

Concours du second degré – Rapport de jury

Session 2010

AGRÉGATION EXTERNE

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



**Rapport de jury présenté par Dominique ROJAT
Président de jury**

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

Table des matières

1. PRÉSENTATION DU CONCOURS.....	3
1.1 LE JURY	4
1.2 ORGANISATION ET MODALITES DU CONCOURS.....	6
1.2.1 Épreuves écrites d'admissibilité.....	6
1.2.2 Épreuves d'admission.	6
1.3 LE DEROULEMENT DU CONCOURS 2010.....	8
1.3.1 Le calendrier.	8
1.3.2 Le déroulement pratique des épreuves d'admission du concours.....	9
2. QUELQUES ÉLÉMENTS DE STATISTIQUES.....	12
2.1 DE LA CANDIDATURE À L'ADMISSION	13
2.2 L'ÉVOLUTION DU CONCOURS SUR LE LONG TERME	18
2.3 QUELQUES DONNÉES STATISTIQUES CONCERNANT L'ÉCRIT	19
2.3.1 Épreuve écrite de secteur A	19
2.3.2 Épreuve écrite de secteur B	20
2.3.3 Épreuve écrite de secteur C	20
2.4 QUELQUES DONNÉES STATISTIQUES CONCERNANT LES ÉPREUVES PRATIQUES.....	21
2.4.1 Épreuves pratiques de spécialité.....	21
2.4.2 Épreuves pratiques de contre-option	22
2.5 Quelques données statistiques concernant les épreuves orales	23
2.5.1 Épreuves orales de spécialité.....	23
2.5.2 Épreuves orales de contre-option	25
3. PROGRAMME DU CONCOURS 2010.....	26
4.1 PROGRAMME DE CONNAISSANCES GÉNÉRALES SCIENCES DE LA VIE	27
4.1.1 La cellule, unité structurale et fonctionnelle du vivant.....	28
4.1.2 L'organisme, une société de cellules	30
4.1.3 Plans d'organisation du vivant.....	31
4.1.4 L'organisme dans son environnement Les caractéristiques physico-chimiques des milieux aquatiques et aériens doivent être connues sur les plans qualitatif et quantitatif.....	32
4.1.5 Biodiversité, écologie, éthologie, évolution Les connaissances demandées relèvent de deux cadres conceptuels :	35
4.1.6 L'utilisation du vivant et les biotechnologies Il convient de prendre en compte les problèmes posés par ces méthodes et leurs conséquences (économiques, écologiques, éthiques.....)	36
4.1.7 Éléments de biologie et de physiologie dans l'espèce humaine.	37
4.2 SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS	39
4.2.1 La Terre actuelle	39
4.2.2 Le temps en sciences de la Terre : âges, durées et vitesses des processus géologiques	41
4.2.3 L'évolution de la planète Terre	41
4.2.4 Gestion des ressources et de l'environnement	42
4.3 PROGRAMME DE SPÉCIALITÉ.....	42
4.3.1 Secteur A : biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire ; leur intégration au niveau de l'organisme	42
4.3.2 Secteur B : biologie et physiologie des organisme et biologie des populations, en rapport avec le milieu de vie.....	43
4.3.3 Secteur C : Sciences de la Terre et de l'univers, interactions entre la biosphère et la planète Terre	44
4.4 PROGRAMME ANNEXE DE QUESTIONS SCIENTIFIQUES D'ACTUALITÉ.....	44

4. ÉPREUVES ÉCRITES.....	45
5.1 SECTEUR A.....	46
5.1.1 Le sujet.....	46
5.1.2 Commentaires.....	46
5.1.3 Éléments de réflexion sur le fond du sujet	47
5.2 SECTEUR B.....	74
5.2.1 Sujet.....	74
5.2.2 Commentaire	74
5.2.3 Éléments de correction.....	78
5.3 SECTEUR C.....	84
5.3.1 Sujet.....	84
5.3.2 Éléments de correction.....	84
5. ÉPREUVES PRATIQUES.....	91
6.1 ÉPREUVE DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR A	92
6.1.1 Sujet.....	93
6.1.2 Commentaire	128
6.2 ÉPREUVE DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR B	131
6.2.1 Sujet.....	132
6.2.2 Commentaires de l'épreuve de TP de spécialité – TP secteur B	167
6.3 ÉPREUVES PRATIQUES DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR C	168
6.3.1 Sujet.....	169
6.3.2 Commentaire du jury.....	188
6.4 ÉPREUVES PRATIQUES DE CONTRE – OPTION SECTEUR A.....	189
6.4.1 Sujet.....	190
6.4.2 Commentaire du jury.....	204
6.5 ÉPREUVES PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DE SECTEUR B.....	206
6.5.1 Sujet.....	207
6.5.2 Commentaire	228
6.6 ÉPREUVES PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DE SECTEUR C.....	232
6.6.1 Sujet.....	233
6.6.2 Commentaires.....	249
6. ÉPREUVES ORALES.....	254
6.7 ÉPREUVES DE SPÉCIALITÉ	255
6.7.1 Commentaires généraux commun à toutes les options.....	256
6.7.2 Liste des leçons de spécialité de la session 2010	257
6.7.3 Commentaire particulier concernant les leçons d'option B	261
6.7.4 Commentaire particulier concernant les leçons d'option C	262
6.8 ÉPREUVES DE CONTRE-OPTION	264
6.8.1 L'épreuve orale de contre option	265
6.8.2 Listes des leçons de contre-option de la session 2010.....	267

