confusions (matrice pour mésostase, confusion macle/clivage, teinte/couleur/pléochroïsme d'un minéral...)

- De même, les cartes géologiques sont souvent présentées de manière trop superficielle sans réelle exploitation : une production autour des cartes est souhaitable (schéma structural, coupe...).

- Les échantillons et les cartes utilisés doivent être replacés dans leur contexte géographique et géologique.

- Les candidats présentent parfois des modèles analogiques, mais leur utilisation est très fréquemment maladroite. En effet, il ne faut pas confondre modèle et phénomène naturel. Le transfert d'échelle entre les objets naturels et le modèle doit être souligné. L'utilisation d'un modèle doit découler d'un certain cheminement qui pose préalablement une hypothèse. Les limites et les biais des modèles doivent être discutés.
- Rares sont les candidats qui cherchent à quantifier les phénomènes par des calculs simples qui s'appuient sur des lois physiques et chimiques. Les ordres de grandeur des vitesses, débit, durées, concentrations ... sont rarement présentés.

Communication

Utilisation du tableau :

Les candidats maîtrisent de mieux en mieux les différents moyens de communication (vidéoprojecteur et rétroprojecteur) parfois au détriment d'une bonne utilisation du tableau. L'occupation du tableau est souvent mal gérée et ce dernier est accaparé par le plan. Le plan n'est pas à être obligatoirement écrit sur le tableau dans la mesure où celui-ci peut être directement montré à partir d'un support de projection (ppt, pdf). Le tableau doit contenir le message essentiel que le candidat a décidé de faire passer. Rares sont les leçons où le tableau se construit progressivement et à la fin desquelles le candidat présente un schéma de synthèse répondant au sujet ou, en tous cas une représentation graphique des points forts de la leçon.

Réalisation d'un schéma bilan :

Tous les sujets de secteur C ne se prêtent pas à un "schéma bilan" et il n'est donc pas nécessaire de vouloir à tout prix en réaliser un. Ce schéma bilan doit nécessairement présenter l'échelle à laquelle il s'applique (croûte, lithosphère...).

Le schéma doit être construit au fur et à mesure de la leçon et présenter un aspect « fonctionnel » (relations de cause à effet, mécanismes de contrôle positif ou négatif). Un schéma qui consiste à écrire des mots clés reliés entre eux par des traits sans signification n'a strictement aucun intérêt et ne pallie le manque de connaissances approfondies sur le sujet.

6.1.6 Liste des leçons d'option de la session 2019 :

Leçons d'option du secteur A

Acides gras et dérivés d'acides gras
Carboxylations et décarboxylations
Détermination et différenciation sexuelle dans l'espèce humaine
Dynamique du cytosquelette des cellules eucaryotes
Génie génétique et pathologies humaines
Immunité et cancer
Immunité innée chez les plantes
Interactions protéines-ligands
Interconnexions entre les voies de signalisation eucaryotes
La cellule du parenchyme pallissadique foliaire
la communication inter-cellulaire lors du développement des animaux
La détermination cellulaire
La mise en place de l'axe antéro-postérieur chez les animaux
La mitochondrie des cellules animales
La notion de spécificité dans la réponse immunitaire
La réponse à une hémorragie
La structure du génome eucaryote
L'adressage des protéines dans la cellule végétale
Le complexe hypothalamo-hypophysaire
Le contrôle de la balance énergétique
Le méristème apical caulinaire des Angiospermes
Le paludisme, une maladie infectieuse
Le peptidoglycane
Le SIDA
Le signal lumière chez les plantes
Le système CRISPR/Cas
L'eau solvant des cellules
les besoins énergétiques d'un organisme : l'être humain
les cellules souches humaines
Les liaisons faibles intra et intermoléculaires
les macromolécules glucidiques
Les mécanismes de la cancérogenèse
Les messagers stéroïdiens chez les animaux
Les modifications post-traductionnelles des protéines
Les oxydoréductions
les peroxysomes
Les protéines fixatrices de dioxygène
Les transferts génétiques chez les procaryotes
Les transporteurs membranaires
L'information épigénétique
Microbiote et santé
Paroi cellulaire et développement végétatif des Angiospermes
Phénomènes cellulaires et moléculaires de la fécondation
Séquençage des génomes : principes et apports

Leçons d'option du secteur B

Acclimatation et adaptation à l'altitude chez les vertébrés
Adaptation des végétaux aux milieux humides
Adaptation des végétaux aux milieux humides
Apprentissages : aspects comportementaux, neurobiologiques et évolutifs
Biologie et dynamique des populations au service de la conservation
Biologie et écologie des algues de la zone intertidale
Biologie et écologie des êtres vivants des ruisseaux
Biologie et physiologie des végétaux en milieu sec
Biomes et aires biogéographiques
Comportements reproducteurs et systèmes d'appariement chez les vertébrés
De l'induction florale à la fleur
Ecologie des récifs coralliens
Espèce et spéciation
Gestation, parturition et allaitement
La biologie des abeilles
La biologie des graines
La biologie des orchidées
La coévolution
La communication intraspécifique chez les animaux
La diversité des algues
La diversité des champignons
La domestication
La dynamique des écosystèmes
La feuille, organe des Angiospermes impliqué dans la fonction de nutrition
La fonction de transport du sang chez les mammifères
La fonction ovarienne chez les mammifères
La lumière et les végétaux (on ne traitera pas des mécanismes de la photosynthèse)
La mise en place du comportement chez les animaux : aspects ontogénétiques et évolutifs
La nutrition azotée des angiospermes
La pression artérielle : une variable régulée
La recherche de nourriture chez les animaux
La sélection naturelle
La vie dans la zone intertidale
La vie ralentie chez les végétaux
L'activité cardiaque chez l'homme
L'adaptation dans le cadre de l'évolution
Le bilan de carbone à l'échelle de l'écosystème forestier
Le contrôle hormonal de la différenciation sexuelle
Les ajustements physiologiques accompagnant un exercice physique chez l'Homme
Les constructions animales
Les constructions animales
Les fonctions hépatiques
Les interactions entre les champignons et les plantes
Les interactions entre les champignons et les plantes
Les mécanismes photosynthétiques de type C4 et CAM et leur importance biologique
Les peuplements pionniers
Les phylogénies, construction et utilisation
Les relations plantes-insectes
Les sèves et leur circulation
Les signaux sonores

Les symbioses chez les végétaux
Les systèmes à contre-courant
L'importance des microorganismes dans le cycle de l'azote
Parasitisme et mutualisme
Pollen et pollinisation
Relations interspécifiques et écologie des communautés
Relations interspécifiques et écologie des communautés
Transferts de matière et d'énergie dans et entre les écosystèmes
Unité et diversité des arthropodes
Unité et diversité des mammifères
Unité et diversité des mollusques

Leçons d'option du secteur C

Bioconstructions et plateformes carbonatées
Du rift continental à la dorsale
La chaîne varisque en France
La collision continentale
La fusion partielle des péridotites
La lithosphère océanique
La notion de lithosphère
La radiochronologie : apports et limites
La reconstitution des paléoenvironnements continentaux
La reconstruction phylogénétique à partir des fossiles
Le magmatisme du Massif Central
Le magnétisme terrestre
Le modèle PREM
Le noyau terrestre
Les Alpes, une chaîne de collision
Les bassins houillers en France
Les changements climatiques à l'échelle des temps géologiques
Les couplages océan-atmosphère
Les évaporites
Les météorites
Les microfossiles : outils pour le géologue
Les mouvements des plaques lithosphériques
Les planètes telluriques
Les ressources minérales et leurs processus de concentration
Les risques géologiques majeurs
Les systèmes pétroliers
Les systèmes réservoir pétrolier et aquifères
les variations climatiques du Quaternaire
Les variations de la biodiversité au Phanérozoïque
Organismes marins et genèse des sédiments
Origine et évolution de la matière organique
Reconstitutions des paléoenvironnements sédimentaires marins
Rhéologie et déformations, de la roche à la lithosphère
Rythmes et cycles sédimentaires
Transfert de matière des continents vers les océans
Utilisation des géomatériaux dans l'industrie

6.2 La leçon de contre-option

Cette épreuve porte sur les domaines autres que la spécialité du candidat. Ainsi un candidat d'option A ou B aura une leçon de contre option en Sciences de la Terre et de l'Univers, suivie d'une interrogation en Sciences de la Vie (respectivement en b ou a), alors qu'un candidat d'option C aura une contre option en Sciences de la Vie (secteur a ou b) suivi d'une interrogation dans l'autre secteur des Sciences de la Vie (b ou a).

6.2.1 Le déroulement de l'épreuve

Conditions de préparation :

Après avoir pris connaissance du sujet, le candidat dispose de 4h pour préparer sa leçon. Aucun document ne lui est imposé, contrairement à l'épreuve de spécialité. Après une réflexion de 15 minutes, l'accès à la bibliothèque est autorisé. Le candidat remplit une fiche lui permettant d'obtenir les ouvrages, les documents et les matériels dont il estime avoir besoin. Le jury rappelle qu'il est impératif que le candidat indique bien sur la fiche prévue à cet effet les ouvrages et le matériel demandé. Aucun matériel d'expérimentation n'est fourni dans les 30 dernières minutes de la préparation. Il en est de même pour les documents et autres supports dans les 15 dernières minutes. Durant son temps de préparation, l'étudiant doit construire sa leçon, réaliser les transparents qui lui semblent indispensables et, si possible un ou plusieurs montages expérimentaux.

Conditions de présentation et d'entretien :

A l'issue des 4 heures de préparation, le candidat expose pendant 40 minutes devant une commission de quatre membres du jury, deux dans chacune des deux contre-options.

Dès la fin de l'exposé, l'interrogation a lieu en trois temps :

- Un premier échange de 7 minutes, conduit par le concepteur du sujet, porte sur le contenu de la leçon.
- Une deuxième interrogation de 9 minutes, menée par un autre membre de la commission, mobilise des connaissances dans le même domaine scientifique. Le questionnement s'écarte du thème de la leçon et explore les connaissances dans des champs du même secteur scientifique.
- Enfin, le dernier questionnement de 9 minutes est conduit par un troisième interrogateur et explore les connaissances de la deuxième contre-option.

Lors de la première interrogation, le jury revient sur certains aspects de l'exposé ; cela peut concerner le déroulement d'une expérience, l'explicitation d'un cliché, l'exploitation d'un échantillon présenté, sur un aspect du sujet qui n'a pas été abordé par le candidat ou bien sur certaines erreurs pour déterminer s'il s'agissait d'un lapsus ou non. L'objectif de ce questionnement est de s'assurer que le candidat a acquis une bonne compréhension globale des différents aspects du sujet proposé et de revenir sur la démarche pédagogique mis en œuvre.

La deuxième interrogation s'écarte de l'exposé et explore d'autres domaines du secteur. S'agissant d'une contre-option, le jury ne cherche pas à tester des connaissances de détail mais il veut s'assurer d'une bonne vision intégrée des connaissances du secteur exploré.

La troisième interrogation porte sur la deuxième contre option. Il y a donc changement de secteur. L'interrogateur peut prendre appui sur un document (échantillon, photographie, résultat d'expérience) pour amorcer le questionnement. Au cours de la discussion qui s'engage, le membre du jury qui interroge explore différents domaines de la deuxième contre option.

L'oral de contre option est donc une épreuve qui nécessite une concentration permanente, une bonne réactivité et de solides connaissances générales.

6.2.2 Constats et conseils

Le jury a encore assisté à quelques leçons dogmatiques, très théoriques et sans démarche démonstrative, malgré les remarques faites dans les précédents rapports. Ce type d'exposé, qui ne constitue heureusement pas la majorité, doit être proscrit. Les connaissances actuelles en sciences de Vie, de la Terre et de l'Univers reposent sur des faits d'observation, des relevés de mesures, des expériences. Il est donc important que le futur enseignant intègre cette démarche dans la conception de ses leçons. Ainsi, des expériences, des montages, des schémas explicatifs ou des manipulations, même simples, sont toujours très appréciés par le jury.

Par ailleurs, le jury invite les candidats à réfléchir au statut des modèles et de la modélisation dans leur raisonnement. Un modèle est une construction intellectuelle qui essaie de rendre compte d'une réalité complexe. Il convient donc de s'interroger sur sa place dans la démonstration, sur sa valeur prédictive ou explicative et sur son dimensionnement. Il est important de ne pas confondre les faits avec les modèles. Ces derniers peuvent apparaître sous forme d'un bilan de la leçon ou bien ils peuvent servir à poser des questions critiques lors de la démonstration.

Au-delà des connaissances pures, le jury attache aussi une grande importance à la perception du sujet par le candidat. Le libellé du titre, l'identification des mots clés, la recherche d'une problématique biologique ou géologique claire doivent conduire les candidats à proposer une progression qui donne du sens.

D'autre part, le format de l'épreuve impose un rythme soutenu dans le questionnement qui suit l'exposé. Ainsi, le jury observe souvent une baisse de réactivité très nette au cours des entretiens. Il est donc impératif de garder de l'énergie pour ces derniers. Il est ainsi important de profiter du temps proposé par le jury pour se désaltérer afin de se réhydrater mais aussi de bien « reprendre son souffle » avant de démarrer l'entretien.

6.2.3 Quelques particularités propres à chaque secteur

Secteur A

Le titre des leçons proposées recouvre généralement une ou plusieurs problématique(s) que le candidat doit énoncer de façon claire. Il s'agit d'une étape importante et difficile car elle requiert, de la part du candidat, un minimum de connaissances sur le sujet proposé et le recul nécessaire pour les mettre en perspective. Cette problématisation va souvent de pair avec une bonne maîtrise, par le candidat, du sens biologique des phénomènes concernés. Par exemple, une leçon sur la différenciation cellulaire nécessitera une mise en perspective de ce phénomène dans le cadre des processus de développement et de régénération

tissulaire. C'est aussi sur la base de cette problématique claire que le candidat pourra bâtir la progression de sa leçon. Il est donc indispensable de mettre en avant les idées essentielles à traiter dans la leçon et cela permettra au candidat, lorsque c'est pertinent, d'élaborer un schéma bilan au tableau. Le jury tient à rappeler, encore une fois, qu'un schéma bilan n'est pas une simple juxtaposition de mots clés reliés par des flèches.

Trop souvent, les candidats fondent leur progression sur un modèle théorique préexistant et présenté d'emblée en début de leçon. Les observations sont ensuite utilisées pour être plaquées sur le modèle et le justifier *a posteriori*. Cette démarche est à l'opposé d'une démarche scientifique qui, sur la base d'un certain nombre d'observations, d'arguments, d'expériences, d'investigations, aboutit à la construction progressive d'une théorie plus tard enrichie ou modifiée par de futurs apports. L'observation du réel et l'expérimentation jouent, dans cette perspective, un rôle prépondérant. Pour les candidats, elles devraient être un passage quasiment obligatoire pour amorcer puis accompagner la démarche explicative. Ainsi, le candidat doit s'appuyer sur du matériel en assurant une réelle exploitation, et pas une simple illustration. Par exemple, la présentation d'une molécule grâce au logiciel RasTop nécessite un minimum de traitement du fichier afin de mettre en exergue des éléments utiles à la démonstration.

Le secteur A couvre les champs de la : « biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire ; leur intégration au niveau des organismes ».

Trop de candidats oublient la deuxième partie de cet intitulé en passant sous silence l'intégration des mécanismes moléculaires et cellulaires à l'échelle des organismes : ils se précipitent ainsi sur la description des mécanismes moléculaires en laissant de côté la signification biologique de ces mécanismes et phénomènes dans le cadre des cellules, des tissus et des organismes. Le jury est, certes, sensible au fait que le candidat maîtrise les aspects moléculaires mais l'intégration biologique nécessite que ces aspects puissent être mis en perspective dans le cadre d'un balayage de toutes les échelles de la molécule à l'organisme.

L'ensemble des conseils précédents ne peut être suivi efficacement qu'à la condition que les candidats aient une maîtrise suffisante des connaissances dans le secteur A et qu'ils sachent, surtout, hiérarchiser ces connaissances. Inutile par exemple de maîtriser tous les aspects de la transduction via les récepteurs liés aux protéines G si, par ailleurs, la notion d'hormone ne peut pas être définie de façon simple. Comme les années précédentes, le jury a été très étonné par l'absence quasi totale de connaissances de base dans le secteur A de certains candidats. De nombreux candidats ne maîtrisaient pas la structure de base de la cellule et son fonctionnement ainsi que la structure des macromolécules biologiques !

En revanche, quelques candidats dont les connaissances dans le domaine sont plus faibles montrent pour autant ces capacités de réflexion et d'analyse. Ils seront, à n'en pas douter, de bons enseignants car ils sauront aller chercher les informations et les comprendre pour construire une séquence d'enseignement.

Secteur B

Malgré une réelle hétérogénéité, de nombreux candidats présentent des leçons de bon niveau scientifique, bien illustrées et fondées sur une démarche démonstrative. Cependant, des défauts sont souvent retrouvés.

Le sujet n'est pas toujours très bien cerné si bien que l'exposé comporte des lacunes et/ou du hors-sujet. Les candidats doivent donc en amont être très attentifs au titre de leur leçon et réfléchir sur les objectifs sous-jacents, avant même d'établir un enchaînement théorique de notions.

Une autre constante souvent corrélée est l'approche très théorique de nombreux sujets. De futurs professeurs de sciences de la vie et de la Terre ne sauraient se contenter d'illustrer leurs cours avec des images scannées à partir de livres ou des schémas recopiés de manière incomplète au tableau. Ainsi, dans les sujets qui s'y prêtent, l'exploitation de matériel frais, d'une dissection ou de petits montages utilisant du matériel frais est attendue par le jury. Celui-ci veille également à l'équilibre de tous ces supports qui, cette année, ont parfois été multipliés à outrance. Le jury apprécie donc les exposés où les supports sont analysés et les conclusions replacées dans une démarche scientifique et démonstrative.

Pendant les entretiens, l'attitude des candidats est généralement constructive grâce à leur bonne réactivité. Pour certains, les concepts en écologie et évolution sont connus et relativement compris. Mais ce n'est pas le cas général. La construction de la théorie de l'Evolution, les bases du fonctionnement des écosystèmes et de phylogénie des organismes restent en général mal maîtrisées.

Secteur C

La liste des sujets posés permet de couvrir le programme de façon homogène. Cette épreuve ne demande que des connaissances classiques et assez générales, permettant de voir si le candidat est capable de soutenir un discours géologique de niveau lycée. Certains candidats ont parfaitement maîtrisé cette épreuve.

L'utilisation du vidéoprojecteur et du rétroprojecteur est en revanche correctement intégrée par la plupart des candidats. Les candidats ont la possibilité de projeter des documents à l'écran, ou d'obtenir des transparents d'images issues des livres consultés. Le jury n'estime donc pas très utile de recopier des images à la main... Comme dans toute discipline naturaliste, le jury est sensible à une démarche fondée sur l'observation et l'analyse d'objets réels en priorité. Une introduction posant un problème de sciences de la Terre en montrant un « objet » (une photo de volcan, une carte du monde, un film etc.) est souvent une bonne démarche. Trop de présentations commencent par des platitudes et ne posent pas vraiment une problématique qui est alors introduite par un « on peut donc se demander » totalement péremptoire. L'utilisation d'observations d'objets réels ou de phénomènes actifs est un excellent moyen d'introduire de nombreux sujets et fait une très bonne accroche. Nous avons noté cette année un effort réel dans la présentation d'échantillons, de cartes ou de photographies présentées en accompagnement. Cependant les documents sont souvent mal maîtrisés (en particulier les échantillons pétrologiques). Si la démarche de multiplier les supports est louable, ceux-ci doivent être les données ou informations nécessaires à l'illustration du propos. De ce point de vue, l'exploitation des échantillons est souvent trop sommaire, limitée au nom de l'échantillon que l'on a demandé sans expliquer les critères qui ont permis de le reconnaître. Trop peu de candidats s'appuient sur la carte géologique de France au millionième, pourtant utilisable avec la majorité des leçons posées et mise à disposition dans toutes les salles.

Les échantillons classiques et leur minéralogie sont pourtant largement utilisés dans les programmes d'enseignement secondaire. Le microscope polarisant installé dans chaque salle n'est utilisé qu'exceptionnellement. Une nouvelle dérive visant à demander beaucoup

de matériel est également préjudiciable si c'est dernier sont peu ou mal exploités. Il est important de rappeler que la quantité ne fait pas la qualité.

Si les candidats présentent des modèles analogiques, leur utilisation reste trop fréquemment maladroite : en effet, il ne faut pas confondre modèle et réalité : un modèle ne démontre pas qu'un phénomène naturel de grande échelle existe dans la nature), et le problème du transfert entre les deux échelles doit être évoqué. Le modèle permet en revanche de mesurer l'effet de certains paramètres. Également, l'utilisation d'un modèle doit découler d'un certain cheminement, qui pose préalablement une hypothèse, et malheureusement, les modèles sont souvent "sortis du chapeau" sans aucune discussion préalable.

L'utilisation du tableau est trop souvent limitée à la présentation d'un schéma bilan ou un tableau. Trop peu de candidats l'ont utilisé pour réaliser des coupes ou schémas structuraux construits progressivement au cours de la leçon. Il est inconcevable qu'à la fin d'une leçon sur les Alpes, il ne reste pas une coupe synthétique de la chaîne.

Un certain nombre de points du programme sont souvent imparfaitement traités. Les questions sur le principe de l'utilisation de la méthode isochrone pour la datation de roches donnent de très mauvais résultats dans de trop nombreux cas. La définition même d'isotope est rarement satisfaisante. Il en est de même pour les notions concernant les paramètres orbitaux et de façon plus général de la Terre dans son système solaire.

Les entretiens révèlent souvent des lacunes des candidats sur des notions de base : reconnaissance des structures tectoniques sur les cartes, formules chimiques et structures des minéraux essentiels. Un minimum de connaissances de géographie est également requis. De même, quelques structures et régions géologiques « classiques » doivent être connues des candidats (faille de San Andreas, plateau d'Ontong Java, ...) et replacées géographiquement. Certains exemples de géologie régionale doivent être connus sous forme de schéma structural, logs stratigraphiques ou coupes (Jura, Pyrénées, Alpes, ...).

En fin de leçon, il est judicieux de laisser au tableau un schéma bilan ou une synthèse, construit si possible au fur et à mesure de l'exposé. Il faut cependant éviter les synthèses qui n'illustrent rien. Le tableau devrait faire ressortir les principales observations et paramètres de contrôle d'un phénomène géologique. La conclusion devrait servir non pas à lister à nouveau les parties du sujet, mais à prendre du recul sur ce qui a été fait, sur les débats scientifiques en cours et proposer un prolongement ou de replacer le sujet dans un contexte plus général en guise d'ouverture.

6.2.4 Sujets des leçons de contre-option

Leçons de contre option : épreuve de physiologie cellulaire et des organismes - Biologie moléculaire et des populat

Cancer et cycle cellulaire

Cycles de vie chez les insectes

Equilibre hydro-électrique chez les métazoaires

Equilibre hydro-électrique chez les métazoaires

Espèce et spéciation

Gamètes et fécondation chez les vertébrés

Génie génétique et pathologies humaines

Homme et biodiversité

La communication animale

La communication inter-cellulaire chez les animaux

La dispersion chez les végétaux

La paroi des Angiospermes

La paroi des Angiospermes

La racine des angiospermes
La sélection naturelle
La ventilation chez les vertébrés
La ventilation chez les vertébrés
La vie dans la zone intertidale
La vie végétale en milieu sec
Le contrôle du cycle menstruel chez la femme
Le développement floral
Le flux hydrique chez les Angiospermes
Les animaux et la température
Les ARN de la cellule eucaryote
Les coenzymes d'oxydoréduction
Les cycles des virus
Les hormones peptidiques et leurs mécanismes d'action
Les macromolécules
Les maladies infectieuses
Les mitochondries
Les mitochondries
Les relations interspécifiques
Les spécificités de la cellule végétale
Les zones humides
L'évolution : faits et théories

Leçons de contre option : épreuve de Sciences de la Terre et de l'Univers

Accumulations sédimentaires et contexte géodynamique
Altération chimique et mécanique dans les processus de surface
Apports de la géophysique à la connaissance de la structure interne de la Terre
Bioconstructions et bioaccumulations sédimentaires
Cadres géodynamiques et évolution des bassins sédimentaires
Caractérisation des limites latérales des plaques
Chronologie relative
Cinématique des plaques lithosphériques
Comportement rhéologique des matériaux géologiques et structures associées
Croûte océanique et croûte continentale
Croûte océanique et croûte continentale
Cycles et rythmes sédimentaires
Dynamismes éruptifs et risques associés
Elaboration d'un modèle de la structure interne de la Terre
Énergie solaire et bilan énergétique de la Terre
Érosion et altération des continents
Formation et évolution des magmas
Forme de la Terre et champ de pesanteur
Fossiles et échelle des temps géologiques
Géodynamique interne et climat
Géologie de l'Europe à partir de supports cartographiques au choix du candidat
Géologie de l'Océan Atlantique
Géologie de la Méditerranée
Géologie et reconstitution de contextes géodynamiques : le cas des îles des Antilles françaises
Intérêts d'un groupe fossile au choix du candidat
L'apparition de la vie sur la Terre primitive
La biostratigraphie

La circulation atmosphérique
 La circulation océanique
 La circulation océanique
 La collision continentale à partir de l'exemple de l'Himalaya
 La connaissance de l'intérieur de la Terre
 La conquête du milieu terrestre par la lignée verte
 La convection
 La convection mantellique
 La datation des roches magmatiques
 La déformation à toutes les échelles en contexte de convergence
 La déformation à toutes les échelles en contexte de convergence
 La déformation ductile
 La différenciation des enveloppes de la Terre
 La formation des granites
 La formation des roches par les êtres vivants
 La géologie de la Corse à partir de cartes géologiques au choix du candidat
 La mesure du temps en géologie
 La paléobiodiversité
 La reconstitution des chemins Pression - Température des roches métamorphiques
 La reconstitution des chemins Pression - Température des roches métamorphiques
 La reconstruction phylogénétique à partir des fossiles
 La sédimentation lacustre
 La sédimentation continentale
 La sédimentation détritique
 La structure et dynamique interne des planètes telluriques
 La subduction océanique
 La tectonique en décrochement et les grandes structures associées
 La Terre dans le système solaire
 L'apport des données paléontologiques à la reconstitution paléoenvironnementale
 L'apport des ondes sismiques
 Le bassin aquitain à partir de la carte géologique de France au millionième
 Le bilan radiatif terrestre
 Le champ magnétique terrestre
 Le couplage océan-atmosphère
 Le cycle du carbone et ses variations au cours des temps géologiques
 Le cycle externe de l'eau
 Le fossé Rhénan
 Le magmatisme tertiaire et quaternaire du Massif Central
 Le manteau terrestre
 Le manteau terrestre
 Le noyau terrestre
 Le paléomagnétisme : outil de la géodynamique
 Les bassins houillers en France
 Les bassins sédimentaires à partir de la carte géologique de France au millionième
 Les bassins sédimentaires observés sur la carte géologique de France au millionième dans leur cadre géodynamique
 Les bioconstructions carbonatées
 Les chaînes de collision
 Les couplages océan – atmosphère
 Les cycles glaciaires et interglaciaires
 Les différents types de métamorphisme et leur signification géodynamique à partir de la carte géologique de France au millionième

Les eaux continentales de surface et souterraines : des ressources
 Les enregistrements des paléoclimats
 Les évaporites
 Les grandes crises de la biodiversité
 Les grandes lignes de l'histoire géologique du Bassin de Paris à partir de cartes géologiques au choix du candidat
 Les grandes lignes de l'histoire géologique du Jura à partir de cartes géologiques au choix du candidat
 Les grandes lignes de l'histoire géologique du Massif Armoricain à partir de cartes géologiques au choix du candidat
 Les grandes lignes de la géologie de la Provence
 Les grandes lignes de la géologie des Pyrénées à partir de cartes géologiques au choix du candidat
 Les grands cycles orogéniques à partir de la carte géologique de France au millionième
 Les grands ensembles géologiques de France à partir de la carte au millionième
 Les grands ensembles géologiques de France à partir de la carte au millionième
 Les grands ensembles géologiques de l'Europe
 Les grands ensembles géologiques de l'Europe
 Les marqueurs de la collision continentale
 Les marqueurs géologiques et géochimiques des glaciations
 Les métamorphismes liés au cycle alpin en France
 Les météorites
 Les microfossiles : outils pour le géologue
 Les nappes d'eau souterraines : ressources en eau, sources d'énergie
 Les ressources énergétiques fossiles
 Les rifts intracontinentaux
 L'isostasie
 L'orogénèse hercynienne à partir de la carte géologique de la France au millionième
 L'oxygénation de la Terre
 Paléoécologie et assemblages fossiles
 Radiochronologie : principes et applications
 Risques et aléas sismiques
 Risques et aléas volcaniques
 Sismologie et structure de la lithosphère
 Une méthode géophysique au choix du candidat

6.3. Évaluation des capacités des candidats à agir en fonctionnaire de l'État et de façon éthique et responsable

Depuis la session 2015, une épreuve d'admission (l'interrogation portant sur la compétence « Agir en fonctionnaire de l'État de façon éthique et responsable ») a été supprimée du concours externe de l'agrégation par un arrêté modificatif de l'arrêté du 28 décembre 2009 publié au Journal officiel du 12 août 2014. Comme indiqué dans l'arrêté, la suppression de cette interrogation spécifique s'accompagne cependant de l'introduction par les jurys, lors des épreuves d'admission, d'éléments d'interrogation permettant de repérer certaines compétences en lien avec l'exercice du métier d'enseignant, en prenant appui sur le nouveau référentiel des compétences professionnelles fixées par l'arrêté du 1^{er} juillet 2013.

Le jury de l'agrégation externe de SV-STU a donc souhaité introduire dans les entretiens qui suivent les exposés des questions qui s'intéressent aux connaissances, aux capacités et aux attitudes attendues dans l'exercice du métier de professeur et définies par le Bulletin officiel n° 29 du 22 juillet 2010 (plus particulièrement, mais pas exclusivement les points 1 et 3).

Les questions portent sur des registres variés : épistémologie, histoire des sciences, place de la science dans la société à partir de thèmes socialement vifs (alimentation, santé, dopage, génétique,

évolution, environnement et développement durable, risques naturels, gestion des ressources, enjeux de l'exploration minière, pétrolière, ou spatiale, expertise scientifique et prise de décision). Le jury apprécie alors la capacité du candidat à prendre un certain recul critique par rapport aux connaissances scientifiques, en évoquant par exemple, leurs caractéristiques, leur mode de construction, leurs relations avec des problématiques éthiques, leur lien avec l'exercice de la responsabilité individuelle et collective du citoyen (en matière de santé et environnement notamment), ainsi que certaines ouvertures interdisciplinaires (importance de la pensée statistique, relation avec les progrès techniques, rapport de l'homme à la nature et aux croyances, prise en compte des enjeux économiques, sociaux, politiques, médiatiques, culturels,...).

Le jury a valorisé les candidats capables par exemple :

- d'identifier l'ancrage social et éventuellement historique d'un thème scientifique, d'en appréhender la complexité et d'évoquer des argumentaires parfois contradictoires portés par différents acteurs sociaux liés à des intérêts, des valeurs et des idéologies divergents ;
- de proposer une vision non dogmatique et dynamique du fonctionnement des sciences prenant en compte quelques aspects épistémologiques : comme les relations entre modèles, faits, théories et observations. Une réflexion sur la place dans la démarche du chercheur, de l'inventivité, du hasard et de l'erreur ;
- de présenter des éléments et faits mettant en lumière les relations entre la construction du savoir scientifique et l'environnement socio-économique ;
- d'identifier comment ces différentes facettes peuvent être prises en charge dans un enseignement scientifique, notamment dans le cadre des « éducations à » et en quoi elles contribuent à la construction d'une image des sciences;
- d'identifier les enjeux et les différents objectifs de l'éducation scientifique citoyenne (en termes de savoir, savoir-faire, savoir être) ;
- de caractériser le rôle et la place de l'enseignant de sciences dans le cadre plus général des missions de l'École ;
- de prendre un recul critique et argumenté face aux différentes formes de médias traitant un contenu scientifique.

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

5.1.1 Présentation de l'épreuve

Le sujet de TP 2019 de spécialité du secteur A était centré sur le modèle drosophile et comportait trois parties indépendantes portant sur des aspects de génétique, de biologie du développement, de biologie moléculaire et de microbiologie.

La répartition en trois parties permettait à chacun de se concentrer sur ses points forts. Tous les candidats ont réalisé la manipulation principale. Il est à noter que la partie génétique a été la moins traitée, la plupart des copies se limitant à la partie I-A, c'est-à-dire aux observations phénotypiques les plus simples. Quelques candidats ont toutefois répondu à l'ensemble de cette partie génétique. Malgré la longueur du sujet, les meilleurs candidats ont réalisé les diverses manipulations et abordé les trois parties.

Le barème était établi en fonction du temps estimé nécessaire pour traiter chaque question, de manière à valoriser l'investissement des candidats, en particulier sur les manipulations longues. De plus, il valorisait les questions les plus difficiles.

Les connaissances théoriques exigées pour ce sujet se limitaient à des techniques classiques de biologie moléculaire ou de génétique. Toutes les autres informations nécessaires étaient disponibles dans le sujet ou pouvaient être déduites par une analyse logique guidée par le sujet. L'épreuve de TP avait donc pour visée d'évaluer des compétences, avec un accent mis sur les compétences de :

- compréhension de protocoles, d'outils et de techniques (matériel, outil informatique, outils mathématiques...)
- mise en place de protocoles
- manipulation
- observation et schématisation (avec parfois une approche comparative)
- analyse (y compris analyse et représentation graphique de données numériques à l'aide de l'outil informatique) et interprétation de résultats, formulation des conclusions tirées
- organisation, via le respect d'un planning sur l'ensemble de la durée de l'épreuve et la réalisation de plusieurs expériences en parallèle.

L'évaluation des **compétences manipulatoires** a consisté notamment en l'évaluation :

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

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

Les **compétences d'observation et d'analyse**, qui étaient au cœur du sujet de TP de cette année, sont des compétences attendues d'un enseignant du secondaire afin qu'il puisse oser mettre en place des séquences où il place les élèves dans une situation active de démarche scientifique. C'est sur ces compétences que les différences entre candidats ont été les plus importantes et corrélées avec la réussite

au concours. Le jury insiste sur la nécessité de prendre le temps d'observer rigoureusement un résultat avant de l'analyser. Cette compétence d'observation est d'ailleurs également évaluée pendant les épreuves orales, lors des analyses d'objets ou de documents.

Les réponses attendues et les commentaires plus spécifiques du jury (*en italique*) ont été relevés dans les cadres prévus pour les réponses des candidats directement dans le sujet.

5.1.2 Sujet commenté

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2019

TRAVAUX PRATIQUES DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR A

Durée totale : 6 heures

Drosophila melanogaster, un organisme modèle

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

Partie I : *D. melanogaster*, un organisme modèle en génétique page 2

Durée conseillée : 1h30 – barème : 30/120

Partie II : *D. melanogaster*, un organisme modèle en biologie du développement page 14

Durée conseillée : 2h25 – barème : 48/120

La manipulation en partie II-A est à débiter en début de séance car elle nécessite une incubation d'environ 3h et doit être réalisée sur des embryons les plus frais possibles.

Les pages 18-19 vous seront remises à votre demande en échange de la page 17.

Partie III : *D. melanogaster*, un organisme modèle en immunologie page 27

Durée conseillée : 2h05 – barème : 42/120

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

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

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

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier

Partie I : *D. melanogaster*, un organisme modèle en génétique

L'observation des mouches drosophiles s'effectue à la loupe binoculaire. Les mouches (congelées) peuvent être disposées sur un morceau de feuille blanche. Vous disposez d'un pinceau pour les manipuler.

Vous disposez dans le **tube 1** de trois mouches mâles et de trois mouches femelles de **souche sauvage pure** OregonR (souche 1).

Chaque **tube 2 à 5** contient trois mouches mâles et trois mouches femelles issues de quatre **souches** (souches 2 à 5) présentant chacune un phénotype particulier.

Le **tube 6** contient des individus représentatifs du résultat du croisement entre la souche 1 et la souche 3.

I-A Observation de la différenciation sexuelle des mouches sauvages (tube 1)

Les ovaires des femelles du tube 1 sont très développés, ce qui provoque un abdomen plus large que chez les mâles, mais cette différence dépend des conditions d'élevage et n'est donc pas fiable pour différencier les deux sexes. Il est donc nécessaire de s'appuyer sur d'autres critères pour différencier mâles et femelles.

Observez les deux groupes de mouches présents dans le tube 1. Schématisez et annotez les différences que vous identifiez et proposez le sexe de chaque groupe en justifiant votre proposition.

Réponse à la question I-A :

Différences visibles :

Extrémité de l'abdomen sombre / claire : 2 derniers segments sont intégralement sombres chez le mâle alors qu'ils sont rayés comme les autres chez la femelle. Visible dorsalement.

Pièces sexuelles chez le mâle : disque/tâche plus sombre à l'extrémité ventrale de l'abdomen chez le mâle. Absent chez la femelle.

Peignes sexuels chez le mâle : tâche sombre à un tiers de l'extrémité de la première paire de patte.

SCHEMA légendé qui permet de mettre en évidence les différences observées quelles qu'elles soient.

Justification : Les femelles ont l'abdomen plus gonflé (cf intro) et ont parfois un œuf qui sort à l'extrémité de l'abdomen. Pas de valorisation des justifications théoriques (« on sait que.. »).

Ces observations sont rarement effectuées correctement. Même le phénotype le plus flagrant (extrémité noire de l'abdomen) n'est pas souvent observé. Les schémas effectués sont très grossiers et ne permettent pas de mettre en évidence une véritable comparaison.

I-B Étude de quelques souches usuelles de laboratoire de génétique

Le génotype des souches 1 à 5 s'écrit usuellement ainsi :

Souche 1 : +

Souche 2 : *w*

Souche 3 : *w ; Gla/CyO Cy*

Souche 4 : *w ;; Dr/TM3 Sb*

Souche 5 : *w ; lf/CyO Cy ; Sb / TM3 Hu, Tb*

Noms des mutations identifiables :

w : white

Gla : Glased

Cy : Curly

Dr : Droplet

Sb : Stuble

Hu : Humeral

Tb : Tuby

CyO et TM3 sont des chromosomes balanceurs (voir plus loin).

I-B-1 Observation phénotypique des différentes souches

Complétez le tableau suivant en identifiant les phénotypes observés pour chaque souche. Le phénotype peut affecter un ou plusieurs des caractères listés.

Afin de faciliter votre travail, les cases grisées pour les deux derniers caractères indiquent que la souche n'a pas de phénotype associé ce caractère.

Les phénotypes peuvent être décrits indifféremment par des mots ou des schémas.

La ligne pour la souche 1 (souche sauvage) ne fera pas l'objet d'une évaluation. Vous pouvez l'utiliser comme référence.

Réponse à la question I-B-1 :

Très peu de candidats ont pris le temps de ces observations qui étaient guidées par les différentes catégories proposées. La comparaison systématique avec la référence sauvage était indispensable. Les mutations proposées sont très courantes en génétique de la drosophile. Les candidats qui ont

réalisé ces observations ont été largement valorisés par le barème, d'autant plus que ces observations étaient nécessaires pour aborder correctement les questions suivantes.

Souche	Caractère					
	Couleur de l'œil	Morphologie de l'œil	Morphologie de l'aile	Morphologie du corps	Morphologie des soies dorsales	Organisation des soies au-dessus de la première paire de pattes
1	wt	wt	wt	wt	wt	wt
2	Blanc	wt	wt	wt		
3	Blanc	Vitreux ou homogène ou ommatidies non visibles (ou quelque chose de similaire)	Courbée	wt	wt	
4	Blanc	Réduit ou en bâton	wt	wt	Courtes, raides et épaisses	
5	Blanc	Réduit et aspect irrégulier ou présence de tâches sombres	Courbée	Abdomen plus court, plus large	Courtes, raides et épaisses	Une touffe de plusieurs soies (poils) au lieu de 2 soies.

I-B-2 Quelques outils en génétique de la drosophile

I-B-2-a Notion de souche pure

Les souches 2 et 3 sont pures pour la mutation *w*. Qu'est-ce qu'une souche pure ?

Réponse à la question I-B-2-a

Souche dont tous les individus sont homozygotes pour un locus donné ou une mutation donnée (donc génétiquement identiques)

Question très bien traitée, qui devait aider au raisonnement pour la partie suivante.

I-B-2-b Compréhension de la notion de chromosome balaceur

*On ne s'intéresse pas dans cette partie à la mutation *w*.*

La souche 3 porte en outre les mutations *Gla* et *Cy*, qui affectent deux gènes localisés sur le chromosome 2. La mutation *Gla* est portée par l'un des chromosomes homologues de la paire 2. Le chromosome homologue ici appelé *CyO* est dit « balaceur » et porte la mutation *Cy*.

Si *Cy* n'était pas portée par un chromosome balaceur mais un chromosome « sauvage », quel devrait être le résultat du croisement entre deux mouches de la souche 3 ?

Sachant que tous les individus de la souche 3 sont identiques, quelles informations en déduisez-vous ?

Réponses à la question I-B-2-b-1

Résultat du croisement :

Puisque la souche 3 possède la mutation *Gla* sur l'un des chromosomes homologues de la paire n°2 et la mutation *Cy* sur l'autre chromosome de la paire n°2, on peut écrire son génotype de la façon suivante :

Gla+*, *Cy* / *Gla*, *Cy+

On en déduit le génotype des gamètes (gènes liés) :

- *Gla+*, *Cy* (parental) ou
- *Gla*, *Cy+* (parental) ou
- *Gla+*, *Cy+* (recombinant) ou
- *Gla*, *Cy* (recombinant)

(fréquence dépendant de la distance génétique entre les deux loci)

On en déduit ensuite le génotype de la descendance par un tableau de croisement. L'observation phénotypique de la souche 3 permet de déduire que les deux mutations sont dominantes, ce qui permet donc de déduire le phénotype de la descendance.

- *Gla+*, *Cy* (parental) ou

- *Gla*, *Cy*⁺ (parental) ou
- *Gla*⁺, *Cy*⁺ (recombinant) ou
- *Gla*, *Cy* (recombinant)

Il s'agit ici d'un exercice très simple de génétique, mais qui supposait, pour aller jusqu'aux phénotypes de la descendance, d'avoir observé que les deux allèles mutés gouvernaient des phénotypes visibles à l'état hétérozygote (cf question I-B-1) et étaient donc dominants. Le jury a été surpris par certains tableaux de croisements avec un nombre assez surprenant de gamètes : la génétique est une discipline qui nécessite rigueur et compréhension des bases biologiques (lien physique avec les chromosomes).

Informations déduites sachant que tous les individus de la souche 3 sont identiques :

Le seul génotype représenté dans la descendance est celui des parents, à savoir ***Gla*⁺, *Cy* / *Gla*, *Cy*⁺**

Donc :

- Les génotypes *Gla*, *Cy*⁺ / *Gla*, *Cy*⁺ et *Gla*⁺, *Cy* / *Gla*⁺, *Cy* n'existent pas, les mutations *Gla* et *Cy* sont donc létales à l'état homozygote.
- Les génotypes recombinés n'existent pas, il n'y a donc pas de recombinaison entre les deux loci.

On appelle « chromosome balancier » un chromosome comportant une mutation létale à l'état homozygote, au moins un allèle gouvernant un phénotype visible à l'état hétérozygote et de multiples inversions.

Quel peut être l'intérêt d'un tel chromosome lorsque l'on effectue des croisements génétiques ? Vous raisonnerez selon le type de mutation portée par le chromosome homologue au chromosome balancier.

Réponses à la question I-B-2-b-2

Intérêt de la mutation létale à l'état homozygote :

Les mouches recevant deux copies du chromosome balancier sont éliminées. Les mouches viables ont donc toujours au moins un chromosome non balancier : pas de perte du chromosome non balancier.

Intérêt d'un phénotype visible à l'état hétérozygote :

D'après le point précédent de cette question, les mouches viables peuvent avoir une ou deux copies du chromosome(s) non balancier(s). Le phénotype conféré par le chromosome balancier, visible à l'état hétérozygote, permet de distinguer ces deux cas de figures et de conclure aux relations dominance/récessivité des allèles portés sur le chromosome non balancier :

- Les mouches présentant le phénotype conféré par le chromosome balancier ont une copie du chromosome balancier ; cela nous indique que le chromosome non balancier est présent également en une seule copie et donc que les mutations qui y sont localisées sont à l'état hétérozygote.
- Les mouches ne présentant pas le phénotype conféré par le chromosome balancier ne possèdent pas le chromosome balancier ; cela nous indique que le chromosome non balancier est présent en deux copies et donc que les mutations qui y sont localisées sont à l'état homozygote.