1. PRÉSENTATION DU CONCOURS

1.1 LE JURY

M. Dominique ROJAT	Inspecteur général de l'Éducation nationale / Président
M. François GAUER	Professeur des universités 1 ^{ère} classe / Académie de Strasbourg / Vice-président
Mme Annie MAMECIER-DEMOUNEM	Inspectrice générale de l'Éducation nationale / Vice-présidente
Mme Bénédicte RULIER	Professeur de chaire supérieure / Académie de Paris / Vice-présidente
M. Bernard AUGERE	Professeur de chaire supérieure / Académie de Toulouse
M. Karim BENZERARA	Chargé de recherche au CNRS / Académie de Paris
M. Laurent BOPP	Chargé de recherche au CNRS / Académie de Versailles
M. François CARIOU	Professeur de chaire supérieure / Académie de Clermont Ferrand
M. Pierre CHAREYRON	Maître de conférences / IUFM, Lyon / Académie de Lyon
Mme Marie CHARPIN	Maître de conférences / Académie de Clermont Ferrand
M. Michel CORSINI	Maître de conférences / Académie de Nice
M. Jacky DE MONTIGNY	Professeur des universités 1 ^{ère} classe / Académie de Strasbourg
M. Dominique DUNON	Professeur des universités de classe exceptionnelle / Académie de Paris
M. Pierre-Jean GODARD	Professeur agrégé / Académie d'Aix-Marseille
M. Pascal GUILLOTTE	Professeur agrégé / Académie de Caen
M. Philippe HUGUENEY	Maître de conférences / ENS Lyon / Académie de Lyon
M. Laurent JOLIVET	Professeur des universités de classe exceptionnelle / Académie d'Orléans-Tours
M. Yvan KRAEPIEL	Maître de conférence / Académie de Paris
M. Johan KRAUSS	Professeur agrégé / Académie de Nancy

Mme Morgane LE BON - JEGO	Maître de conférence / Académie de Bordeaux
M. Philippe LESUR	Professeur de chaire supérieure / Académie de Versailles
M. Nicolas MATHEVON	Professeur des universités / Académie de Lyon
M. Jean-François MAUFFREY	Maître de conférences / Académie d'Aix – Marseille
M Gilles MERZERAUD	Maître de conférences / Académie de Montpellier
M Guy MONNIAUX	Professeur de chaire supérieure / Académie d'Orléans-Tours
Mme Anne-Hélène MONTSORO-BURQ	Professeur des universités 2 ^{ème} classe / Académie de Paris
M Hugues OUDART	Maître de conférence / Université de Strasbourg
Mme Carole PETIT	Maître de conférences / Académie de Paris
M. Jean- Alain POULIZAC	Professeur de chaire supérieure / Académie de Rennes
Mme Gaëlle PROUTEAU	Maître de conférence / Académie de Paris
Mme Annie RAY	Maître de conférences / Académie de Grenoble
Mme Isabelle ROUGET	Maître de conférence / Académie de Paris
Mme Fanny RYBAK	Maître de conférence / Académie de Paris
M. Hervé TOSTIVINT	Maître de conférences / Académie de Paris
Mme Nathalie TOURON	Professeur de chaire supérieure / Académie de Rennes
M. Frédéric TULLY	Maître de conférences / Académie de Paris

1.2 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 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 11467](#).

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.

À chaque secteur A, B ou C correspond un programme de connaissances générales portant sur des connaissances d'un niveau allant jusqu'à la licence universitaire et un programme de spécialité portant sur des connaissances du niveau de la maîtrise universitaire.

Un programme annexe aux programmes de connaissances générales porte sur des questions scientifiques d'actualité sur lesquelles peuvent être interrogés les candidats lors de la quatrième épreuve d'admission.

1.2.1 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).

1.2.2 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).

3° Épreuve orale portant sur le programme du secteur choisi par le candidat, lors de l'inscription, pour la première épreuve d'admission.

Le sujet est tiré au sort par le candidat (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 ou sur le programme annexe de questions scientifiques d'actualité.

Le sujet est tiré au sort par le candidat. Il 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.

La présentation orale et pratique est suivie d'un entretien avec le jury ; l'entretien peut comporter des questions portant sur les connaissances générales et les questions scientifiques d'actualité de l'ensemble des secteurs (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).

AVERTISSEMENT :

À partir de la session 2011, l'épreuve orale portant sur les connaissances générales sera modifiée conformément à la nouvelle définition du concours telle qu'on peut la trouver sur le site du ministère à l'adresse suivante :

<http://www.guide-concours-enseignants-college-lycee.education.gouv.fr/cid51505/agregation-externe-section-sciences-de-la-vie-sciences-de-la-terre-et-de-l-univers.html>

Le site du concours fournira des informations complémentaires au fur et à mesure des possibilités.

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) et/ou sur le programme annexe de questions scientifiques d'actualité	4h + 40 min.+ 30 min	4	80
Total des épreuves orales			180
Total général		20	400

Tableau 1. Les modalités du concours

1.3 LE DEROULEMENT DU CONCOURS 2010

1.3.1 Le calendrier.

Admissibilité : épreuves écrites

- mercredi 7 avril 2010 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A
- jeudi 8 avril 2010 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B
- vendredi 9 avril 2010 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C

Les résultats de l'admissibilité ont été publiés le vendredi 28 mai 2010.

Admission : épreuves pratiques

- vendredi 11 juin 2010 : réception des candidats et tirage au sort des sujets d'oral.
- samedi 12 juin 2010 : travaux pratiques portant sur le programme de spécialité (secteur A, ou B, ou C)
- dimanche 13 juin 2010: travaux pratiques portant sur le programme général des deux autres secteurs.

Admission : épreuves orales

- du samedi 19 juin au dimanche 4 juillet 2010.

Les résultats de l'admission ont été publiés le lundi 5 juillet 2010.

1.3.2 Le déroulement pratique des épreuves d'admission du concours

Les questions administratives à toutes les étapes du concours ont été réglées avec l'aide très efficace des personnes des services de la DPE (Mr Philippe Santana, Mme Virginie Trois Poux et Mme Claudine Raquin). Les problèmes financiers et matériels du concours ont été résolus grâce au soutien du Service Inter-Académique des Examens et Concours (Mr Kesler, Mme Engelbrecht, Mr Moreau, Mme Travagliati).

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, (UMPC quai St Bernard 75005 Paris) pour les candidats du secteur 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 et du quai St Bernard grâce à l'obligeance de Monsieur Porcheron (directeur de la formation), de Monsieur Gard (Intendant), de Monsieur Six (maîtres de conférences en biologie), de Monsieur Rulle, Monsieur Kamara et de Madame Derache (sécurité/accès), de Madame Garnier (réservation des salles). Il en fut de même au lycée Saint-Louis grâce au soutien de Madame Cahn-Rabaté (proviseure de l'établissement), de Monsieur Reynaud (CASU), de Madame Peyroche (adjoint d'intendance). Ces épreuves ont pu être réalisées grâce au concours de la professeure Martine Maibèche (responsable des salles de TP de biologie au quai St Bernard). 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 grâce à l'obligeance de Monsieur El-Gersifi (responsable du service Grand-Est). Les microscopes polarisants ont été aimablement prêtés par les établissements Sordalab (Sylvain Morel, directeur ; Jean Marie Moreau et Pierrick Maury, consultants régionaux) ainsi que par le lycée Newton de Clichy (proviseure : Mme Jallat , responsable de laboratoire : M. Legac).

Les épreuves orales se sont déroulées au Lycée Saint Louis (44 boulevard Saint Michel, 75006 Paris) grâce à l'accueil de Madame Cahn-Rabaté, proviseure de l'établissement et au précieux concours de Monsieur Garel, proviseur adjoint, de Monsieur Reynaud, CASU, de Madame Peyroche, adjoint d'Intendance, et de Madame Mallet, agent chef. Une aide en matériel video a été apportée par

Monsieur Lodier, responsable du laboratoire de Physique-Sciences industrielles. Le bon fonctionnement des épreuves orales a été permis grâce à l'aide de personnels techniques de loge et d'entretien : Mme Liotti Lucienne, Mme Mallet Micheline, Mme Tarlet Micheline, M. Lefebvre André, M. Mallet Patrick. Par ailleurs, un nombre très important d'ouvrages a été généreusement offert par quelques maisons d'édition et sociétés : Belin, Dunod, Ophrys, Vuibert, la CCGM et la SGF/BRGM. Le lycée Louis Le Grand (responsable de laboratoire : Mme Claire Petot), le lycée Henri IV (responsable de laboratoire : M. Éric Périlleux) et le lycée Arago (proviseur : Mme Ruben) ont prêté une partie du matériel audiovisuel pour l'équipement des salles utilisées 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 travaux pratiques, sept personnels du Département d'enseignement de Biologie de l'Université Pierre et Marie Curie (75005 Paris) :

BARBERA Corinne : Adjoint Technique de Laboratoire (AJTL)

BATARD Séverine : CCD

DAHMANE Mustapha : Technicien de Laboratoire (TL)

HORTAULT Gil : Adjoint Technique de Laboratoire (ADJT)

REKAB Tahar : Agent Technique de Laboratoire (AGTL)

ROHIMBUX Bibi : Adjoint technique recherche et formation

VAZ Adao Domingos : Agent Technique de Laboratoire (AGTL)

- pour les travaux pratiques et les épreuves orales, 17 personnels de laboratoires travaillant dans le secteur des Sciences de la vie et de la Terre de différents lycées, placés sous la responsabilité de Mesdames DAHMANE Djamila (aide technique de laboratoire au lycée Saint-Louis – Paris) et VERNAY Nicole (technicienne de laboratoire de classe supérieure au lycée Chaptal – Paris)

BEAUDOUIN Nadège : aide technique de laboratoire (lycée Jean-Paul Vernant - Sèvres)

BOYER Rémy : assistant ingénieur (université Paris 8 - Saint Denis)

CADOS Chantal : aide technique de laboratoire (lycée Janson de Sailly - Paris)

CAREL Monique : technicienne de laboratoire (lycée Louis le Grand - Paris)

CHAREYRE Sophie : technicienne de laboratoire (ENCPB - Paris)

DAVION Jérôme : technicien de laboratoire (lycée Janson de Sailly - Paris)

DRANE : Michèle, aide technique de laboratoire (lycée Jean Rostand – Villepinte)

DUFOUR Marie-Odile : technicienne de laboratoire de classe supérieure (lycée Hoche - Versailles)

EDOUARD Maria : aide de laboratoire (lycée Arago - Paris)

JOVIC Margarita : aide technique principal de laboratoire (lycée d'Arsonval - Saint Maur des Fossés)

MAYERES Valérie : technicienne de laboratoire (lycée Saint Louis – Paris)

MORIM Isabel : aide de laboratoire (lycée Paul Bert - Paris)

PALEZIS Corine : aide technique de laboratoire (lycée Lamartine - Paris)

SOUEIX Yves : technicien de laboratoire (lycée Claude Bernard - PARIS).