Intérêt des inversions multiples (Vous vous interrogerez sur l'effet de ces inversions sur les crossing-over entre un chromosome balancier et son homologue sauvage) :

Après crossing-over (CO), les inversions génèrent des chromosomes avec des parties manquantes et/ou des duplications.

Valorisé si schéma

Donc létalité des mouches qui comportent de tels chromosomes.

Donc CO possibles, mais aucune mouche issue d'un gamète ayant fait un CO n'est viable.

Donc équivalent à l'impossibilité de faire de CO.

Bilan - Intérêt d'un chromosome balancier :

Permet de conserver des mutations potentiellement létales à l'état homozygote et/ou n'ayant pas de phénotype visible à l'état macroscopique.

Cette partie est peu traitée, en particulier la question sur les inversions qui nécessitait de prendre le temps d'une réflexion, pourtant guidée par le sujet. Certains candidats ont relevé un ou plusieurs points attendus, mais sans toutefois les intégrer au questionnement général de l'intérêt d'un tel système en laboratoire de génétique. Cela n'a alors été que partiellement valorisé.

I-B-3 Écriture des génotypes

Comme indiqué en début de partie I-B, le génotype des souches 1 à 5 s'écrit usuellement ainsi :

Souche 1 : +

Souche 2 : *w*

Souche 3 : *w ; Gla/CyO Cy*

Souche 4 : $w ; ; Dr/TM3 Sb$

Souche 5 : $w ; lf/CyO Cy ; Sb / TM3 Hu, Tb$

CyO et TM3 sont des chromosomes balanceurs.

I-B-3-a Analyse phénotypique du croisement entre un mâle de la souche 1 et une femelle de la souche 3

Décrivez le phénotype des mouches issues du croisement (tube 6) et analysez ce résultat.

Réponse à la question I-B-3-a

1/4 femelles œil rouge œil vitreux (phénotype Gla)

1/4 femelles œil rouge aile courbée (phénotype Cy)

1/4 mâles œil blanc œil vitreux

1/4 mâles œil blanc aile courbée

Soit :

- Femelles œil rouge / mâles œil blanc

- 1/2 des individus (femelles/mâles confondus) sont Gla et 1/2 Cy

Donc :

- Le caractère œil blanc est porté par le chromosome sexuel

- Le caractère œil blanc est porté par une autre paire de chromosome que les caractères Gla/Cy (caractères indépendants)

La cohérence de la réponse vis-à-vis des observations des questions initiales a été valorisée. Ainsi, des erreurs déjà pénalisées plus haut n'ont pas été pénalisées de nouveau.

I-B-3-b Séparation typographique des chromosomes

D'après les données précédentes, quel signe typographique sépare les différents chromosomes ? Quel signe sépare les chromosomes homologues ? Justifiez votre réponse en vous concentrant sur la souche 3.

Réponses à la question I-B-3-b

Séparation typographique des chromosomes :

; car w et Gla-Cy sont sur 2 paires de chromosomes différents

Séparation typographique des chromosomes homologues :

/ car Gla et Cy sont sur des chromosomes homologues

I-B-3-c Signification des autres signes typographiques

Le génome de la drosophile est réparti sur 4 chromosomes, mais le chromosome 4, très petit, comporte très peu de gènes et est généralement omis lors de l'écriture du génotype, comme c'est le cas ici.

Comparez l'écriture des souches 3, 4 et 5. Déduisez-en la signification des signes typographiques « ; » et « , » . Justifiez votre réponse.

Réponses à la question I-B-3-c

Signification de ;

Entre chromosome I et III.

Souche 5 : 3 paires de chromosomes

Souche 4 : Chromosome II sauvage pas écrit entre les deux « ; »

Signification de ,

Sur un même chromosome donc sépare différents locus (/ différents gènes / différentes mutations)

I-B-3-d Écriture d'un génotype complet

Écrivez le génotype complet d'un mâle et d'une femelle de souche 4 en notant A+ un allèle sauvage du gène A (la mutation étant notée A) et + un chromosome où tous les gènes sont sous forme d'allèles sauvages. Le chromosome Y ne comporte pas de gène.

Réponses à la question I-B-3-d

Génotype d'un mâle de souche 4 :

w ; + / + ; Dr, Sb+ / TM3 Dr+, Sb

Pas de virgule entre TM3 et allèles du chromosome car TM3 est le nom du chromosome

Absence de signe ou signe au choix du candidat pour le chromosome Y mais pas de w ou +

Génotype d'une femelle de souche 4 :

w / w; + / + ; Dr, Sb+ / TM3 Dr+, Sb

Peu de candidats ont traité la partie I-B-3, mais ceux qui l'ont fait l'ont en général bien réussie. Il s'agissait d'une analyse déductive ne nécessitant pas de connaissances.

I-B-4 Résultats des croisements 3 x 4 et 3 x 5

Quel doit-être le résultat génotypique et phénotypique du croisement entre un mâle de souche 3 et une femelle de souche 4 ?

Réponse à la question I-B-4-a

Tableau de croisement (proportions)

$\frac{1}{4} w ; Gla/+ ; Dr/+$	phénotype w, Gla, Dr
$\frac{1}{4} w ; Cy/+ ; Dr/+$	phénotype w, Cy, Dr
$\frac{1}{4} w ; Gla/+ ; TM3 Sb/+$	phénotype w, Gla, Sb
$\frac{1}{4} w ; Cy/+ ; TM3 Sb/+$	phénotype w, Cy, Sb

Gla,Cy et Dr,Sb sont indépendants.

Phénotypes dus à dominance des allèles mutés.

Pas de différence mâle / femelle et donc mâle et femelle ne sont pas dans le tableau.

La partie I-B-4 n'a pas pratiquement pas été traitée. Les très rares candidats l'ayant fait ont vu leurs efforts récompensés.

Quel doit-être le résultat génotypique et phénotypique du croisement entre une femelle de souche 3 et un mâle de souche 5 ?

Réponse à la question I-B-4-b

Tableau de croisement

$\frac{1}{6} w ; Gla/lf ; TM3 /+$	phénotype w, Gla, lf, Tb, Hu
$\frac{1}{6} w ; lf/Cy ; TM3 /+$	phénotype w, Cy, lf, Tb, Hu
$\frac{1}{6} w ; Gla/lf ; Sb/+$	phénotype w, Gla, lf, Sb
$\frac{1}{6} w ; lf/Cy ; Sb /+$	phénotype w, Cy, lf, Sb

1/6 w ; Gla/Cy ; TM3 /+

phénotype w, Cy, Gla, Tb, Hu

1/6 w ; Gla/Cy; Sb/+

phénotype w, Gla, Cy, Sb

(Pas de différence mâle / femelle)

Pas de Cy/Cy car létal (et donc proportion 1/6)

Partie II : *D. melanogaster*, un organisme modèle en biologie du développement

II-A Expression du gène nouveau

Suite à une mutagenèse aléatoire, vous avez identifié un gène dont l'inactivation provoque une létalité embryonnaire. Vous souhaitez analyser ce gène, en commençant par caractériser son expression. Dans cette partie, vous allez préparer des embryons pour analyser l'expression du gène *nouveau*, abrégé *nv*.

II-A-1 Principe de l'expérience

L'expression du gène *nouveau* sera visualisée par la mesure de l'activité d'hydrolyse du X-gal par la bêta-galactosidase, une enzyme codée par le gène *LacZ*. Deux systèmes peuvent être utilisés pour relier l'activité bêta-galactosidase à l'expression du gène *nv* : un système d'expression ectopique transgénique et un système de révélation de l'activité du locus endogène.

Proposez, sous forme d'un schéma, une construction d'expression transgénique utilisable pour cette expérience.

Réponse à la question II-A-1-a

Promoteur (et séquences régulatrices) de *nv* > 5'UTR-séquence codante *LacZ*-3'UTR

(5' et 3' UTR pas obligatoires)

*Dans une telle construction, la séquence codante du gène *nv* n'a aucune utilité. Elle est très souvent indiquée, ce qui suggère un problème de compréhension de la notion de gène rapporteur et la confusion avec la notion de protéine fusion.*

Proposez, sous forme d'un schéma, une méthode pour suivre l'activité du locus endogène du gène *nv* avec la bêta-galactosidase.

Réponse à la question II-A-1-b

Technique de *knock-in* : insertion d'un fragment d'ADN dans le génome.

Au choix :

1 : **insertion aléatoire en aval** d'une séquence régulatrice du gène *nv* d'un **transposon** qui comporte un promoteur minimal (TATA box...) > séquence codante *LacZ* PUIS **sélection d'après expression du transgène** (technique enhancer trap)

2 : **insertion ciblée** de séquence codante *LacZ* par **recombinaison homologue** après le promoteur de *nv*. 2 types de possibilités :

transgène linéarisé (pour activer la RH) inséré après le promoteur du gène nv

ou

coupure du locus après le promoteur par CRISPR-Cas9 puis RH

Peu de candidats ont répondu correctement à cette question. Beaucoup ont développé la mesure d'activité bêta-galactosidase.

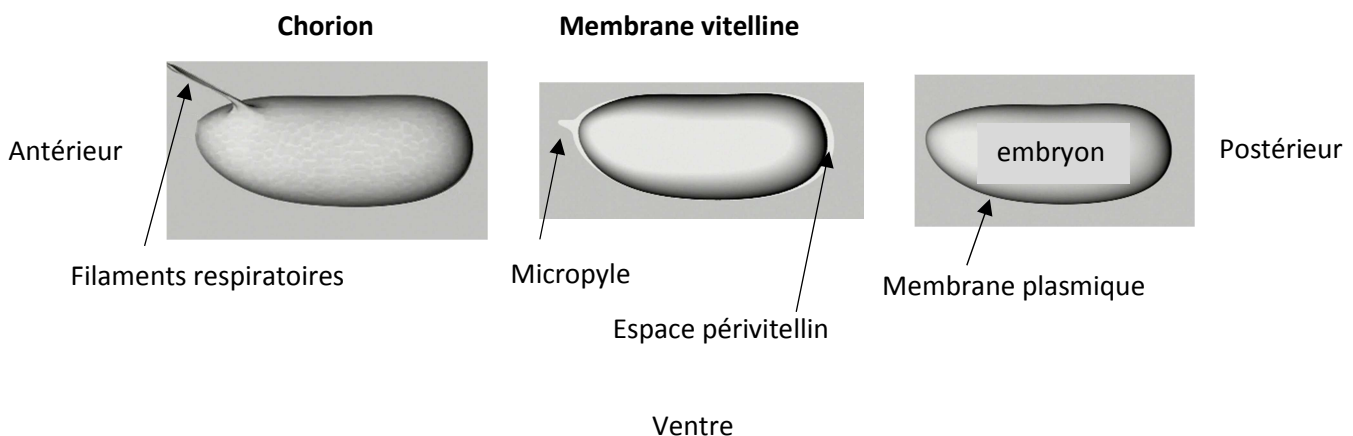
II-A-2 Préparation des embryons

Vous disposez d'une boîte de Pétri. Elle comporte un mélange d'agar et jus de pomme sur lequel a été déposée de la levure de boulanger. Des drosophiles ont pondu pendant 15h sur cette boîte.

II-A-2-a Démarche expérimentale

Dans la nature, les embryons sont déposés par leur extrémité postérieure dans un fruit en décomposition. Les embryons de drosophile sont entourés de deux enveloppes, comme indiqué sur le schéma page suivante. Le chorion externe qui comporte des appendices respiratoires est opaque et offre une protection mécanique en plus d'être imperméable à l'eau. La membrane vitelline interne est transparente et offre une protection chimique imperméable aux molécules de plus de 100 Da, en plus de délimiter un espace périvitellin comportant des molécules importantes pour la régulation du développement embryonnaire.

Dos



La bêta-galactosidase lyse le X-gal (une molécule hydrophile de 400 Da) en libérant un composé bleu insoluble dans l'eau.

Quelles sont les étapes nécessaires à la préparation des embryons pour l'observation d'une activité bêta-galactosidase ? Expliquez le rôle des différentes étapes et le matériel qui pourrait être utilisé. Il n'est pas demandé de protocole.

Vous pouvez vous aider de la liste du matériel suivant qui est à votre disposition :

- Pinceau fin
- Micropipette p200 et pointes jaunes
- Tamis
- Divers récipients
- Tube eppendorf de 1,5mL
- Lames et lamelles
- Pissette avec eau du robinet
- PBS-Triton 0,1% (PBS-T) (le Triton est un détergent)
- PBS -T 70% glycérol
- Solution de coloration sans X-gal
- Solution de coloration avec X-gal
- Heptane pur (fragilise la membrane vitelline)
- Eau de Javel 5%

Étapes de l'expérience. Cette feuille est à remettre à un examinateur qui vous remettra un protocole détaillé en échange (il n'est pas attendu de vous un protocole détaillé comme celui qui vous sera remis !).

Réponse à la question II-A-2-a

Récolter les embryons (rincer pour éliminer la levure)

Retirer le chorion car opaque > Javel

Perméabiliser ou retirer la membrane vitelline (pour laisser entrer X-gal) > heptane

Colorer

Monter sur lame

Bonus :

Lavages/préincubation entre chaque étape

Transférer embryons d'une étape à l'autre dans tamis

Les propositions sont globalement pertinentes. Il fallait cependant rester réaliste par rapport au matériel fourni (l'injection dans un embryon avec un Pipetmann s'annonce périlleuse...). Des candidats ont introduit une étape de fixation qui était tout à fait pertinente, même si aucun fixateur

n'était proposé, mais l'ont placé en fin d'expérience ce qui est moins judicieux. De fait, une fixation est normalement réalisée après la dévitellinisation, mais avait ici été supprimée du protocole.

De nombreux candidats ont proposé de faire un témoin négatif sans X-gal, ce qui était tout à fait possible et a été valorisé. Ceci dit, il est plus pertinent de faire un contrôle avec un embryon non transgénique, ce qui était le cas dans l'expérience avec seulement un quart des embryons qui étaient transgéniques.

Peu de candidats pensent à inclure des étapes de lavage entre différents réactifs et une étape pour stopper la réaction de coloration.

L'usage possible de la Javel pour digérer une structure (le chorion) est rarement évoqué. Les candidats proposent d'utiliser le détergent, ce qui est logique. Il est en revanche peu probable qu'une structure de protection mécanique (le chorion), puisse s'éliminer avec un pinceau doux.

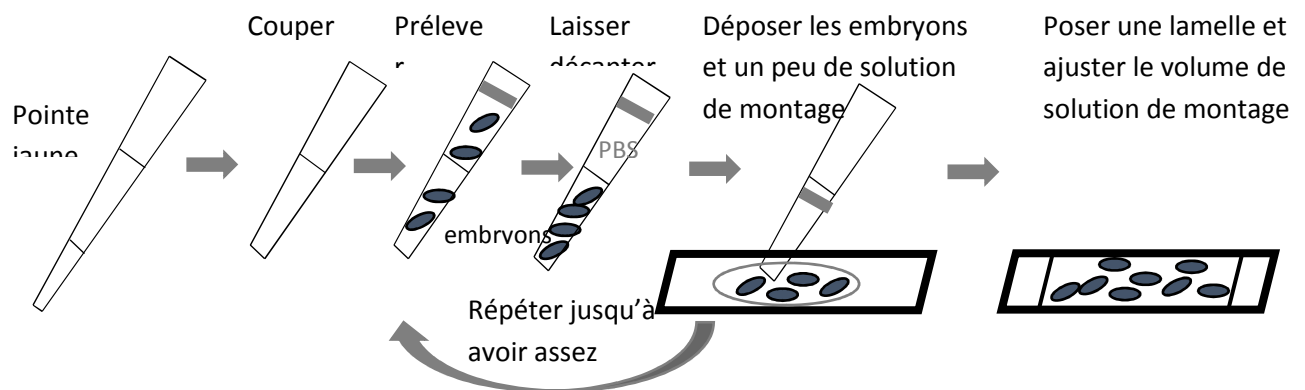
La plupart des candidats a réalisé l'expérience avec de très belles colorations pour certains d'entre eux. Le jury a pu constater que les étudiants dont les gestes techniques étaient les plus assurés obtenaient effectivement les meilleurs résultats.

L'étape de dévitellinisation qui nécessitait une agitation très vigoureuse est souvent mal réussie, mais ceci n'affectait pas la réussite de l'expérience dans la mesure où la membrane est suffisamment déstabilisée.

La manipulation était essentiellement évaluée par la qualité de la lame qui permettait de tester différentes étapes.

II-A-2-b Protocole de révélation de l'activité bêta-galactosidase (fourni en échange de la feuille précédente)

1. Récolter les embryons : recouvrir la boîte de Pétri d'eau du robinet à l'aide de la pissette. Décoller les embryons à l'aide du pinceau (les embryons sont résistants). Faire couler les embryons dans le petit tamis disposé au-dessus d'un récipient. Recommencer jusqu'à récupération de l'ensemble des embryons. Laver jusqu'à élimination de l'ensemble de la levure et disposer le tamis dans un bain d'eau.
2. Déchorionner les embryons par un bain de 2 à 5 minutes dans de l'eau de Javel 5%. Les embryons sont déchorionnés lorsque les appendices respiratoires (visibles à la loupe binoculaire) ont tous été dissous. Les embryons sans chorion sont très sensibles à la déshydratation.
3. Rincer immédiatement par plusieurs bains rapides de PBS-T (minimum 30 secondes), en tamponnant l'excès de liquide avec un papier absorbant entre chaque bain.
4. Transférer à l'aide d'un pinceau les embryons dans un tube Eppendorf contenant 0,5 mL de PBS-T. Les embryons sont récupérés facilement avec le pinceau en soulevant le tamis au-dessus du liquide.
5. Retirer le PBS-T à l'aide d'un Pipetmann P200 en maintenant la pointe jaune sur la paroi du tube, à la limite supérieure du liquide pour ne pas aspirer les embryons.
6. Dévitelliniser en ajoutant 0,5 mL de PBS-T et 0,5 mL d'heptane. Agiter vigoureusement à la main pendant 4 minutes. La membrane vitelline, fragilisée par l'heptane, est éliminée par l'agitation. Retirer la phase supérieure (heptane) qui sera transférée dans le tube poubelle à refermer ensuite. Rincer 2 fois 1 minute environ en PBS-T.
7. Révéler l'activité bêta-galactosidase. Retirer le PBS-T et remplacer par 0,5 mL de solution de coloration sans X-gal pendant 1 minute puis par 0,5 mL de solution avec X-gal. Incuber à température ambiante à l'obscurité pendant 1 à 3 heures en remettant de temps en temps les embryons en suspension en tapotant le bas du tube. Surveiller l'évolution de la coloration à travers le tube. Les embryons doivent être d'un bleu foncé mais pas noirs.
8. Éliminer la solution de coloration et rincer 3 fois 2 minutes en PBS-T.
9. Monter la préparation (voir schéma page suivante). Laisser les embryons sédimenter. Transférer les embryons sur une lame à l'aide d'un Pipetmann P200 dont l'extrémité (environ 1cm) de la pointe a été coupée aux ciseaux. Pour ajuster le nombre d'embryons et le volume de liquide, il est conseillé de laisser décanter les embryons dans la pointe avant de déposer les embryons et une quantité la plus réduite possible de liquide, et de renouveler l'opération jusqu'à avoir une quantité raisonnable d'embryons (suffisamment pour être représentatif mais pas trop afin qu'ils ne soient pas tous collés les uns aux autres). Ajouter un peu de liquide si besoin pour recouvrir les embryons. Recouvrir délicatement d'une lamelle sans écraser, compléter en liquide afin que tout l'espace entre lame et lamelle soit rempli et observer au microscope.



Observez votre lame et auto-évaluez-la à l'aide de la grille ci-dessous. Vous cochez les cases d'après vos observations.

Appelez, maintenant ou après la partie II-A-3, un examinateur pour qu'il évalue lui aussi votre lame.

Réponse à la question II-A-2-b : grille d'auto-évaluation de la lame

Intégrité des embryons	<i>Embryons entiers</i>	<i>Embryons écrasés ou lysés</i>			
Densité en embryons	<i>Embryons peu nombreux et dispersés</i>	<i>Embryons peu nombreux mais regroupés</i>	<i>Embryons répartis sur la lame</i>	<i>Embryons accolés les uns aux autres dans une partie de la lame</i>	<i>Embryons accolés les uns aux autres sur l'essentiel de la lame</i>
Déchoriation des embryons	<i>Moins de 10%</i>	<i>Moins d'un tiers</i>	<i>Entre un tiers et deux-tiers</i>	<i>Plus des deux tiers</i>	<i>Plus de 90%</i>
Dévittellinisation des embryons	<i>Moins de 10%</i>	<i>Moins d'un tiers</i>	<i>Entre un tiers et deux-tiers</i>	<i>Plus des deux tiers</i>	<i>Plus de 90%</i>
Coloration des embryons	<i>Non visible</i>	<i>Difficile à visualiser au microscope</i>	<i>Nette</i>	<i>Très forte et diffuse</i>	

L'autoévaluation est très souvent globalement conforme à celle de l'examineur, avec une tendance à la sous-évaluation par les candidats.

II-A-3 Analyse des résultats

Vous disposez en annexe 1 d'une planche récapitulant les stades embryonnaires successifs chez la drosophile ainsi que leurs durées.

II-A-3-a Technique microscopique

Quelle est la technique microscopique utilisée pour obtenir les images de l'annexe 1 ?

Réponse à la question II-A-3-a

microscopie électronique à balayage

Globalement bien répondu.

II-A-3-b Proportion d'embryons au stade blastoderme

La femelles drosophiles stockent les spermatozoïdes dans une spermathèque. De ce fait, les ovocytes sont fécondés au moment de la ponte. Si les embryons sont pondus à fréquence constante dans le temps pendant 15 heures, quelle est la proportion attendue d'embryons au stade blastoderme (syncitial ou cellulaire) à l'issue des 15 heures de ponte ?

Réponse à la question II-A-3-b

Stade de durée 1h30 sur 15h donc 1/10 ou 10%

Bien répondu, même si certains raisonnements sont surprenants ; cette question sensibilisait à la difficulté de trouver des embryons de ce stade.

II-A-3-c Observation des embryons

La souche utilisée est hétérozygote pour *nv-LacZ*. Des embryons sauvages, non marqués, sont donc présents. De plus, les embryons homozygotes pour *nv-lacZ* ne sont pas viables et présentent un marquage irrégulier sous forme de grosses tâches. Ils ne font pas l'objet de notre étude.

Observez et schématisez le patron d'expression de *nv* au stade blastoderme. Avant de le représenter, appelez un examinateur lorsque vous pensez avoir identifié un embryon représentatif afin qu'il valide votre choix.

Observez et schématisez le patron d'expression de *nv* au stade bandelette germinale étendue. Avant de le représenter, appelez un examinateur lorsque vous pensez avoir identifié un embryon représentatif afin qu'il valide votre choix.

Observez et schématisez le patron d'expression de *nv* à un stade tardif. Avant de le représenter, appelez un examinateur lorsque vous pensez avoir identifié un embryon représentatif afin qu'il valide votre choix.

Si un stade est manquant dans votre échantillon, ce qui est toujours possible lorsque l'on manipule du vivant, indiquez-le.

Proposez une ou plusieurs hypothèse(s) sur la fonction biologique du gène *nv*.

Réponses à la question II-A-3-c

Schéma de l'expression de *nv* dans les embryons au stade blastoderme (syncitial ou cellulaire) :

Embryon sans structures internes visibles, 11 à 14 bandes commençant à environ 25% de l'antérieur

Schéma de l'expression de *nv* au stade bandelette germinale étendue :

Vue latérale sinon on ne peut pas l'interpréter.

Embryon replié en U.

14 bandes le long du U (et non pas 7, illusion due à l'impression de fusion des bandes ventrales et dorsales)

Schéma de l'expression de *nv* à un stade tardif :

Embryon avec structures internes (tube digestif) et **segments** visibles

11 à 14 bandes commençant au pôle antérieur pour les plus tardifs et jusqu'à 25 % de l'antérieur pour les moins tardifs

Si segments bien visibles : expression dans la partie postérieure du segment

Les candidats ont obtenu une photo de chaque stade après avoir essayé ou réussi d'en trouver sur leur lame. Mais seule l'observation des embryons permet de jouer avec la mise au point pour bien comprendre ces objets en 3 dimensions et l'observation de plusieurs échantillons permet de dégager les points communs. Les stades précoces étaient peu nombreux et difficiles à trouver et le barème ne pénalisait pas les candidats n'en ayant pas trouvé.

Peu de candidats maîtrisent l'ouverture du diaphragme pour une observation plus précise des structures embryonnaires.

Les images de stades embryonnaires données en annexe devaient permettre de trouver les stades bandelettes germinales étendues sont ambiguïté, en vue latérale.

Les schémas sont de qualité moyenne (mais le temps imparti est trop court pour exiger des schémas de qualité). Un bon schéma devait mettre en évidence les éléments essentiels de la coloration et des éléments pour identifier le stade.

L'indication d'échelle, lorsqu'elle est proposée, est souvent inexacte et souvent sous la forme : (x100). Ceci est trop imprécis et ambigu : est-ce que l'image est 100 fois plus grande que l'objet réel ? Est-ce une observation au grossissement 100 ? Mais alors qu'elle est la taille de l'objet ?

Hypothèse(s) sur la fonction biologique de *nv* :

Rôle dans organisation des segments : exprimé dans chaque segment

Rôle dans identité de partie (postérieure) de chaque segment car exprimé de manière continue.

Gène de polarité segmentaire.

Vu l'expression qui se prolonge aux stades tardifs, il n'était pas possible de proposer un rôle qui ne soit que dans la mise en place des segments et de telles propositions s'inspiraient clairement plus de connaissances du candidat que de l'observation. Il s'agissait en fait ici du gène engrailed.

II-B Expression de différents gènes du développement et phénotypes des mutants

II-B-1 Patron d'expression des gènes au cours du développement

Vous trouvez en annexe 2 les patrons d'expression de différents gènes à 3 stades précoces du développement.

Quel est le principe de la technique d'hybridation *in situ*, utilisée pour obtenir ces résultats ?

Réponse à la question II-B-1-a

Hybridation d'une sonde (molécule) ARN ou ADN complémentaire de ARNm

Marquage de la sonde pour révélation

Globalement bien répondu.

D'après ces résultats, on peut regrouper ces gènes en différentes catégories. Proposez et justifiez un classement de ces gènes. Chaque catégorie devra comprendre au moins 2 gènes. Aucune connaissance sur la régulation du développement de la drosophile n'est nécessaire ni demandée pour établir cette classification.

Réponse à la question II-B-1-b

Catégories suivant maternel (A-B) / zygotique (C-M)

Catégories suivant bandes le long axe D/V (D,K) ou le long axe A/P (les autres)

Catégories suivant nombre de bandes : 1 majoritaire (A, B, E, F, G (A et B sont maternels)) ; 7 (H, I, J, M) ; 14 (C, L)

Cette question est souvent bien traitée. Les candidats qui parlent de fonction de gènes sont pénalisés car une expression ne peut que suggérer une hypothèse sur une fonction.

De même, des candidats proposent des successions temporelles (cascades de gènes du développement) qui ne correspondent pas à ce qui est visible sur les documents proposés.

II-B-2 Phénotype des mutants

Vous trouvez en annexe 3 les phénotypes cuticulaires de différents mutants.

Quelle est la technique microscopique utilisée pour obtenir les images de l'annexe 3 ?

Les patrons d'expression des gènes vus en II-B-1 et les phénotypes résultant de mutations dans ces gènes sont-ils cohérents ? Justifiez votre réponse.

Réponses à la question II-B-2

Technique :

Microscopie optique en fond noir.

Très peu de bonnes réponses. Les propositions de microscopies électroniques sont incohérentes. Les propositions de microscopie à fluorescence (due au fond noir), ne correspondaient pas aux indications de l'annexe.

Cohérence entre patrons d'expression et phénotypes :

Les parties manquantes correspondent aux zones où les gènes sont exprimés : cohérent

D : pas de dos

Exprimé le long dos

A, B, E, F, G : manque une partie de l'axe AP : A et G : antérieur, B, E et F : une partie centrale

Exprimés en 1 grande bande majoritaire

H et J manque segments impairs, I et M manque segments pairs

Exprimés en 7 bandes

C et L : segments désorganisés

Exprimés en 14 bandes

Bonus si détails supplémentaires (pour valoriser le temps passé)

Question souvent bien traitée. Il ne fallait évidemment pas faire appel à des connaissances théoriques (risquées de surcroît), mais bien établir une corrélation (qui n'est pas une preuve) entre le profil d'expression et le phénotype. Le barème valorise les candidats qui ont bien analysé les phénotypes les plus difficiles.

Partie III : *D. melanogaster*, un organisme modèle en immunologie

La Diptericine est un peptide anti-microbien sécrété dans l'hémolymphe de la drosophile en cas d'infection par des bactéries à Gram-négatif. Le gène *relish* code pour le facteur de transcription de la voie Imd responsable de l'expression du gène *dipthericine* lors d'une infection. L'expression du gène *dipthericine* est maximale 6h après infection. *Akirin* est un nouveau gène potentiellement impliqué dans la voie de signalisation Imd et donc dans l'expression du gène *dipthericine*, identifié lors d'un crible *in vitro* en cellules en culture.

Nous nous proposons de valider l'implication d'Akirin dans la voie de signalisation Imd.

III-A Analyse génétique du contrôle de l'expression de la Diptericine

Pour analyser l'implication d'Akirin dans la voie de signalisation Imd, l'expression du gène *dipthericine* est mesurée par RT-qPCR chez des drosophiles sauvages (wt), des mutants *relish* et des mutants *akirin*, avant infection ou 6 heures après infection par la bactérie à Gram-négatif *Escherichia coli*.

III-A-1 Conditions expérimentales

Expliquez le choix de ces diverses conditions expérimentales.

Réponse à la question III-A-1

Contrôle positif : wt

Contrôle négatif : *relish*

Comparaison entre mutant à tester et contrôles.

Avant infection : niveau de base

6h : taux maximal d'expression

Donc rapport entre niveau à 6h et niveau de base.

*Peu de candidats mentionnent le contrôle négatif *relish*.*

III-A-2 Principe de la RT-qPCR

Quel est le principe de cette expérience ? Comment évolue théoriquement le paramètre mesuré au cours du temps ?

Représentez les courbes théoriques d'évolution de ce paramètre pour les souches sauvage et *relish*. Qu'est-ce que le Ct (*cycle threshold* ou cycle seuil) ? Positionnez un Ct sur les courbes tracées (il n'est pas demandé de valeur, mais une position relative aux tracés des courbes).

Réponse à la question III-A-2

ARNm > ADNc

PCR pour amplifier l'ADN et mesure à chaque cycle de la quantité d'ADN double brin grâce à agent fluorescent.

Courbes : sigmoïdes : exponentielle au début puis plateau.

Ct : cycle d'amplification où la quantité d'ADN synthétisé dépasse un seuil de détection.

Plus il y a d'ADN dans l'échantillon moins il faut de cycles pour atteindre le seuil.

Ct sauvage < Ct *relish*

La technique de RT-qPCR est classique. Son principe n'est cependant pas compris par une large proportion de candidats comme illustré par l'incapacité à tracer une courbe d'amplification PCR, à expliquer la notion de Ct et à placer respectivement les Ct des deux témoins.

III-A-3 Résultats de la RT-qPCR

Vous trouvez en annexe 4 les résultats de la RT-qPCR.

III-A-3-a Notion de triplicats

Ce tableau contient des triplicats biologiques et des triplicats techniques. Expliquez ces deux notions.

Réponse à la question III-A-3-a

Triplicat biologique : trois expériences indépendantes

Triplicat technique : trois analyses à partir du même échantillon biologique

Le triplicat biologique correspond à la reproduction indépendante de la même expérience afin d'évaluer la variabilité de la réponse biologique. A l'inverse, les répliquats techniques évaluent la reproductibilité technique de la mesure.

III-A-3-b Utilisation du gène *RP49*

Quel est l'intérêt de la mesure de l'expression du gène *RP49* codant la protéine ribosomale 49 ?

Réponse à la question III-A-3-b

Gène de ménage à expression constitutive. Calibration entre les différents échantillons.

Le jury est très surpris par les réponses de candidats qui proposent que le gène RP49 est utilisé pour vérifier l'efficacité de la traduction.

III-A-3-c Notion de valeurs ΔCT et $2^{-\Delta CT}$

Les résultats sont donnés en valeurs de CT, en ΔCT et $2^{-\Delta CT}$. Nous vous proposons tout d'abord de réfléchir à l'intérêt de ces valeurs.

La valeur ΔCT correspond à la différence entre deux CT : lesquels et pourquoi faire ce calcul ?

Pourquoi un facteur 2 est-il introduit ici ? Que représente au final la valeur $2^{-\Delta CT}$ par rapport à l'expression du gène *diptericine* ? Pour vous aider, vous pourrez comparer les formules $2^{-\Delta CT}$ et $2^{CT1}/2^{CT2}$, CT1 et CT2 étant les deux CT mesurés et $\Delta CT = CT2 - CT1$.

Réponses à la question III-A-3-c

ΔCT :

Calibration entre échantillons : rapport gène étudié / gène de ménage

Facteur 2 et $2^{-\Delta CT}$:

Facteur 2 : efficacité maximale de la PCR correspondant au doublement de la quantité d'ADN à chaque cycle. Permet de calculer l'amplification nécessaire pour aboutir à la valeur seuil et donc la quantité initiale

$2^{-\Delta CT} = 2^{CT1/2^{CT2}}$ donc permet de calculer la quantité initiale, calibrée par rapport au gène de ménage. C'est la valeur qui peut être comparée entre échantillons

III-A-4 Analyse des résultats et conclusion

III-A-4-a Validation des résultats

Tous les résultats de l'expérience sont-ils utilisables pour l'analyse ? Justifiez votre réponse.

Réponse à la question III-A-4-a

Deux valeurs non exploitables car Ct très élevé. Elles correspondent à des erreurs techniques car les deux autres réplicats techniques sont corrects : erreur de pipetage ?

Réplicats techniques pas très propres : être vigilant sur l'interprétation

L'absence de matériel est très rarement proposée pour expliquer les valeurs de Ct élevées.

Le jury attire cependant l'attention sur la dimension d'éthique scientifique derrière cette question qui vise à s'assurer de la fiabilité technique d'une expérience mais aucunement à encourager à une sélection de certains résultats.

III-A-4-b Analyse des résultats et représentation graphique

Vous disposez d'un ordinateur accessible selon le planning affiché dans la salle.

Vous disposez d'une clé USB contenant un classeur avec votre nom et prénom contenant les données de l'annexe 4. Vous travaillerez sur la clé sans transférer le classeur sur l'ordinateur. Vous remettrez cette clé au jury lorsque vous aurez fini. Une impression de vos travaux vous sera remise.

A l'aide du tableur, effectuez les opérations vous permettant d'analyser les résultats.

Sur le tableur OU sur la page suivante du sujet, représentez le résultat de l'expérience de RT-qPCR sous forme d'un graphe de votre choix. Vous incluez des données statistiques éventuelles.

N'oubliez pas de sauvegarder vos données et de fermer votre classeur à la fin de votre/vos session(s).

Réponse à la question III-A-4-b : représentation graphique (uniquement si elle n'est pas effectuée sur le tableur)

La représentation peut être de différents types mais doit montrer :

- graphe clair avec titre et légende
- comparaison Akirin / contrôle sauvage (valeur absolue d'expression ou taux d'augmentation de l'expression ou pourcentage d'expression par rapport au sauvage)
- une moyenne/médiane pour chaque échantillon biologique. (Possibilité de mettre côte à côte les différents échantillons biologiques avec leur variation technique.)
- un écart-type ou autre moyen de visualisation des variations entre les moyennes biologiques

Les points non fiables doivent être exclus.

Une moyenne entre tous les points techniques/biologiques avec écart type sur cet ensemble n'est pas acceptable.

Une proposition d'analyse statistique entre échantillon est un bonus, même si aucune analyse statistique n'était réellement possible ou attendue ici.

Le graphe montre une expression de la dipterisine intermédiaire et plus variable dans le mutant akirin que le mutant relish.

Les candidats avaient le choix d'utiliser ou non l'outil informatique qui avait l'avantage de pouvoir être plus rapide. Certains ne l'ont pas fait. Le jury attire cependant l'attention sur la nécessité de la maîtrise de la compétence informatique.

Les deux erreurs les plus fréquentes sont l'absence d'écart-type et surtout un mélange entre les triplicats techniques et biologiques qui n'ont pourtant pas la même signification. Un tel mélange peut s'apparenter à une faute déontologique qui viseraient à augmenter artificiellement le nombre d'échantillons testés.

III-A-4-c Conclusion de l'expérience

Formulez le résultat de l'expérience en une phrase et la conclusion que vous pouvez en tirer en une deuxième phrase.

Réponses à la question III-A-4-c

Résultat :

L'expression de la dipterisine après infection est réduite dans le mutant akirin par rapport au sauvage mais pas au niveau du mutant relish

*Il s'agit ici de **décrire le résultat sans l'interpréter**. Le résultat étant noté à la question précédente, c'est la formulation correcte de ce résultat qui est ici noté.*

Conclusion :

Le gène *Akirin* (la protéine Akirin) est partiellement nécessaire à l'activation de la voie Imd.

*Il faut ici en tirer une **interprétation** sur le rôle du gène ou la protéine. Une expression « a un rôle » ou quelque chose d'équivalent n'est pas satisfaisante car elle n'indique pas si le rôle est positif ou négatif.*

Très peu de candidats ont formulé correctement à la fois le résultat et la conclusion (à cette question et/ou à la suivante). Il s'agit ici d'une compétence fondamentale pour tout scientifique et donc enseignant en SVT.

III-B Survie des drosophiles aux infections en contexte mutant akirin

Voici les résultats d'un test de survie à l'infection par la bactérie à Gram-négatif *Enterococcus faecalis*. Pour chaque lot de drosophiles sauvages (wt), ou mutantes *relish* ou *akirin*, le nombre d'individus vivants au cours du temps post-infection est indiqué.

Temps post-infection	0h	8h	24h	32h	48h	56h	72h
<i>wt</i>	40	39	39	39	33	20	0
<i>relish</i>	40	39	25	7	1	0	0
<i>akirin</i>	40	40	29	15	5	0	0

Formulez le résultat de l'expérience en une phrase et la conclusion que vous pouvez en tirer en une deuxième phrase.

Réponses à la question III-B

Résultat :

Les mouches *akirin* meurent plus vite après infection que les sauvages et légèrement moins vite que les mutants *relish*.

La formulation des résultats se rapproche parfois d'une lecture de l'expérience, sans caractérisation des faits, mais la question a été bien réussie dans l'ensemble.

Conclusion :

Le gène *Akirin* est (partiellement) requis pour la résistance à l'infection.

Certains candidats ont tendance à répéter (sous une autre formulation) les résultats, au lieu d'en donner une interprétation et ainsi en tirer une conclusion.

III-C Production de Diptericine recombinante en levure

Dans le but de développer des alternatives aux antibiotiques au sein de l'arsenal thérapeutique anti-bactérien, vous souhaitez produire la Diptericine *in vitro* en la faisant synthétiser par des levures *Saccharomyces cerevisiae*.

III-C-1 Stratégie de clonage

L'ADN complémentaire (ADNc) du gène *diptricine* est cloné dans un vecteur d'expression qui est amplifié dans des bactéries avant d'être transfecté dans les levures.

Quels éléments doivent être présents dans le vecteur d'expression pour que cette expérience soit réalisable ?

Réponse à la question III-C-1-a

Promoteur eucaryote devant diptericine

Gène résistance/sélection levure sous contrôle promoteur eucaryote

Ori eucaryote

Ori bactérienne

Gène résistance bactérien sous contrôle promoteur bactérien

(Sites ER pour insertion ADNc en aval promoteur, pas obligatoire suivant les techniques de clonage)

Les 3 processus utilisés « réplication, expression et sélection » ont été très peu avancés par les candidats ; rares sont ceux qui ont eu la totalité des points

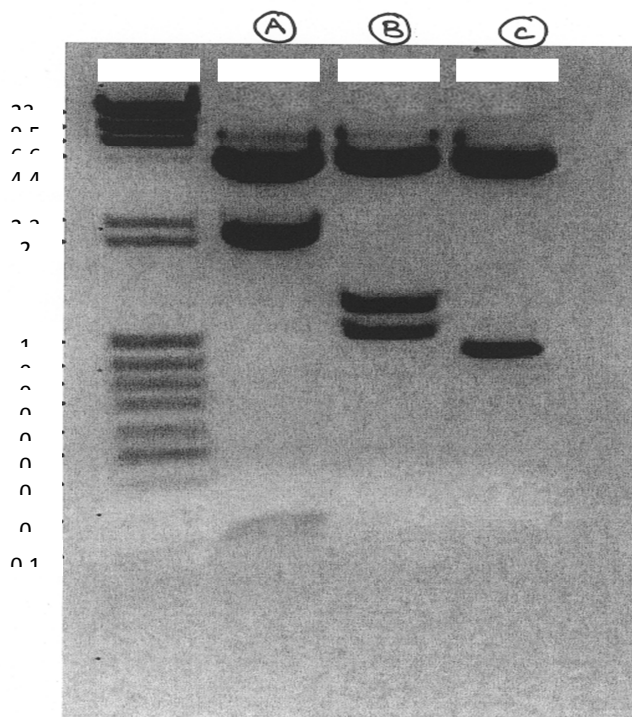
Pour réaliser le clonage, l'ADNc du gène *diphtericine* a été hydrolysé par l'enzyme de restriction Pvu II. Le vecteur d'expression a été hydrolysé par l'enzyme Sma I. Les deux fragments de restriction ainsi obtenus ont été assemblés à l'aide d'une ligase. Après transformation de bactéries à l'aide du produit de ligation, trois colonies bactériennes transformantes (A, B et C) sont testées : le plasmide est purifié de chacune des colonies puis hydrolysé par les enzymes de restriction Hind III et Xho I.

Le vecteur contient deux sites Hind III dont un à proximité du site Sma I et aucun site Xho I. L'insert contient un site Xho I.

Les sites de reconnaissance des enzymes sont les suivants :

- Hind III A/AGCTT
- Sma I CCC/GGG
- Pvu II CAG/CTG
- Xho I C/TCGAG

Voici la figure du gel d'électrophorèse de la digestion des plasmides isolés des colonies bactériennes A, B et C. Les rectangles blancs correspondent aux puits de dépôt. Les différentes tailles du marqueur sont indiquées en kb.



Quelles sont les tailles des fragments de restriction de chaque plasmide ? On considère que la taille du plus grand fragment commun aux 3 plasmides (la bande la plus épaisse) est de 4,5 kb.

Réponse à la question III-C-1-b : tailles des fragments (en kb)

A	B	C
4,5	4,5	4,5
2,2	1,25	0,95
0,15	1,1	

Les valeurs peuvent être légèrement différentes mais somme A= somme B.

Les différentes bandes ont été relativement bien déterminées par les candidats. Par contre, très peu de candidats ont avancé des chiffres dont la somme est identique en A et B.

Comment interprétez-vous le fait que chaque plasmide analysé présente un profil de restriction distinct ? Tracez la carte de restriction des trois plasmides.