TREBEAU Armande : aide technique de laboratoire (lycée Saint Louis - Paris)

VERNAY Nicole : Technicienne de Laboratoire de classe supérieure (lycée Chaptal - Paris)

Pour cette session 2009, deux agrégés préparateurs ont rejoint le groupe :

BITSCH Thomas, professeur agrégé (lycée Jules Ferry – Coulommiers)

MEMETEAU Céline, professeure agrégée (lycée Georges Clémenceau – Villemomble)

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 trois sites (lycée Saint-Louis, UPMC Atrium et UMPC quai Saint Bernard), en particulier le samedi 13 juin 2009 pour deux séances d'épreuves pratiques consécutives, d'une durée de six heures chacune. De plus, la même équipe a assuré dans un délai court (19 juin) la préparation des salles, des collections, de la bibliothèque et du matériel informatique nécessaires 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)

Une partie du matériel (algues unicellulaires,...) a été fournie par Mr YEPREMIAN, Département de cryptogamie du Museum National d'histoire Naturelle. Le secrétariat du concours a été assuré par Mademoiselle Cécile Joubert (étudiante).

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 bienveillants 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 DE STATISTIQUES

2.1 DE LA CANDIDATURE À L'ADMISSION

	secteur A		secteur B		secteur C		TOTAL
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre
candidats inscrits	557	31.54%	814	46,09%	405	22.93%	1766
candidats présents	251	27.05%	458	49,35%	219	23,60%	928
candidats admissibles	47	26.11%	82	45,56%	51	28.33%	180
candidats admis	27	33.75%	30	37.50%	23	28.75%	80

Les candidats par secteurs

La totalité des postes mis au concours (80) a été pourvue.

L'équilibre entre les différentes spécialités de candidats reste globalement respecté de façon parfaitement naturelle. Tout au plus observe-t-on une légère érosion des B et une augmentation des A entre l'admissibilité et l'admission. Cette situation est habituelle et est sans doute liée à la plus grande fréquence de A parmi les candidats normaux.

Tout au long du concours l'égalité de traitement des candidats selon les secteurs a été assurée par des harmonisations adaptées aux différentes épreuves écrites (TP inclus), 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. Le jury a fait cette année le choix d'une harmonisation conduisant à étaler les notes sur toute la gamme possible. Cela se traduit par des notes élevées pour les meilleurs candidats ainsi que par des moyennes et barres augmentées, sans qu'il soit possible d'en tirer des informations comparant le niveau des candidats qui demeure globalement inchangé.

C'est ainsi que cette année, la barre d'admissibilité est de 56.02/120 (soit 9.34 sur 20). La moyenne des candidats se situe à 6.3/20 et celle des admissibles à 12.08. Le meilleur candidat a obtenu 113 points (soit 18.83 sur 20), ce qui montre l'existence de candidats équilibrés dans l'excellence !

Après les épreuves pratiques et orales, auxquelles se présentent des candidats déjà sélectionnés, les résultats peuvent être résumés en quelques chiffres : barre d'admission 217.16/400 (soit 10.86/20) ; total du premier reçu : 357.85/400 soit tout de même la moyenne assez honorable de 17.89/20 prouvant là encore une remarquable régularité, depuis les écrits jusqu'aux oraux.

Notons que, comme chaque année, l'effet reclassant des épreuves pratiques orales est essentiel. Cela s'explique par le jeu des coefficients et se justifie par la fonction relative des deux phases du concours : l'écrit élimine essentiellement les candidats dont les connaissances sont jugées insuffisantes alors que l'oral choisit ceux qui manifestent à l'oral de la façon la plus évidente des qualités de futur professeur. Ainsi, le dernier candidat admissible (moyenne de 9.34) est admis de 63^{ème}. Cela dit, il va de soi que les candidats se situant autour de la barre ont réalisé des prestations très voisines. À ce niveau de recrutement, le concours est indiscutablement très sélectif.

La répartition des sexes parmi les candidats est nettement en faveur des femmes. Le déséquilibre persiste le long du concours :

Sexe	Inscrits	Présents à l'écrit	Admissibles	Admis
Femmes	1169	671	117	47
hommes	597	321	63	33

Les candidats par sexe

Bien que les inscrits, et même les candidats se répartissent sur une large gamme d'âge, force est de constater que l'agrégation externe reste un concours réussi par les étudiants assez jeunes comme le montre le tableau ci-dessous.

année	inscrits	présents	admissibles	admis
1948	1	0	0	0
1957	3	1	0	0
1958	2	0	0	0
1959	1	0	0	0
1960	4	1	0	0
1961	2	0	0	0
1962	3	0	0	0
1963	5	0	0	0
1964	5	3	0	0
1965	7	0	0	0
1966	7	1	0	0
1967	6	1	0	0
1968	7	2	0	0
1969	13	2	1	0
1970	13	4	1	0
1971	13	4	3	0
1972	16	5	0	0
1973	20	5	1	0
1974	16	3	0	0
1975	30	3	0	0
1976	27	9	2	0
1977	46	12	0	0
1978	47	10	2	0
1979	72	16	2	1
1980	72	19	0	0
1981	96	39	2	1
1982	117	35	3	0
1983	156	76	8	1
1984	174	97	14	4
1985	243	168	34	15
1986	298	253	54	25
1987	227	208	48	28
1988	17	15	5	5

Les candidats en fonction de l'année de naissance

Si les candidats inscrits appartiennent à des catégories professionnelles variées, cette variété est bien moindre parmi les admis.