Réponses à la question III-C-1-c

Interprétation des profils distincts :

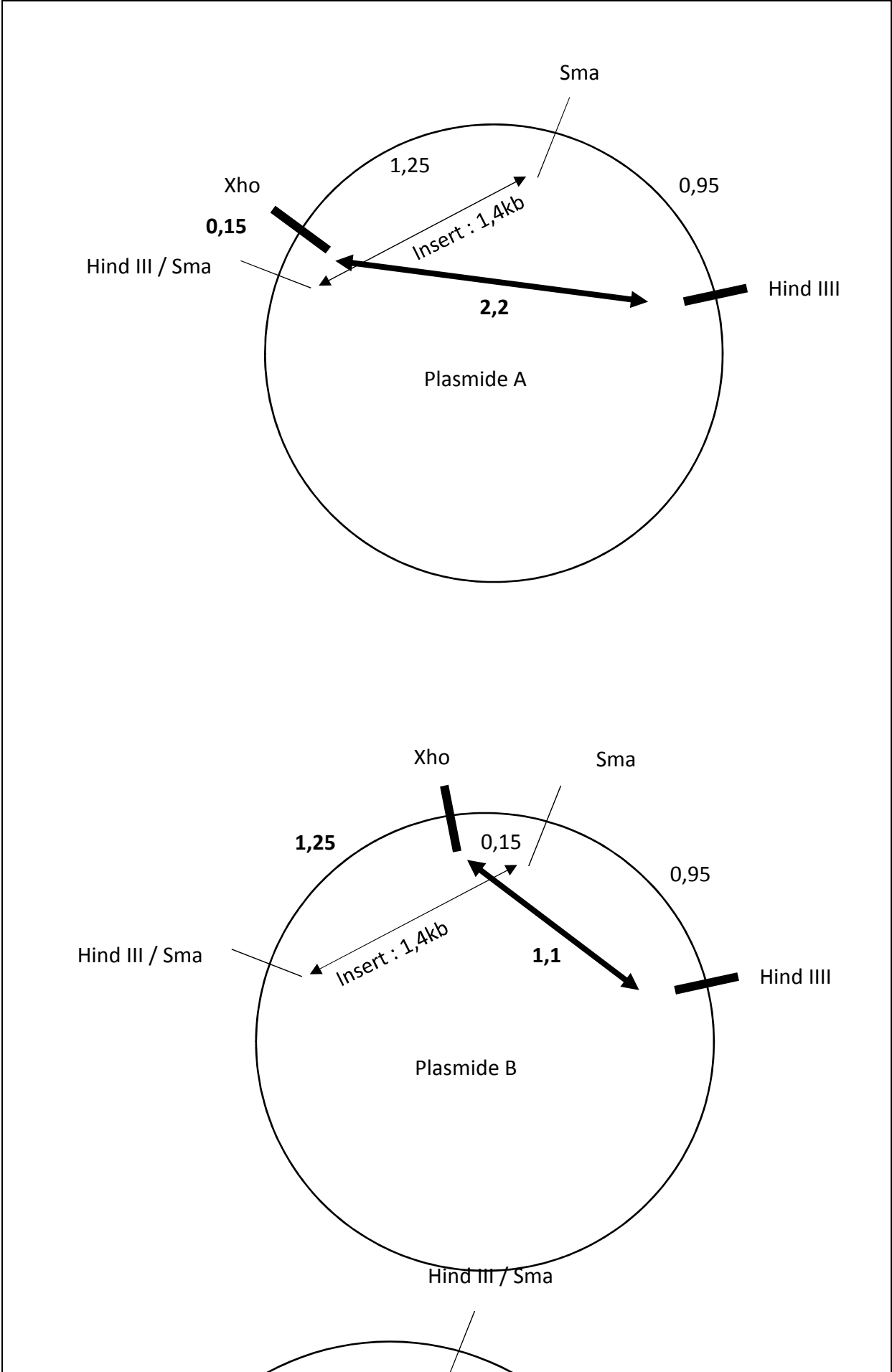
Coupure à bout franc donc insertion dans deux orientations possibles et plasmide C pas d'insert

Très peu de candidats ont réussi à répondre à cette question.

La taille de l'insert n'a été avancée que dans très peu de copies. De même, les distances entre les sites de restriction n'ont été déduites que dans de rares copies.

Le fait que le plasmide C n'ait pas d'insert a par contre été bien compris.

Cartes des plasmides :



III-C-2 Transfection des levures

Les plasmides A, B et C sont transfectés dans des levures. Pour cela il faut disposer de 200mL de levures à une densité optique à 550nm de 0,5 (soit $2 \cdot 10^7$ levures par mL) à 10h le matin. Sachant qu'à 16h la veille, la densité optique de la préculture diluée 10 fois est de 0,18 et que le temps de génération des levures est de 1h30, quelle dilution de la préculture doit-on effectuer à 16h pour la culture sur la nuit ?

Réponse à la question III-C-2

Nombre de générations pendant la nuit : 12 soit multiplication de 2^{12} soit 4096

DO de la préculture : 1,8

DO dans la culture au temps 0 : DO finale/ 2^{12} : $1,2 \cdot 10^{-4}$

Donc volume à prélever : $v = 1,2 \cdot 10^{-4} \times 200 / 1,8 = 13,5$ microlitres

Remarque : le calcul peut être fait sur les quantités de levures, mais est plus simple sur les DO.

Ce calcul de dilution a été très peu réussi, témoignant de difficultés calculatoires, mais aussi de compréhension de la dilution à effectuer.

III-C-3 Test d'activité anti-bactérienne de la Diptericine recombinante

La Diptericine est secrétée dans le milieu de culture par les levures qui la produisent. Vous souhaitez déterminer la dilution maximale inhibitrice de la Diptericine ainsi produite.

Vous disposez de 0,5 mL de chacun des cultures des levures transfectées par les plasmides A, B ou C. Vous disposez également d'une boîte de Petri dont la gélose contient des bactéries à Gram-négatif *Escherichia coli*. Une centrifugeuse est à votre disposition dans la salle (demandez à un examinateur de la démarrer).

Après avoir fait des puits dans la gélose avec l'extrémité d'une pointe jaune, vous déposerez des gouttes de 3 μ L de solution dans chaque puit. Vous effectuerez les éventuelles dilutions dans de l'eau, sachant qu'aucune activité n'est détectable au-delà d'une dilution au 1/50^{ème} du milieu de culture. Pour une lecture correcte des résultats, vous éviterez de dépasser 20 dépôts sur la boîte.

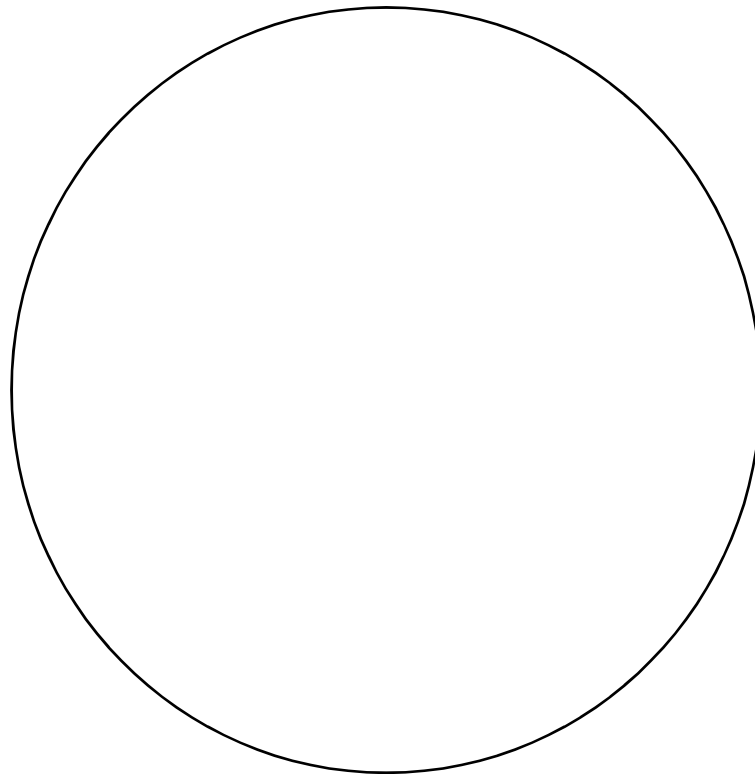
Après une nuit à 37°C, la croissance bactérienne sera analysée par les membres du jury.

III-C-3-a Plan de dépôt

Tracez le plan de dépôt que vous avez choisi et indiquez comment vous avez effectué vos dilutions éventuelles.

Effectuez le dépôt, en veillant à respecter les conditions de stérilité, et remettez la boîte à un examinateur. Il vous remet en échange une photo du résultat d'une expérience similaire.

Réponse à la question III-C-3-a



Dilutions sériées

Dépôt organisé (en ligne ou camembert)

Plus d'espace entre points à forte concentration

La plupart des candidats ont très bien réussi cette question, mais le nombre de dilutions est parfois trop faible.

Le dépôt sur les boîtes a été en revanche souvent maladroit, en particulier lorsque les puits ne sont pas suffisamment bien réalisés et lorsque la boîte est retournée entre chaque dépôt, ce qui conduit les dépôts à couler sur la boîte.

Les dilutions effectuées ne sont pas toujours correctes au vu des plages de croissance des bactéries.

Une proportion importante des candidats ne fournit pas sur la boîte les informations nécessaires à sa lecture, voire les indique sur le couvercle ce qui n'est pas judicieux.

III-C-3-b Analyse du résultat

Analysez le résultat de l'expérience d'après la photo fournie et concluez.

Réponse à la question III-C-3-b

Plasmide A induit activité anti-bactérienne

Lecture dilution inhibitrice

Donc l'ADNc est inséré dans le bon sens après le promoteur

Cette question a de même été bien réussie par les candidats. Il est à noter que certains candidats ne sont pas arrivés jusqu'à cette question, pourtant facile, faute de temps.

Ce sujet est un hommage aux chercheurs lauréats d'un Prix Nobel de physiologie et médecine pour leurs travaux utilisant le modèle *Drosophila melanogaster* :

Thomas Morgan 1933

Hermann Muller 1946

Edward Lewis 1995

Christian Nusslein-Volhard 1995

Eric Wieschauss 1995

Jules Hoffmann 2011

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

5.4.1 Présentation de l'épreuve

L'épreuve pratique de contre-option du secteur A avait pour thématique « Quelques aspects histo-fonctionnels de l'appareil reproducteur femelle des Mammifères ». Elle portait de l'observation macroscopique de l'appareil uro-génital femelle pour ensuite s'intéresser aux hormones sexuelles et aux cellules qui les produisent, en abordant plusieurs aspects cellulaires et moléculaires.

Commentaires

Les trois parties étaient indépendantes, comme cela était précisé sur la page de garde du sujet. La deuxième partie nécessitait de prévoir les temps d'incubation nécessaire à sa bonne exécution : cela était aussi indiqué sur la page de garde. Malheureusement beaucoup de candidats n'ont pas tenu compte de cette précision et n'ont pas eu le temps de terminer leur dosage.

La première partie a été globalement bien traitée (pour ceux qui ont fait la dissection) et le jury a vérifié l'adéquation entre le schéma et la dissection elle-même. La qualité de la dissection a cependant été très variable : la mise en évidence de l'intégralité de l'appareil génital femelle nécessite la mise en évidence des deux ovaires et l'ouverture de la symphyse pubienne. L'identification des deux types de follicules n'a pas été difficile pour les candidats. Légender la coupe histologique de l'ovaire a posé un peu plus de problèmes et très souvent les légendes étaient incomplètes.

La deuxième partie a été traitée de manière très inégale. La présentation des hormones sexuelles était beaucoup trop succincte dans nombre de copies. L'identification des deux phases du cycle et l'analyse de la courbe sous oestro-progestatif ont été mieux réussies. On attendait pour ces deux questions de restitution de connaissances, de la précision, de la clarté et de la concision. La partie dosage a été traitée de façon décevante. Peu de candidats sont capables d'exposer le principe de l'ELISA. Nous ne reviendrons pas sur le manque d'organisation qui n'a pas permis d'effectuer le dosage dans son entier. Il faut noter que l'usage des micropipettes n'est pas maîtrisé par tous, ce qui pose question à ce niveau d'études. Les calculs de dilution et concentration (très simples, il faut le dire) ont été dans l'ensemble réussis. Il est malgré tout inquiétant qu'un certain nombre de candidats ne soient pas capables de les effectuer.

La troisième partie associait des aspects histo-fonctionnels, endocrines et génétiques. Elle permettait aux candidats de montrer qu'ils étaient capables d'analyser des documents scientifiques, d'en faire une synthèse et de proposer des hypothèses pour leur interprétation. Cette partie a été traitée de manière très décevante par une grande majorité de candidats, peut-être pris par le temps, conséquence de leur mauvaise organisation. Aucun candidat n'a été capable de répondre de manière complète à la question sur le principe de l'immunoperoxydase ni sur les contrôles à mettre en œuvre pour s'assurer de la validité des observations. Ce point est inquiétant pour des futurs enseignants de sciences : il est nécessaire de connaître le principe des grandes techniques de base de la discipline enseignée et d'être capable d'avoir un regard critique sur leur bonne exécution dans les publications. L'analyse des résultats présentés dans cette troisième partie a été faite de manière inégale et, notamment, les résultats négatifs n'ont pas été mis en exergue. On rappelle, par exemple, que le fait qu'une cellule n'exprime pas une protéine donnée est un

résultat tout aussi important que le fait qu'un autre type cellulaire l'exprime. Egalement, on rappelle que des valeurs qui ne présentent pas de différence statistiquement significative ne sont pas différentes même si elles peuvent le paraître (voir le cas du taux circulant de progestérone chez les ERKO : il n'est pas différent de celui des souris wild-type). Globalement, la mise en perspective de l'ensemble des données obtenues chez la souris ERKO a été assez limitée mais quelques candidats ont réussi à proposer un modèle pour les régulations médiées par le récepteur ER α .

5.4.2 Sujet commenté

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2019

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE OPTION DU SECTEUR A CANDIDATS DES SECTEURS B ET C Durée totale : 2 heures

Quelques aspects histo-fonctionnels de l'appareil reproducteur femelle des Mammifères

Au cours de cette épreuve de travaux pratiques, plusieurs aspects de la reproduction des femelles Mammifères seront abordés.

Les 3 parties sont indépendantes.

Certaines nécessitent des manipulations, prévoyez donc votre organisation en conséquence.

Partie I : Etude de l'appareil reproducteur femelle	page
<i>Durée conseillée : 0h30 – barème : 25/130</i>	
Partie II : Les hormones sexuelles femelles : œstrogènes et progestérone	page
<i>Durée conseillée : 1h00 – barème : 70/130</i>	
Partie III : Caractérisation (partielle) de la lignée αERKO	page
<i>Durée conseillée : 0h30 – barème : 35/130</i>	

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

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

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

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

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier

Partie I : Etude de l'appareil reproducteur femelle

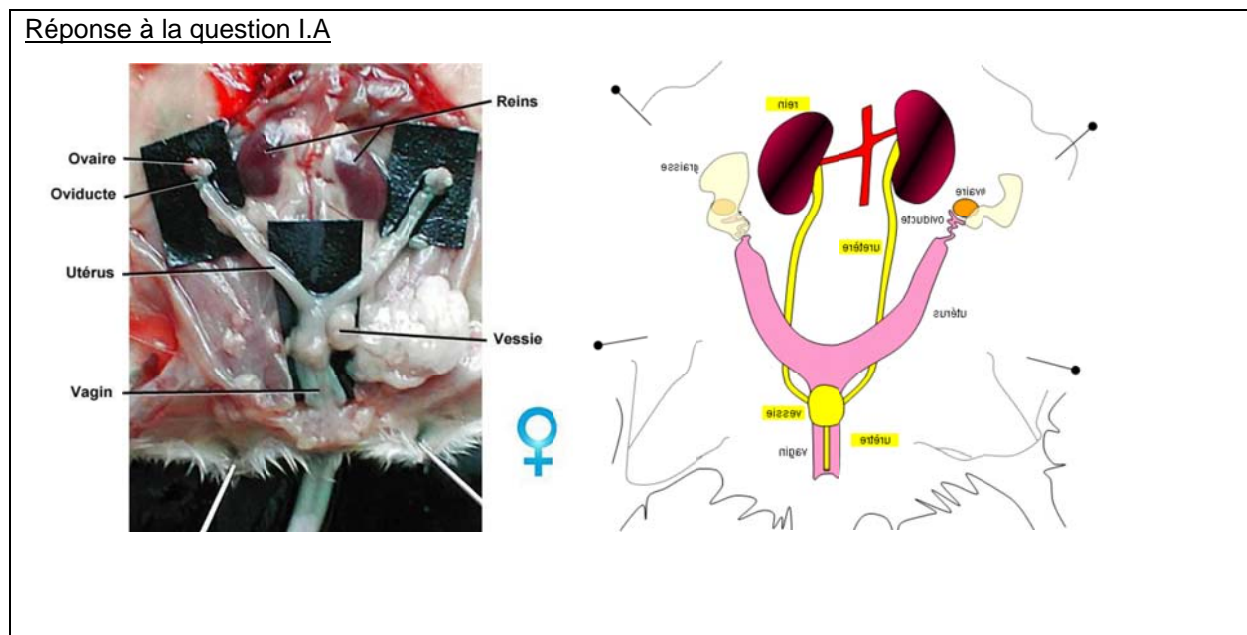
I.A - Vue d'ensemble

Vous disposez d'une souris femelle intacte dont vous mettrez en évidence l'appareil uro-génital femelle (en ayant fait l'ablation, ou mis sur le côté, l'appareil digestif).

A l'issue de votre dissection :

- **vous la présenterez à un surveillant,**
- vous en ferez un schéma légendé.

Réponse à la question I.A



I.B - Etude histologique de l'ovaire

Vous disposez d'une coupe d'ovaire de lapine en phase folliculaire colorée au trichrome de Masson, repérez :

- un follicule primaire
- un follicule à antrum avec une incidence de coupe passant par l'ovocyte.

Vous les présenterez à un surveillant : centrez le champ du microscope sur le follicule que vous avez sélectionné.

Il vous fournira une photo d'une partie de la coupe que vous légenderez le plus précisément possible.

N'oubliez pas de rendre la photo légendée avec votre copie !

A quel(s) stade(s) de la méiose se situent les ovocytes de chacun de ces follicules ?

Réponse à la question I.B

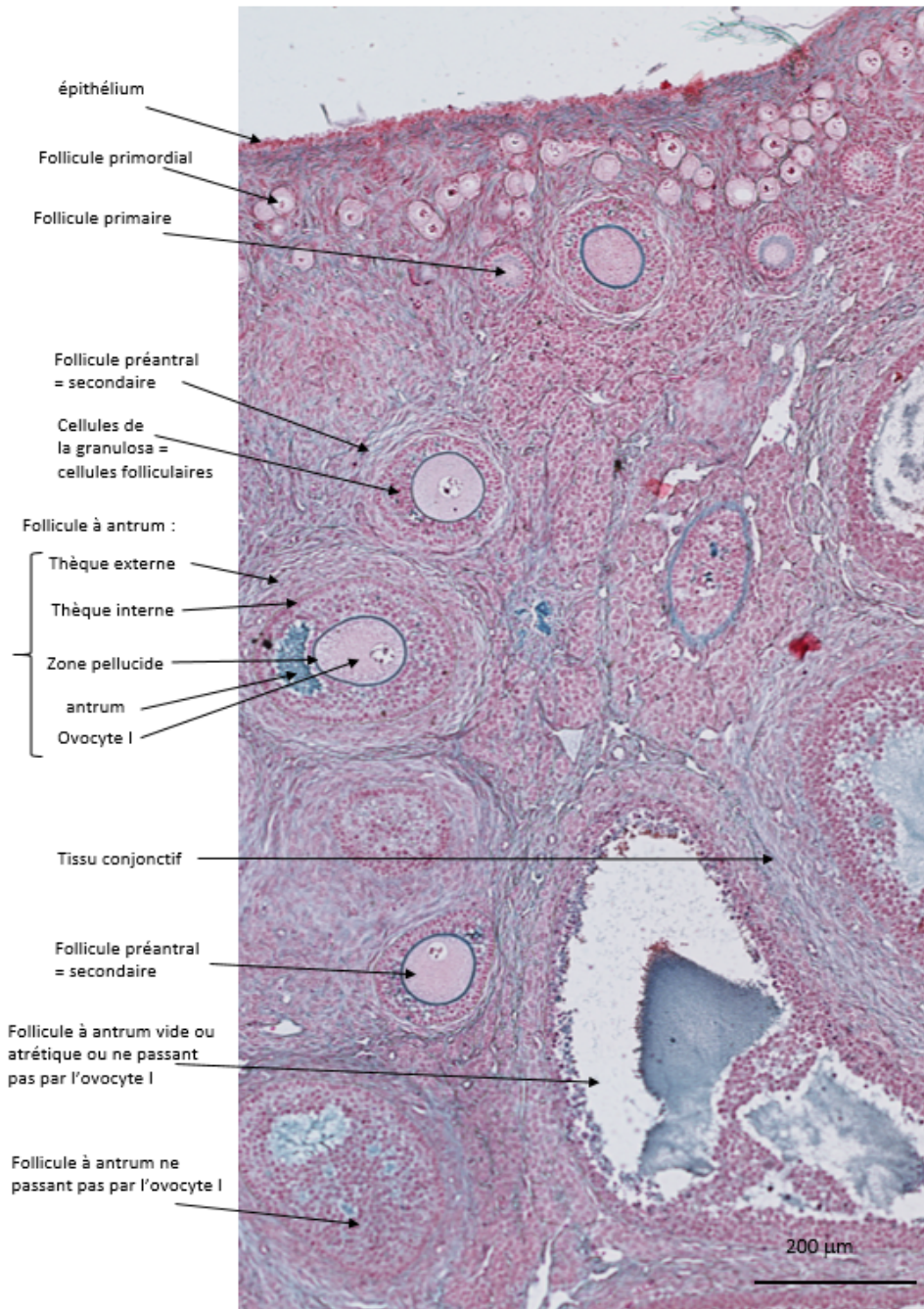
Légendes de la figure : titre, épithélium, tissu conjonctif, follicule primordial, follicule primaire, follicule pré-antral (= secondaire), follicule à antrum (contenant : antrum, zone pellucide, thèque interne, thèque externe, ovocyte I), cellules de la granulosa = cellules folliculaires.

stade(s) de la méiose des ovocytes de chacun de ces follicules :

follicule primaire et follicule à antrum : identique : ovocyte bloqué en prophase 1 (diplotène) de méiose 1.

(fin de méiose 1 et début de méiose 2 quand le complexe ovocyte-cumulus se détache du reste du follicule, puis fin méiose 2 au moment de la fécondation)

Coupe transversale d'ovaire de lapine colorée au trichrome



Partie II : Les hormones sexuelles femelles : œstrogènes et progestérone

Chez les Mammifères, le cycle sexuel de la femelle est sous le contrôle principal de deux familles hormonales : les œstrogènes et la progestérone. Nous allons maintenant nous intéresser à la variation de leurs niveaux de sécrétion au cours du cycle.

II.A - Présentation des hormones sexuelles femelles

En quelques lignes, faites une présentation succincte de ces deux hormones : vous rappellerez leur(s) lieu(x) de production, leur(s) précurseur(s), leur(s) mécanismes de biosynthèse, de libération et d'action sur leurs cellules-cible.

Réponse à la question II.A

Œstrogène : produit par ovaire. Les cellules de la thèque produisent de la testostérone qui est transformée en œstradiol par les cellules de la granulosa pendant la phase folliculaire.

Progestérone : produit par ovaire : par le corps jaune pendant la phase lutéale.

Les hormones sexuelles sont produites à partir du cholestérol, présentation rapide de la chaîne enzymatique de transformation du cholestérol (le détail des enzymes n'est pas nécessaire).

Elles sont libérées au fur et à mesure de leur production : pas de stockage

Transport dans le sang par des protéines de transport spécifiques ou non-spécifiques

Action sur les cellules-cibles via des récepteurs présents dans le cytoplasme : le complexe hormone-récepteur migre au noyau pour modifier l'expression de certains gènes équipés d'une séquence consensus spécifique dans leur promoteur.

Il existe aussi des récepteurs membranaires expliquant l'action non-génomique, et rapide, des hormones.

II.B - Variation des taux d'hormones sexuelles au cours du cycle

Le graphique ci-dessous montre les variations des taux d'œstrogène et de progestérone au cours du cycle chez la Femme.

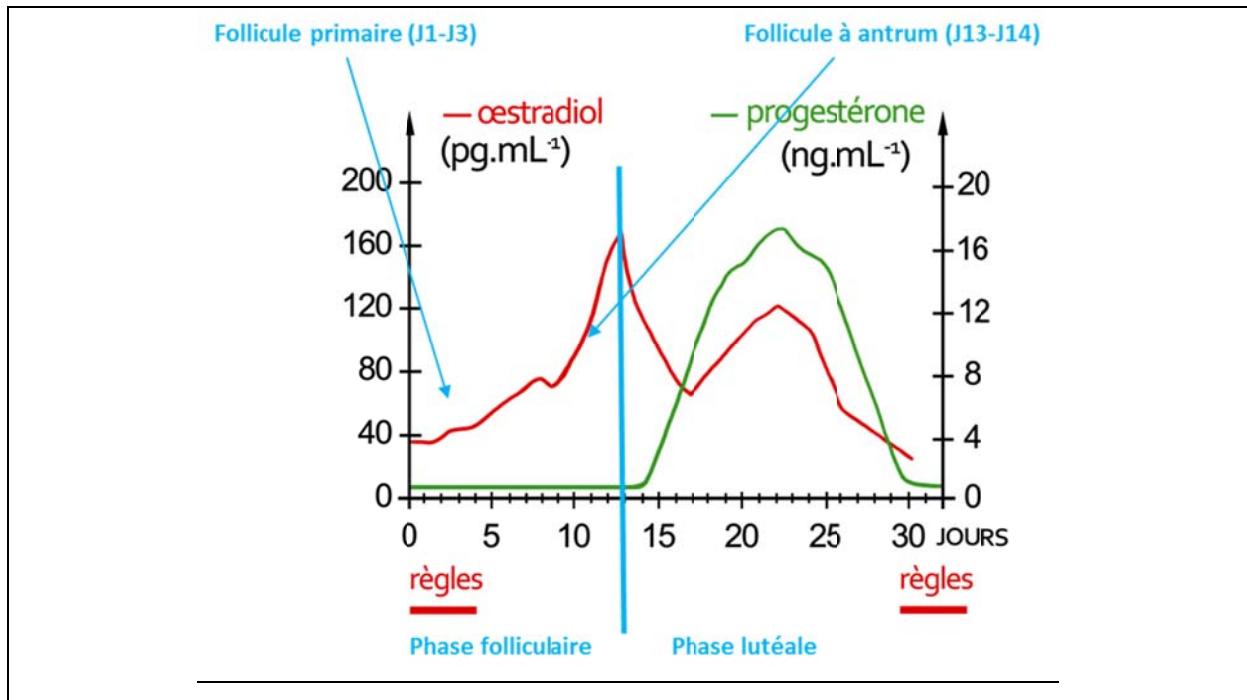
On distingue 2 phases dans le cycle :

- les nommer
- les placer sur le graphique.

A chaque cycle, un follicule est sélectionné et poursuit son développement.

Remplacez sur le graphique les périodes correspondant au stade « follicule primaire » et « follicule à antrum » que vous avez observé sur les coupes histologiques.

Réponse à la question II.B



II.C - Mesure des taux d'œstradiol circulants par dosage immunoenzymatique

Nous allons maintenant évaluer la concentration d'œstradiol circulante dans le sérum à l'aide d'un dosage immunoenzymatique de type ELISA-sandwich.

Pour cela on dispose d'un kit constitué des éléments suivants :

- . barrettes de micropuits coatées avec un anticorps de capture
- . solution d'anticorps de détection couplé à l'acétylcholine estérase (traceur)
- . solution de 17 β -œstradiol (100 ng/ml)
- . réactif d'Ellman (substrat de l'acétyl choline estérase)

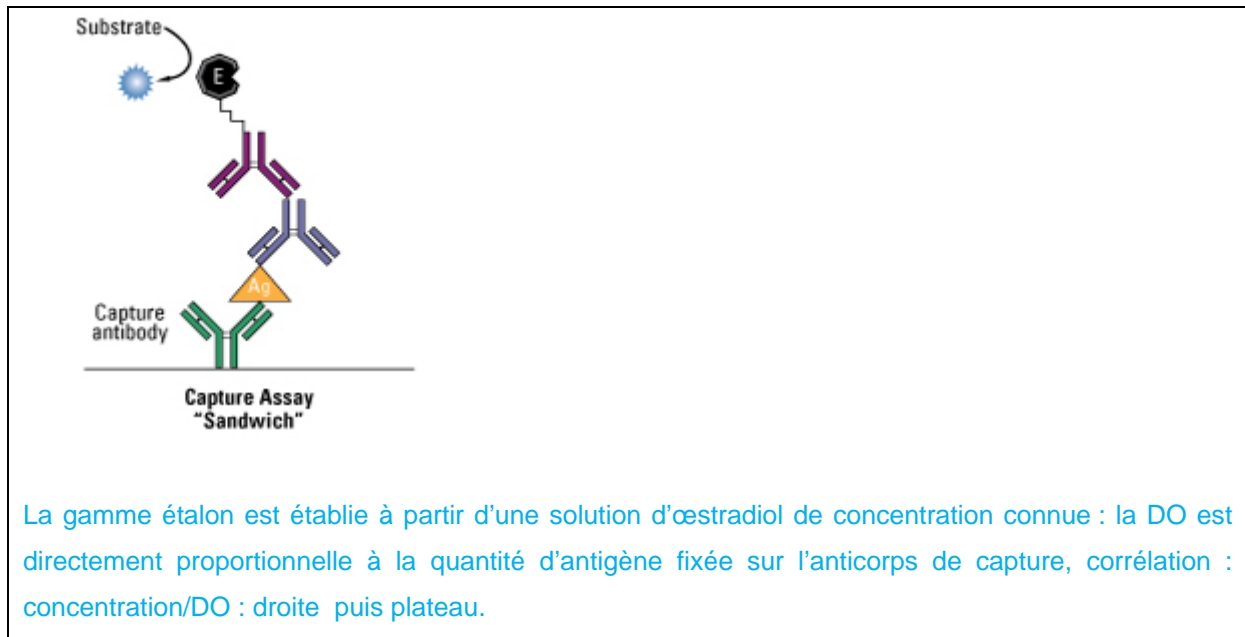
II.C.1 : Explicitez le principe d'un dosage de type ELISA-sandwich (vous pouvez vous aider d'un schéma). Vous préciserez et justifierez l'allure de la courbe-étalon attendue.

Réponse à la question II.C.1

Puit coaté avec anticorps de capture, œstradiol = antigène, anticorps de détection, couplé à l'acétylcholine estérase, réactif d'Ellmann substrat qui donne un précipité soluble.

Bonus : nécessité d'un antigène à deux épitopes pour avoir deux anticorps différents

NB : Le schéma devait indiquer que les anticorps sont fixés à l'antigène par leur partie hypervariable (pas dans le Y)



II.C.2 : Vous allez utiliser un kit de dosage commercial pour doser le 17 β -œstradiol.

Vous disposez de :

- . 2 barrettes de 8 puits déjà coatées avec l'anticorps de capture
- . 400 μ l de solution de 17 β -œstradiol à 100 ng/ml : noté « GE »
- . 1,5 ml de traceur (anticorps de détection couplé à l'acétyl choline estérase) : noté « T »
- . 3 ml de réactif d'Ellmann : noté « Ell »
- . 200 μ l d'échantillon à doser : noté « E »

Voici le protocole que vous aurez à suivre :

- . Préparer une gamme-étalon à partir de la solution de 17 β -œstradiol à 100 ng/ml selon le tableau ci-dessous (avec un volume final de 100 μ l, solvant : eau distillée).
- . Préparer les dilutions appropriées pour le dosage de l'échantillon à doser : 1/1, 1/2, 1/10.
- . Déposer 100 μ l de gamme-étalon ou d'échantillon dans les puits.
- . Ajouter 100 μ l de traceur.
- . Incuber 30 minutes à température ambiante.
- . Rincer 2 fois à l'eau distillée (retourner la barrette sur un papier absorbant, tapoter, rincer les puits avec une pissette d'eau distillée, attention à ne pas éjecter l'eau directement sur le fond du puit).
- . Ajouter 200 μ l de réactif d'Ellmann.
- . Incuber entre 30 et 40 minutes à température ambiante.
- . Lire le résultat à 412 nm.

II.C.2a : préparation de la gamme-étalon :

Détaillez les calculs et le mode opératoire qui vous permettent de construire une gamme-étalon avec les points suivants :

17 β -œstradiol (ng)	0	0,5	1	2	4	6	8	10
----------------------------	---	-----	---	---	---	---	---	----

Réponse à la question II.C.2a

100 ng/ml = 100 ng/1000 µl = 1 ng/10 µl = 0,1 ng								
ng 17 β-oestradiol	0	0.5	1	2	4	6	8	10
Volume (µl) 17b-oestradiol (100 ng/ml) à prélever	0	5	10	20	40	60	80	100
Volume H2O (µl) pour compléter à 100 µl	100	95	90	80	60	40	20	0

II.C.2b : préparation du dosage de l'échantillon.

- indiquez dans le cadre ci-dessous les prélèvements à effectuer pour obtenir 100 µl de l'échantillon à doser aux dilutions suivantes : 1/1, 1/2, 1/10.

Réponse à la question II.C.2b

Dilution 1/1 : 100 µl échantillon

Dilution 1/2 : 50 µl échantillon + 50 µl H2O

Dilution 1/10 : 10 µl échantillon + 90 µl H2O

II.C.2c : évaluation qualitative de la concentration de l'échantillon.

- procédez à la réalisation du dosage : déposer la gamme-étalon et les échantillons à doser dans les puits, déposer ensuite les différents réactifs selon le protocole ci-dessus.

- quand vous estimez que la coloration est suffisamment développée (entre 30 et 40 minutes d'incubation), appelez un surveillant pour lui montrer les résultats de votre dosage

- évaluez qualitativement la concentration de l'échantillon à doser :

Réponse à la question II.C.2c

Evaluation par le surveillant :

Progression linéaire de la gamme

Tous les puits ont le même volume

la bonne dilution est 1/10 (les autres ne sont pas dans la gamme), la coloration se situe entre 4 et 6 ng d'oestradiol soit 5 ng

100 µl de la dilution 1/10 = 5 ng

Donc la concentration initiale de l'échantillon est 500 ng/ml = 0.5 ng/µl

II.C.2d : un dosage similaire a été réalisé et mesuré quantitativement à l'aide d'un spectrophotomètre lecteur de microplaques. Les résultats obtenus sont les suivants :

	GE 0	GE 0.5	GE 1	GE 2	GE 4	GE 6	GE 8	GE 10	E1	E2
DO	0	0.02	0.07	0.154	0.287	0.442	0.598	0.752	0.488	0.302

GE = gamme-étalon identique à celle préparée en II. C.2a

E1 : échantillon issu de la femelle #1 dont la concentration est à déterminer (dépôt d'un aliquot de 100 μl d'un échantillon de sérum concentré 500 fois)

E2 : échantillon issu de la femelle #2 dont la concentration est à déterminer (dépôt d'un aliquot de 100 μl d'un échantillon de sérum concentré 1000 fois)

Tracez la courbe-étalon (sur la feuille quadrillée fournie page suivante) et déterminez graphiquement la concentration exacte des deux échantillons.

A quelle phase de leur cycle étaient les femelles quand elles ont été prélevées ?

Réponse à la question II.C.2c

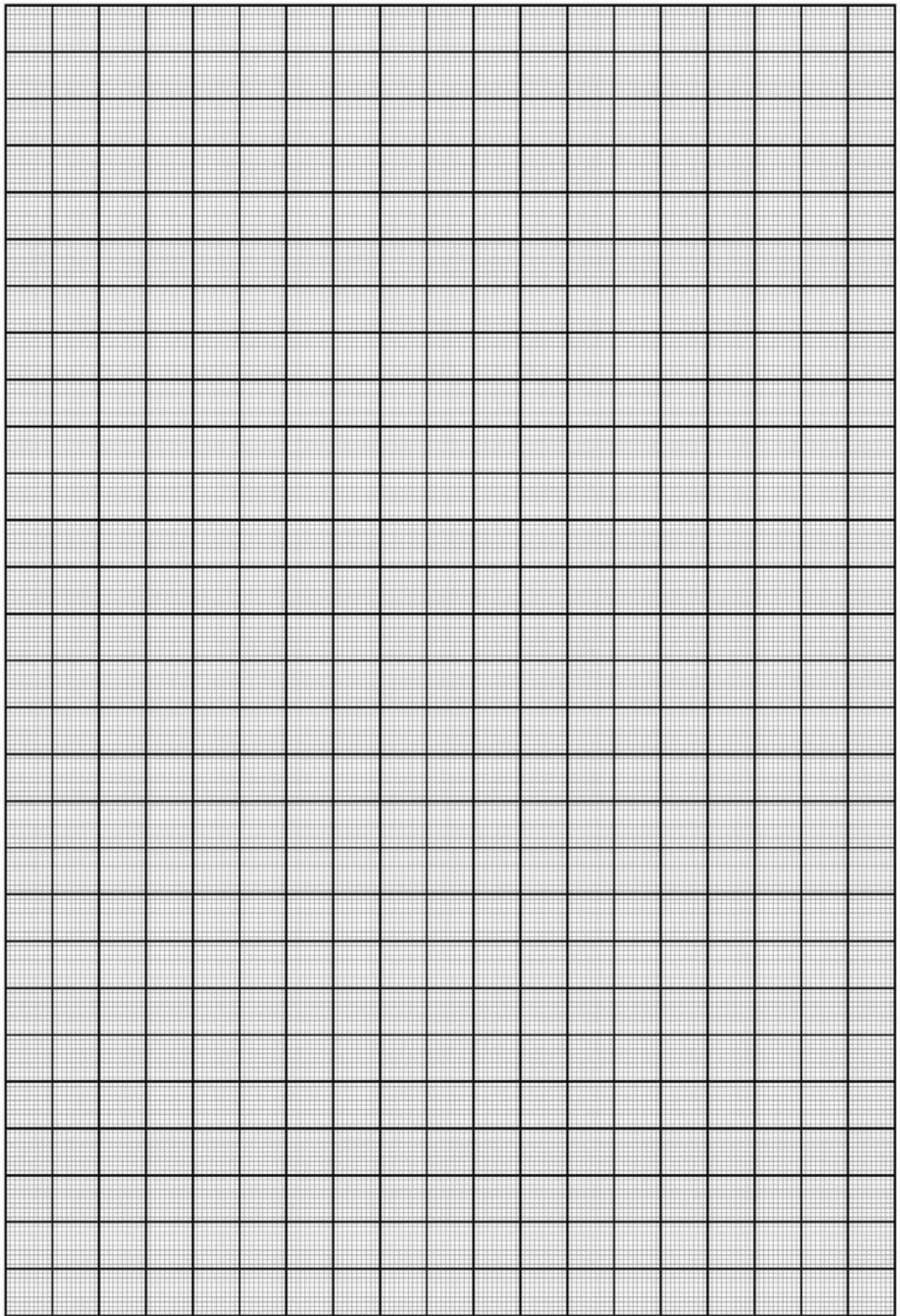
échelle appropriée pour tracer la gamme, unités indiquées sur les axes, titre, détermination graphique E1, détermination graphique E2

Calculs pour concentration E1 : DO qui donne 6,5 ng pour 100 μl soit 65 ng/ml, la solution a été concentrée 500 fois donc la solution initiale est à une concentration de $65 / 500 = 0,13$ ng/ml soit 130 pg/ml.

Calculs pour concentration E2 (2 points) : DO qui donne 4 ng pour 100 μl soit 40 ng/ml, la solution a été concentrée 1000 fois donc la solution initiale est à une concentration de $40 / 1000 = 0,04$ ng/ml soit 40 pg/ml.

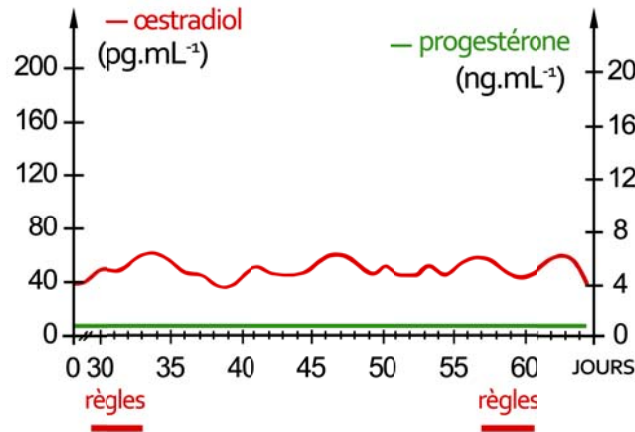
Phase du cycle femelle 1 : pic ovulatoire, transition phase folliculaire/phase lutéale

Phase du cycle femelle 2 : phase des règles, transition phase lutéale/phase folliculaire



II.D - Effet d'un contraceptif oral de type oestro-progestatif

Ce type de dosage a été utilisé pour suivre l'évolution de la concentration sanguine de l'oestradiol et de la progestérone chez une Femme prenant un contraceptif oral. Les résultats sont présentés sur la courbe ci-dessous :



Analysez ces résultats.

Réponse à la question II.D

la prise de pilule abolit la production d'œstrogène et de progestérone.

Pas de pic pré-ovulatoire d'oestradiol donc pas d'ovulation donc pas de corps jaune donc pas de progestérone.

les règles sont maintenues : ce ne sont pas des « vraies » règles mais des saignements de privation.

Partie III : Caractérisation (partielle) de la lignée α ERKO

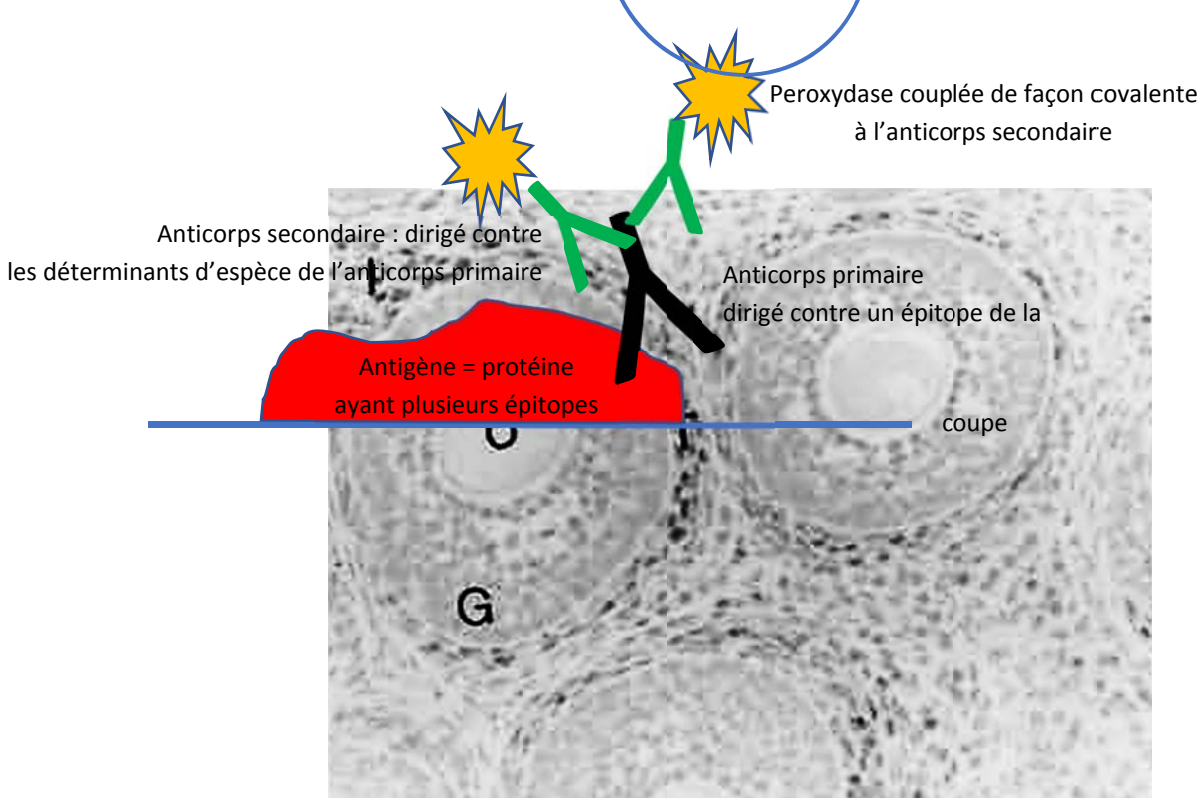
Les récepteurs des œstrogènes existent sous deux formes : ER α et ER β . Ils sont codés par des gènes différents et régulent des fonctions différentes des œstrogènes.

Dans cette partie, nous allons mettre en évidence certaines fonctions ovariennes contrôlées par le récepteur ER α .