Si l'on met à part le succès presque total des candidats normaliens, il est frappant de voir que ce sont les étudiants hors IUFM qui fournissent le plus d'agrégés. On trouve là la démonstration de l'efficacité des préparations spécifiques à l'agrégation. Dans les autres catégories, les réussites sont très difficiles, ce qui ne donne que plus de mérite à ceux qui deviennent ainsi agrégés. Ces remarques, qui pouvaient déjà être formulées les années précédentes deviennent encore plus vraies étant donnée la réduction du nombre de postes mis au concours.

Profession	Inscrits	Présents	Admissibles
ELEVE.IUFM.DE 1ERE ANNEE	529	449	26
CERTIFIE	400	127	20
ETUDIANT HORS IUFM	277	213	85
STAGIAIRE IUFM 2E DEGRE COL/LY	119	54	14
SANS EMPLOI	84	25	1
ASSISTANT D'EDUCATION	67	27	0
CONTRACTUEL 2ND DEGRE	51	12	1
MAITRE AUXILIAIRE	38	11	0
VACATAIRE DU 2ND DEGRE	34	12	1
ELEVE D'UNE ENS	28	26	25
STAGIAIRE SITUATION 2E DEGRE	20	12	3
PERS ENSEIG TIT FONCT PUBLIQUE	16	6	3
CADRES SECT PRIVE CONV COLLECT	15	2	0
SALARIES SECTEUR TERTIAIRE	12	1	0
PROFESSEUR ECOLES	9	2	0
FORMATEURS DANS SECTEUR PRIVE	7	0	0
PERS FONCTION PUBLIQUE	6	4	0
PLP	6	1	0
CONTRACT ENSEIGNANT SUPERIEUR	5	0	0
ENSEIGNANT DU SUPERIEUR	4	0	0
AG NON TITULAIRE FONCT PUBLIQ	4	0	0
FONCT STAGIAIRE FONCT PUBLIQUE	4	0	0
MAITRE D'INTERNAT	4	1	0
PROFESSIONS LIBERALES	3	0	0
PERS ADM ET TECH MEN	3	2	0
PERS ENSEIG NON TIT FONCT PUB	3	2	1
MAIT.OU DOCUMENT.AGREE REM MA	3	0	0
SALARIES SECTEUR INDUSTRIEL	2	0	0
MAITRE OU DOCUMENT. DELEGUE	2	0	0
VACATAIRE ENSEIGNANT DU SUP.	2	1	0
ARTISANS / COMMERCANTS	1	0	0
AG NON TIT FONCT TERRITORIALE	1	0	0
MAIT.OU DOCUMENT.AGREE REM TIT	1	0	0
AGREGE	1	0	0
ADJOINT D'ENSEIGNEMENT	1	1	0
STAGIAIRE IUFM PROF DES ECOLES	1	0	0
STAG EN SITUATION PROF ECOLES	1	0	0
VACATAIRE APPRENTISSAGE (CFA)	1	0	0
CONTRACTUEL APPRENTISSAGE(CFA)	1	1	0

Répartition des candidats par professions (inscrits, présents et admissibles)

Profession	Admissibles	Admis
ELEVE.IUFM.DE 1ERE ANNEE	26	2
ELEVE D'UNE ENS	25	24
ETUDIANT HORS IUFM	85	45
SANS EMPLOI	1	1
PERS ENSEIG TIT FONCT PUBLIQUE	3	0
PERS ENSEIG NON TIT FONCT PUB	1	0
CERTIFIE	20	2
STAGIAIRE IUFM 2E DEGRE COL/LY	14	3
STAGIAIRE SITUATION 2E DEGRE	3	3
VACATAIRE DU 2ND DEGRE	1	0
CONTRACTUEL 2ND DEGRE	1	0

Répartition par profession des candidats admissibles et admis

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 académies qui présentent des candidats (Mayotte étant comptée comme une académie), seules 12 ont des admis. Et encore, le nombre des admis est le plus souvent très faible. Lyon et PCV, avec 23 admis pour chaque centre, sont loin en tête, grâce notamment aux 24 normaliens recrutés qui sont inscrits soit à Lyon soit à Paris. L'académie de Bordeaux réussit cette année un score remarqué avec 10 agrégés, suivie par Strasbourg (5), Grenoble (4), Aix-Marseille, Rennes et Montpellier (3). Les autres centres n'ont qu'un ou deux agrégés admis.

À y regarder de près, on remarque que les différences académiques sont marquées dès l'admissibilité. Le mouvement de concentration des centres de préparation à l'agrégation de SV-STU, amorcé depuis plusieurs années, se poursuit. La haute technicité du concours, et notamment la lourdeur de la préparation des TP explique sans doute ce phénomène.