III.A - Distribution cellulaire du récepteur ER α

La distribution cellulaire de ce récepteur est analysée à partir de coupes histologiques d'ovaires de souris femelle sur lesquelles un protocole d'immunohistochimie révélée par la peroxydase a été mis en œuvre à l'aide d'un anticorps polyclonal anti-ER α généré chez le lapin (Sar & Welsch, 1999).

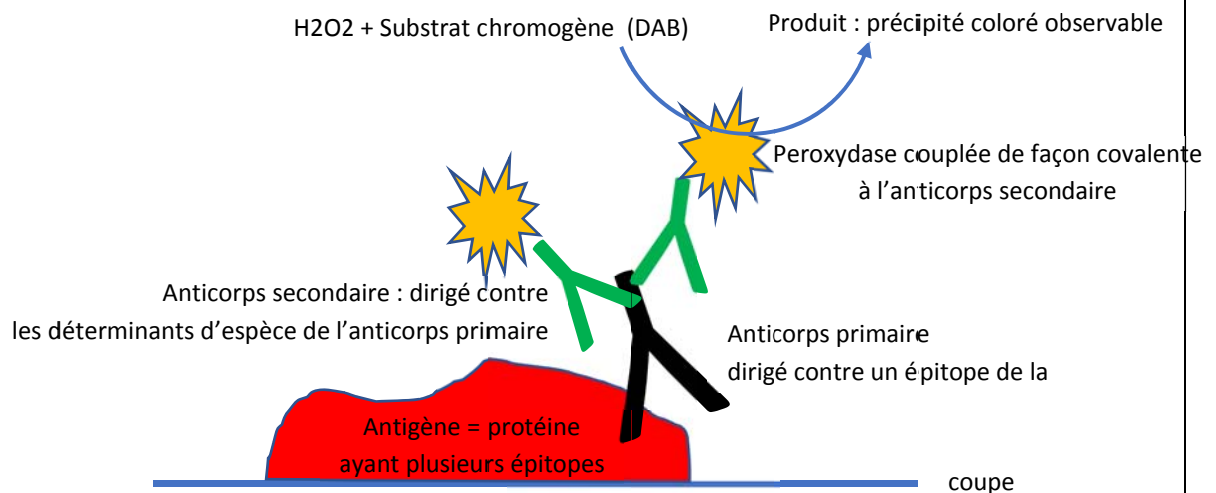
L'image obtenues est la suivante (I : interstitial gland cells, O : oocyte, G ; granulosa cells, T : thecal cells).



(Sar & Welsch, 1999)

III.A.1 : explicitez le principe de la technique d'immunohistochimie révélée par la peroxydase (vous pouvez vous aider d'un schéma).

Réponse à la question III.A.1



antigène = protéine à plusieurs épitopes, anticorps primaire, anticorps secondaire, l'anticorps secondaire est dirigé contre les déterminants d'espèce des anticorps primaires, peroxydase = enzyme couplée de manière covalente à l'anticorps secondaire, catalyse la dégradation de H₂O₂ et d'un substrat chromogène pour donner un produit précipité coloré.

III. A.2 : Quels doivent être les contrôles appropriés pour sa bonne mise en œuvre ? Justifiez à chaque fois vos réponses.

Réponse à la question III.A.2

Incubation sans anticorps primaire : détermination du signal non-spécifique lié au système de révélation

Epuisement de l'anticorps primaire avec une solution d'antigène purifiée en excès ou réactions avec des dilutions croissantes de l'anticorps primaire ou détection menée sur des coupes issues d'un animal KO pour la protéine recherchée : vérification de l'accrochage spécifique de l'anticorps primaire à l'antigène présent dans la coupe

Autre réaction d'immunohistochimie avec un anticorps dont on sait que l'antigène est présent sur la coupe : vérification de l'état du tissu

III. A 3 : Analyse de l'image : quelles sont les cellules qui expriment ER α ?

Réponse à la question III.A.3

Les cellules qui expriment ER α sont les cellules de la thèque, les cellules interstitielles mais pas les ovocytes.

III.B - Analyses fonctionnelles à partir d'une lignée de souris knock-out pour le gène ER α

Lubahn et al. (1993) ont construit la première souris KO pour le gène de l'ER α par recombinaison homologue en insérant une cassette Néo dans l'exon 2 du gène. Le plasmide ainsi construit a été électroporé dans des cellules embryonnaires ES. Ces cellules sont ensuite combinées avec des blastocystes de souris C57/Bl6 et implantées chez des femelles pseudo-gestantes C57/Bl6. La descendance de ces souris a été analysée par PCR à partir d'un prélèvement d'ADN à la queue.

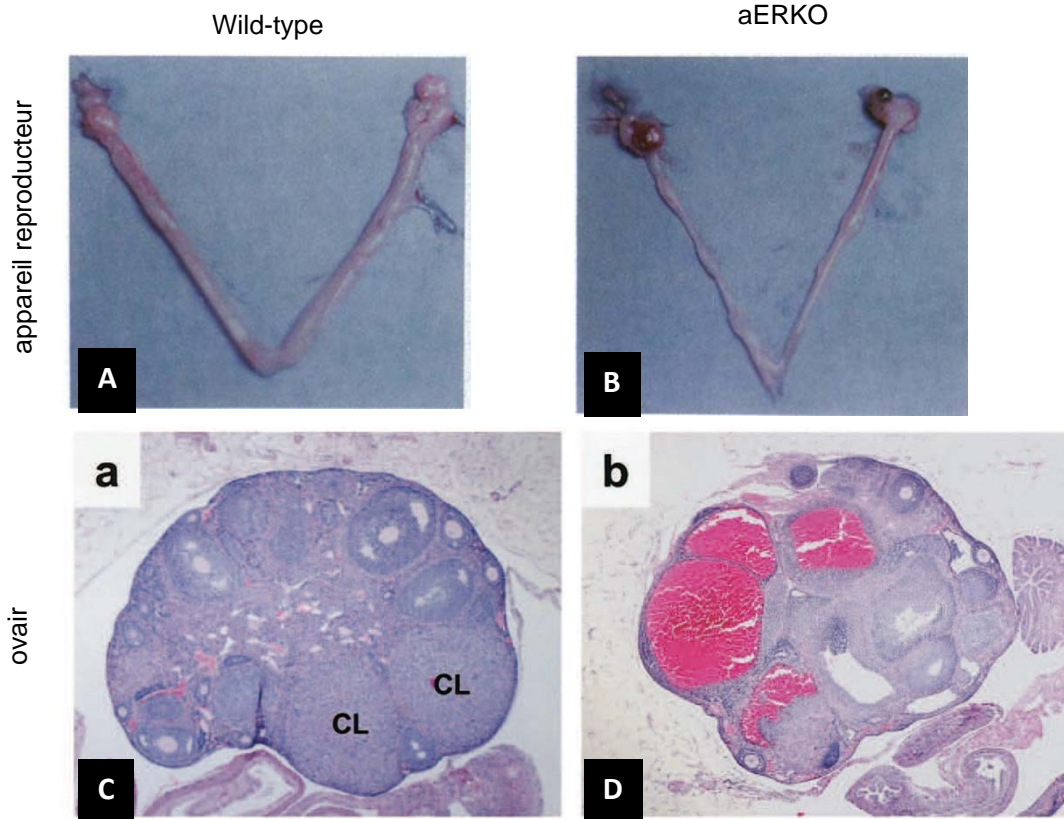
Les ovaires des souris femelles en périodes néonatale et pré-pubertaire apparaissent normaux. Cependant lors du déclenchement de la maturité sexuelle, les femelles apparaissent comme anovulatoires.

Les taux d'hormones circulantes ont été mesurées dans le sérum de souris adultes WT et α ERKO (Couse & Korach, 1999) :

Hormone	Wild type (moyenne \pm SEM)	α ERKO (moyenne \pm SEM)
Œstradiol (pg/ml)	29.5 \pm 2.5	84.3 \pm 12.5 *
Progestérone (ng/ml)	2.3 \pm 0.6	4.0 \pm 1.1
Testosérone (ng/ml)	0.4 \pm 0.4	3.2 \pm 0.6 *
LH (ng/ml)	0.3 \pm 0.04	1.7 \pm 0.3 *
FSH (ng/ml)	4.9 \pm 0.6	5.4 \pm 0.7

* : t-test, wild-type vs α ERKO, P<0.001

L'appareil reproducteur a été observé de manière macroscopique et des coupes d'ovaires ont été réalisées chez de souris femelles adultes WT et homozygotes α ERKO (Lubahn, et al., 1993).



CL : corpora lutea

Que pouvez-vous conclure quant aux régulations exercées par les œstrogènes au niveau de l'ovaire via le récepteur $ER\alpha$?

Réponse à la question III.B

L'ablation du gène codant pour l' $ER\alpha$ induit :

une augmentation significative des niveaux d'œstradiol circulants, et des niveaux de testostérone mais pas de modification des niveaux de progestérone

une augmentation des niveaux de LH mais pas de FSH.

une atrophie des cornes utérines

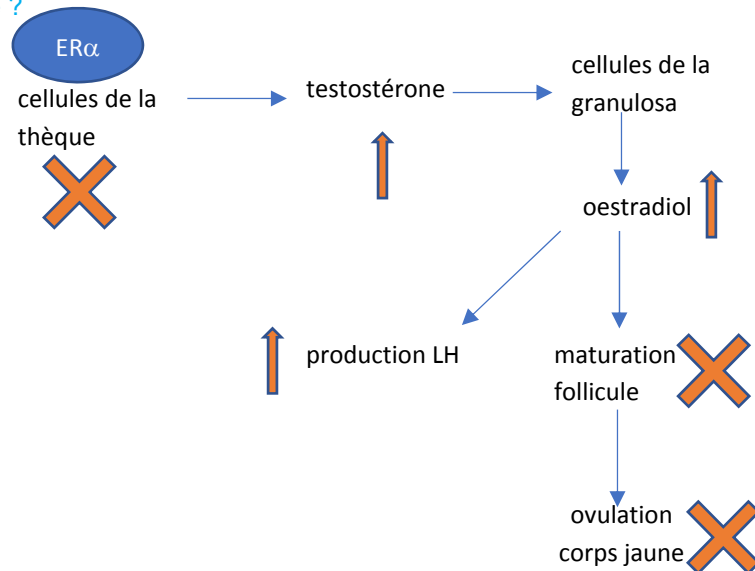
un développement anormal des ovaires : apparaissent très rouges macroscopiquement, en histologie : hypertrophiés, très vascularisés (hémorragiques et kystiques), on trouve des follicules aux différents stades mais il n'y a pas de corps jaune et les follicules présentent une thèque hypertrophiée.

conclusion : l' $ER\alpha$ n'est pas nécessaire à la production des cellules germinales, à la migration des cellules germinales vers les gonades, au recrutement des follicules primordiaux aux premières étapes de la phase folliculaire mais l'absence de corps jaune indique un blocage de la différenciation terminale. Ceci est cohérent avec le caractère anovulatoire de ces souris.

La thèque hypertrophiée est cohérente avec les hauts niveaux de LH qui stimulent les cellules de manière chronique et qui ainsi produisent beaucoup de testostérone qui sera transformée par les cellules de la granulosa.

L'ER α est exprimé par les cellules de la thèque chez le wt (cf question d'avant) : son absence chez les KO n'empêche pas la production d'œstradiol.

L'ER α est indispensable pour la phase terminale de la phase folliculaire : malgré la production d'œstradiol, il n'y a pas d'ovulation et de formation du corps jaune. Défaut de cyclicité et de production d'un pic ovulatoire ?



5.5 Epreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur B : Sujet et commentaires

5.5.1 Présentation de l'épreuve

Le TP de b était résolument manipulateur sans aucun document connexe et visait à tester les aptitudes d'observation et de déduction des étudiants tout autant qu'à évaluer leurs connaissances naturalistes. Les résultats ont été très corrects avec une moyenne de $12,35 \pm 2,68$ [3,64-17,03]. Il n'y a aucune différence significative entre les résultats des optants A et des optants C et il y a autant de A que de C dans les 20 meilleures notes. Ceci dit le jury a noté que certains étudiants de secteur C baissaient les bras au point de ne pas faire les manipulations alors qu'ils en avaient largement le temps ce qui a donné lieu à une plus forte proportion de C dans le dernier quartile. Ne pas tenter les manipulations est donc extrêmement pénalisant, il est rappelé aux candidats qu'enseigner en SVT c'est avant tout enseigner en travaux pratiques. La curiosité face à l'inconnu, la minutie manipulative et la réflexion interprétative sont des compétences fondamentales que le jury continuera de tester.

5.5.2 Présentation de l'épreuve

Première partie – analyse d'une exuvie de cigale

Tant pour l'étude de l'exuvie de cigale que pour la reconnaissance des organismes du sol, les candidats ont des connaissances théoriques mais ont des difficultés à les mobiliser de façon pertinente face à un problème pratique. Par exemple, certains candidats ont cherché à faire correspondre l'organisme étudié avec le taxon où ils voulaient le placer, menant à des descriptions irréalistes (par exemple, la reconnaissance d'une larve de diptère en interprétant les fourreaux alaires comme une seule paire d'aile, alors que les diptères sont holométaboles). La plupart ont présenté des dessins corrects voir même excellents pour l'exuvie de cigale. Si beaucoup de candidats ont remarqué la première paire de patte, la majeure partie n'a pas su l'associer à un mode de vie fouisseur, supposant un rôle dans le maintien sur l'écorce, voir des pattes ravisseuses (pour le coup, le savoir théorique que les cigales juvéniles sont souterraines aurait pu être utile). En outre, la mobilisation d'un savoir théorique (les cigales chantent !) aurait sans doute permis à certains de repérer le cymbarium, mais très peu de candidats ont relevé cet organe pourtant très visible sur la photo. Ceux qui l'ont vu et commenté ont été évidemment valorisés. De même, les pièces buccales du type piqueur/suceur, et le fait qu'elles soient conservées (indiquant une alimentation semblable), n'ont pas toujours été relevés (avec sans doute des conséquences pour comprendre la coupe de racine avec empreinte du stylet, qui donnait par ailleurs un indice sur le mode de vie fouisseur ...). Si la grande majorité des candidats a proposé un montage de qualité des trachées, près de 15% d'entre eux n'ont pas réalisé la manipulation ce qui les a relativement très lourdement pénalisés. Il est rappelé aux candidats qu'ils doivent préparer les conditions d'observation pour le jury et que ce dernier ne va pas aller se promener sur la lame pour y déceler les points d'intérêt. Le microscope doit être prêt avec le bon grossissement permettant une observation directe.

Deuxième partie : anatomie de la racine de Poaceae

Globalement les candidats maîtrisent le geste de la coupe végétale et de nombreuses préparations étaient vraiment excellentes, fines et permettant d'y identifier tous les tissus. Il est conseillé aux candidats de multiplier le nombre de coupes ce qui permet la sélection des plus fines, des moins biseautées, des mieux colorées et offre plus de possibilités d'identification tissulaire.

La coloration au rouge de Ruthénium a visiblement peu prise sur les préparations des candidats mais là où beaucoup ont décrété que cela rendait les tissus non identifiables, d'autres, bien plus constructifs ont intensifié leur niveau d'observation pour repérer phloème et péricycle, bien visibles malgré tout.

Les représentations schématiques ont par contre donné lieu à des productions globalement médiocres. Le premier problème provient du soin apporté à la restitution graphique et d'abord dans la fidélité des proportions de la coupe très peu respectées par la majorité. Il est aussi très surprenant que près des 2/3 des productions ne présentent pas d'échelle ! Cela devrait être un réflexe. Il est rappelé qu'un grossissement explicite bien les conditions d'observations mais en rien les dimensions de l'objet comme il existe une variation entre la taille d'observation et celle de dessin. Beaucoup de candidats n'ont explicité qu'un nombre très limité de tissus souvent avec de nombreuses erreurs (collenchyme au lieu de sclérenchyme, inversion cortex et medulla, parfois xylème et phloème) ce qui est problématique au vu des enseignements à dispenser au lycée. Quant à la déduction demandée de la nature de l'organe et de la position systématique elle est souvent réussie mais donne aussi lieu à beaucoup trop d'identifications fantaisistes ou non justifiées. La symétrie, qui est le premier critère d'identification n'est citée que par trop peu de candidat. Le simple fait de posséder des poils et d'avoir une symétrie radiale n'est en rien un critère de racine comme beaucoup de tige sont très poilues (cf les Borraginacées) et donc pour obtenir les points de justification de racine il fallait adjoindre le sens de différenciation du xylème, et/ou l'alternance des pôles xylémiens et phloémiens. Si certaines coupes, trop épaisses ou trop biseautées, ne permettaient pas aux candidats d'aboutir à l'identification, ils auraient pu obtenir des points à la simple analyse morphologique de leur organe : à la loupe binoculaire

Quant à l'identification de l'interaction entre les larves de cigales et les racines, peu de candidats ont réellement exploité les observations extraites de la photographie pour en interpréter le sens. Certains candidats ont eu à ce propos une imagination débordante y voyant des galles, des mycorhizes des nodosités mais aussi des poils absorbants parasitant une cigale. Cette question pourtant simple a été finalement très discriminante.

Troisième partie : faune du sol

La photographie des horizons d'un sol de pinède a donné lieu à de multiples réponses très théoriques et peu basées sur une réelle analyse des différentes caractéristiques du sol. Une interprétation se construit certes en référence avec des connaissances théoriques mais une interprétation qui se construit sans constats explicite ne peut rendre compte d'une réalité observable !

La faune du sol était présente dans des pots transparents afin de permettre directement l'observation sous la loupe binoculaire et le prélèvement des échantillons d'intérêt. Or quasiment aucun candidat n'a utilisé cette propriété et la majorité a soit uniquement détecté la macrofaune à l'œil nu soit déposé le contenu d'un pipetage aléatoire sur la lame ! Le réflexe de vouloir grossir des prélèvements de petite taille, que beaucoup d'enseignants utilisent en cycle 3 et 4 dans leur démarche d'investigation n'est donc pas encore acquis par la grande majorité des étudiants préparatoires ! Certes le stress trouble souvent les candidats mais un minimum de réflexe (regarder un prélèvement à la bino pour choisir ses trois échantillons) était ici salvateur ! Si la confusion entre diploure et collembole n'était pas trop pénalisante, la confusion entre nématode et larve d'insecte n'est pas acceptable. Les capacités d'identification et justification se sont avérées très variables, depuis une absence totale jusqu'à des identifications excellentes, et de fait cette question a largement discriminé les candidats. La faune du sol est un outil très pratique en classe pour évaluer la biodiversité, comprendre des réseaux d'interaction et des flux de matière, il semble donc important de maîtriser un minimum de connaissances naturalistes sur ce compartiment. Si la correction a été détaillée ce

n'est pas du tout ce qui était attendu des étudiants. Le maximum des points par reconnaissance a été donné aux étudiants capables d'identifier collembole, lithobie, iule, insecte (grillon, blatte, fourmis), araignée, acarien, pseudoscorpion, et de justifier deux niveaux taxonomiques (myriapode ou chélicérate ou hexapode, insecte ou collembole, chilopode ou diplopode, arachnide ou acarien ou pseudoscorpion...)

5.5.3 Sujet commenté

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2019

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE OPTION DU SECTEUR B

CANDIDATS DES SECTEURS A ET C

Durée totale : 2 heures

Interactions trophiques dans la pinède

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

Partie I : Biologie d'un organisme page 2

Durée conseillée : 55' – barème : 9/20

Partie II : Identification d'un organe végétal page 6

Durée conseillée : 45' – barème : 7,5/20

Partie III : Structure du sol et pédofaune page 9

Durée conseillée : 20' – barème : 3,5/20

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

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

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

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier



Partie I : Biologie d'un organisme

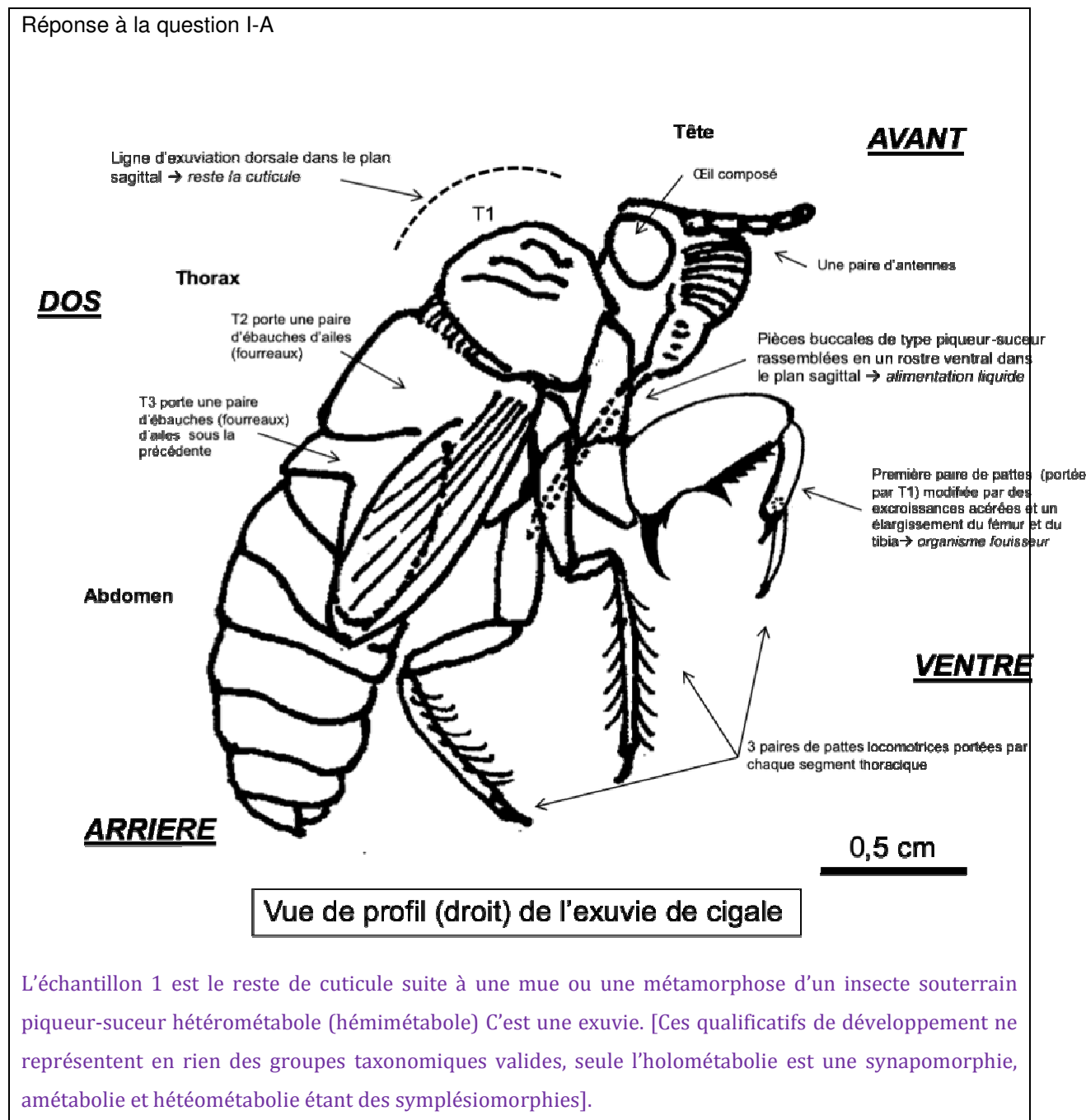


Cette photographie des exuvies telles qu'elles ont été collectées a donné lieu à des surinterprétations sur le lieu de vie des larves, souterraines et non aériennes. Les larves passent entre deux et trois ans sous terre et n'en sortent que pour la nymphose. Les exuvies sur les troncs sont donc la preuve que la nymphose s'est produite ici. L'ensemble des exuvies orientées vers le haut laisse à penser que les larves grimpaient et donc provenaient du sol.

Photographie de l'échantillon fournis (échantillon 1) dans sa position de collecte (Saint-Blaise, Bouches du Rhône, 28 juin 2017, © J-F Mauffrey).

I- Diagnose et inférence sur la biologie d'un organisme

I.A- Vous réaliserez une étude morphologique de l'échantillon 1 fourni. Vous restituerez cette analyse sous la forme d'un ou plusieurs schémas adjoints d'une légende fonctionnelle :



I.B- Proposez une diagnose raisonnée permettant de situer le plus précisément possible cet échantillon dans la taxonomie : vous prendrez soin de vous appuyer sur les caractères mis en évidence dans votre réponse I-A vous permettant de justifier chaque niveau taxonomique

Réponse à la question I-B

- Bilatérien (symétrie bilatérale ; les indications avant/arrière donnent l'axe antéro-postérieur et dos/ventre l'axe dorso-ventral)
- Cuticulate (l'échantillon est une exuvie dont l'animal s'est donc extrait)
- Arthropode (présence d'appendices articulés)
- Antennate (présence d'antennes)
- Hexapode (trois paires de pattes)
- Insecte (pièces buccales externes)
- Ptérygote (présence d'ailes). [Neoptères (aile à champ jugal et aile repliée au repos) et Paranéoptères (une seule nervure dans le champ jugal)]
- Hémiptère (appareil piqueur suceur & 2 paires d'ailes)
- Homoptère (4 ailes identiques) mais le groupe est paraphylétique (pucerons à la base des hémiptères, puis punaises et finalement fulgures+cercopes+cigales et cicadelles) donc soutenu par une synplésiomorphie (celle des hémiptères). Cryan et Urban Systematic Entomology 2011, DOI: 10.1111/j.1365-3113.2011.00611.x; Wang et al. Int. J. Mol. Sci. 2015, 16, 12382-12404; doi:10.3390/ijms160612382

I.C- A partir de vos observations, proposez des hypothèses sur le milieu de vie, le régime alimentaire et le devenir de cet échantillon.

Réponse à la question I-C (3 points)

La présence de pattes fouisseuses permet de supposer que l'animal est souterrain.

Des pièces buccales de type piqueur suceur indiquent une alimentation liquide.

L'exuvie atteste d'un processus de mue étant relié à un processus de croissance ou de métamorphose.

I.D- A l'intérieur de l'échantillon repérez des structures filamenteuses de couleur blanc nacré. Après avoir pris soin de repérer les connexions anatomiques de ces structures au reste de l'échantillon, vous réaliserez un

prélèvement de ces structures que vous monterez entre lame et lamelle pour identification formelle. Sans dessiner votre montage vous produirez un texte court récapitulant vos observations et conclurez sur la nature et la fonction de ces structures.

Réponse à la question I-D

Le montage révèle un système tubulaire creux et éventuellement ramifié, connecté à l'extérieur par des ouvertures (stigmates ventraux latéraux). La tubulure est soutenue par des anneaux de cuticule (ténidies) permettant d'en renforcer l'armature et d'en limiter le collapsus.

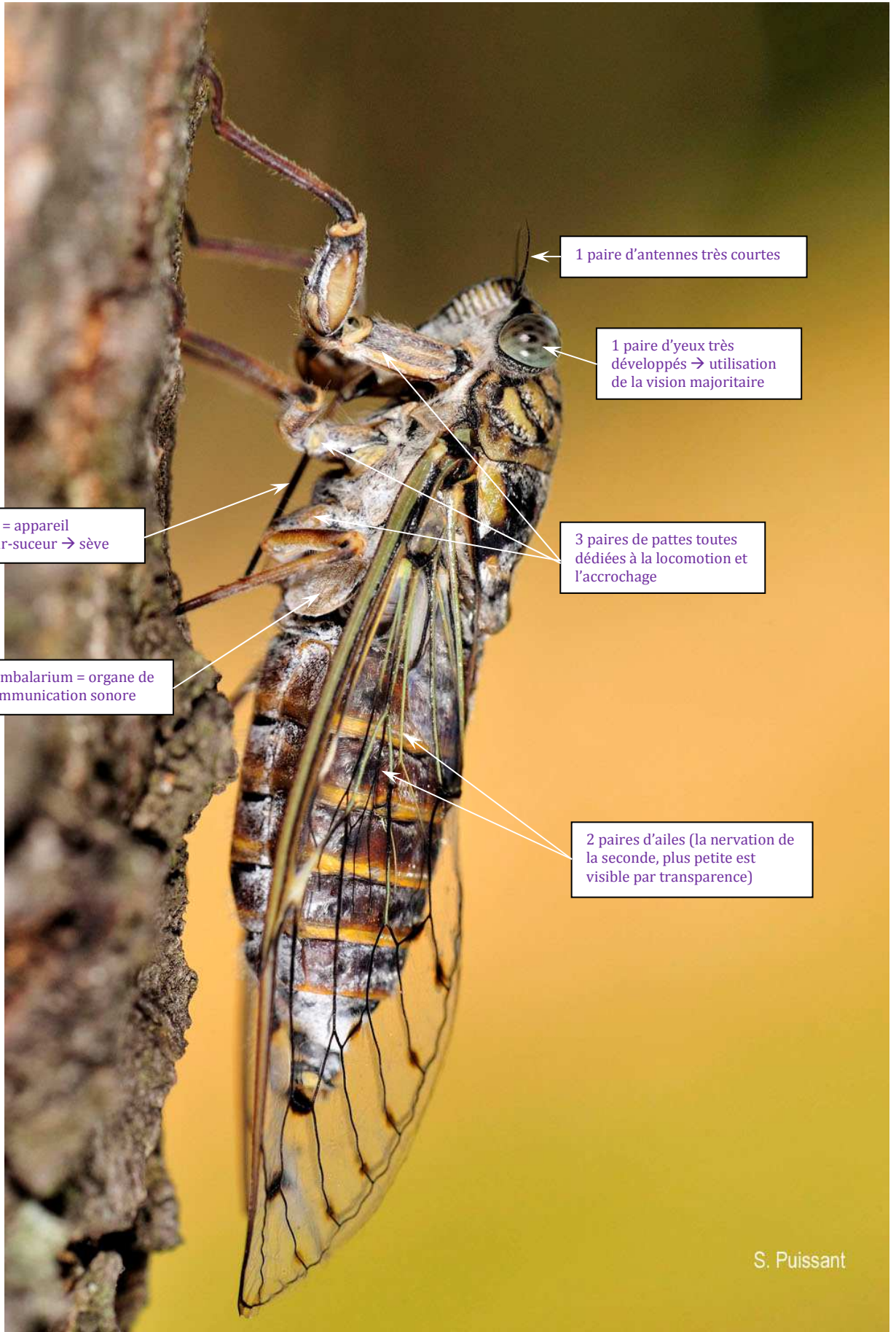
→ C'est un système de respiration trachéen (mode de respiration aérien) dont la cuticule des gros troncs est évacuée au moment de la métamorphose.

I.E- En utilisant la photographie suivante vous mènerez une étude comparée entre votre échantillon et le stade qui lui fait suite. Vous mettrez l'accent sur les modifications morphologiques et ce qu'elles impliquent de changement de mode et milieux de vie. Vous pouvez légènder la photographie fournie et récapitulez vos résultats comparatifs dans le cadre de réponse.

La photographie ci-dessous illustre l'animal dans sa forme suivant celle que vous analysez.

Photographie de l'animal adulte en position de vie. L'animal mesure 6 cm

(https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/51913)



1 paire d'antennes très courtes

1 paire d'yeux très développés → utilisation de la vision majoritaire

Rostre = appareil piqueur-suceur → sève

3 paires de pattes toutes dédiées à la locomotion et l'accrochage

Cymbalarium = organe de communication sonore

2 paires d'ailes (la nervation de la seconde, plus petite est visible par transparence)

Réponse à la question I-E

<u>Critère</u>	<u>Exuvie de cigale</u>	<u>Cigale adulte</u>
<u>Pattes</u>	Première patte fousseuse	Première patte locomotrice
<i>→ Changement de milieu de vie de souterrain à aérien</i>		
<u>Pièces buccales</u>	Piqueur suceur	Piqueur-suceur
<i>→ Aucun changement de régime alimentaire, mais prélèvement de sève des racines pour la larve, et des tiges pour l'adulte</i>		
<u>Ailes</u> fines)	Fourreaux alaires (épais et courts)	Ailes déployées (longues et fines)
<i>→ La phase adulte est une phase dispersive alors que la phase larvaire se déplace peu</i>		
<u>Coloration</u>	exuvie claire	coloration mimétique
<i>→ Faible pression de sélection sur la couleur dans l'obscurité du sol et forte pression de prédation chez l'adulte aérien, mimétique des troncs.</i>		
<u>Organes sensoriels</u>	Antenne/yeux/soies	
	Antennes/yeux/soies/cymbalarium	
<i>→ Développement d'un organe de communication sonore entre adulte en lien avec l'acquisition de la maturité sexuelle.</i>		

Partie II : Identification d'un organe végétal

II.A- Vous réaliserez une coupe transversale de l'organe (échantillon 2) que vous colorerez à l'aide du protocole suivant.

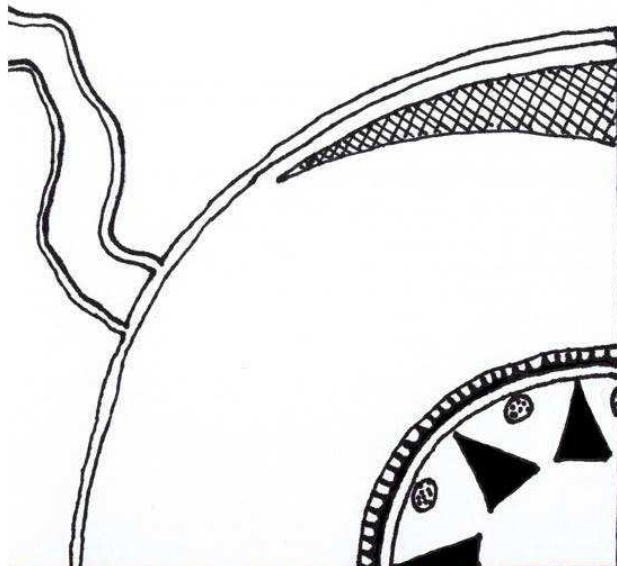
Vous prendrez soin de faire viser votre coupe par l'examineur (même si vous n'êtes pas satisfait de votre travail !) Vous restituerez vos observations sous la forme d'un schéma légendé, fidèle et respectant les proportions, qui explicite la nature des différents tissus et conclue quant à la nature de l'organe et la position taxonomique de l'échantillon :

Protocole de coloration :

- 7' au bleu de méthylène aluné
- Rinçage à l'eau distillée
- 7' au rouge de ruthenium
- Rinçage à l'eau distillée

Ce protocole permet de colorer la cellulose en rouge, la lignine en bleu / violet et la subérine en vert.

Réponse à la question II-A



Rhizoderme avec poils absorbants (2 représentés)

Assise lignifiée (sur portions plus âgées de la racine)

Parenchyme cortical de réserves (amyloplastes non visibles ici du fait du vidage par le bleu aluné)

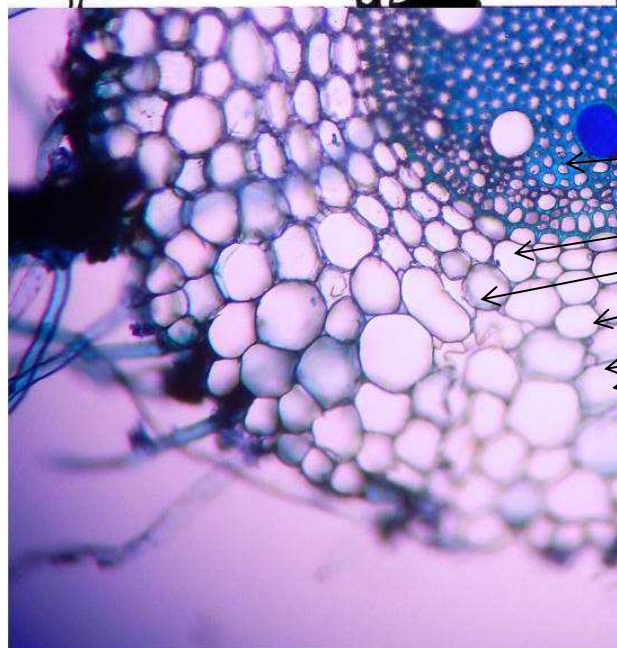
Endoderme à subérification en U → Monocotylédone

Péricycle

Xylème primaire à différenciation centripète → racine

Ilot de phloème primaire (alternant avec le xylème → racine)

Parenchyme médullaire sclérifié



Cellule de parenchyme sclérifié (bleu → lignine)

Métaxylème I (3 visibles)

Protoxylème I (4 pôles)

Phloème primaire (rosé → cellulose)

Péricycle

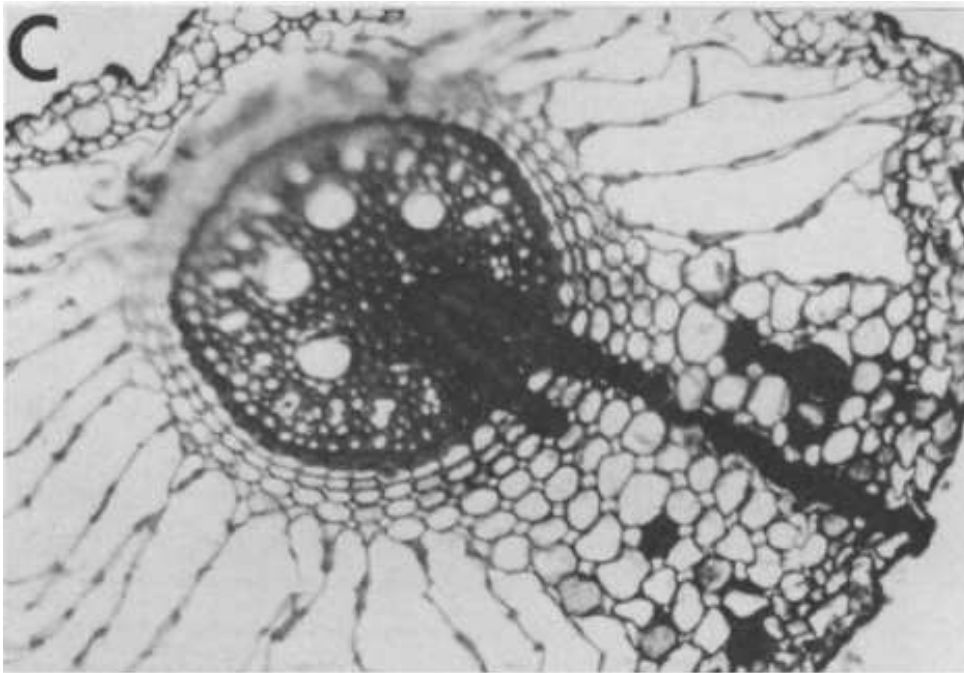
Endoderme (vert → subérine)

0,2 mm

L'organe présente une symétrie axiale et la coupe une symétrie centrale, typique d'une racine ou d'une tige. Les pôles xylémiens alternent avec les pôles phloémiens, et le xylème présente une différenciation centripète, l'organe est donc une RACINE. La subérification de l'endoderme en U

ainsi qu'un grand nombre de pôles xylémiens (3 à 4 par $\frac{1}{4}$ de coupe donc entre 9 et 16 par coupe) sont des synapomorphies de Monocotylédones. L'organe présenté est donc une racine de Monocotylédone (et plus précisément d'une Poacée).

II.B- La photographie suivante (extraite de Lloyd et White, OHIO J. SCI. 87 (3): 50-54, 1987) illustre le résultat d'une interaction entre les deux protagonistes précédemment décrits (échantillon 1 et 2). Décrivez brièvement vos observations et concluez sur votre étude de l'organisme étudié en I.



Le diamètre de la coupe mesure 1 millimètre.

Réponse à la question II-B

Observations : la coupe anatomique de racine (similaire à celle réalisée à partir de l'échantillon 2) révèle ici une ligne complète de cellules remplies d'une substance noire qui depuis l'épiderme se prolonge jusque dans le cylindre central au niveau du métaxylème, ainsi que deux autres lignes discontinues (une corticale au dessus et l'autre médullaire et dépassant de l'endoderme au-dessous).

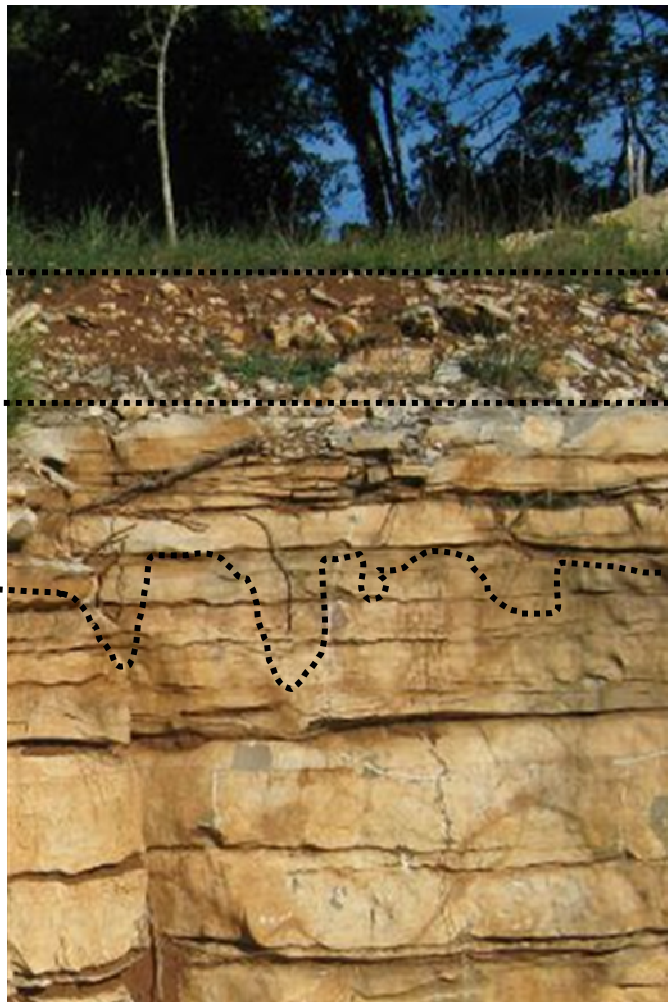
Ces lignes pourraient matérialiser les symptômes d'une blessure linéaire occasionnée par un appendice long, fin et rectiligne qui pourrait être le stylet perforant de la larve de cigale.

Sous cette hypothèse, la larve se nourrirait de sève brute qu'elle puise au sein des cellules xylémiennes et plus précisément des gros éléments de vaisseaux de métaxylème, conduits majoritaires du flux, ce qui permet d'en maximiser l'aspiration.

Partie III : Structure du sol et pédofaune

III.A- A partir de la photo suivante illustrant un profil de sol (<http://solsetpaysages.canalblog.com>), identifiez les différentes limites structurales du sol et explicitez très brièvement les processus qui s'y déroulent.

Réponse à la question III-A



[Strate herbacée]

[Horizon O (très peu visible = de la litière à l'humus)]

Horizon A = mélange de matière organique (humus de type Mull carbonaté) avec de la matière minérale issue de l'altération des calcaires (argiles riches en fer) le Ca^{2+} complexe l'argile et l'humus.

Horizon C = altération de la roche mère
Hydrolyse du calcaire (racines et infiltration de l'eau)


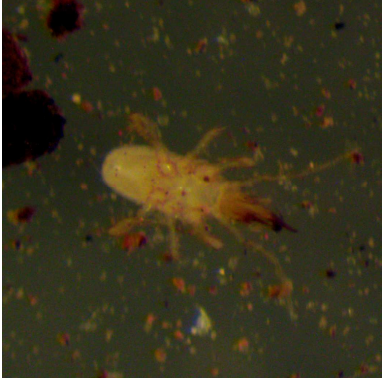
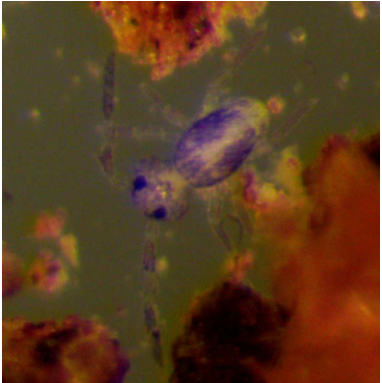
Horizon R = roche mère calcaire

→ Il s'agit d'un sol de type Rendosol (Rendzine) très commun sur les substrats calcaires

Au fond de la salle vous disposez de deux stands (deux pots et deux loupes binoculaires) correspondant au résultat du fonctionnement d'appareil de Berlèse pendant 1 semaine à partir de litière de pin d'Alep. Prélevez les organismes que vous choisirez pour votre diagnose et vous les exposerez sur une lame (ou entre lame et lamelle) pour les montrer au jury.

III.B- Déterminez (diagnose justifiée) trois organismes différents après les avoirs montrés à l'examineur :

Réponse à la question III-B

Organismes choisis	Diagnose
<p>Organisme 1 :</p> 	<p>Symétrie bilatérale → Bilatériens</p> <p>Appendices articulés → Arthropodes</p> <p>Antennes → Antennates</p> <p>Répétition de segments le long de l'axe antéropostérieur portant plus de 8 paires de pattes → Myriapodes</p> <p>1 paire de patte par segment → Chilopodes</p> <p>Lithobiomorphe (l'animal mesure 6 mm)</p>
<p>Organisme 2 :</p> 	<p>Symétrie bilatérale → Bilatériens</p> <p>Appendices articulés → Arthropodes</p> <p>Chélicères → Chélicérates</p> <p>Corps constitué d'une seule partie → Acariens</p> <p>Oribates (l'animal mesure 0,3 mm)</p>
<p>Organisme 3 :</p> 	<p>Symétrie bilatérale → Bilatériens</p> <p>Appendices articulés → Arthropodes</p> <p>Antennes → Antennates</p> <p>3 paires de pattes → Hexapodes</p> <p>Pièces buccales internes et furca (organe de saut) → Collemboles</p> <p>Abdomen non divisé → Symphypléones (l'animal mesure moins de 0,1 mm)</p>

L'échantillon de sol était très riche de nombreux collemboles (notamment des Poduromorphes ou Entomobryomorphes bien plus gros que le Symphypléone présenté) d'acariens divers et variés (Phytacarides, Oribates, Mesostigmates) de pseudoscorpions, d'araignées, d'annélides Oligochètes, d'insectes (fourmis, psoques, Coléoptères Staphilinidés, Coléoptères Lampyridés, grillons, blattes), de Myriapodes Diplopodes (Iuidae) ou Chilopodes (Lithobiomorphes et Géophilomorphes), de Myriapodes

Symphyles et Polyxènes... largement de quoi exprimer un minimum de culture naturaliste sur la faune du sol.

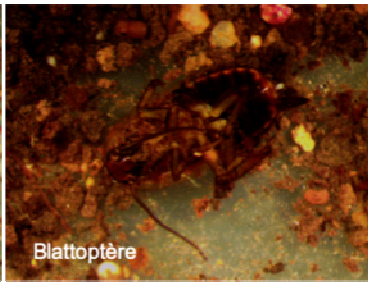
Petit bestiaire

Macrofaune

2 mm



Larve de Coléoptère Lampyridae



Blattoptère



Larve de Coléoptère Staphylinidae

Mésafaune

1 mm



Annélide oligochète



Pseudoscorpion



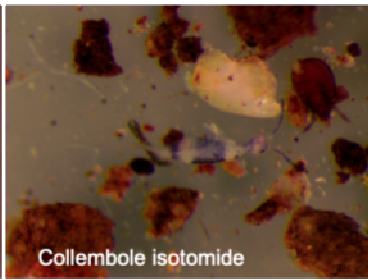
Myriapode lithobiomorphe

Microfaune

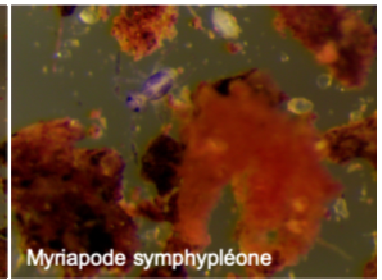
0,2 mm



Myriapode diplopode iulidae



Collembole isotomide



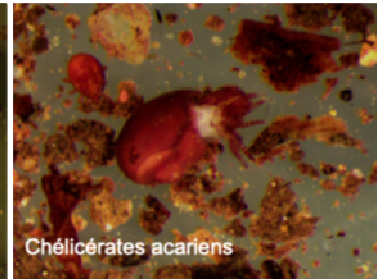
Myriapode symphypléone



Myriapode Polyxenidae



Myriapode symphyle



Chélicérates acariens

5.6 Épreuve de travaux pratiques de contre-option du secteur C : Sujet et commentaires

5.6.1 Présentation de l'épreuve

Le sujet de TP de contre option pour les candidats des secteurs A et B portait sur l'étude de structures géologiques de la planète Mars. Trois parties successives pour ce TP permettant de caractériser un cratère, d'étudier les roches le constituant et de la date en faisant appel à des techniques de datation spécifiques.

5.6.2 Sujet commenté

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2017

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE OPTION DU SECTEUR C

CANDIDATS DES SECTEURS A ET B

Durée totale : 2 heures

Titre :

Le cratère Gale, Mars

Certaines parties nécessitent des réalisations, prévoyez donc votre organisation en conséquence.

Partie I : Contexte géologique, le cratère Gale

page 2

Durée conseillée : 20 min– barème : 14/74

Partie II : Les roches du cratère Gale

page 5

Durée conseillée : 60 min– barème : 38/74

Partie III : L'âge du cratère

page 13

Durée conseillée : 40 min– barème : 22/74

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

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

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

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier

Partie I : Contexte géologique : le cratère Gale

I- Contexte géologique du cratère Gale

I.A- Localisation et dimension du cratère

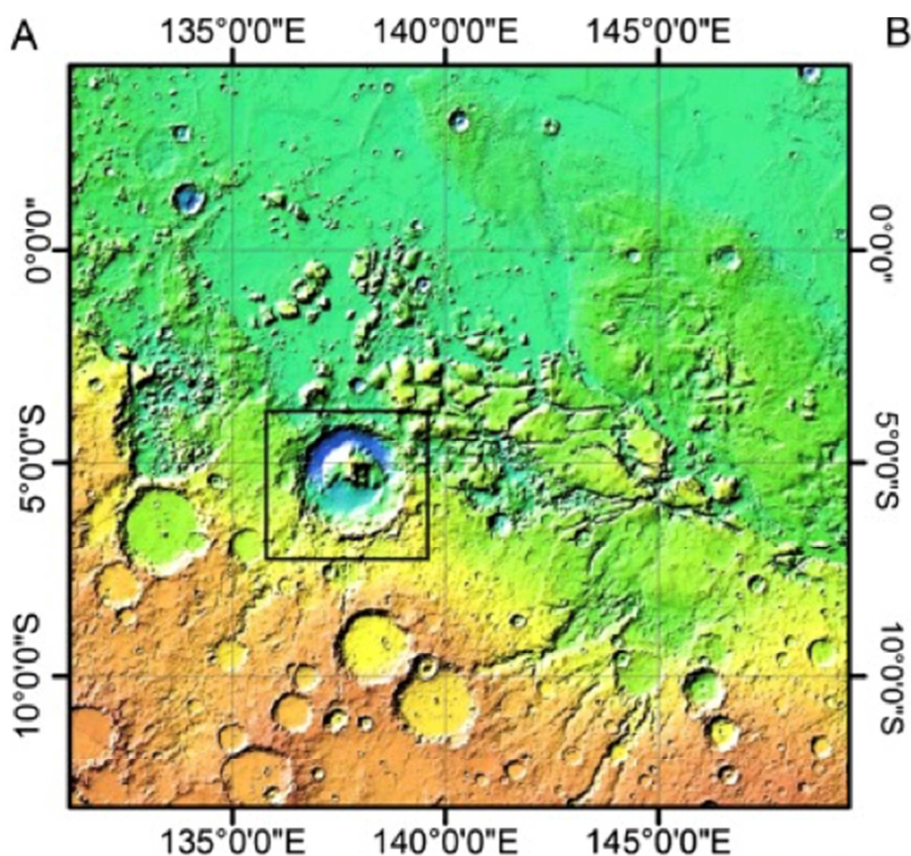


Figure 1 : Le cratère Gale (encadré) localisé sur un fond topographique de Mars (MOLA/NASA).

Question I-A : Sachant que le rayon de Mars est de 3390 km, à l'aide de la figure 1 estimer le diamètre du cratère Gale (détailler le calcul) (2 points).

Réponse à la question I-A

La circonférence de Mars est $2 \times \pi \times R = 21360$ km. Le diamètre du cratère fait environ 2.5 degré en longitude (ne pas utiliser la latitude, car la circonférence des parallèles change avec la latitude). Sachant que la circonférence de Mars fait 360° , une règle de 3 nous donne un diamètre de 150 km environ.

Beaucoup d'erreurs car l'équation de la circonférence d'un cercle (ou de la longueur d'un arc de cercle) n'ai pas connue.

I.B- Réalisation d'un profil topographique du cratère

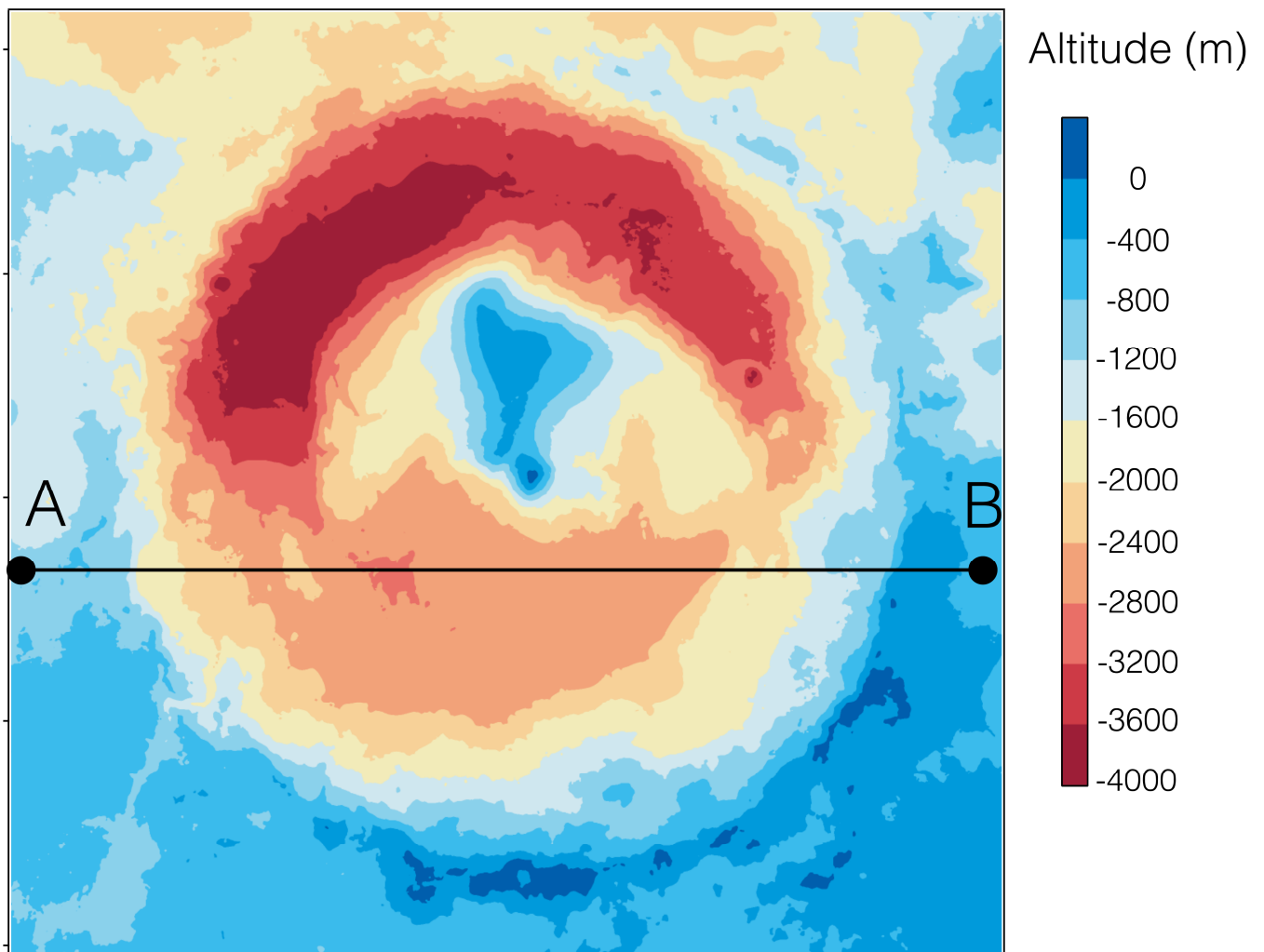
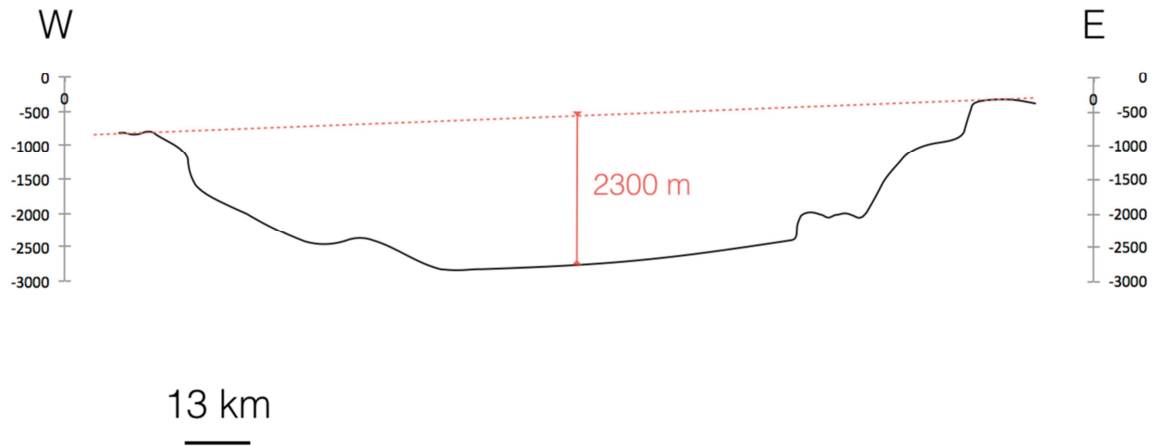


Figure 2 : Topographie du cratère Gale d'après l'instrument MOLA (échelle 1 : 1 3

Profil topographique du cratère Gale



00 000)

Question 1.B Réaliser sur une feuille de papier millimétrée fournie et que vous joindrez à votre copie un profil topographique du cratère entre les points A et B de la figure 2. (8 points).

Les candidats sont en général arrivés à réaliser le profil. Ce qui a fait perdre des points :

- Des exagérations verticales trop importantes (profil recouvrant toute la feuille A4 en format portrait).
- Le tirage de droite parfaite entre les points du profil.
- Le manque de soin apporté au profil.
- L'absence d'échelle verticale et horizontale.

I.C- Profondeur du cratère mesurée

On définit la profondeur du cratère comme la différence d'altitude entre le bord et le fond du cratère.

Question I-C A partir de votre profil topographique, estimer la profondeur du cratère (1 points).

Réponse à la question I-C

Une lecture sur le profile donne une valeur d'environ 2300 m.

Les valeurs dans la gamme 2000-3000 ont été acceptées.

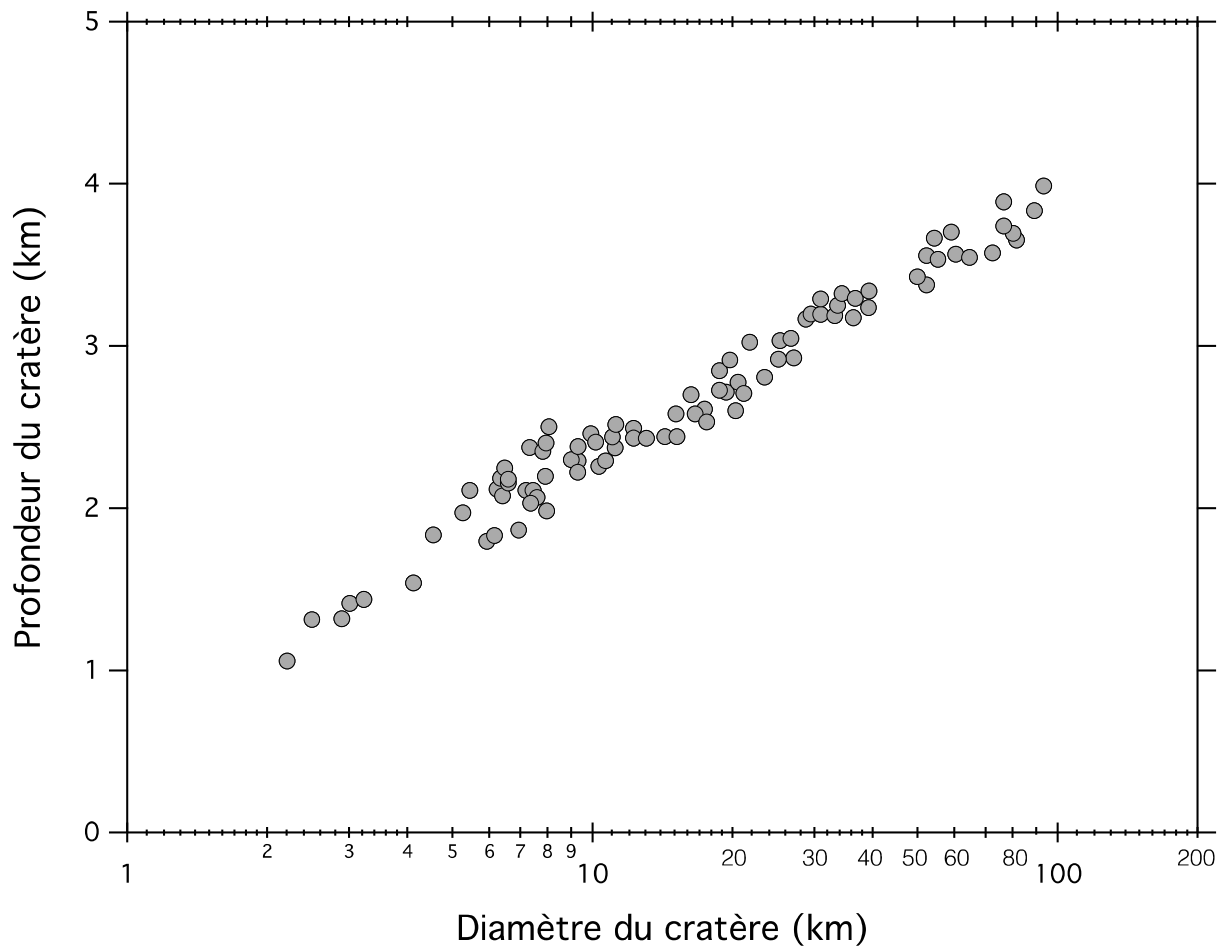


Figure 3 : Lien entre taille et profondeur pour des cratères frais sur Mars (d'après Tornabene et al., 2018)

Question I-D A partir de votre estimation du diamètre du cratère Gale, déterminer sa profondeur théorique à l'aide de la figure 3. Comparer aux résultats de la question précédente (I-C) et commenter. (3 points).

Réponse à la question I-D

La profondeur théorique devrait être bien supérieure (environ 4 km pour un cratère de 150 km de diamètre).

Les explications possibles sont une érosion des bords, un remplissage sédimentaire, ou un réajustement isostatique du fond.

Partie II : Arrivée dans le cratère

II- Arrivée dans le cratère

II.A- Géomorphologie locale

La figure 4 (Page 6) représente le site d'atterrissage du rover Curiosity (MSL/NASA), dans la partie nord-ouest du cratère Gale. Depuis, l'orbite un système hydrographique est observé, le réseau de *Peace Vallis*.

Question II-A A l'aide d'un papier calque quadrillé fourni, dessiner ce système hydrographique et le joindre à votre copie (4 points). Décrire le système (2 points), estimer la surface du bassin versant et celle des dépôts sédimentaires associés (en km^2) (4 points).

Réponse à la question II.A

Le cône de déjection a une surface d'environ $2,5 \text{ km}^2$ alors que le bassin a une superficie de 4 km^2 .

Les candidats ont eu du mal à dessiner les bassins versants et le cône de déjection. La notion de bassin versant semble mal maîtrisée.

II.B- Epaisseur des dépôts du système hydrographique de *Peace Vallis*

L'étude du profil topographique des chenaux de *Peace Vallis* permet d'estimer une érosion moyenne de 50 cm sur le bassin versant.

Question II-B Quelle doit-être l'épaisseur moyenne des dépôts du système sédimentaire de *Peace Vallis* ? (2 points). Le fonctionnement de ce système hydrographique peut-il expliquer les résultats de la question I-D ? (2 points).

Réponse à la question II.B

Une règle de trois permet d'estimer une épaisseur moyenne du delta de 80 cm.

Cette épaisseur est très petite devant l'écart à la profondeur théorique de la question I-D. Le fonctionnement de ce système hydrographique ne permet pas d'expliquer le remplissage du cratère.

Comme peu de candidats ont réussi à mesurer les surfaces en question II.A, peu ont réussi à répondre à cette question.

Dans le cas où l'estimation de surface était fautive dans la question II.A mais le raisonnement était juste à la question II.B, la moitié des points a été accordée.

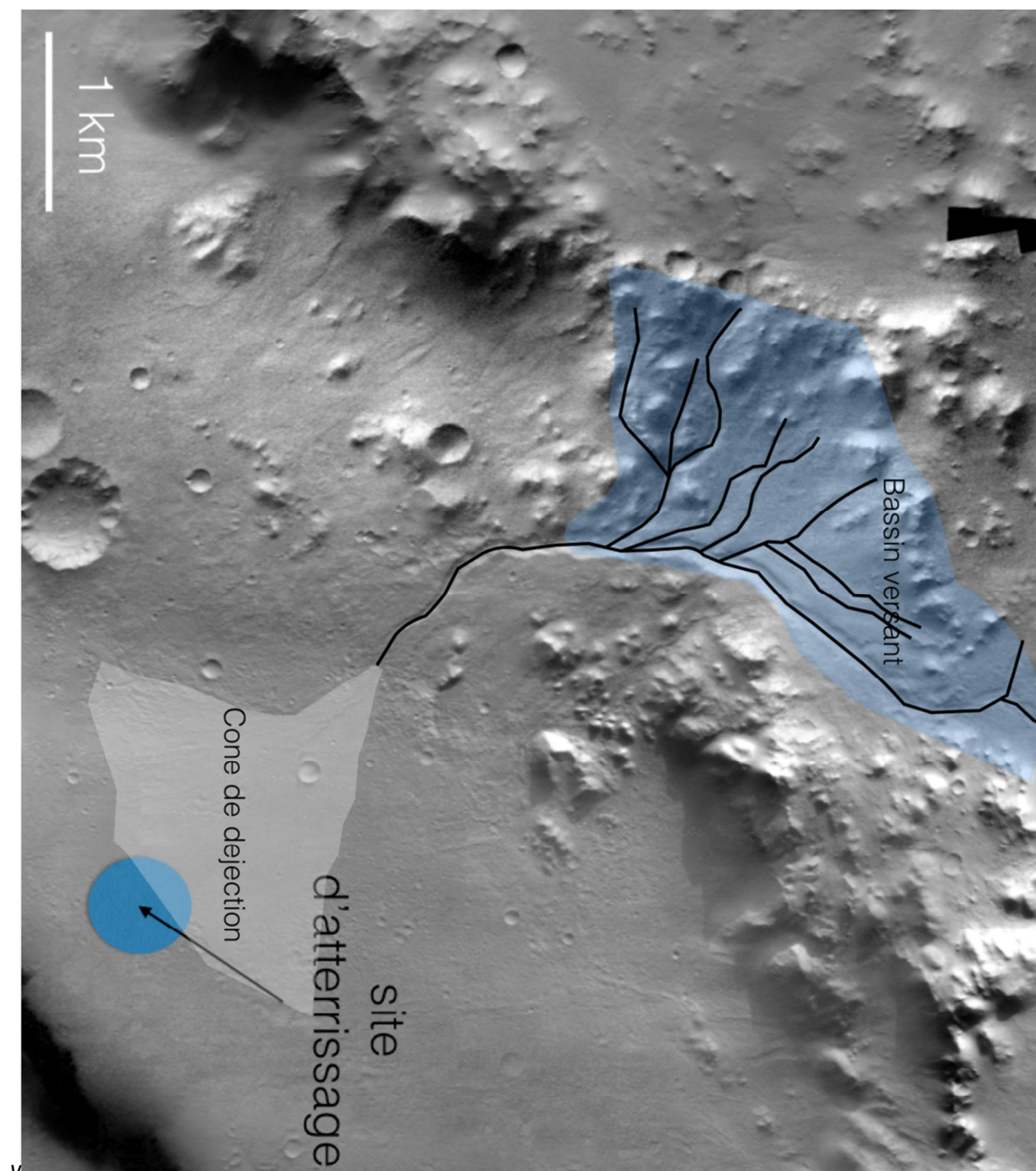


Figure 4 : Image du site d'atterrissage de Curiosity et du réseau hydrographique de Peace Vallis

II.C- Roches rencontrées par Curiosity dans le système sédimentaire de Peace Vallis

Curiosity a étudié les dépôts du système sédimentaire de Peace Vallis.



Figure 5 : Observation de dépôts par Curiosity (MSL/NASA)

Question II-C.1 Décrire les dépôts (3 points). Par quel processus se forme ce type de dépôt ? (1 points)

Réponse à la question II.C.1

On voit au centre une roche consolidée, constituée de fragments centimétriques de couleurs différentes et donc de minéralogie différentes, indurés dans une matrice claire semble t-il. On remarque aussi de nombreux galets de couleurs différentes issus de l'érosion de cette roche. La partie supérieure droite de l'affleurement est couverte de la poussière rouge typique de la surface de Mars.

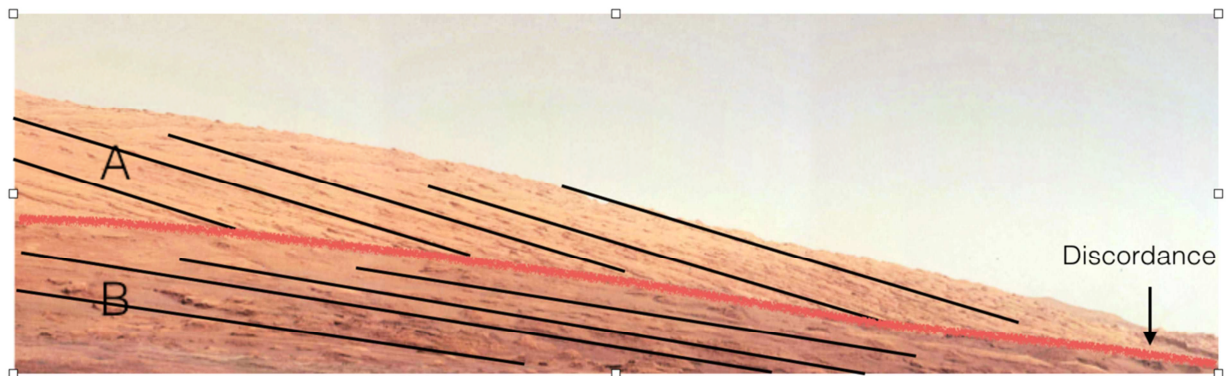
La présence de galets indurés suggère du transport et une formation au sein d'un milieu à fort hydrodynamisme permettant le transport d'objets lourds. Un transport alluvial peut être proposé.

Les candidats ont en général bien répondu à cette question.

Question II-C.2 Donner un nom à la roche de la question II.C.1 (1 point)

Réponse à la question II.C.2

C'est un conglomérat polygénique (ou polymict). Les galets plutôt arrondis tendent à le classer dans le groupe des poudingues.



II.D- Panorama

La photographie ci-dessous représente l'environnement géologique du rover en regardant vers le centre du cratère. La dimension horizontale de la zone imagée est d'environ 3 km.

Figure 6 : Série de dépôts sédimentaires dans le cratère Gale.

Question II.D Décrire les structures observées (2 points). Faites un schéma correspondant à cette image dans le cadre ci-dessous (2 points).

Réponse à la question II.D

On observe des couches parallèles, des strates. La présence de strates suggère une nature sédimentaire pour ces dépôts. On observe deux groupes de dépôts via la présence de pendages différents des couches géologiques, l'un autour de 20° (A) et l'autre autour de 40° (B). On peut supposer la présence d'une discordance entre les dépôts A et B.

Beaucoup de candidats n'ont pas pris le temps de décrire les dépôts comme demandés et ont perdu des points.

II.E- Cyclicités des dépôts

A l'aide de simulations numériques, il est possible de contraindre l'évolution temporelle des paramètres orbitaux de Mars et de la Terre (Figure 7). On supposera que ces calculs sont

représentatifs de l'évolution astronomique de ces planètes tout au long de leur histoire géologique (d'après Laskar *et al.*, 2004 et 2011).

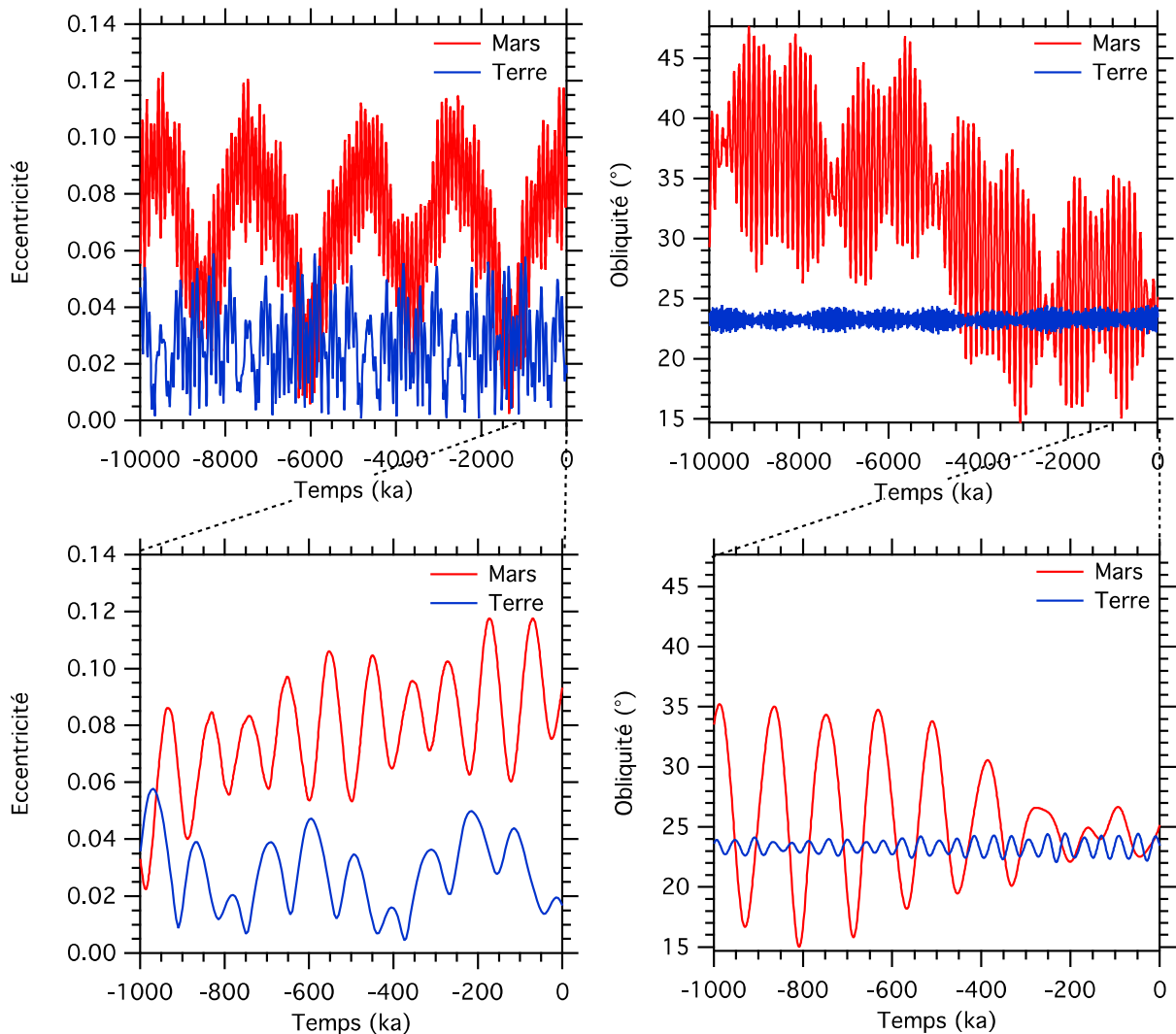


Figure 7: Evolution orbitale de Mars et de la Terre au cours d'1 et de 10 millions d'années

Question II-E.1 Comparez les évolutions orbitales de Mars et de la Terre (8 points).

Réponse à la question II.E.1

Excentricité

Sur le dernier million d'années on observe que les fréquences de variation de l'excentricité de Mars et de la Terre sont les mêmes autour de 100 ka et que les deux planètes sont en opposition de phase. L'excentricité de Mars est en moyenne beaucoup plus importante que celle de la Terre. Aux échelles de temps plus longues on observe des fluctuations de l'excentricité sur Mars bien plus importantes que sur Terre avec un cycle autour de 2 Millions d'années.

Obliquité

L'obliquité de Mars et la Terre sont quasi-identiques aujourd'hui, mais cela est fortuit à la vue de l'évolution sur le long terme. L'obliquité de Mars fluctue énormément entre 15 et 50 ° alors que les fluctuations sont de l'ordre du degré sur Terre. Les fréquences sont différentes, avec un cycle court à 40 ka et un cycle long à 1 Ma sur Terre, alors que sur Mars le cycle court a une fréquence de 120 ka et une orbite qui semble très chaotique sur les longues échelles de temps. On remarque aussi un changement de l'obliquité moyenne aux alentours de 5 Ma pour Mars.

Synthèse :

L'orbite de Mars semble beaucoup moins stable que celle de la Terre en particulier dans le cas de l'obliquité. Ceci peut être relié à sa plus petite masse et l'absence d'une Lune massive comme sur Terre jouant un rôle de balancier. Les valeurs très haute atteinte par l'excentricité suggère une saisonnalité très prononcée.

Beaucoup de candidats ont décrit le document mais n'ont pas comparé les évolutions orbitales comme il était demandé.

Question II-E.2 Proposez une explication à la série de dépôts observés en figure 6 à partir de l'évolution orbitale de l'obliquité de Mars (figure 7 en haut à droite) (2 points).

Réponse à la question II.E.2

Le changement d'obliquité à 5 Ma suggère que Mars possède deux états différents, l'un à faible et l'autre à haute obliquité. La bascule entre ces deux stades pourrait expliquer le changement.

Quelques grosses erreurs, ce n'est pas parce que l'obliquité change que l'angle de dépôt des couches changes...l'horizontale locale reste la même lorsque l'obliquité évolue.

II.F- Observation de structures sédimentaires dans le cratère Gale



Figure 8: Dépôts observés par Curiosity

La photographie ci-dessus représente un affleurement observé par Curiosity. La taille de la scène est de 1 m environ.

Question II.F.1 Donner un nom à ces structures et proposez un environnement de dépôt (2 points).

Réponse à la question II.F.1

Il s'agit de fentes de dessiccation témoignant d'un environnement aride peu profond.

L'instrument ChemCam permet d'analyser les éléments chimiques présents dans une roche ou un minéral (l'intensité ou le nombre de pic ne sont pas proportionnels à l'abondance d'un élément chimique). Le minéral clair de la photographie précédente (figure 8) a été analysé par cet instrument.

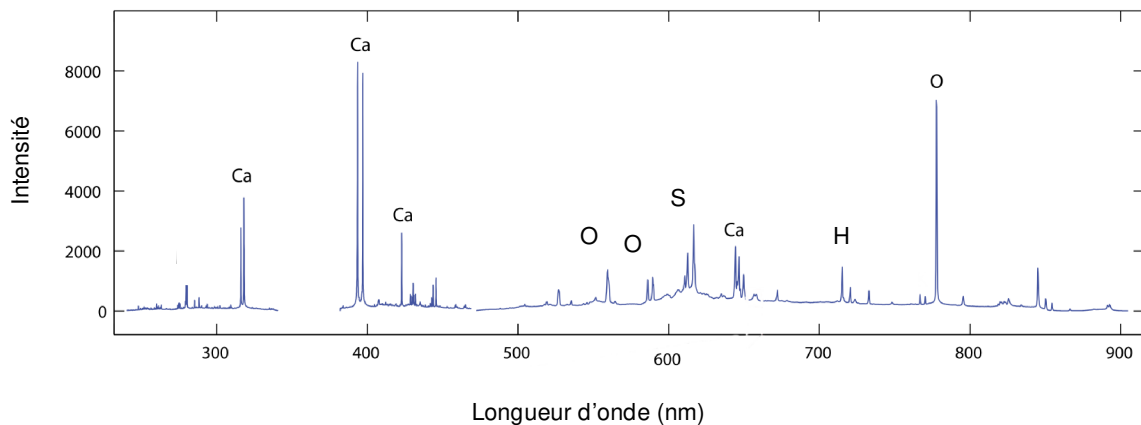


Figure 9: Analyse du minéral clair par méthode de ChemCam.

Question II.F.2 Proposez un nom pour ce minéral (2 points). Ce minéral est-il en accord avec l'environnement de dépôt proposé en II.F.1 ? (1 point)

Réponse à la question II.F.2

La présence de S, O, H et Ca suggère un sulfate de calcium hydraté ; gypse ou basanite.

Ce minéral est souvent rencontré au sein de séquences évaporitiques, donc c'est en accord.

Beaucoup de candidats ont proposé le gypse avec une formule structurale plus ou moins maîtrisée (même si la formule n'était pas demandée).

Partie III : Datations

III- Datations

III.A- Datation du cratère Gale par comptage de cratère

La photographie ci-dessous (figure 10) montre un certain nombre de structures circulaires. Ces structures sont des cratères d'impact qui permettent de dater les surfaces planétaires. La méthode consiste à dénombrer les cratères dans une gamme de taille donnée. La photographie de la figure 10 des dépôts du fond du cratère va être utilisée.

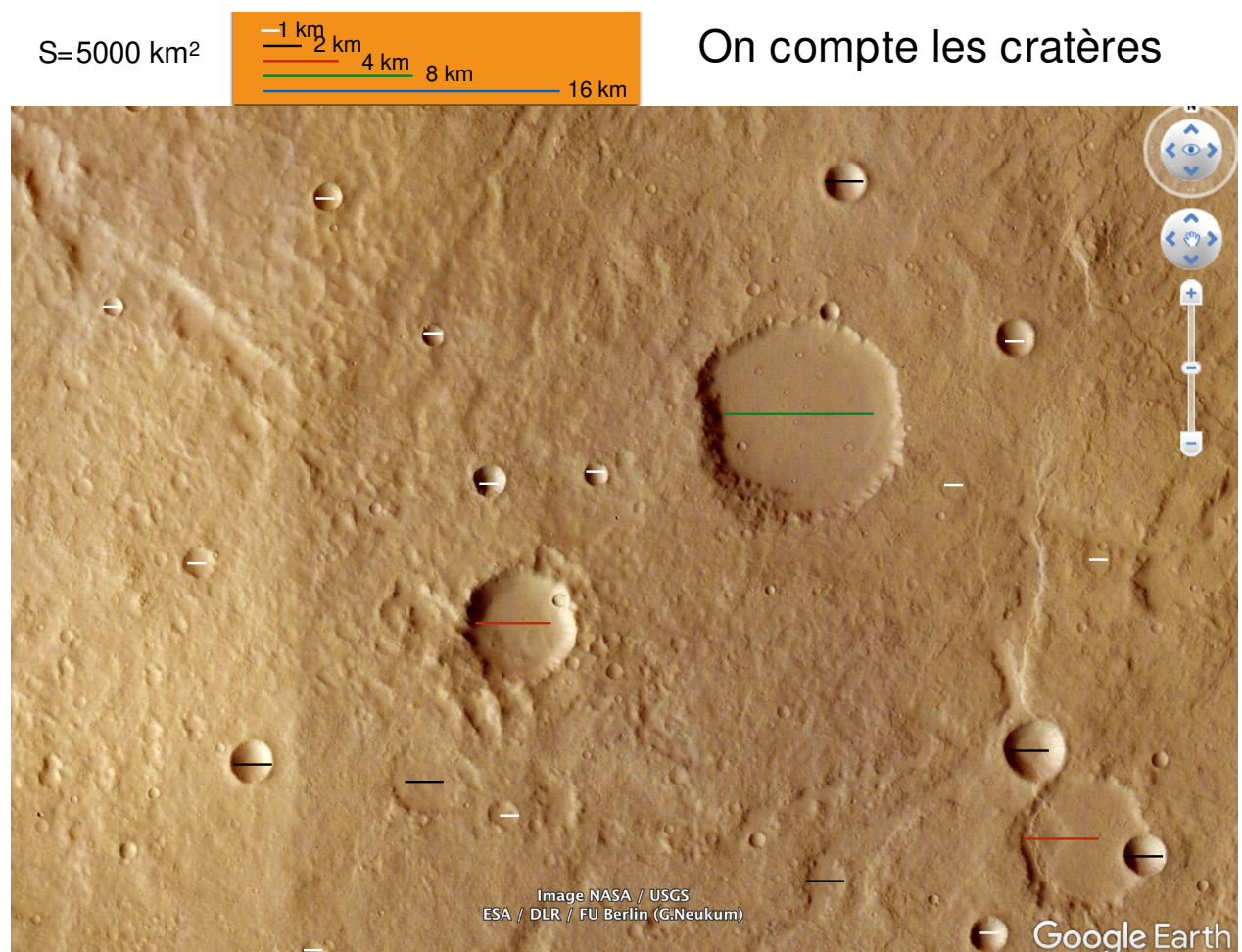


Figure 10: Photographie de terrains géologiques au sein du cratère Gale

Question III.A.1 Sachant que la surface de l'image est de 5000 km², remplir le tableau ci-dessous. (8 points).

	Nombre de cratère dans l'image	Nombre de cratère dans l'image par km ²
1 km < diamètre < 2 km	12	0.0024
2 km < diamètre < 4 km	6	0.0012
4 km < diamètre < 8 km	2	0.004
8 km < diamètre < 16 km	1	0.002

Reporter les valeurs de la dernière colonne dans l'abaque ci-dessous.

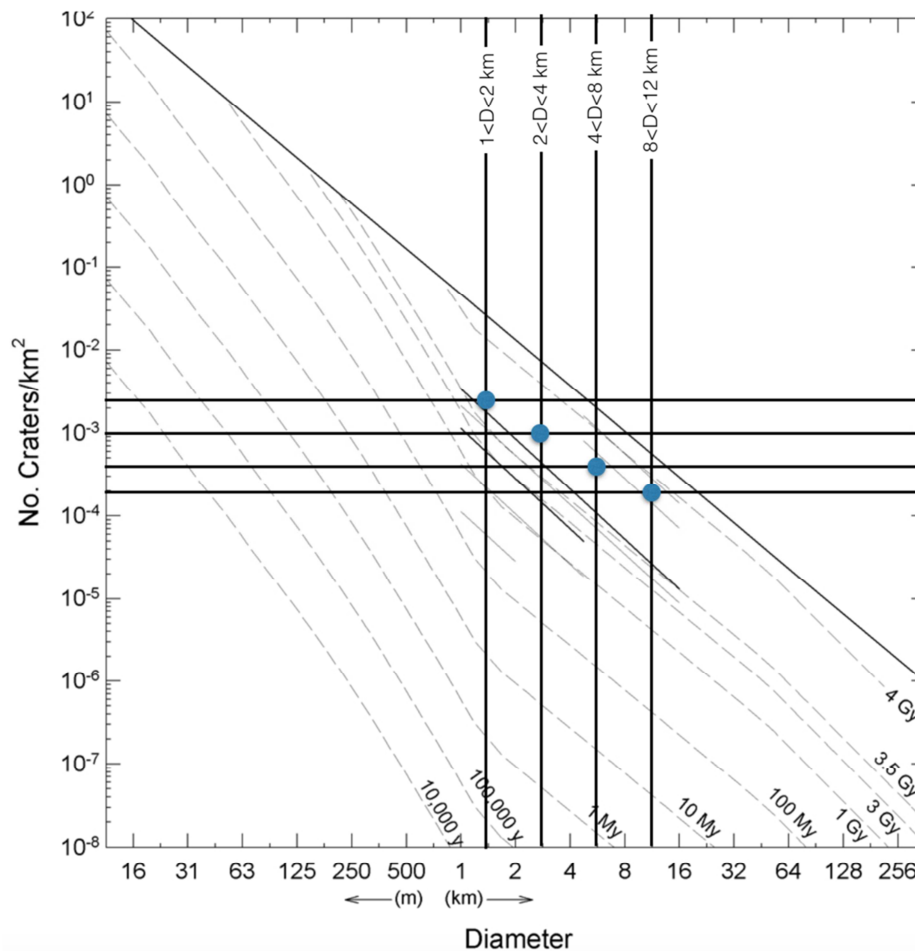


Figure 11 Abaque permettant de déterminer l'âge d'une surface sur Mars à partir d'une distribution en taille de cratères (A partir des travaux de *Neukum* et *Hartmann*).