Académie	Inscrits	Présents	Admissibles	Admis
D' AIX-MARSEILLE	75	36	8	3
DE BESANCON	34	18	1	0
DE BORDEAUX	78	56	17	10
DE CAEN	33	24	1	1
DE CLERMONT-FERRAND	47	29	3	0
DE DIJON	41	18	2	0
DE GRENOBLE	70	47	9	4
DE LILLE	96	52	3	1
DE LYON	133	92	35	23
DE MONTPELLIER	82	40	6	3
DE NANCY-METZ	75	42	1	0
DE POITIERS	30	11	2	0
DE RENNES	93	71	7	3
DE STRASBOURG	59	46	12	5
DE TOULOUSE	104	55	5	1
DE NANTES	38	21	2	0
D' ORLEANS-TOURS	41	12	3	2
DE REIMS	36	23	2	0
D' AMIENS	38	21	1	0
DE ROUEN	53	18	3	1
DE LIMOGES	11	2	0	0
DE NICE	56	24	1	0
DE CORSE	3	2	1	0
DE LA REUNION	39	17	1	0
DE LA MARTINIQUE	12	3	0	0
DE LA GUADELOUPE	24	10	1	0
DE LA GUYANE	6	0	0	0
DE LA NOUVELLE CALEDONIE	6	0	0	0
DE LA POLYNESIE FRANCAISE	11	1	0	0
DE MAYOTTE	2	0	0	0
PARIS - VERSAILLES - CRETEIL	340	201	53	23

Répartition des candidats – inscrits, présents, admissibles et admis – par académie

2.2 L'ÉVOLUTION DU CONCOURS SUR LE LONG TERME

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

Évolution des chiffres clés du concours depuis 1993

L'érosion du nombre de candidats se poursuit cette année. Le nombre de candidats inscrits qui ne se présentent pas aux épreuves reste spectaculaire. Si l'on compare la situation de 2010 à celle de 2005, année où les candidats passant le concours se sont engagés dans l'enseignement supérieur, on constate une division par deux du nombre de candidats allant au bout des épreuves, c'est-à-dire la même proportion que la diminution du nombre de postes mis au concours.

Alors que de 1998 à 2005, un nombre à peu près stable de postes est mis au concours, tout porte à croire que les étudiants auraient anticipé la baisse du recrutement, ou bien que la diminution du nombre de poste aurait accompagné la désaffection pour les formations universitaires concernées. Cette situation mériterait une étude plus approfondie. En définitive, depuis les années 95, un ratio de sélection de l'ordre de 1/10 se maintient.

Année	secteur	INSCRITS				PRESENTS				ADMISSIBLES			
		A	B	C	TOTAL	A	B	C	TOTAL	A	B	C	TOTAL
2002	nombre	857	972	692	2521	531	712	464	1707	102	147	97	346
	%	34,0%	38,6%	27,4%		31,1%	41,7%	27,2%		29,5%	42,5%	28,0%	
2003	nombre	805	1079	556	2440	455	735	363	1553	113	177	88	378
	%	33,0%	44,2%	22,8%		29,3%	47,3%	23,4%		29,9%	46,8%	23,3%	
2004	nombre	955	1164	674	2793	517	774	405	1696	101	148	85	334
	%	34,2%	41,7%	24,1%		30,5%	45,6%	23,9%		30,2%	44,3%	25,4%	
2005	nombre	991	1261	669	2921	570	916	466	1952	104	158	72	334
	%	33,9%	43,2%	22,9%		29,2%	46,9%	23,9%		31,1%	47,3%	21,6%	
2006	nombre	964	1462	649	3075	461	898	348	1707	80	130	47	257
	%	31,3%	47,5%	21,1%		27,0%	52,6%	20,4%		31,1%	50,6%	18,3%	
2007	nombre	865	1280	559	2704	418	760	311	1489	69	144	46	259
	%	32,0%	47,3%	20,7%		28,1%	51,0%	20,9%		26,6%	55,6%	17,8%	
2008	nombre	707	1076	517	2300	346	614	280	1240	68	96	53	217
	%	30,7%	46,8%	22,5%		27,9%	49,4%	22,7%		31,3%	44,2%	24,4%	
2009	nombre	567	859	432	1858	265	496	235	996	59	90	47	196
	%	30,5%	46,2%	23,2%		26,6%	49,8%	23,59%		30,1%	45,9%	24,0%	
2010	nombre	557	814	405	1788	251	458	219	928	47	82	51	180
	%	31.54%	46.09%	22.93%		27.05%	49.35%	23.6%		33.75%	37.5%	28.75%	

Évolution des chiffres clés du concours depuis 2002 par secteurs

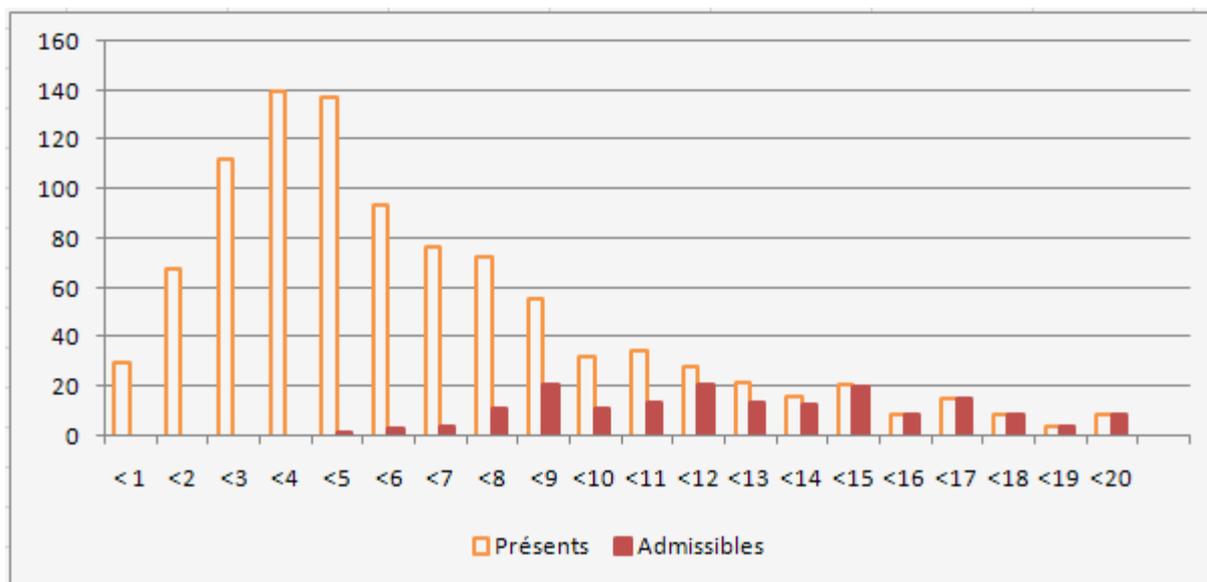
Sans changement notable par rapport aux années précédentes, la situation de détail par secteur n'appelle aucun commentaire particulier.