Question III.A.2 Estimer une gamme d'âge possible pour le cratère (2 point).

Réponse à la question III.A.2

Entre 3.5 et 4 Ga.

Beaucoup de candidats ont réussi l'exercice.

Les erreurs portaient sur le comptage mais aussi très souvent sur le report des valeurs sur le graphique.

Les diagrammes logarithmiques sont parfois mal maîtrisés.

III.B- Datation par Méthode K-Ar

Le système K-Ar est basé sur la désintégration de ^{40}K en ^{40}Ar avec une demi-vie de 1.248 milliards d'années. Un âge peut être déterminé en utilisant la formule suivante

$$t = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \ln \left(1 + \frac{[^{40}\text{Ar}]}{0.109[^{40}\text{K}]} \right)$$

mol/g

Le rover Curiosity a pu mesurer dans une roche du fond du cratère la teneur en potassium ($\text{K}_2\text{O} = 5.10^{-3}$ g/g) et la quantité de ^{40}Ar : $[^{40}\text{Ar}] = 11.9510^{-9}$ mol/g. On donne la masse molaire de K_2O : $m_{\text{K}_2\text{O}} = 96$ g/mol. On donne aussi la proportion de l'isotope 40 du potassium par rapport au potassium total : $[^{40}\text{K}] = 0.000117$ [K]

Question III.B Calculer l'âge K/Ar de la roche (6 points) et comparer aux résultats par comptage de cratère.. Quelle méthode vous semble la plus fiable et pourquoi ? (2 points)

Réponse à la question III.B

$$[^{40}\text{K}] = 0.000117 \cdot 2 \cdot \text{K}_2\text{O} / m_{\text{K}_2\text{O}} = 1,22 \cdot 10^{-8} \text{ mol/g}$$

$$[^{40}\text{Ar}] = 1,20 \cdot 10^{-8} \text{ mol/g}$$

$$t = [1.248 / \ln(2)] \times \ln(1 + 1,2 / (0,109 \times 1,24)) = 4,2 \text{ Ga}$$

Cet âge est probablement plus fiable car l'échelle chrono-stratigraphique martienne n'a pas été calibrée de façon absolue comme pour la Lune.

Moins de 5 candidats ont réussi le calcul. Une des difficultés était de penser qu'une mole de K_2O contient deux moles de K.

III.C- Datation du système hydrographique de Peace Vallis

Question III.C.1 Comment dateriez vous l'activité du système hydrographique de Peace Vallis ? (2 points)

On pourrait compter les petits cratères sur le delta alluvial.

Question III.C.2 L'activité du système hydrographique de Peace Vallis a été datée à 2.4 Ga. Commenter. (2 points).

C'est un système très tardif, et découplé du remplissage global du cratère.

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

5.3.1 Présentation de l'épreuve

Le TP d'option C avait pour thème la géologie et la géodynamique des plaques Pacifique et Amérique du Nord. L'épreuve était constituée de 4 exercices indépendants construits à partir de documents et données diverses (images de terrain, catalogue sismique, données minéralogiques, tomographie sismique, courbe de subsidence, données isotopiques). Cette épreuve n'a pas pour seul objectif un contrôle des connaissances des candidats en sciences de la Terre, elle permet également d'évaluer leur capacité d'analyse et de raisonnement scientifique. En effet, certains candidats font uniquement appel à leurs connaissances et négligent les documents fournis. Le jury rappelle que tous les documents proposés dans le sujet apportent des informations utiles et nécessaires à la résolution des questions. Les agrégatifs doivent être capables d'extraire les informations d'un document, d'une base de données ou d'une image de terrain. Le jury en a tenu compte dans sa notation.

L'épreuve de cette année était davantage quantitative ce qui a pu dérouter certains candidats. Elle nécessitait la manipulation d'équations, le calcul de coefficients directeurs d'une droite et de nombreuses applications numériques. Les compétences en mathématique étaient du niveau baccalauréat/Licence 1ère année mais cela semble avoir posé des difficultés à certains candidats. Le jury encourage vivement les agrégatifs à consolider leurs compétences en mathématiques.

L'épreuve était conçue pour être réalisable dans le temps imparti (6 heures).

Quelques commentaires sur les exercices

Le premier exercice consistait à analyser des images de structures géologiques relativement classiques. Ces images étaient en lien avec la zone géographique de cette épreuve (ce qui semble avoir échappé à certains agrégatifs). L'exercice a été assez bien maîtrisé dans l'ensemble à l'exception de deux figures. La figure 0-3 représentait un travertin, conséquence de l'activité hydrothermale associée au point chaud de Yellowstone. Si certains candidats ont bien reconnu la source hydrothermale et parfois noté la présence de dépôts carbonatés, le terme "travertin" a très rarement été employé. La figure 0-4 a donné lieu à très peu de bonnes réponses. En effet, la faille normale identifiable par la présence de facettes triangulaires caractéristiques n'a été trouvée que par quelques candidats.

Le second exercice avait pour thème la sismicité de la Californie. Il ne faisait appel à aucun concept difficile mais il a été particulièrement discriminant. En effet, une partie de l'exercice nécessitait la manipulation à l'aide d'un tableur d'un catalogue de plusieurs dizaines de milliers de séismes. Il s'avère que plus de la moitié des candidats ne savent pas utiliser un tableur. Pour répondre aux questions, nul besoin de connaître toutes les fonctionnalités du logiciel, la fonction "tri" permettait d'extraire les données nécessaires à la résolution de l'exercice, fonction accessible de la même façon quel que soit le tableur. De ce fait, très peu de candidats ont tracé la loi de Gutenberg-Richter et calculé la pente de la droite et aucun candidat n'a donné la signification de la pente de la droite de la loi de Gutenberg-Richter. La localisation des séismes nécessitait l'utilisation de la même fonction "tri" pour isoler les 15 événements de magnitude supérieure à 6,5. Les candidats ayant réussi à isoler ces séismes ont généralement localisé les épicentres des séismes sans grande difficulté. La question suivante nécessitait de calculer le moment sismique pour pouvoir en déduire la longueur de faille ayant rompu. Des candidats ont malheureusement confondu la fonction \log_{10} et la fonction \ln .

La fin de l'exercice reposait sur l'analyse de documents. L'analyse de la répartition des séismes en Californie (fournie par gamme de magnitude pour une meilleure lisibilité) est restée malheureusement très superficielle. Aucun candidat n'a employé les termes de "lacune sismique" et de "glissement asismique" pour expliquer l'absence de séismes sur certains segments de la faille de San Andreas, notamment au nord-est de la ville de Los Angeles ou utilisé le calcul des temps de récurrence des séismes demandé dans une précédente question pour étayer l'analyse. La question suivante portait sur l'erreur de localisation en profondeur des hypocentres sous la ville de Los Angeles lorsque l'on utilise un modèle de vitesse appliqué aux séismes de Californie. Des séismes anormalement profonds indiquaient simplement que les vitesses du modèle de vitesses étaient trop élevées. Quelques candidats ont remarqué que la vitesse de la première unité (de la surface à 5,5 km de profondeur) était typique de

la croûte continentale supérieure (de Californie) et ne tenait donc pas compte de la couverture sédimentaire du bassin de Los Angeles (jusqu'à 10 km d'épaisseur). La fin de l'exercice concernait la distribution du risque sismique en Californie. La plupart des candidats ont su définir le risque sismique mais l'analyse des documents est restée dans l'ensemble beaucoup trop superficielle. Les candidats n'ont fourni que peu d'éléments susceptibles d'expliquer les zones à fort risque sismique alors que les réponses aux questions précédentes fournissaient des éléments de réponse sur l'aléa (temps de récurrence des séismes, présence de lacune sismique, effet de site lié à la présence d'un bassin sédimentaire).

Dans le troisième exercice, la plupart des candidats ont su expliquer la norme ICPW. La question suivante portait sur l'évolution du magmatisme sur l'île de Maui. Les candidats ont généralement négligé le contexte volcanique de type point chaud. La plupart des candidats se sont limités à décrire les trois phases volcaniques sans les replacer dans le contexte plus général du fonctionnement du point chaud de Hawaii. La partie suivante de l'exercice nécessitait quelques calculs, certes un peu fastidieux mais sans grande difficulté, réussis par environ la moitié des candidats. Les points reportés sur un graphe devaient permettre d'isoler deux segments de droite, synonyme d'un hypothétique changement de vitesse de la plaque Pacifique au cours du Miocène. Le jury se désole de voir que quelques agrégatifs ne savent toujours pas calculer le coefficient directeur d'une droite. La rupture de pente a été identifiée par quelques candidats seulement. La vitesse relative et la direction du mouvement de la plaque Juan de Fuca par rapport à la plaque Nord-Américaine à l'aide du triangle des vitesses ont été trouvés par un peu moins de la moitié des candidats. La coupe tomographique a posé quelques difficultés aux candidats. Une majorité de candidats a correctement décrit la subduction de la plaque Juan de Fuca mais l'anomalie de vitesse F1 et F2 située plus à l'est a été très souvent oubliée. Quelques rares candidats ont tout de même réussi à caler en âge ces événements. La nature du bassin et l'épaisseur élastique équivalente ont été trouvés par la majorité des candidats. La question suivante portait sur l'évolution du bassin. La majorité des candidats a décrit correctement l'évolution du bassin mais peu d'entre eux ont relié l'évolution du bassin avec le contexte géodynamique à plus grande échelle (dislocation de la Pangée et ouverture de l'océan Atlantique par exemple). La question suivante a été généralement mal traitée. La courbe eustatique et la carte de l'ennoisement du continent nord-américain ont trop rarement été utilisées alors qu'elles permettaient de dissocier cette subsidence d'une simple flexure de la plaque lithosphérique. Le processus de topographie dynamique à l'origine de cette subsidence a été trouvée par un seul candidat. Le concept de topographie dynamique n'est peut être pas connu de tous les candidats mais les documents fournis devaient au moins permettre de mettre en évidence un autre processus qu'une simple subsidence liée à la flexure de la plaque lithosphérique.

La dernière partie de l'épreuve avait pour thème l'utilisation des isotopes de l'oxygène en paléoaltimétrie. La première partie de l'exercice a été généralement réussie même si quelques candidats ne savent pas calculer la pente d'une droite. La question suivante réclamait de calculer l'altitude de la ville de Flagstaff (Arizona, Etats-Unis) à partir de la moyenne annuelle du $\delta^{18}\text{O}$ des précipitations. Pour cela, il était nécessaire de pondérer les données de $\delta^{18}\text{O}$ par la quantité de précipitations mensuelles ce que presque aucun candidat n'a malheureusement pensé à faire. Le calcul de la moyenne du $\delta^{18}\text{O}$ non pondéré donnait une valeur assez proche de la moyenne pondérée ce qui permettait de poursuivre l'exercice. Cela a permis à une majorité de candidats d'expliquer correctement l'origine de la différence entre l'altitude vraie et l'altitude "isotopique". La dernière partie de l'exercice reposait sur des mesures de $\delta^{18}\text{O}$ obtenues sur des carbonates pédogéniques d'âge Eocène sur le plateau du Colorado (Arizona, Etats-Unis) et en Basse-Californie (Mexique). Un certain nombre de candidats ne savent pas ce qu'est un carbonate pédogénique. La détermination de la paléoaltitude du plateau du Colorado nécessitait la manipulation de trois équations (qui étaient fournies) pour calculer le coefficient de fractionnement $\alpha_{\text{carbonate-eau}}$ et effectuer le changement de standard (PDB vers SMOW). Peu de candidats ont essayé de répondre à la question (faute de temps ou par peur des équations ?) et seuls deux candidats ont réussi.

5.3.2 Sujet commenté

Les informations qui suivent constituent des indications mais en aucun cas un corrigé complet.

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2019

TRAVAUX PRATIQUES DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR C

Durée totale : 6 heures

**De Hawaii aux grandes plaines du continent nord-
américain**

Les 4 parties sont indépendantes. Une partie nécessite un travail sur ordinateur, prévoyez donc votre organisation en conséquence

Partie 0 : Analyse de paysages	page 3
<i>Durée conseillée : 0h15 – barème : 12/144</i>	
Partie I : Activité sismique en Californie	page 6
<i>Durée conseillée : 2h00 – barème : 40/144</i>	
Partie II : De la plaque Pacifique à la plaque Amérique du Nord	page 15
<i>Durée conseillée : 2h30 – barème : 60/144</i>	
Partie III : Paléoaltimétrie du plateau du Colorado	page 31
<i>Durée conseillée : 1h15 – barème : 32/144</i>	

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

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

Vous devez rendre la totalité des feuilles du dossier

Partie 0 : Analyses de paysages

Ces différents paysages sont situés dans la zone sur laquelle porte l'épreuve.
Schématisez, légendez et nommez les paysages représentés en figures 0-1 à 0-6 dans les cadres adjoints.

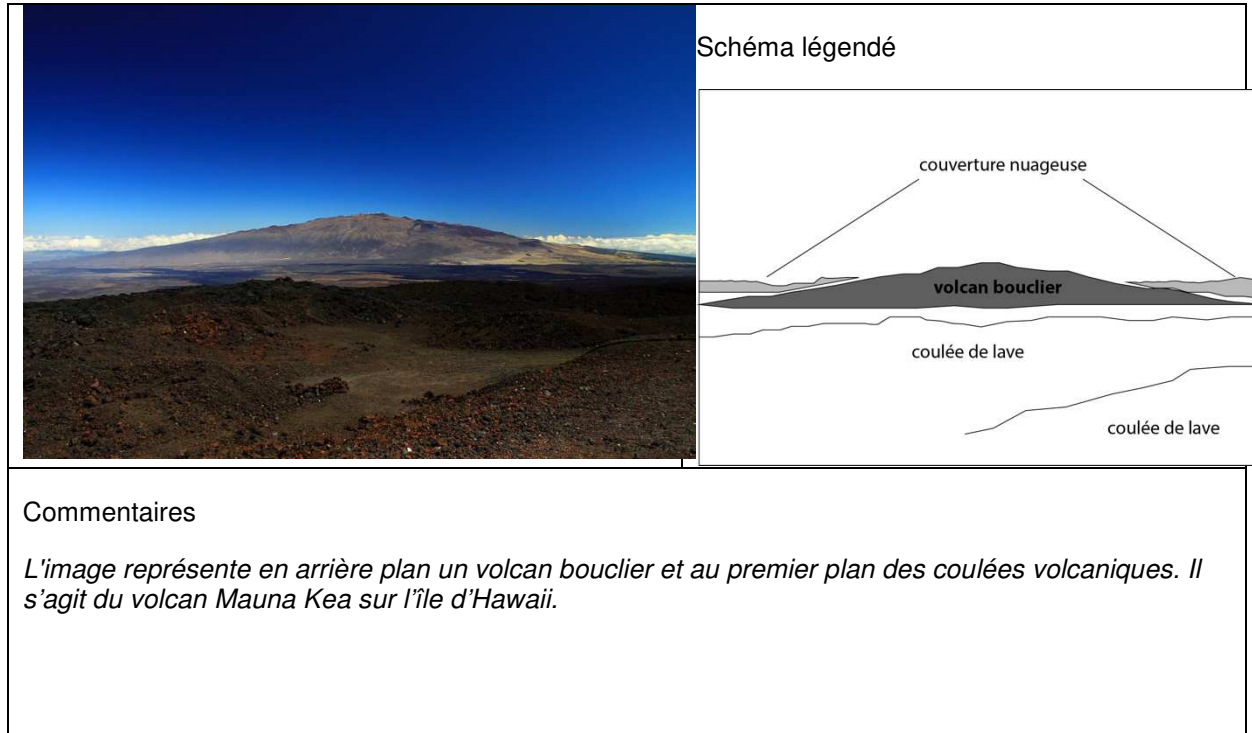


Figure 0-1

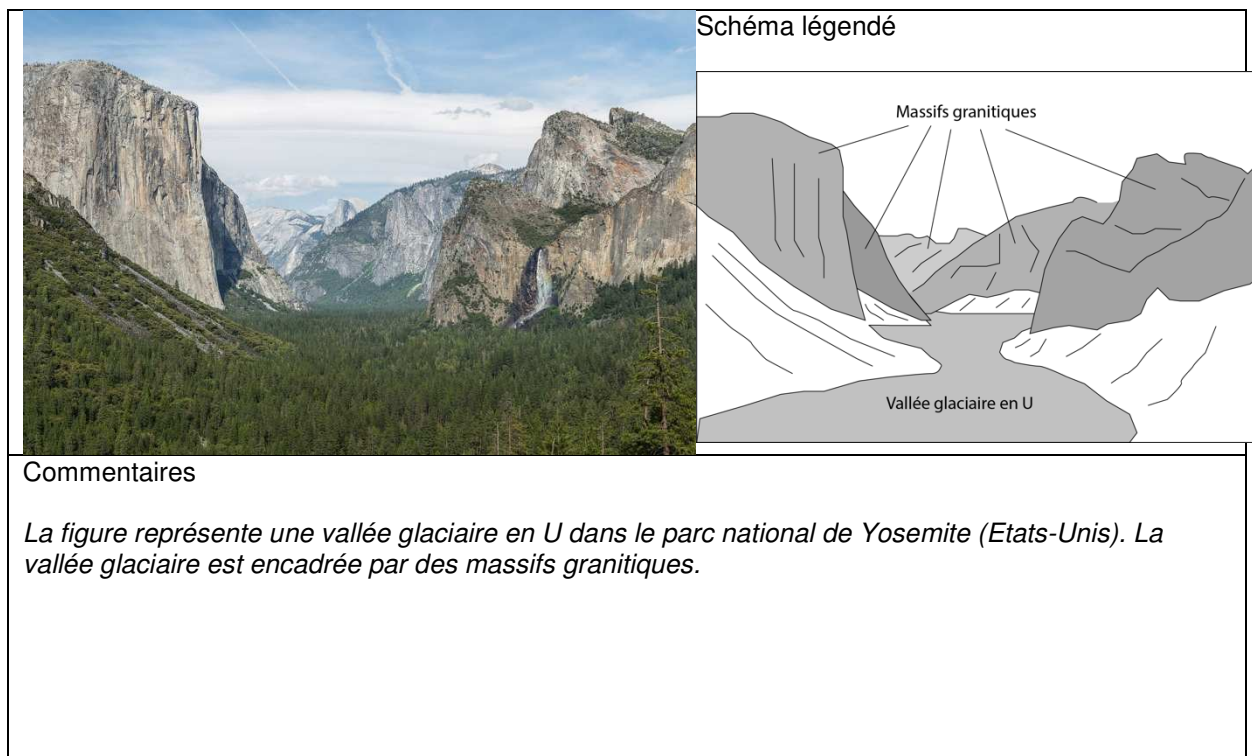
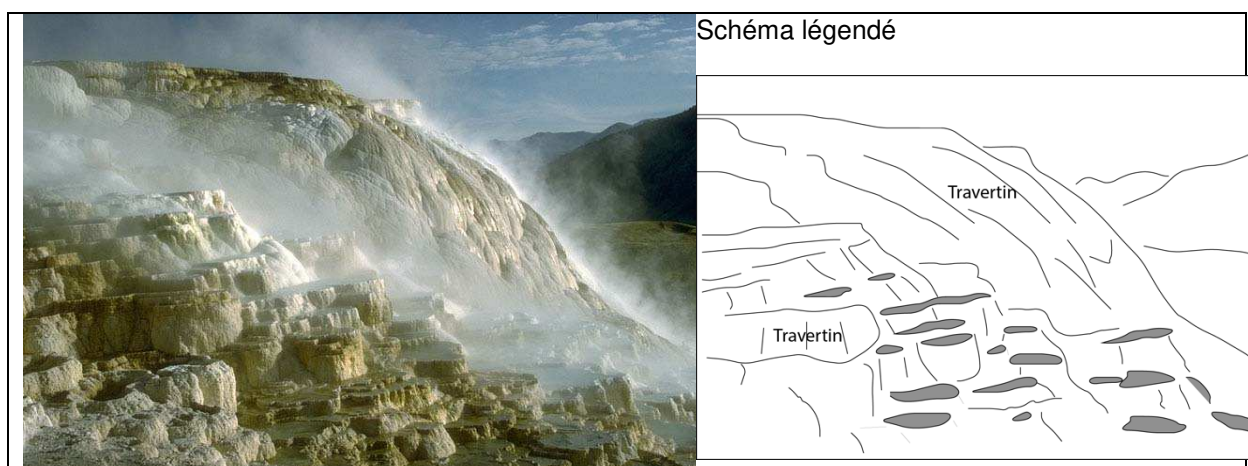


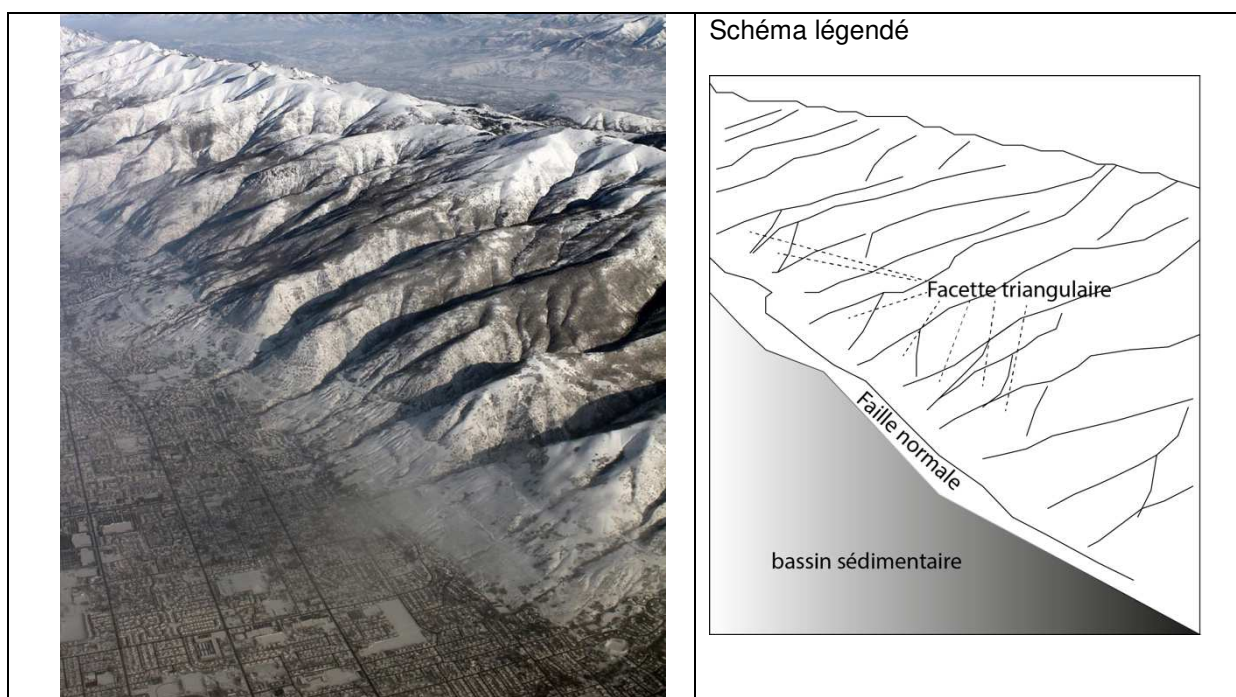
Figure 0-2



Commentaires

L'image représente la source hydrothermale de « Mammoth Hot Spring » dans le parc national de Yellowstone (Etats-Unis). L'eau météoritique est chauffée au contact des roches en profondeur. L'eau à pH acide remonte à la surface. La baisse de pression favorise le dégazage libérant dans l'atmosphère du CO₂ réduisant l'acidité de l'eau ce qui permet la formation de dépôt de carbonate (calcite et aragonite). Ce type de dépôt se nomme un travertin.

Figure 0-3



Commentaires

L'image représente un chaînon des Wasatch Mountains (Utah). Au premier plan, le flanc du chaînon présente des facettes triangulaires qui marquent la présence d'une faille normale (Wasatch Fault). Cette faille vient s'enraciner sous le bassin sédimentaire (en bas à gauche de l'image). Elle marque l'extrémité orientale du Basin and Range.

Figure 0-4

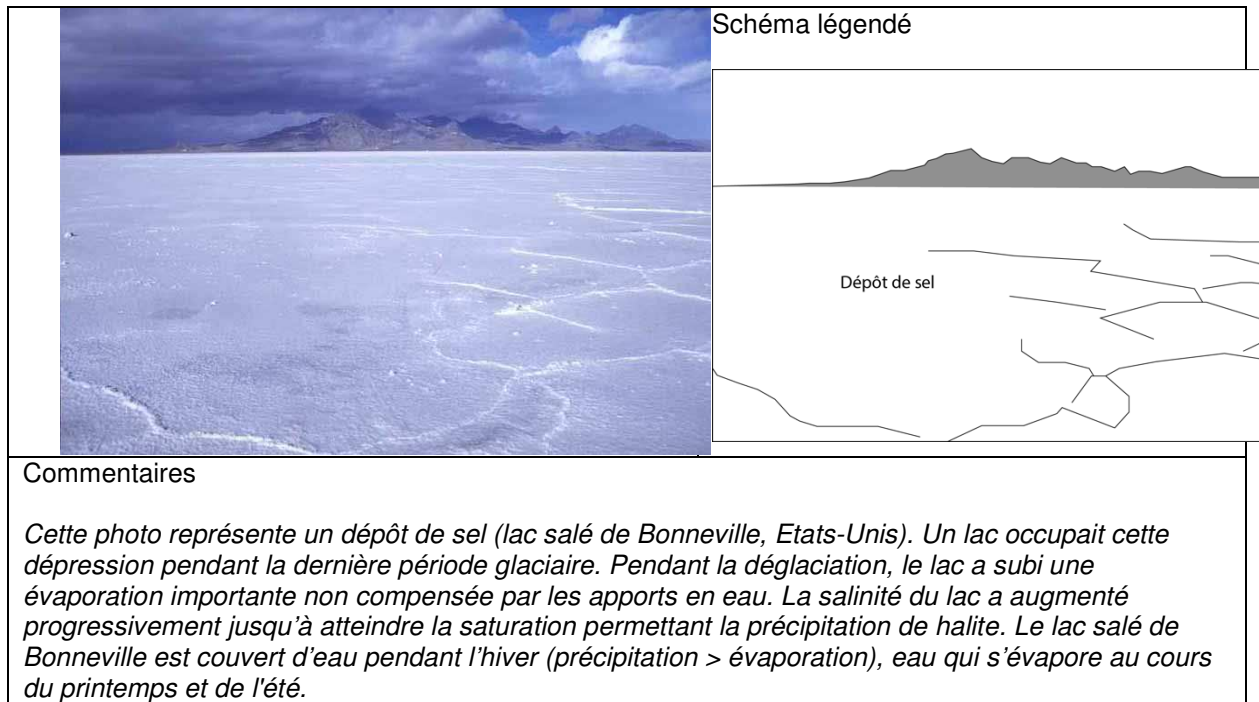


Figure 0-5

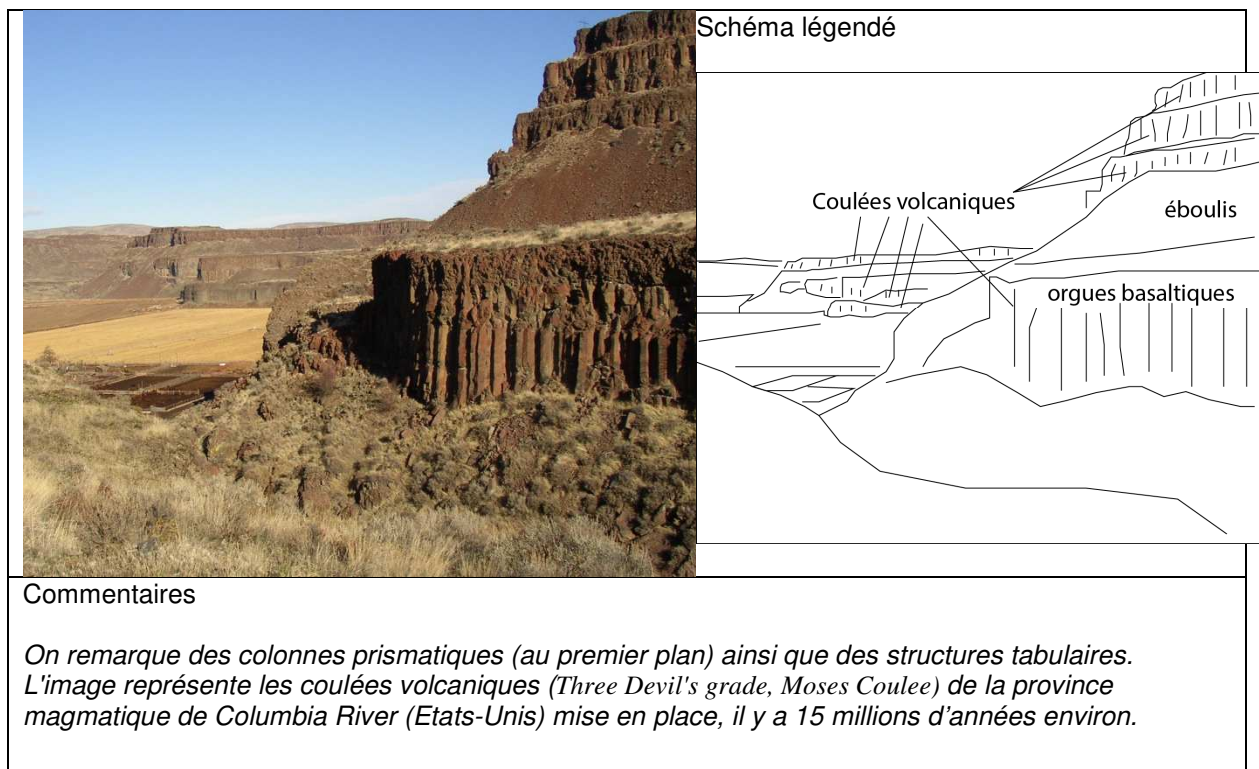


Figure 0-6

Partie I : Activité sismique en Californie

Certaines questions de la partie I impliquent un travail sur ordinateur pour acquérir les données. Vous disposez de 30 mn dans la salle des ordinateurs.

I.A- Etude d'un catalogue de séisme:

Le catalogue des séismes *Uniform California Earthquake Rupture Forecast, version 3 (UCERF3)* (Felzer, 2013) documente l'activité sismique depuis 1750 en Californie. Pour cet exercice, vous disposez d'une version réduite aux années 1932 à 2011. Le fichier « ofr2013-1165_EarthquakeCat » disponible au format Excel et au format Open Office contient 60216 séismes de magnitude supérieure ou égale à 2,5 pour la période 1984-2011 lorsque le réseau de stations sismiques a été amélioré et uniquement les séismes de magnitude supérieure ou égale à 4 avant 1984. La magnitude M_w est utilisée dans la plupart des cas.

Colonne A à F : date de l'événement

A	B	C	D	E	F
année	Mois	jour	Heure	minute	seconde

Colonne G à I : coordonnées spatiales de l'hypocentre

G	H	I
longitude	latitude	profondeur

Colonne J : magnitude du séisme

J
magnitude

I-A-1- Loi de Gutenberg-Richter

La loi de Gutenberg-Richter relie le nombre de séisme de magnitude supérieur à la valeur M à la magnitude M . Cette loi s'écrit :

$$\text{Log}_{10} [N(m \geq M)] = b - a \times M$$

avec a et b , deux constantes.

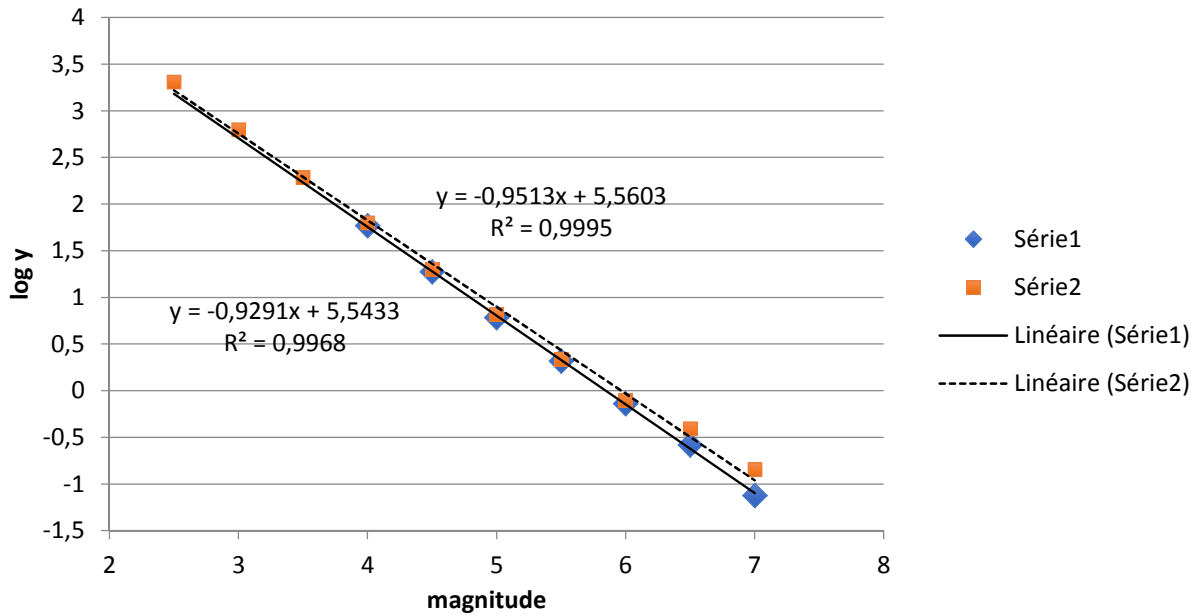
I-A-1-a Tracez la loi de Gutenberg-Richter pour ce catalogue de séisme pour les séismes de magnitude supérieure ou égale à 4 pour la période 1932-2011 et de magnitude supérieure ou égale à 2,5 pour la période 1984-2011. Vous indiquerez dans un tableau, les données utilisées pour le tracé de ces deux courbes.

Réponse à la question I-A-1-a

La fonction "tri par ordre décroissant" du tableur permettait d'obtenir les données nécessaires à la résolution de la question. Deux solutions s'offraient aux candidats : tracer la loi de Gutenberg-Richter en prenant le logarithme (Log_{10}) du nombre de séisme supérieur à M ou tracer la loi de Gutenberg-Richter en prenant le logarithme (Log_{10}) du nombre de séisme par an supérieur à M . La seconde méthode permettait de résoudre facilement la question suivante sur le temps de récurrence.

N.B: la loi de Gutenberg-Richter a été tracée et la pente calculée à l'aide d'un tableur pour la correction

	1932-2011 (série 1)		
<i>magnitude</i>	<i>N séisme</i>	<i>N_{séisme}/an</i>	<i>Log (N_{séisme}/an)</i>
7	6	0,075	-1,12
6,5	21	0,262	-0,58
6	58	0,725	-0,14
5,5	166	2,075	0,32
5	485	6,062	0,78
4,5	1506	18,82	1,27
4	4708	58,85	1,77
	1984-2011 (série 2)		
<i>magnitude</i>	<i>N séisme</i>	<i>N_{séisme}/an</i>	<i>Log (N_{séisme}/an)</i>
7	4	0,142	-0,84
6,5	11	0,392	-0,41
6	22	0,786	-0,10
5,5	61	2,178	0,34
5	185	6,607	0,82
4,5	560	20	1,30
4	1761	62,892	1,80
3,5	5411	193,25	2,29
3	17658	630,64	2,80
2,5	57220	2043,57	3,31



I-A-1-b Déterminez les coefficients a et b. Comment interprétez-vous les valeurs du coefficient a de la loi de Gutenberg-Richter pour ce catalogue de séisme ?

Réponse à la question I-A-1-b

Pour la période 1932-2011

a=0,95 et b=5,56

Pour la série 1984-2011

a=0,93 et b=5,54

Le coefficient « a » est proche de 1, cela confirme qu'il s'agit bien de séismes d'origine tectonique.

I-A-1-c Déterminez le temps de récurrence d'un séisme de magnitude 6 et d'un séisme de magnitude 8 ?

Réponse à la question I-A-1-c

Le temps de récurrence τ est égale à $1/(N_{\text{séismes}}/\text{an})$.

Pour un séisme de magnitude 6, en utilisant les données, on obtenait :

$\tau=1,3$ an avec la série 1984-2011 et $\tau=1,4$ an avec la série 1932-2011

A l'aide de l'équation de la droite interpolée :

$\tau=1$ ans avec la série 1984-2011 et $\tau=1,4$ ans avec la série 1932-2011

Pour la magnitude 8, le temps de récurrence τ pouvait être estimé en prolongeant la droite, on obtenait :

$\tau \sim 75$ ans avec la série 1984-2011 et $\tau \sim 112$ ans avec la série 1932-2011.

Deux séismes de magnitude 8 (environ) ont été enregistrés en Californie, Fort Tejon (1857) sur le segment sud de la faille de San Andreas et San Francisco (1906) sur le segment nord. Il n'y a pas eu de séisme de magnitude 8 depuis plus d'un siècle d'où la crainte du "Big One".

I-A-2 Localisation de l'épicentre de séisme

I-A-2-a Extraire du *catalogue des séismes pour la période 1932-2011*, les séismes de magnitude supérieure ou égale à 6,5 dans le sud de Californie. On se limite aux séismes situés entre les latitudes 31°N et 38°N et les longitudes 114°W et 122°W. Indiquez dans un tableau pour chaque séisme répondant aux critères de magnitude et de localisation, la date (jour, mois, année), la localisation (longitude, latitude, profondeur) et la magnitude.

Réponse à la question I-A-2-a

La fonction "tri" du tableur permettait d'extraire les données nécessaires.

year	month	day	longitude	latitude	depth	magnitude
1952	7	21	-119,00	34,96	6	7,5
1992	6	28	-116,44	34,20	0,97	7,28
2010	4	4	-115,30	32,22	10	7,19
1999	10	16	-116,27	34,59	0,02	7,12
1940	5	19	-115,38	32,84	6	6,9
1989	10	18	-121,88	37,04	17,43	6,89
1956	2	9	-116,23	31,83	6	6,8
1994	1	17	-118,54	34,21	18,4	6,65
1971	2	9	-118,37	34,42	8,95	6,6
1968	4	9	-116,10	33,18	10	6,6
1942	10	21	-115,79	32,98	6	6,6
2003	12	22	-121,10	35,70	8,7	6,55
1979	10	15	-115,36	32,67	15	6,51
1987	11	24	-115,85	33,02	11,18	6,5
1947	4	10	-116,53	34,98	6	6,5

I-A-2-b Localisez ces séismes sur le document I-A-2-b en précisant l'année pour chaque événement.

Les séismes (épicentres) = points noirs

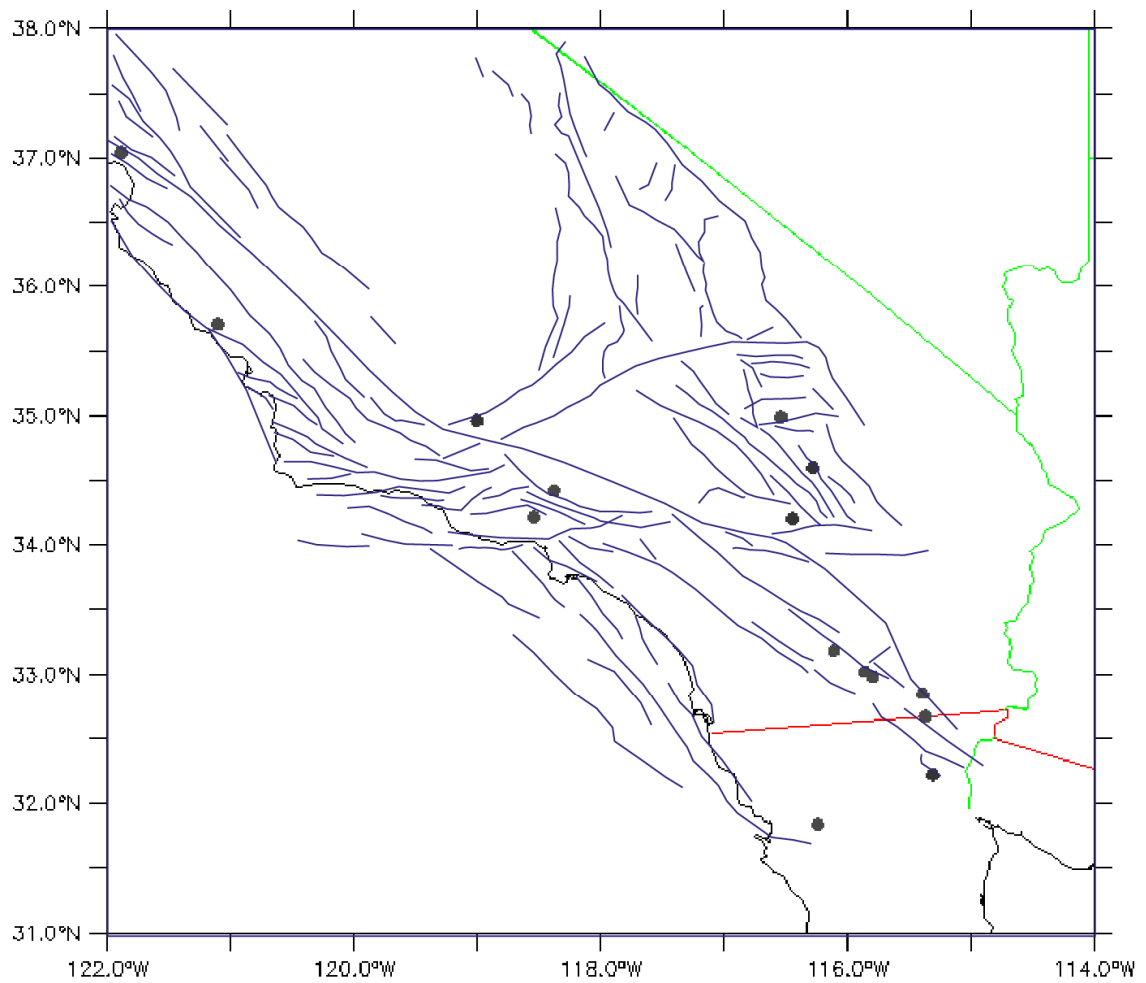


Figure I-A-2-b : les failles sont tracées en bleu, le trait de côte en noir, les limites politiques nationales en vert et internationales en rouge

I-A-2-c Il a été mis en évidence une relation entre la longueur du segment rompu lors d'un séisme et le moment sismique. L'équation suivante est extraite de l'étude de Leonard (2010) :

$$\text{Log}_{10}(M_0) = a \times \text{Log}_{10}(L) + b$$

avec $a=1,5$ et $b=12,5$

L'équation suivante relie le moment sismique M_0 et la magnitude M_w :

$$M_w = \frac{2}{3} \text{Log}_{10}(M_0) - 6$$

Calculez pour chaque événement de la question I-A-2-b, la longueur de faille ayant rompu.

Réponse à la question I-A-2-c

<i>Année</i>	<i>longitude</i>	<i>latitude</i>	<i>magnitude</i>	<i>Mo</i>	<i>L (km)</i>
1940	-115,381	32,8442	6,9	2,238E+19	93
1942	-115,785	32,9753	6,6	7,943E+18	60
1947	-116,531	34,9828	6,5	5,623E+18	52
1952	-118,998	34,9582	7,5	1,778E+20	193
1956	-116,231	31,832	6,8	1,584E+19	84
1968	-116,103	33,1798	6,6	7,943E+18	60
1971	-118,37	34,416	6,6	7,943E+18	63
1979	-115,359	32,6673	6,51	5,821E+18	55
1987	-115,852	33,015	6,5	5,623E+18	53
1992	-116,437	34,2	7,28	8,317E+19	134
1994	-118,537	34,213	6,65	9,440E+18	66
1999	-116,271	34,594	7,12	4,786E+19	104
2003	-121,1	35,7005	6,55	6,683E+18	58
2010	-115,3	32,2163	7,19	6,095E+19	131

I-A-2-d La figure I-A-2-d montre la localisation des séismes pour la période 1932-2011 pour différentes gammes de magnitude, à l'exception des séismes à localiser I-A-2-b. Commentez la distribution des épicentres des séismes à partir de la figure I-A-2-d et de votre réponse à la question I-A-2-b.

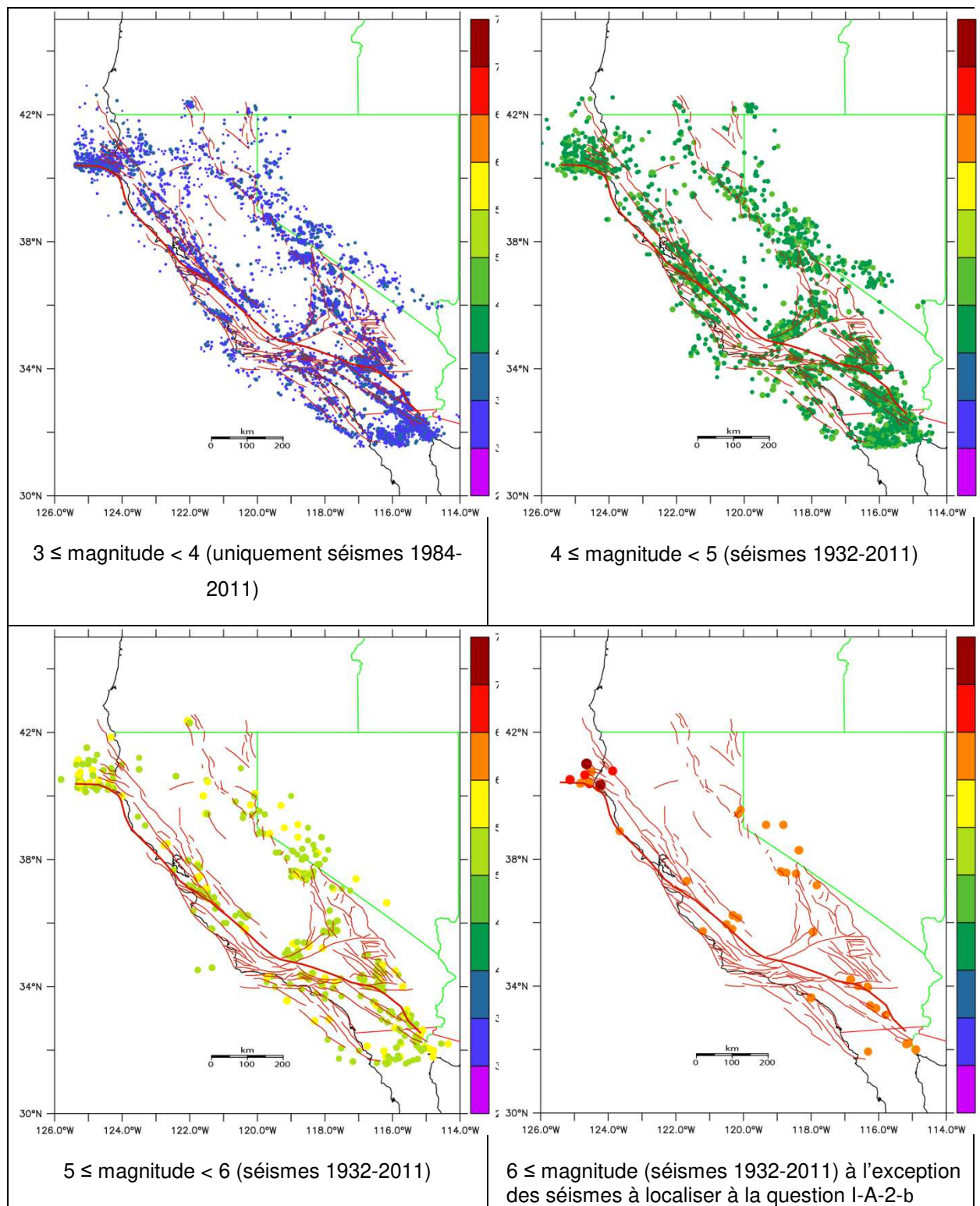


Figure I-A-2-d : localisation de l'épicentre des séismes par gamme de magnitude

Réponse à la question I-A-2-d

On remarque que les épacentres des séismes sont distribués sur un vaste réseau de failles sur l'ensemble de la Californie. Si quelques séismes de forte magnitude (>6) se sont produits sur la faille de San Andreas, on note également des séismes de magnitude élevée (>5) sur d'autres failles. On peut également observer que dans le nord de la Californie, l'activité sismique se concentre sur des failles parallèles à la faille de San Andreas. On peut donc en déduire que ces failles accommodent le mouvement entre Amérique du Nord et plaque Pacifique.

Dans le sud de la Californie, des segments de la faille de San Andreas n'ont pas connu de séismes de magnitude >7 depuis les années 30. C'est notamment le cas pour un segment situé au nord-est de Los Angeles qui a connu un séisme de magnitude 8 en 1857 (Fort Tejon). On peut en déduire :

1) que la probabilité d'avoir un séisme de magnitude ~8 dans cette zone est élevée puisque le temps de récurrence des séismes de magnitude 8 est estimé à une centaine d'années (en réalité le dernier séisme de magnitude 8 dans la partie sud de la Californie a eu lieu en 1857 (Fort Tejon), il y a 162 ans).

2) que la déformation pourrait s'accompagner d'un mouvement asismique par glissement lent ce qui pourrait retarder le prochain gros séisme.

I-A-2-e La profondeur de l'hypocentre est calculée en utilisant le modèle de vitesse sismique 1D de Hadley et Kanamori (1977) qui est reproduit dans le tableau I-A-2-e. Le rapport V_p/V_s est fixé à 1,73

Profondeur de l'unité (km)		Vitesses des ondes P (km/s)
Sommet	base	
0	5,5	5,5
5,5	16	6,3
16	32	6,7
>32		7,8

Tableau I-A-2-e : modèle de vitesse sismique 1D utilisé pour localiser l'hypocentre des séismes en Californie
(Hadley et Kanamori, 1977)

Sous la ville de Los Angeles (localisée sur le document I-A-2-f), la profondeur des hypocentres est surestimée. Pour quelle raison ? Proposer une correction à ce modèle pour obtenir une profondeur vraie de l'hypocentre.

Réponse à la question I-A-2-e

Le modèle de Hadley et Kanamori est adapté à une croûte continentale « classique » mais inadapté sous la ville de Los Angeles car la ville est construite sur un épais bassin sédimentaire. La vitesse des ondes sismiques est plus lente dans ses sédiments induisant des temps d'arrivée plus grands. Sans une correction du modèle de vitesse, les séismes sont anormalement profonds. Or on sait que la profondeur des séismes est généralement inférieure à 15 km (croûte continentale supérieure), c'est-à-dire dans la partie cassante de la croûte continentale (loi de Byerlee).

I-A-3 La figure I-A-3 représente la densité de population en 2010 en Californie (par miles carré soit environ 2,5 km²). Expliquez pourquoi certaines zones présentent un risque plus important que d'autres en argumentant votre réponse.

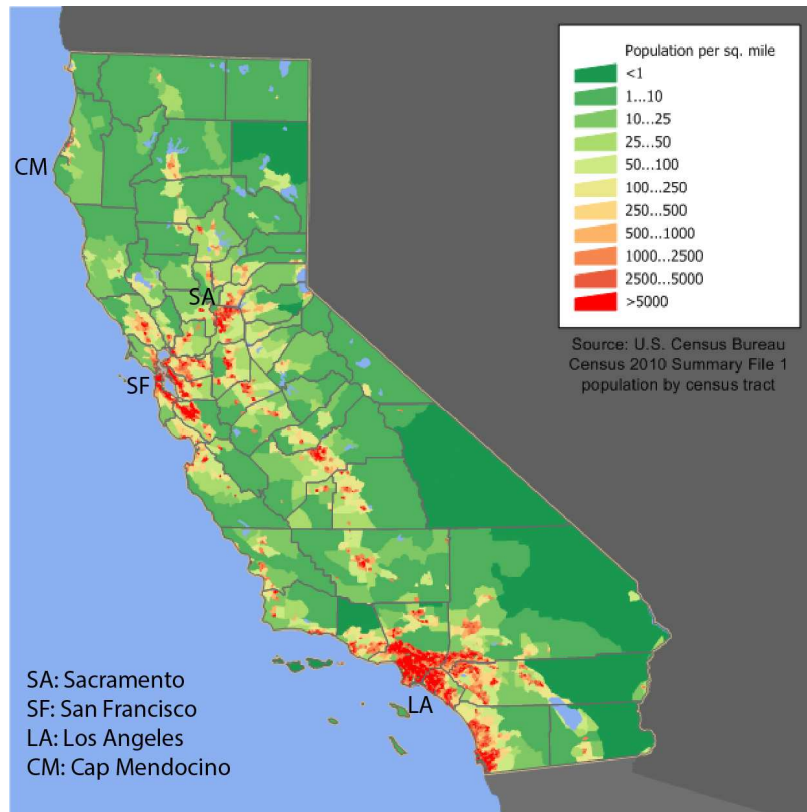


Figure I-A-3 : Densité de population (habitants/mile²) en 2010 en Californie (US Census Bureau)

Réponse à la question I-A-3

Le risque sismique est défini par la relation suivante: $Risque = aléa \times enjeux \times vulnérabilité$

L'aléa est la probabilité d'avoir un événement dans une zone donnée, les enjeux désignent les biens et les personnes concernées par l'aléa, la vulnérabilité désigne la fragilité et la résilience des biens et des personnes soumis à l'aléa.

Nous avons vu que la probabilité d'avoir des séismes forts est élevée sur la faille de San Andreas mais également des aléas associés (effet de site tel que la liquéfaction des sols en raison de la nature du substratum sous Los Angeles et une partie de San Francisco, glissements de terrain), mais le risque est plus élevé en raison d'enjeux importants (forte densité de population à Los Angeles et à San Francisco alors qu'elle sera faible entre ces 2 villes, concentration de l'activité économique au sein de ces mégapoles, nombreuses infrastructures). Sacramento est une ville importante mais l'aléa y est plus faible. Si les constructions récentes de Los Angeles et San Francisco sont bâties selon des normes parasismiques, ce n'est pas le cas des constructions anciennes (avant-guerre), ce qui accroît leur vulnérabilité.

Partie II : De la plaque Pacifique à la plaque Amérique du Nord

L'océan Pacifique porte les stigmates d'une activité volcanique importante à l'origine de nombreuses îles et monts sous-marins. Cet exercice vise, dans un premier temps, à étudier deux célèbres alignements volcaniques : l'archipel Hawaii-Empereur et les monts sous-marins de Louisville (Figure II)

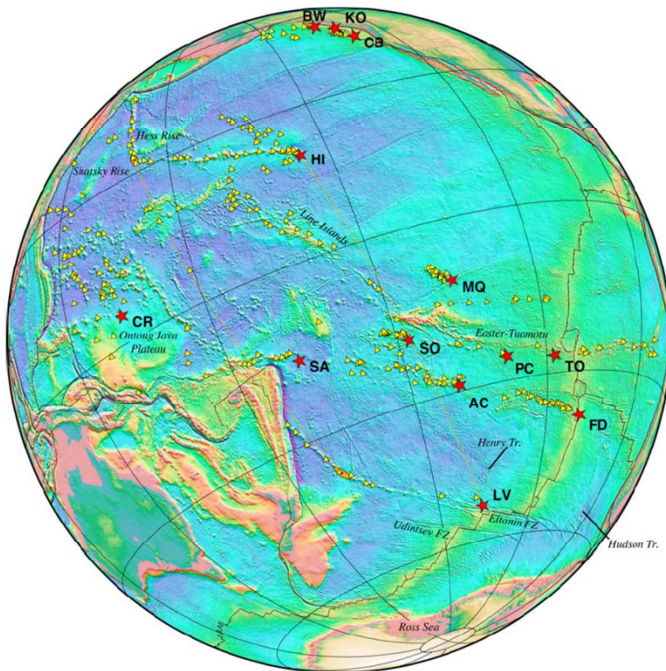


Figure II

Localisation des points chauds sous la plaque Pacifique (Wessel and Kroenke, 2008)

HI : Hawaii

LV : Louisville

II-A L'archipel d'Hawaii

Situé dans l'océan Pacifique, l'archipel d'Hawaii est constitué de 19 îles et autant de volcans. L'activité volcanique y a débuté, il y a environ 4 millions d'années.

Un profil topographique (figure II-A-b) a été réalisé avec *Google Earth*, le long du segment AB orienté SW-NE passe par l'île O'ahu (figure II-A-a). Interprétez le profil topographique.

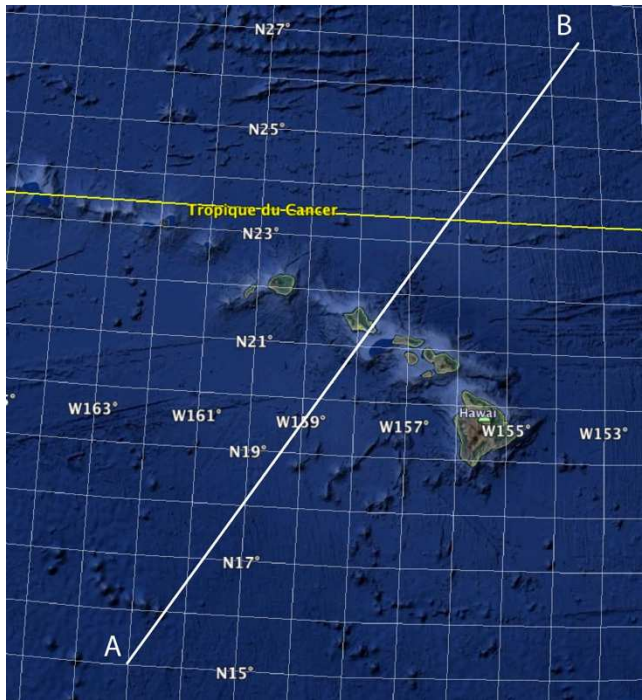


Figure II-A-a : localisation du profil topographique (segment AB)

Réponse à la question II-A

Aux extrémités du profil, la bathymétrie est d'environ -5700m. Cela suggère que l'archipel d'Hawaii s'est formé sur une plaque océanique relativement âgée (~90 Ma). Le bombement à grande longueur d'onde (1250km) est lié à la remontée du matériel chaud (panache mantellique), la flexure à courte longueur d'onde (400km) qui se superpose au bombement est liée au poids de volcan.



Figure II-A-b : profil topographique (équidistance topographique : 500m - équidistance horizontale: 250 km (Le point le plus haut est à +607 m, le plus bas à -5743 m) (réalisé avec Google Earth)

II-B-1 Les coulées volcaniques situées dans la partie ouest de l'île de Maui (figure II-B-1, carré rouge) ont été échantillonnées pour mesurer les éléments majeurs et traces ainsi que pour effectuer des datations.

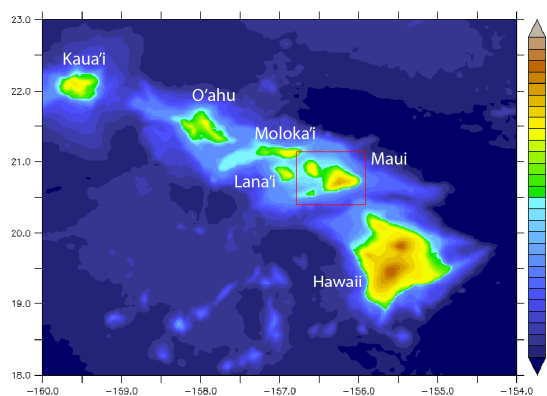


Figure II-B-1 (gauche) : la partie est de l'archipel d'Hawaii avec l'île Maui (encadré en rouge).

Figure II-B-1 (droite) : les données de la question II-B-1 correspondent à des coulées volcaniques situées dans la partie ouest de l'île Maui (encadré en rouge).

Des échantillons représentatifs des séries échantillonnées sont analysés. La composition chimique en éléments majeurs et en composition normative (CIPW) est donnée dans les tableaux II-B-1-a1 et II-B-1-a2 respectivement.

%poids oxydes	Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C
SiO ₂	50,27	44,07	57,97
TiO ₂	2,28	2,16	1,06
Al ₂ O ₃	14,01	13,68	18,56
Fe ₂ O ₃	3,64	4,01	1,82
FeO	6,87	8,35	4,81
MnO	0,18	0,2	0,24
MgO	7,21	11,74	1,95
CaO	10,89	10,22	3,32
Na ₂ O	2,01	3,45	6,74
K ₂ O	0,3	1,35	2,89
P ₂ O ₅	0,26	0,4	0,1
LOI	1,28	0,38	-
somme	99,20	100,1	100

Tableau II-B-1-a1 : analyses chimiques en % poids d'oxydes

(source : O'Connor et al., 2013)

% massique	Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C

Tableau II-B-1-a2 : Les échantillons du tableau II-B-1-a1 en composition

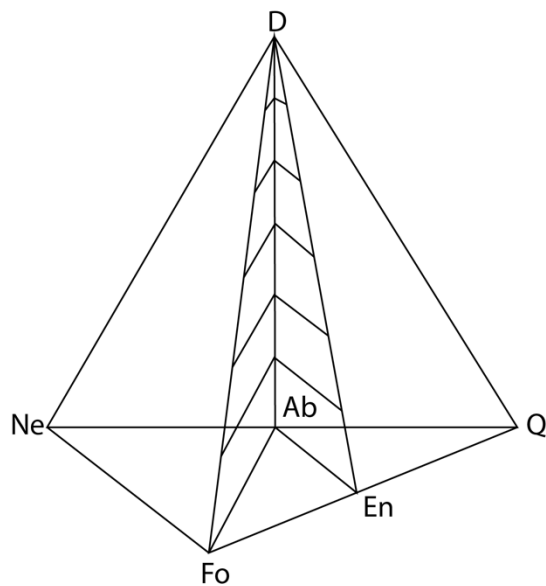
norme CIPW			
Quartz	6,45	-	-
Anorthite	28,32	17,85	11,85
Diopside	19,25	24,17	3,3
Hypersthène	14,9	-	-
Albite	17	8,61	53,7
Orthose	1,77	7,98	17,08
Olivine	-	19,02	6,84
Nepheline	-	11,15	1,8
Apatite	0,6	0,93	0,23
Ilmenite	4,33	4,1	2,01
Magnetite	5,27	5,81	2,64
total	97,92	99,63	99,46

massique normative CIPW

II-B-1-a Quel est l'intérêt de la composition normative CIPW ?

Réponse à la question II-B-1-a

La norme ICPW (Iddings, Cross, Pearson et Washington) permet de déterminer la composition minéralogique « théorique » d'une roche magmatique si elle avait entièrement cristallisé. On appelle minéraux normatifs, les minéraux obtenus par le calcul de la norme ICPW.



II-B-1-b Nommez les échantillons A, B et C en vous appuyant sur les analyses en majeurs (tableau II-B-1-a1) et en composition normative (tableau II-B-1-a2) et la figure II-B-1

Réponse à la question II-B-1-b

A : basalte tholéïitique

B : basanite

C : trachyte

Figure II-B-1-b : Tétraèdre normatif de classification des basaltes (Yoder et Tilley, 1962).

II-B-1-c La figure II-B-1-c présente les résultats des analyses (SiO_2 , MgO , $\text{N}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, Nb/Zr) de différentes coulées volcaniques échantillonnées en fonction de leur âge. Aucune coulée volcanique antérieure à 2 millions d'années n'a pu être échantillonnée.

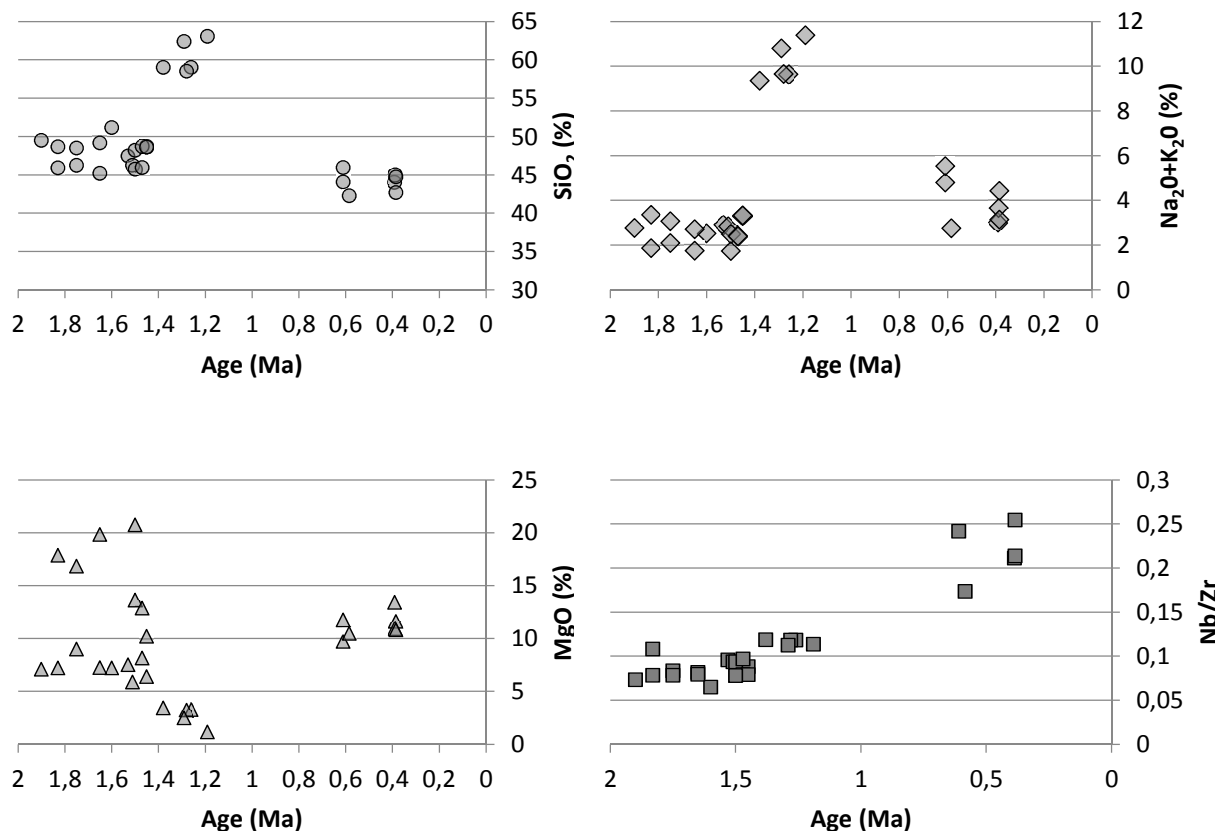


figure II-B-1-c (source des données : O'Connor et al., 2013)

Etablir un scénario d'évolution du volcanisme dans la partie ouest de l'île Maui en vous appuyant sur la figure II-B-1-c et la question précédente.

Réponse à la question II-B-1-c

Le diagramme montre 4 périodes distincts :

- 1) entre 2 et 1,4Ma : SiO_2 entre 45 et 50% et teneur faible en alcalin faible (basalte) : phase bouclier
- 2) entre 1,4 et 1,1Ma : hausse de la teneur en SiO_2 , teneur en alcalin plus élevé, le taux fusion partielle est plus faible. On n'observe pas de hiatus temporel entre ces périodes magmatiques. Cette phase marque la fin de la phase bouclier du volcanisme sur Maui.
- 3) arrêt du volcanisme pendant 500 ka entre 1.1 et 0.6 Ma. L'île de Maui est entraînée en dehors du point chaud
- 4) reprise du volcanisme pendant 200 ka avec des caractéristiques très différentes soulignées par un rapport d'élément incompatible bien plus élevé et une sous-saturation en silice. Le déplacement de la plaque pacifique a éloigné l'île du point chaud (l'activité principale se situe maintenant à l'est de l'île de Maui). Le volcanisme pourrait être lié au démantèlement des reliefs et de la fracturation.

NB: Connaissant la durée des phases volcaniques 1 et 2, environ 1 Ma et la vitesse de la plaque Pacifique environ 10 cm/an (voir question II-C-1-b), on peut estimer le diamètre du panache ascendant à environ 100 km.

II-C Des échantillons de roche volcanique de l'archipel Hawaii-Empereur ont été datés essentiellement par la méthode Ar/Ar et K-Ar (tableau II-C)

Site	Latitude (°)	Longitude (°)	Age (Ma)	Méthode
Daikakuji	32,090	172,220	46,7±0,1	Ar/Ar
Abbott	31,780	174,290	41,5±0,3	Ar/Ar
Helsley	28,930	-179,680	31,8±0,9	Ar/Ar
Midway	28,090	-177,500	27,5±1	Ar/Ar
Pearl and Hermes	27,780	-176,130	24,6±0,5	Ar/Ar
Necker	23,500	-164,500	10,3±0,4	K-Ar
Nihoa	23,100	-161,967	7,2±0,3	K-Ar
Kaula	21,650	-160,520	4,2±0,3	K-Ar
Kilauea	19,200	-155,050	0	-----

Tableau II-C : localisation, âge et incertitude (Ma) et méthode employée pour la datation des roches volcaniques prélevées dans l'archipel Hawaii-Empereur (source des données : O'Connor et al., 2013)

II-C-1-a Expliquez le principe de la datation K-Ar et Ar/Ar.

Réponse à la question II-C-1-a

La datation K-Ar est une méthode de datation radiométrique basée sur la désintégration de l'isotope ^{40}K (seul isotope radioactif du K) en ^{40}Ar (90% du ^{40}K se désintègre en ^{40}Ca). La désintégration de l'isotope ^{40}K en ^{40}Ar s'effectue majoritairement par capture électronique et parfois par désintégration β^+ . Le temps de demi-vie est de 1,26Ga. Cette méthode est utilisée pour dater les roches magmatiques car l'argon va dégazer tant que le magma est liquide. Au cours du refroidissement, la diffusion cesse ($T^{\circ}_{\text{fermeture}}=600-700^{\circ}\text{C}$), l'isotope ^{40}Ar qui se forme est piégé dans le réseau cristallin. Pour déterminer l'âge, on mesure la quantité de ^{40}K et de ^{40}Ar (radiogénique) par spectrométrie de masse.

La datation $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ est dérivée de la méthode K-Ar. Le K est présent sous forme de 3 isotopes (^{39}K , ^{40}K , ^{41}K). Par irradiation neutronique de l'échantillon dans un réacteur nucléaire, on transforme une partie de ^{39}K en ^{39}Ar . L'âge de l'échantillon devient donc une fonction du rapport $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Pour déterminer le rendement de la réaction nucléaire à l'origine du ^{39}Ar , des échantillons standard sont irradiés en même temps que les échantillons dont on cherche à déterminer l'âge. L'échantillon est chauffé par palier de manière à relâcher l'argon progressivement. On mesure le rapport $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ par spectrométrie de masse. Un rapport $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ constant pendant la chauffe permet d'obtenir un âge.

II-C-1-b Calculez la distance orthodromique séparant chaque site du volcan actif Kilauea sur l'île d'Hawaii. Reportez les valeurs sur un graphe de l'âge en fonction de la distance orthodromique. En déduire la vitesse de la plaque Pacifique en fonction de l'âge. Commentez le résultat obtenu.

La distance d_{AB} entre deux points A et B de coordonnées géographiques (latitude λ ; longitude ϕ) sur le globe terrestre s'exprime de la façon suivante :

$$d_{AB} = R_T \cdot \arccos(\sin \lambda_A \sin \lambda_B + \cos \lambda_A \cos \lambda_B \cos(\varphi_A - \varphi_B))$$

avec R_T le rayon de la Terre

Réponse à la question II-C-1-b

Après avoir calculé les valeurs, les candidats devaient tracer la distance en fonction de l'âge.

On distingue 2 groupes de points alignés. L'inverse du coefficient directeur de la droite donne la vitesse de la plaque Pacifique.

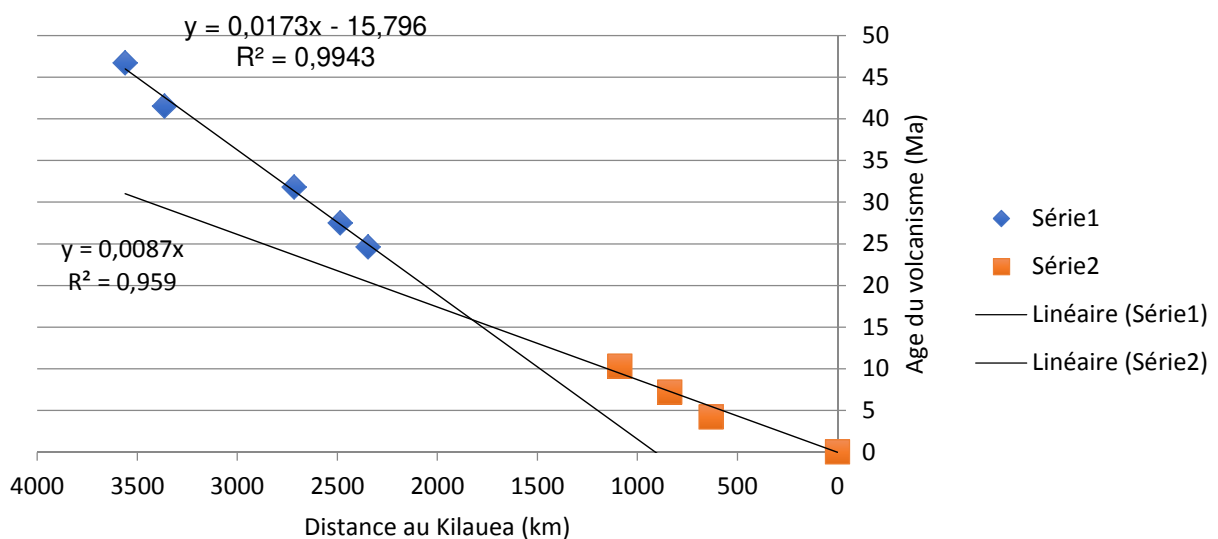
Daikakuji à Pearl and Hermes : vitesse=58 km/Ma (5,8 cm/an)

Necker => Hawaii : vitesse=115 km/Ma (11,5 cm/an)

Plusieurs raisons peuvent être avancées pour expliquer ce résultat: le calcul est fait toujours à partir de Hawaii, ce qui lisse les variations de vitesses pour les volcans les plus éloignés, néanmoins le changement de vitesse est très important depuis 10-15 Ma. Cela pourrait être lié à la stabilité du point chaud.

NB: la formule était donnée en radian.

volcan	distance au Kilauea (km)
Daikakuji	3561
Abbott	3364
Helsley	2717
Midway	2485
Pearl and Hermes	2347
Necker	1089
Nihoa	838
Kaula	632
Kilauea	0



II-C-1-c La chaîne des monts sous-marins de Louisville située dans le sud de l'océan Pacifique a également pour origine un point chaud indiqué LV sur la figure II. Des échantillons prélevés en dix sites différents ont été datés par la méthode Ar/Ar. La figure II-C-1-c représente la distance au site le plus jeune en fonction de l'âge du volcanisme.

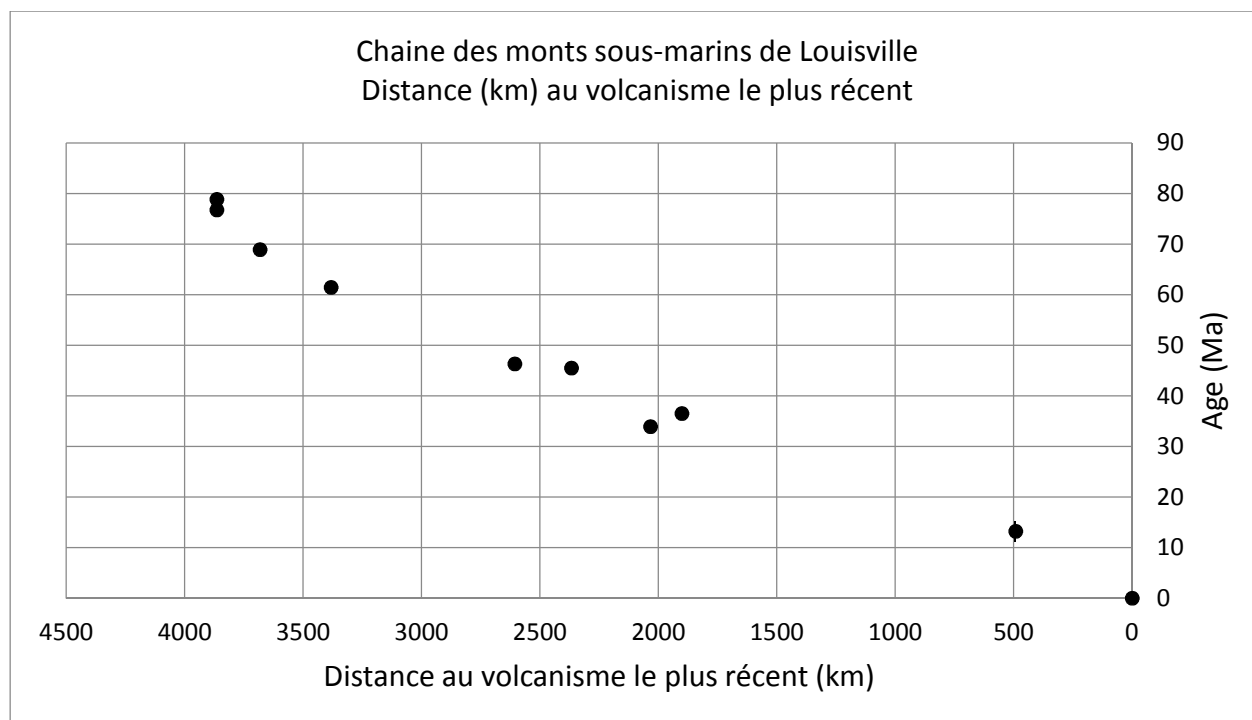


Figure II-C-1-c (les incertitudes sont masquées par le symbole représentant la donnée)

Déterminez la vitesse de la plaque Pacifique à partir des données de la chaîne des monts sous-marins de Louisville. Comparez avec la réponse à la question II-C-1-b.

Réponse à la question II-C-1-c

On trouve une vitesse de 53,5 km/Ma. On n'observe pas de changement de vitesse.

Le résultat est cohérent avec la vitesse déterminée à la précédente pour la période anté-Miocène.

Donc on peut supposer que la vitesse élevée ne concerne que le point chaud d'Hawaii.

II-D Les limites des plaques Pacifique, Nord-Américaine et Juan de Fuca se croisent au large du Cap Mendocino (44°N ; 126°W). Des mesures géodésiques sur la faille de San Andreas donnent une vitesse relative de 47,2 mm/an et une direction $\text{N}154,6^{\circ}$ de la plaque Pacifique par rapport à la plaque Amérique du Nord. Les anomalies magnétiques marines et la faille transformante entre les plaques Pacifique et Juan de Fuca donnent une vitesse relative de 58,5 mm/an et une direction $\text{N}112,8^{\circ}$.

II-D-1 Déterminez la vitesse relative et la direction du mouvement relatif de la plaque Juan de Fuca par rapport à la plaque Nord-Américaine.

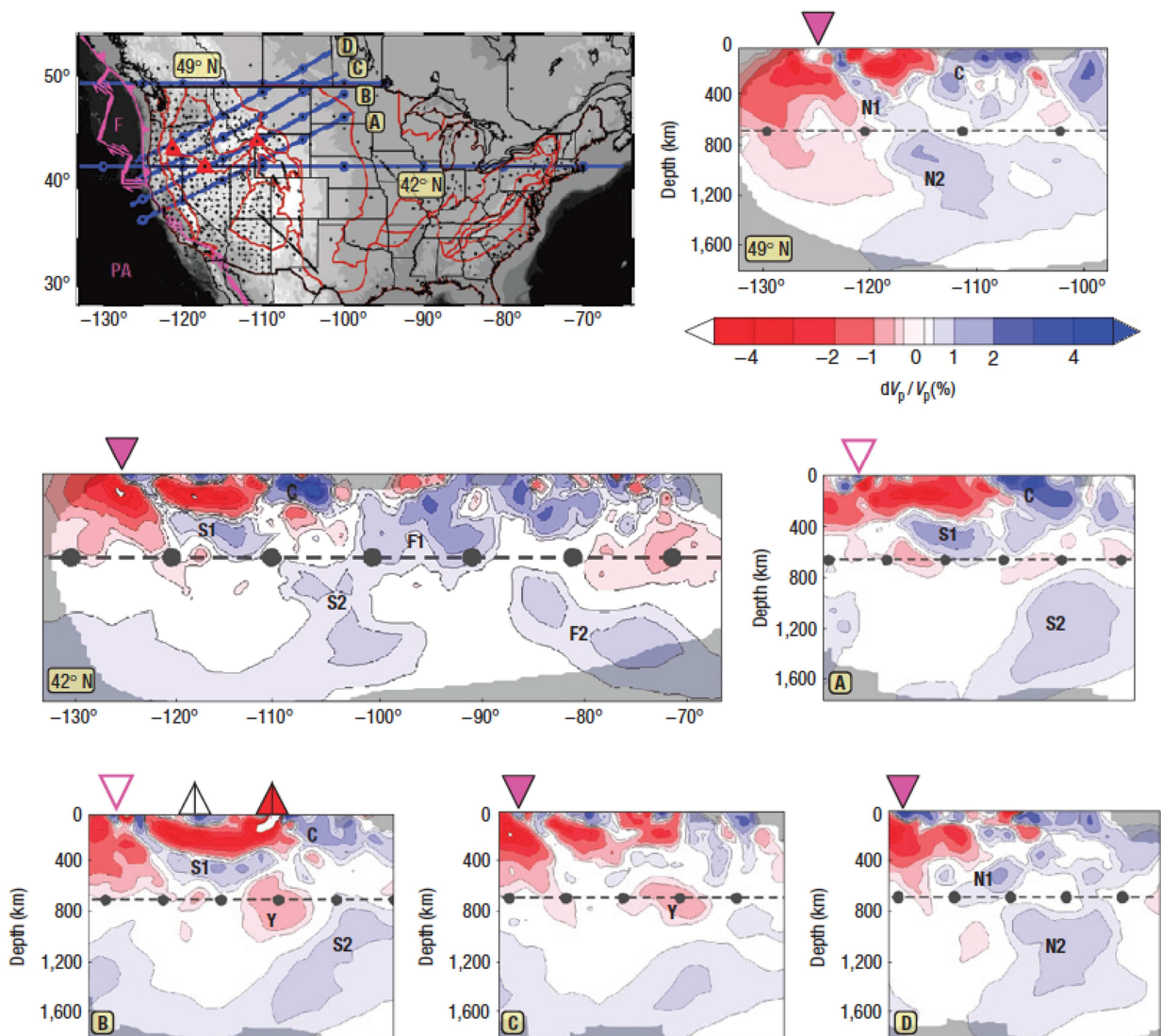
Réponse à la question II-D-1

En traçant le triangle des vitesses, on obtenait :

- la direction N60
- la vitesse 40mm/an

II-D-2 Une étude par tomographie sismique (basée sur l'onde P) a été réalisée sous le continent nord-américain. Six profils (42°N, 49°N, A, B, C, D) ainsi que leur localisation sont présentés sur la figure II-D-2.

II-D-2-a Localisez sur les coupes tomographiques de la figure II-D-2 (à la surface de la Terre), la/les limite(s) des plaques et la/les zone(s) volcanique(s).



La limite des plaques Juan de Fuca/Amérique du Nord est indiquée par les triangles pleins magenta (profils C, D, 42°N, 49°N). La limite des plaques Pacifique/Amérique du Nord est indiquée par les triangles magenta (profils A, B). Le triangle rouge sur le profil B indique le volcanisme de Yellowstone.

II-D-2-b Etablissez le contexte géodynamique de la région calée en âge en vous appuyant sur des éléments précis de la figure II-D-2. Pour caler en âge ces événements, vous serez amené à faire une hypothèse que vous argumenterez.

Réponse à la question II-D-2-b

Les profils tomographiques à 42°N et 49°N permettent d'observer la subduction de la plaque Juan de Fuca (anomalie de vitesses positives = panneau froid) dans le manteau supérieur selon un angle d'environ 45°. Ce plan est noté N1 et N2 dans le profil à 49°N et S1 et S2 sur les autres profils, mais il est possible qu'il ne soit pas continu. En fait l'anomalie S2 est peut être plus jeune que F1.

Par ailleurs, on observe une seconde anomalie de vitesse positive sur la coupe à 42°N notée F1 et F2. Cette anomalie de vitesse est associée à un plan de subduction situé loin du plan de subduction actuel. Il est visible dans le manteau supérieur et dans le manteau inférieur. Ce plan de subduction est lié à la subduction d'une plaque lithosphérique appelée plaque Farallon (en réalité, la plaque Juan de Fuca et la plaque Farallon constituaient à l'origine, une seule et même plaque).

On remarque que la plaque F1 est encore dans le manteau supérieur malgré son âge. Si on fait l'hypothèse que la plaque Juan de Fuca et Farallon subduisent à la même vitesse (vitesse que l'on vient de calculer) et en considérant que la position de la zone de subduction n'a pas « bougé », on peut estimer l'âge de la subduction :

Pour l'anomalie de vitesse F1

Distance de l'anomalie F1 à la subduction actuelle : 25° (~2000 km) à 35° (~3000 km)

$$F1 = \Delta(\text{longitude}) \times 111 \text{ km} \times \cos(42^\circ)$$

La vitesse est de 40 km/Ma dans la direction N60 donc

$$\text{Dist}_{F1} = F1 \times \cos(90^\circ - 60^\circ)$$

$$2000 \times \cos(30) = 1750 \text{ km} \Rightarrow \text{âge} = \text{distance} / \text{vitesse} = 45 \text{ Ma}$$

$$3000 \times \cos(30) = 2600 \text{ km} \Rightarrow \text{âge} = 65 \text{ Ma}$$

Pour l'anomalie de vitesse F2 :

Distance à l'anomalie F2: environ 15° environ

$$\text{Dist}_{F2} = 15 \times 111 \times \cos(42^\circ) / \cos(45^\circ) \times \cos(90 - 60) = 1900 \text{ km}$$

ce qui donne un âge d'environ 50 Ma + 65 Ma \Rightarrow 115 Ma

Pour l'anomalie S2 :

$\Delta(\text{longitude}) = 25^\circ$ et angle de plongement 45°

$\text{dist}_{S2} = 25 \times 111 \times \cos(42^\circ) / \cos(45^\circ)$ (pendage) $\times \cos(90 - 60) = 2000 \text{ km}$ ce qui donne un âge de 50 Ma.

La subduction de la plaque Farallon fonctionne depuis au moins 115 Ma (F2) mais reste dans le manteau supérieur pendant 50-60 Ma. L'âge de l'anomalie S2 est également d'environ 50 Ma. On

observe donc une transition dans le fonctionnement de la subduction de la plaque Farallon/Juan de Fuca vers 50Ma

En réalité la vitesse de convergence de la plaque Farallon par rapport à l'Amérique du Nord a pu varier au cours du temps mais ce simple calcul permet d'avoir une estimation, certes grossière, des événements géodynamiques au cours du temps.

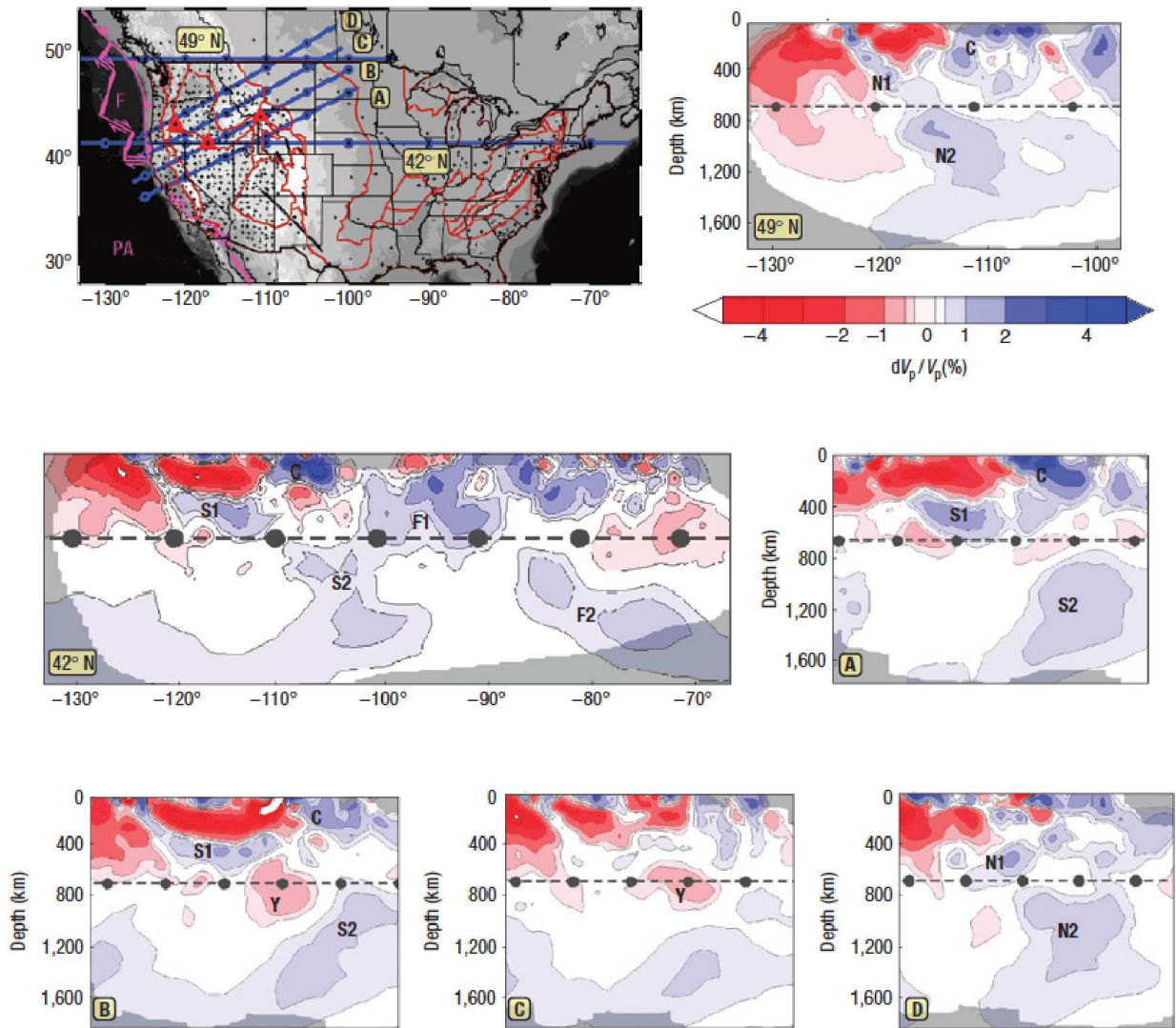


Figure II-D-2 (d'après Sigloch et al., 2008) Sur la carte de localisation : profils tomographiques (bleu) frontières politiques (noir), limites des provinces géologiques (rouge), limites des plaques tectoniques (magenta) – PA : Pacifique – F : Juan de Fuca; les autres figures représentent l'anomalie de vitesse des ondes P le long des différents profils.

II-E Le continent nord-américain est marqué par une vaste inondation marine durant le Crétacé (figure II-E1). Au maximum de son extension, cette mer épicontinentale connecte l'océan Arctique au Golfe du Mexique. Cette mer envoie un bassin dans lequel se dépose une séquence sédimentaire.

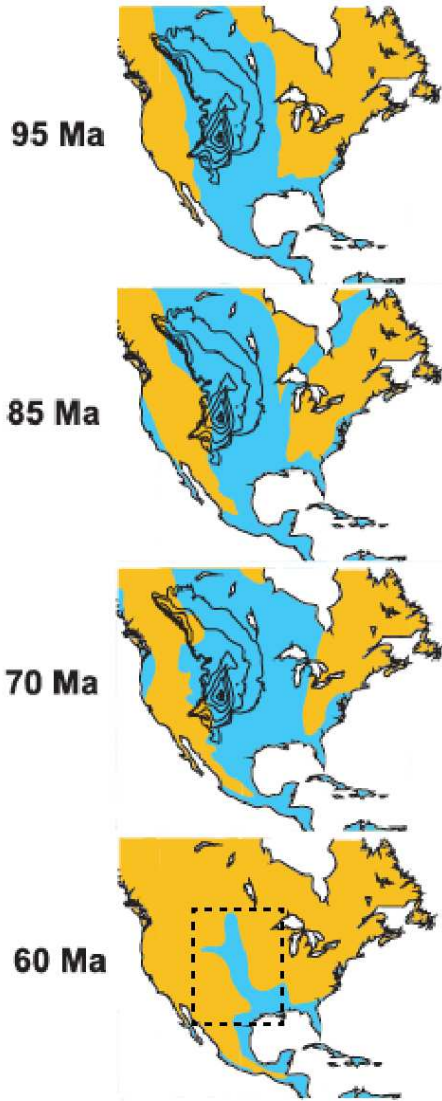


Figure II-Ea : les parties en bleu représentent la mer épicontinentale (source : Spasojevic et al., 2009)

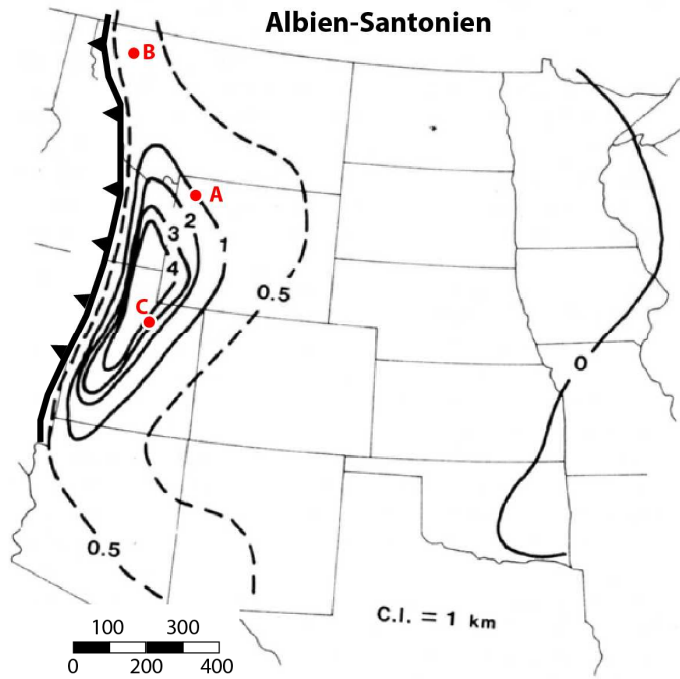


Figure II-Eb : carte des isopaques des sédiments Albien-Santonien (km) (source : Cross et al., 1986)

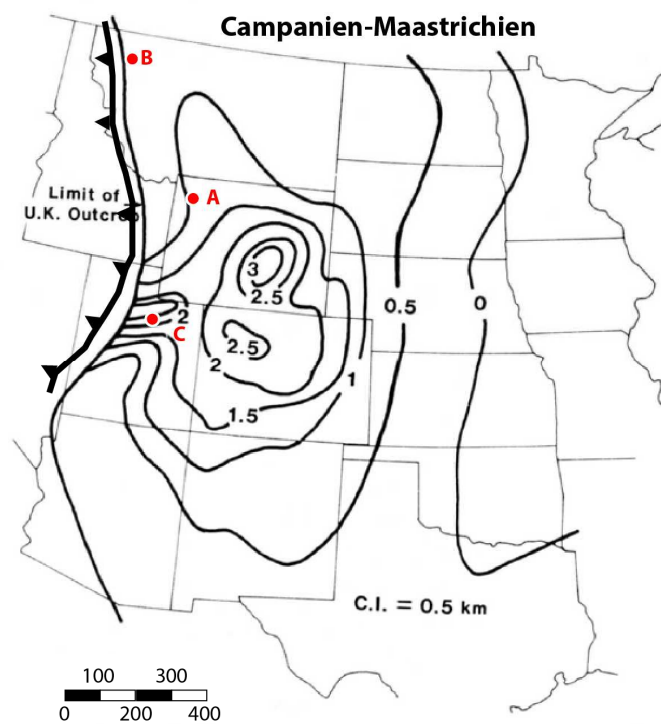
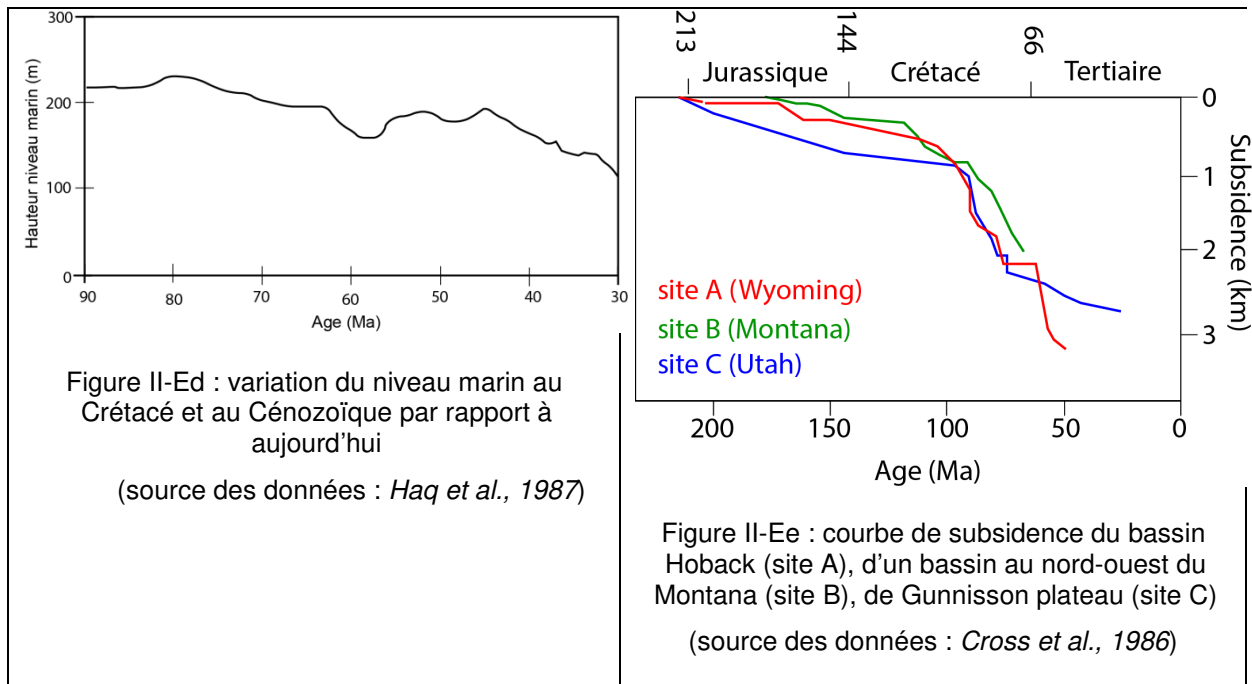


Figure II-Ec : carte des isopaques des sédiments Campanien-Maastrichtien (km) (source : Cross et al., 1986)



II-E-1 Comment appelle t-on ce type de bassin dans le contexte géodynamique de l'Albien-Santonien (figure II-Eb ?

Réponse à la question II-E-1

Il s'agit d'un rétro-bassin d'avant-pays.

II-E-2 L'épaisse série sédimentaire de l'Albien-Santonien s'accumule dans un bassin associé à une flexure de la lithosphère continentale. L'amplitude de la déflexion, solution d'une équation du 4^{ème} ordre, s'écrit :

$$w = w_0 \exp\left(-\frac{x}{\alpha}\right) \cos\left(-\frac{x}{\alpha}\right)$$

$$w_0 = \frac{V_0 \alpha^3}{4D}$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

$$\alpha = \left(\frac{4D}{(\rho_m - \rho_s)g} \right)^{1/4}$$

w : subsidence (>0 vers le bas et <0 vers le haut)

D : rigidité flexurale de la lithosphère (N.m)

V₀ : charge (force)

E : module de Young (E=70 GPa)

ν : coefficient de Poisson (ν=0,25)

ρ_m : masse volumique du manteau (3300 kg.m⁻³)

ρ_s : masse volumique moyenne des sédiments (2600 kg.m⁻³)

g : accélération de la gravité (9,81 m.s⁻²)

h : épaisseur (m)

La mer épicontinentale est négligée dans le calcul de la subsidence

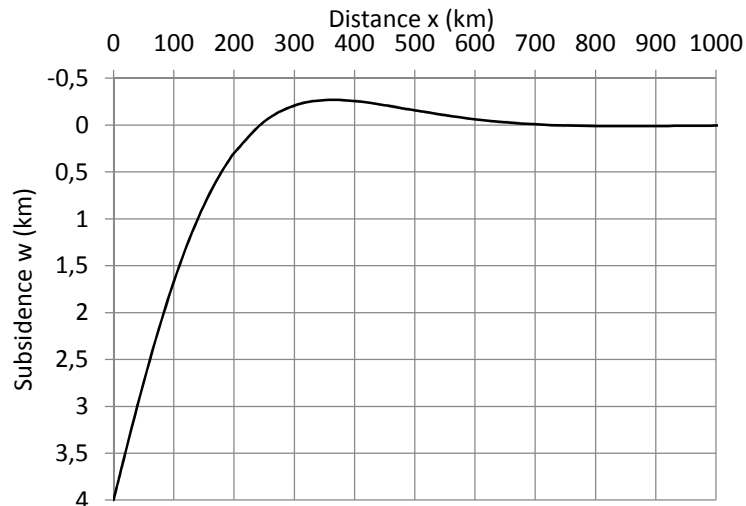


Figure II-E-2 : calcul de la subsidence w en fonction de la distance à l'axe de la charge V_0 (en $x=0$) pour les paramètres suivants : $D=1 \times 10^{24}$ N.m et $w_0=4$ km

II-E-2-a Le coefficient D de la lithosphère est égale à 1×10^{24} N.m. Déterminez la valeur de l'épaisseur h . Qu'est-ce que représente le paramètre h ?

Réponse à la question II-E-2-a

Le paramètre h est égale à 54 km. Il représente l'épaisseur élastique équivalente de la lithosphère.

II-E-2-b La figure II-Ee représente l'évolution de la subsidence du bassin en fonction de l'âge pour trois sites différents. Interprétez cette figure en la remplaçant dans le contexte géodynamique.

Réponse à la question II-E-2-b

La subsidence du bassin débute au Trias supérieur dans l'Utah (site C) avant d'affecter l'ensemble des sites A et B au Jurassique. Cette phase est contemporaine de la dislocation de la Pangée et de l'ouverture de l'Atlantique Centrale et de l'accrétion d'un arc sur la marge ouest de l'Amérique du nord.

La subsidence du bassin s'accélère à l'Albien et au Santonien, en particulier pour les sites B et C. C'est à ces périodes que l'on observe les plus puissantes formations sédimentaires. On est clairement dans un contexte de flexure de la plaque en contexte de bassin d'arrière-pays avec rétrochevauchement. Cette période marque une importante phase orogénique dans l'ouest de l'Amérique du Nord (orogénèse Sevier). On note la présence d'une vaste mer épicontinentale, la Western Interior Seaway, qui envoie le continent nord-américain. Le point A connaît une subsidence jusqu'à la fin du Crétacé tandis que le point B semble épargné. La période Campanien-Maastrichien est marquée par le morcellement des dépôts centres sédimentaires en liaison avec une structuration de la lithosphère archéenne du craton Laurentia.

II-E-2-c Comparez la subsidence calculée pour une lithosphère continentale (figure II-E-2) aux épaisseurs sédimentaires dans les bassins d'âge Crétacé (figures II-Eb et II-Ec) en tenant compte des variations du niveau marin (figure II-Ed) et de l'extension de la mer épicontinentale (figure II-Ea). Quel processus géodynamique n'est pas pris en compte dans le calcul théorique de la subsidence ? Votre réponse doit être argumentée.

Réponse à la question II-E-2-c

Un modèle simple de flexure d'une plaque lithosphérique (Figure II-E-2) montre un développement d'un bassin le long du chevauchement et la présence d'un bombement. Ce modèle permet d'expliquer la subsidence et l'accumulation des sédiments à l'Albien et au Santonien (Figure II-Eb).

Au Campanien-Maastrichien (Figure II-Ec), le modèle de flexure ne fonctionne pas. Les dépocentres s'éloignent du front de chevauchement (et se morcellent). De plus, l'ennoiement du continent Nord-Américain s'accroît alors que le niveau marin baisse (Figure II-Ed). L'extension du bassin ne peut pas s'expliquer par une flexure de la lithosphère.

Cette zone ennoyée au Campanien-Maastrichien (correspondant aujourd'hui aux grandes plaines du continent Nord-Américain) est en subsidence à cette époque. Cette subsidence est liée à la subduction de la plaque Farallon. On est en présence d'un mécanisme appelé topographie dynamique. La plaque de Farallon passe sous le continent nord américain en restant dans le manteau supérieur (Figure II-D-2) avant de plonger sous les grandes plaines nord américaines. Ce corps froid et rigide génère un mouvement visqueux du manteau vers le bas qui entraînent la lithosphère. On observe donc une subsidence dynamique (par opposition à une subsidence statique liée à une charge sédimentaire).

III Paléoaltimétrie du plateau du Colorado

La paléoaltimétrie vise à quantifier l'altitude passée des reliefs. Depuis le début des années 2000, cette estimation des paléoaltitudes s'appuie notamment sur la mesure isotopique de l'oxygène, le $\delta^{18}\text{O}$.

N.B : Des formules sont données à la fin de l'exercice.

III-A Le $\delta^{18}\text{O}$ des précipitations actuelles

Le $\delta^{18}\text{O}_p$ des précipitations actuelles est mesuré en divers points du globe depuis le début des années 1960 par Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) sous l'égide de l'International Atomic Energy Agency (IAEA) et de World Meteorological Organization (WMO). La figure III-A (Rowley et al.,

2001) représente la localisation de quelques sites de mesures et pour chaque site, son altitude et la valeur moyenne annuelle pondérée exprimée en ‰.

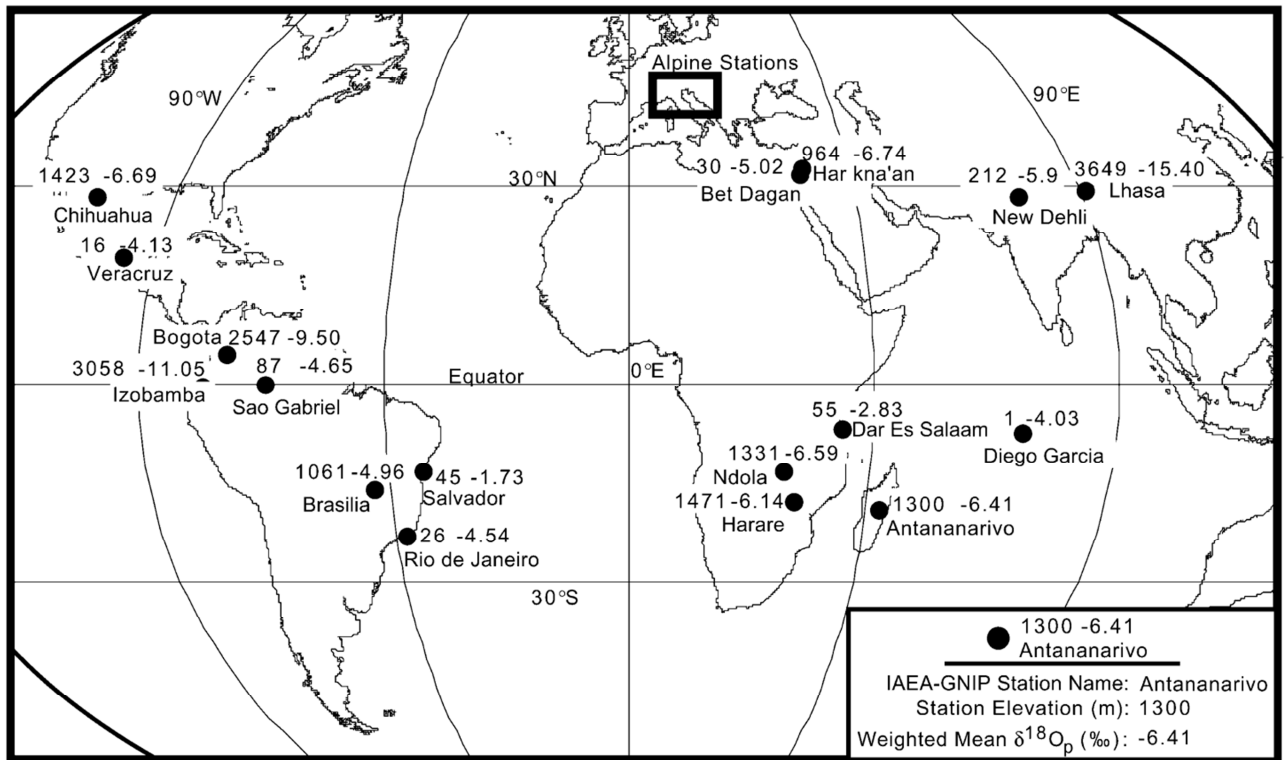


Figure III-A

III-A-1-a Qu'est ce que le $\delta^{18}\text{O}$? Comment le mesure t-on ?

Réponse à la question III-A-1-a

L'atome d'oxygène a plusieurs isotopes, ^{16}O , le plus courant, ^{17}O et le ^{18}O . Le $\delta^{18}\text{O}$ est la mesure de la quantité de ^{18}O par rapport au ^{16}O dans un échantillon rapportée à un standard : Sea Mean Ocean Water ou Pee Dee Belemnite).

$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{ech}} - \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{std}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{std}}} \right) \times 1000$$

Le $\delta^{18}\text{O}$ n'a pas d'unité et s'exprime en ‰. La mesure est réalisée par spectrométrie de masse.

III-A-1-b Calculez la différence de $\delta^{18}\text{O}$ entre deux stations A et B ($\delta^{18}\text{O}_A - \delta^{18}\text{O}_B$) en fonction de l'altitude du site A. Le site A est un site en altitude, le site B est un site de référence à très basse altitude à proximité du site A. Pourquoi utilise t-on un site de référence ? Vous indiquerez dans le tableau ci-dessous, le site B de référence utilisé pour chaque site A en altitude.

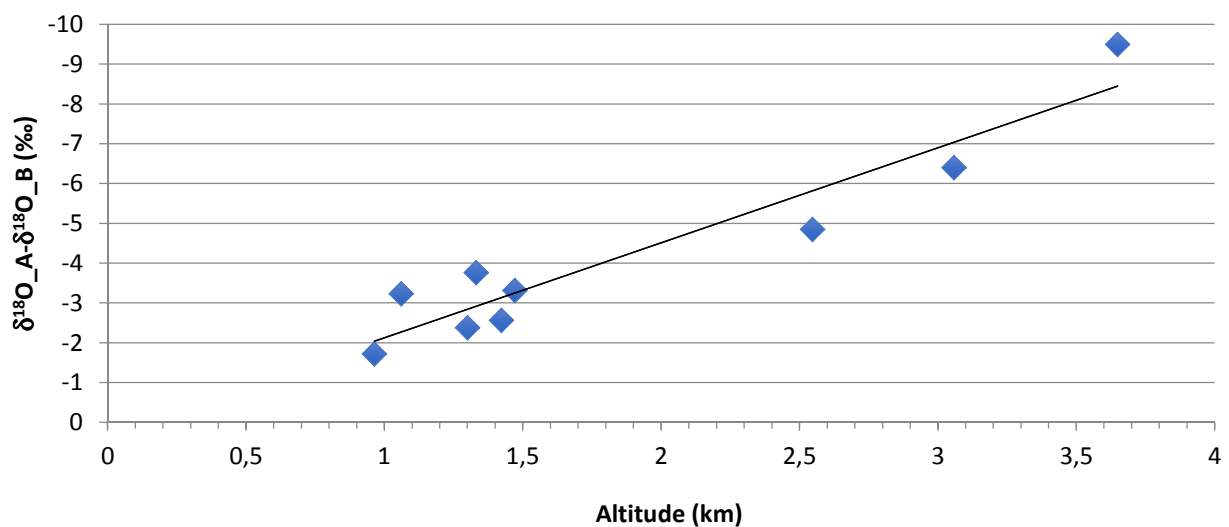
Réponse à la question III-A-1-b

Pour minimiser les conséquences du transport sur la signature isotopique des précipitations, les sites A et B sont choisis les plus proches possibles. Néanmoins, on observe une certaine dispersion en réponse aux processus locaux.

Site A en altitude	Site B de référence	Altitude du site A (m)	$\delta^{18}O_A - \delta^{18}O_B$ (‰)
Chihuahua	Veracruz	1423	-2,56
Bogota	Sao Gabriel	2547	-4,85
Izobamba	Sao Gabriel	3058	-6,4
Brasilia	Salvador	1061	-3,23
Ndola	Dar el Salam	1331	-3,76
Harare	Dar el Salam	1471	-3,31
Antananarivo	Diego Garcia	1300	-2,38
Har Kna'an	Bet Dagam	964	-1,72
Lhasa	New Delhi	3649	-9,5

III-A-1-c Placez les données obtenues à la question III-A-1-b dans un graphe ($\delta^{18}O_A - \delta^{18}O_B$) en fonction de l'altitude du site A. Tracez la courbe moyenne, puis calculez le gradient du $\delta^{18}O_p$ des précipitations (‰ / km).

Réponse à la question III-A-1-c



Les mesures présentait une dispersion importante. Il fallait donc tracer une droite moyenne pour pouvoir en déduire le gradient du $\delta^{18}\text{O}_p$ des précipitations. Le gradient du $\delta^{18}\text{O}_p$ des précipitations est de $-2,4\text{‰}/\text{km}$.

En utilisant la différence d'altitude entre les sites A et B plutôt que l'altitude du site, on obtient une pente de $-2,5\text{‰}/\text{km}$, l'effet est modeste car les sites de référence sont à faible altitude.

III-A-1-d Les figures III-A-1-d représentent les moyennes mensuelles des précipitations (mm), de la température ($^{\circ}\text{C}$) et du $\delta^{18}\text{O}_p$ des précipitations pour la ville de Flagstaff (Arizona, USA) située à 2136m d'altitude. Les moyennes mensuelles des précipitations et du $\delta^{18}\text{O}_p$ des précipitations sont également reportées dans le tableau III-A-1-d.

A l'aide du gradient du $\delta^{18}\text{O}_p$ des précipitations calculé à la question III-A-1-c, déterminez l'altitude de la ville de Flagstaff. Commentez ce résultat en précisant l'origine du biais observé en vous appuyant sur les figures III-A-1-d1 à III-A-1-d4.

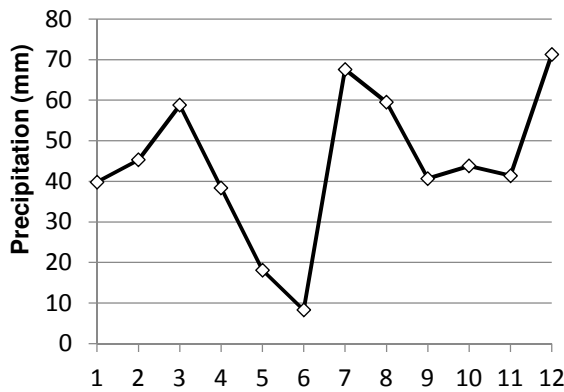


Figure III-A-1-d1 : moyenne mensuelle des précipitations (mm). Les mois sont numérotés de 1 à 12. (sources des données : GNIP)

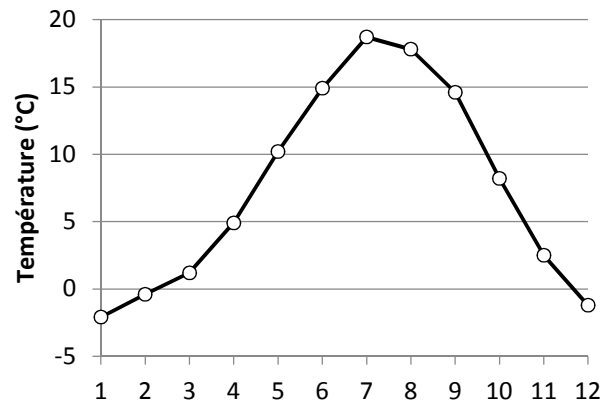


Figure III-A-1-d2 : moyenne mensuelle de la température ($^{\circ}\text{C}$) (sources des données : GNIP)

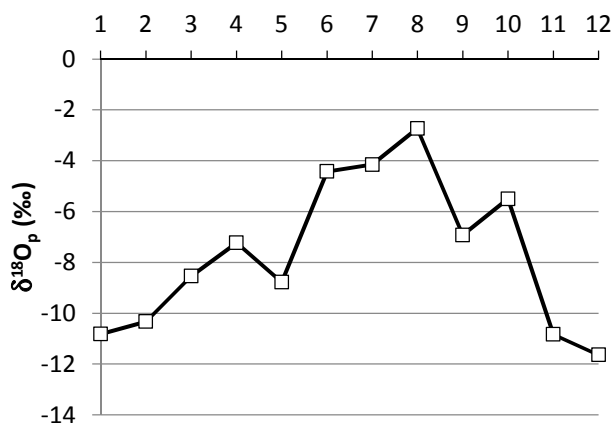


Figure III-A-1-d3 : moyenne mensuelle du $\delta^{18}\text{O}_p$ des précipitations (‰) (sources des données : GNIP)

Mois	N° mois	Précipitation [mm]	$\delta^{18}\text{O}_p$ [‰]
Janvier	1	39,8	-10,82
Février	2	45,3	-10,33
Mars	3	58,8	-8,54
Avril	4	38,4	-7,23
Mai	5	18,1	-8,78
Juin	6	8,3	-4,42
Juillet	7	67,6	-4,15
Août	8	59,5	-2,73
Septembre	9	40,7	-6,92
Octobre	10	43,8	-5,5
Novembre	11	41,4	-10,83
Décembre	12	71,3	-11,64

Tableau III-A-1-d : moyenne mensuelle des précipitations et du $\delta^{18}\text{O}_p$ des précipitations. (sources des données : GNIP)

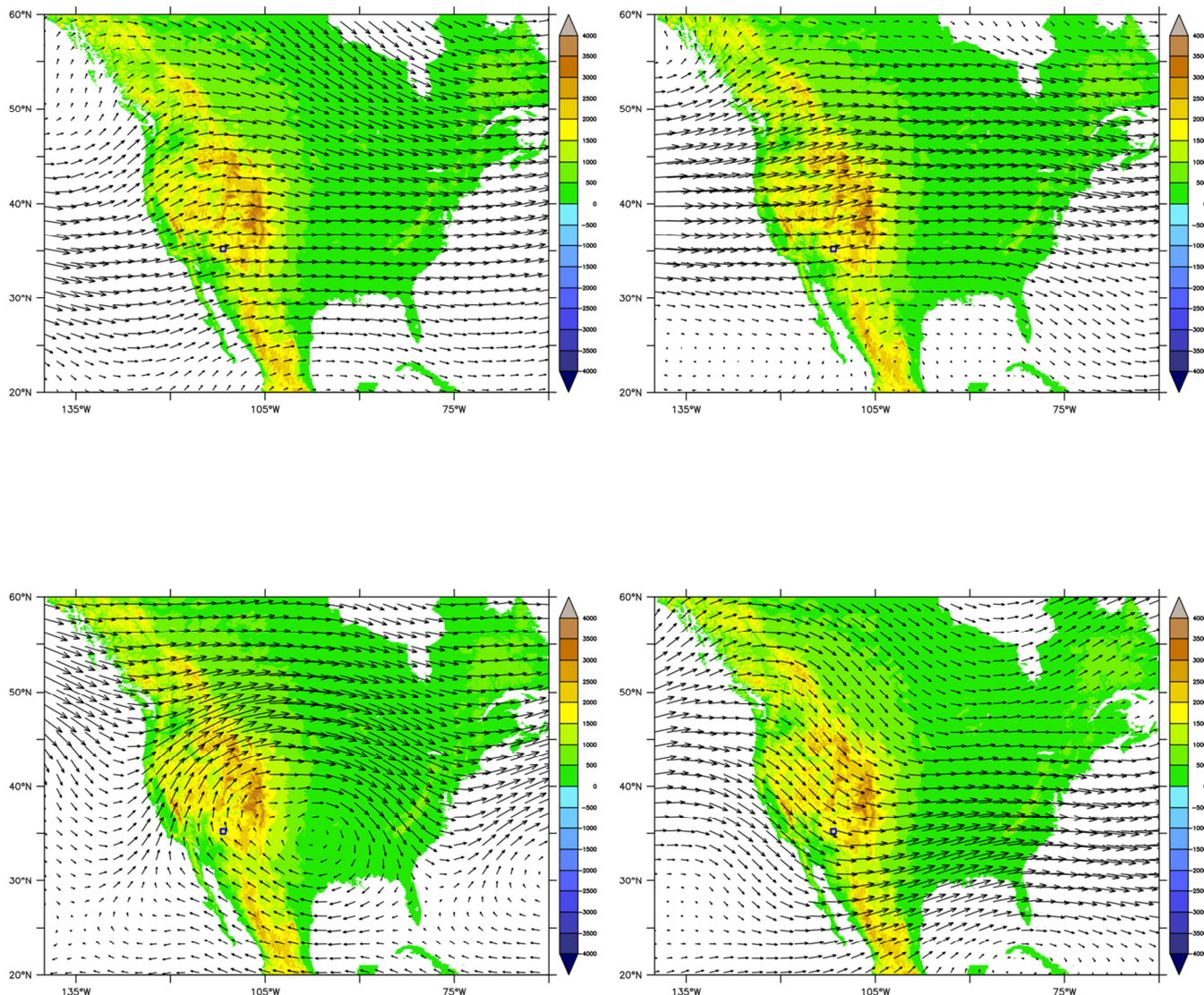


Figure III-A-1-d4 : Vents moyens à 500 hPa (données : réanalyses ERA-Interim (ECMWF)) pour le mois de février (en haut à gauche), le mois de mai (en haut à droite), le mois d'août (en bas à gauche) et le mois de novembre (en bas à droite). Localisation de Flagstaff (Arizona) : carré bleu. Fond de carte : topographie actuelle.

Réponse à la question III-A-1-d

Le $\delta^{18}\text{O}$ en moyenne annuelle (pondéré par les précipitations mensuelles) est de -7,72‰.

En appliquant le gradient précédemment calculé (-2,4‰/km), on obtient pour Flagstaff, une altitude "isotopique" de 3200m (et 3045m en prenant un gradient de -2,5‰/km). La valeur est supérieure à l'altitude réelle (2136m) pour 3 raisons :

1) La distribution des précipitations varie en cours d'année avec une période sèche marquée en été et en hiver. L'évaporation varie en cours d'année avec un maximum en été. L'évolution saisonnière du cycle de l'eau modifie la signature isotopique en oxygène de l'eau des masses d'air.

2) Les masses d'air humide sont alimentées par l'évaporation de l'océan Pacifique sauf en été, saison durant laquelle la masse d'air provient du golfe du Mexique. La trajectoire de masses d'air et les sources d'eau ne sont donc plus identiques.

2) cette équation ne peut pas s'appliquer à l'échelle du globe car elle néglige les effets de la circulation atmosphérique qui change d'un site à l'autre.

III-B Le plateau du Colorado

On souhaite déterminer l'altitude du plateau du Colorado à l'Eocène. Dans les années 90, une estimation de la paléoaltitude du plateau du Colorado avait été réalisée à l'aide du contenu floristique prélevé dans des formations sédimentaires. Récemment, cette estimation a été revisitée à l'aide de l'outil isotopique. Des carbonates pédogéniques ont été prélevés dans des formations d'âge Eocène sur le plateau du Colorado situées aujourd'hui à une altitude de 2300m (figure III-B). Un second site situé en Basse Californie (Mexique) également d'âge Eocène a été échantillonné. Il est situé à proximité de l'océan, on pourra le considérer comme étant situé également au niveau de la mer à l'Eocène (figure III-B)

Les mesures isotopiques de l'oxygène des carbonates pédogéniques et les températures moyennes à l'Eocène sont données dans le tableau III-B-1.

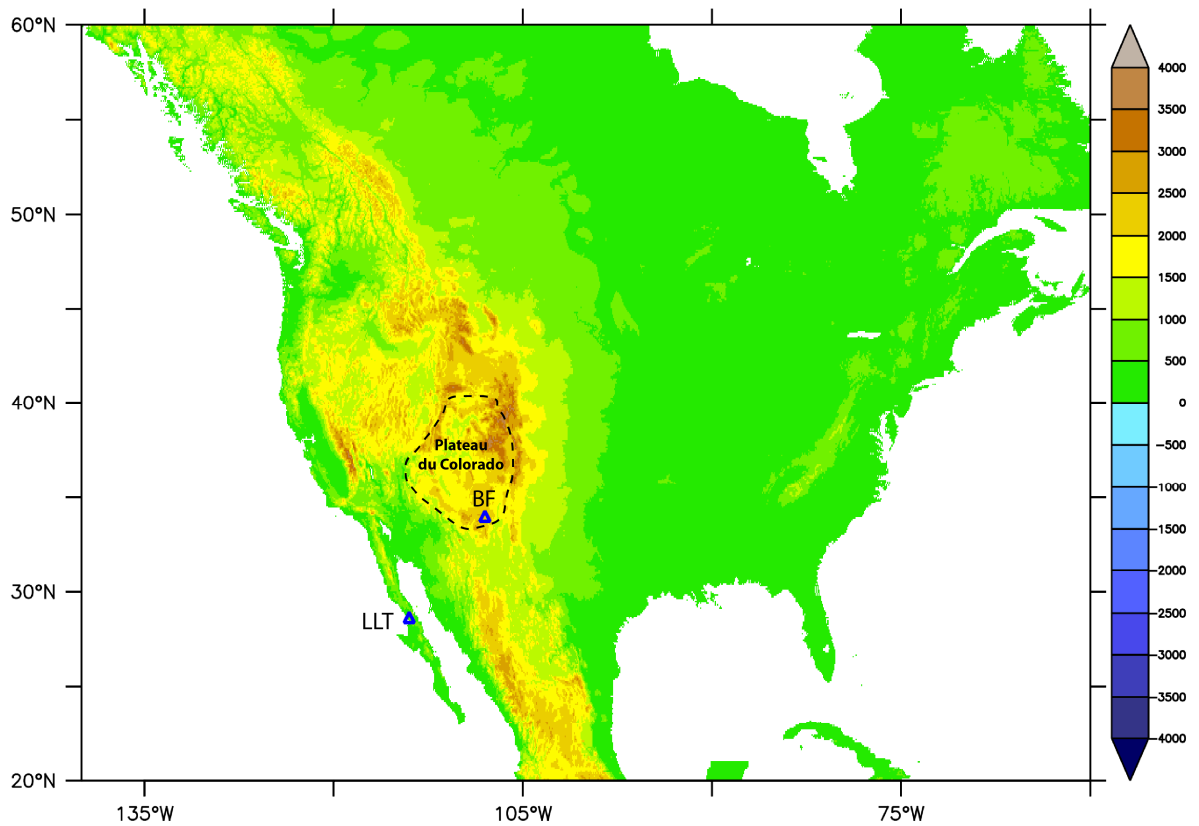


Figure III-B : localisation des sites d'études (voir tableau III-B-1)

Site d'âge Eocène	$\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$ (‰ V-PDB)	Température moyenne et incertitude (°C)
Baja Formation (BF), Colorado plateau	-10,1	20±10
Formation Lomas Las Tetras de Cabra (LLT), Basse Californie (Mexique)	-5	35±5

Tableau III-B-1 : données isotopiques $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$ (‰ V-PDB) des carbonates pédogéniques températures moyennes et incertitudes (°C) pour les sites échantillonnés (source des données : Licht et al., 2018)

III-B-1-a Qu'est qu'un carbonate pédogénique ? Comment se forme-t-il ?

Réponse à la question III-B-1-a

Un carbonate pédogénique est un carbonate qui se forme par précipitation dans un sol d'ions dissous. Ce carbonate a pour signature isotopique en oxygène, la signature des eaux météoriques dont est issu le carbonate pédogénique.

III-B-1-b Ces mesures isotopiques sont exprimées en ‰ V-PDB. Qu'est-ce que cela signifie ?

Réponse à la question III-B-1-b

La mesure du $\delta^{18}O_{carb}$ requiert l'utilisation d'un standard. V-PDB correspond à (Vienna-) Pee Dee Belemnite. Il s'agit à l'origine d'un belemnite du Crétacé (Caroline du Sud, USA). Maintenant il s'agit d'échantillons synthétiques de même signature isotopique que l'originale produits par l'AIEA à Vienne (Autriche), d'où le V-.

III-B-1-c Déterminer la paléolatititude à partir des données de $\delta^{18}O_{carb}$ du tableau III-B-1.

Réponse à la question III-B-1-c

Il fallait d'abord calculer le $\delta^{18}O_{water_PDB}$ des précipitations puis convertir cette valeur en $\delta^{18}O_{water_SMOW}$, puis calculer la paléoaltitude. Il est nécessaire de fixer la température dans une gamme réaliste pour déterminer le coefficient de fractionnement (notez au passage que la température est fonction de l'altitude que l'on cherche). On obtient une paléoaltitude moyenne et une estimation de l'incertitude : 3460 m/-450/+500m. Le site serait donc plus haut à l'Eocène qu'aujourd'hui.

site	$\delta^{18}O_{carb}$ (‰)	T(°C)	$\alpha_{carbonate-eau}$	$\delta^{18}O_{water}$ (PDB)	$\delta^{18}O_{water}$ (SMOW)	$\Delta \delta^{18}O$	Altitude (km)
Baca fm	-10,1	10	1,0318	-40,59	-10,93	-9,18	3,96
Baca fm	-10,1	20	1,0295	-38,51	-8,78	-8,00	3,46
Baca fm	-10,1	30	1,0275	-36,55	-6,76	-6,92	3,01
Baja calif	-5,1	30	1,0275	-31,69	-1,74		
Baja calif	-5,1	35	1,0265	-30,75	-0,78		
Baja calif	-5,1	40	1,0255	-29,84	0,15		

III-B-1-d Comparez la mesure isotopique $\delta^{18}O_{carb}$ du site d'âge Eocène en Basse Californie (site LLT) avec la mesure isotopique $\delta^{18}O_{VSMOW}$ du site de Veracruz des précipitations actuelles (figure III-A) et commentez ce résultat.

Réponse à la question III-B-1-d

La valeur du $\delta^{18}O_{carb_PDB_LLT}$ n'est pas comparable directement à la valeur du $\delta^{18}O_{V-SMOW}$ des précipitations du site de Veracruz. Il faut calculer le $\delta^{18}O_{water_V-SMOW_LLT}$ et changer le standard. Le calcul permet d'obtenir la valeur moyenne pour les précipitations du site LLT par rapport au standard V-SMOW:

$$\delta^{18}O_{V-SMOW_LLT} = -0,78\text{‰}$$

Le site de Veracruz présente un signal isotopique de -4,13‰ aujourd'hui. Donc on a une différence de 3,35‰. Il ne faut pas oublier qu'il s'agit de formation Eocene, période anté-glaciation de l'Antarctique. Il faut donc corriger de la différence de la valeur du $\delta^{18}\text{O}_{\text{ocean}}$. En période glaciaire (bas niveau marin), le $\delta^{18}\text{O}_{\text{ocean}}$ baisse et en période sans glace continentale, le $\delta^{18}\text{O}_{\text{ocean}}$ augmente. L'englacement du Groenland et de l'Antarctique équivaut à une baisse de 1‰ du $\delta^{18}\text{O}_{\text{ocean}}$. Donc cette correction explique 1/3 de la différence entre la valeur actuelle et la valeur Eocene. Le reste s'explique par des différences de températures et/ou des changements de circulation atmosphérique.

Rappel de quelques formules

La température T est exprimée en Kelvin

$\alpha_{\text{carbonate-eau}}$: facteur de fractionnement carbonate-eau :

$$1000 \times \ln(\alpha_{\text{carbonate-eau}}) = 18,03 \times (1000/T) - 32,42$$

$$\alpha_{\text{carbonate-eau}} = (\delta^{18}\text{O}_{\text{carbonate}} + 1000) / (\delta^{18}\text{O}_{\text{eau}} + 1000)$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = 30,92 + 1,03092 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$$

Annexe Canevas stéréographique de Schmidt