2.3 QUELQUES DONNÉES STATISTIQUES CONCERNANT L'ÉCRIT

2.3.1 Épreuve écrite de secteur A

Note minimale	Note maximale	Médiane	Moyenne	Écart-type
0.11	20.00	5.00	6.21	4.09

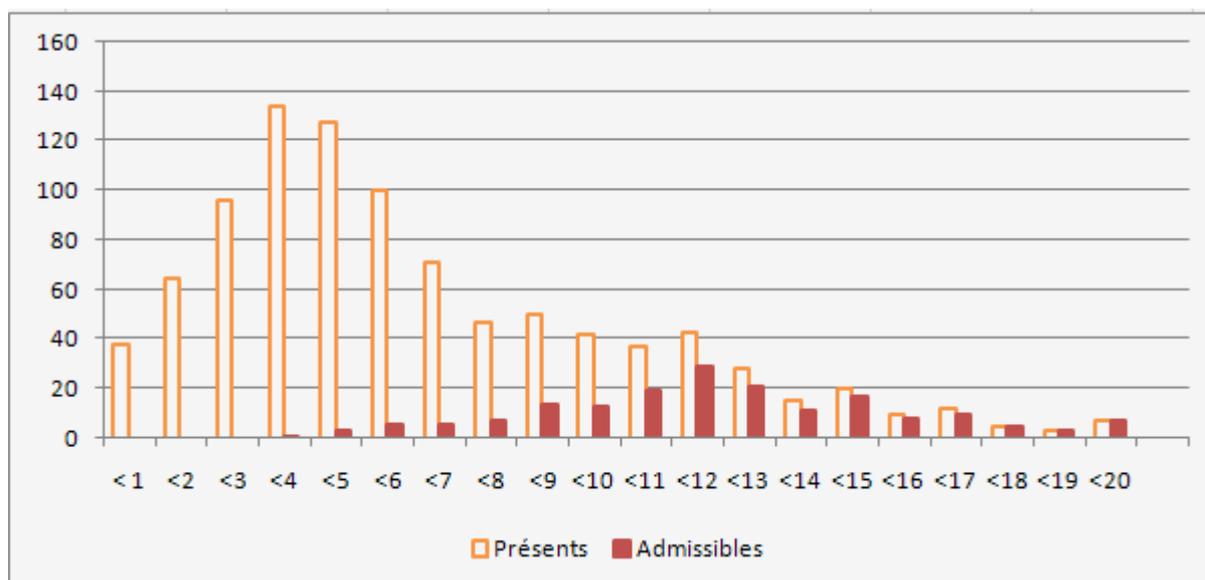
Il va de soi que ces valeurs décrivent plus les modalités adoptées pour l'harmonisation (calage des médianes et des écarts types tout en exploitant toute la gamme des notes disponibles) qu'un résultat à commenter.



Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur a

2.3.2 Épreuve écrite de secteur B

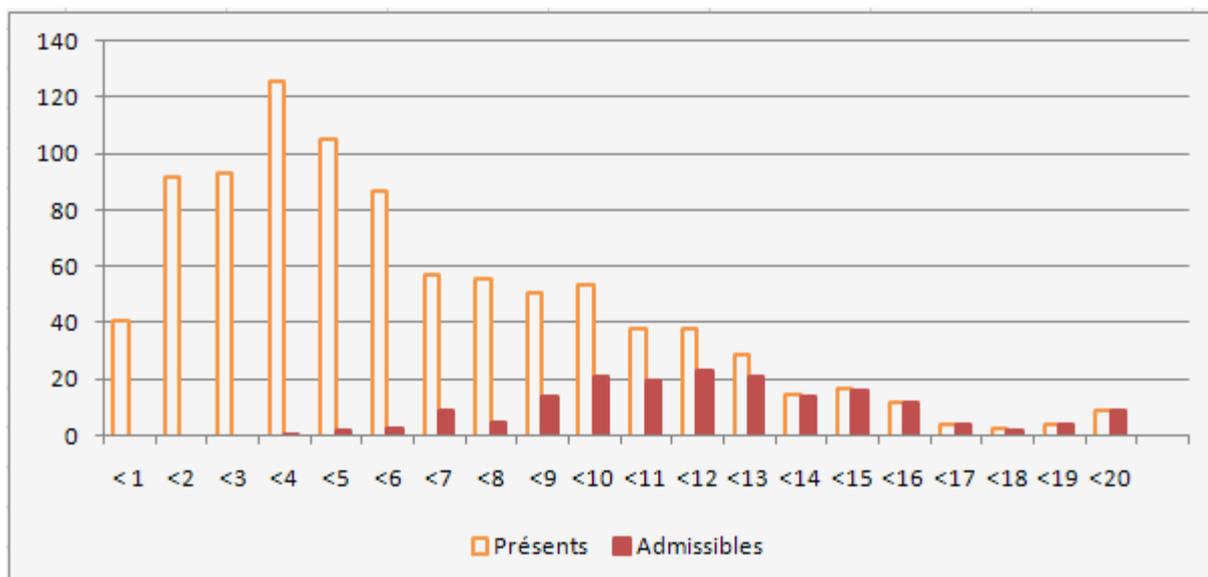
Note minimale	Note maximale	Médiane	Moyenne	Écart-type
0.12	20.00	5.00	6.25	4.08



Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur b

2.3.3 Épreuve écrite de secteur C

Note minimale	Note maximale	Médiane	Moyenne	Écart-type
0.11	20.00	5.00	6.13	4.12

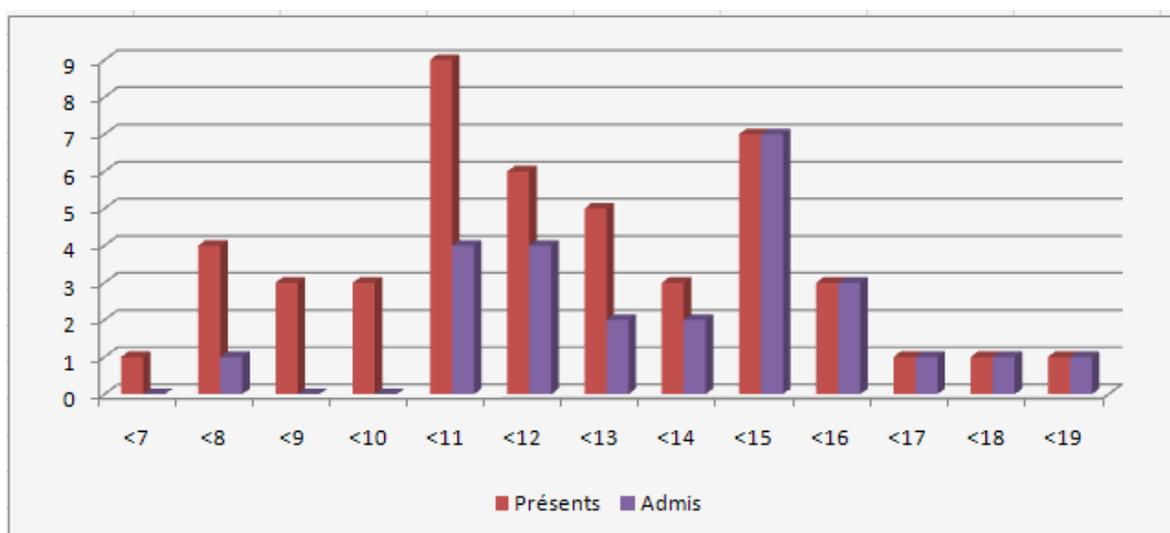


Histogramme des notes de l'épreuve écrite de secteur c

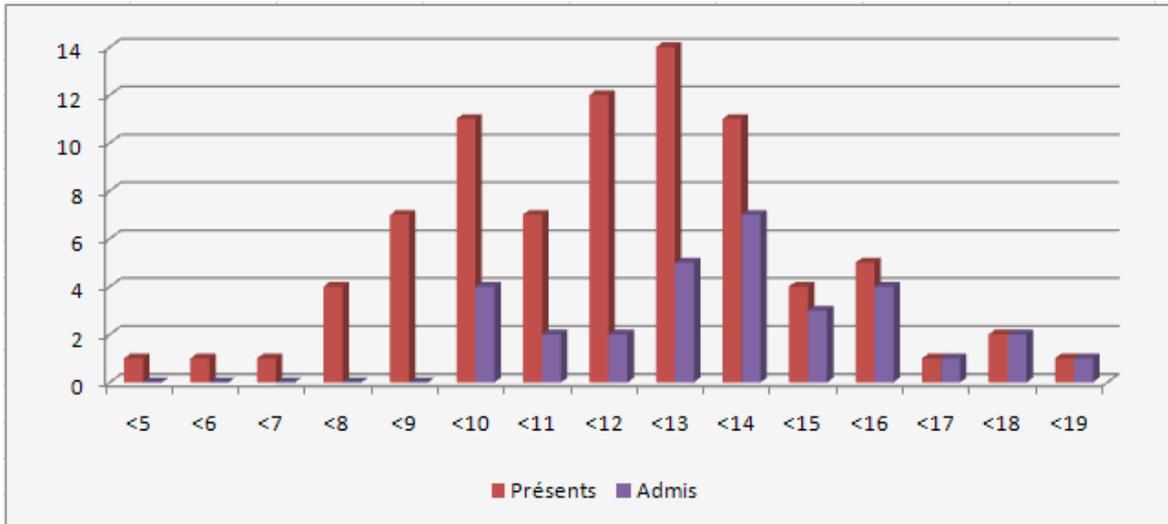
2.4 QUELQUES DONNÉES STATISTIQUES CONCERNANT LES ÉPREUVES PRATIQUES

2.4.1 Épreuves pratiques de spécialité

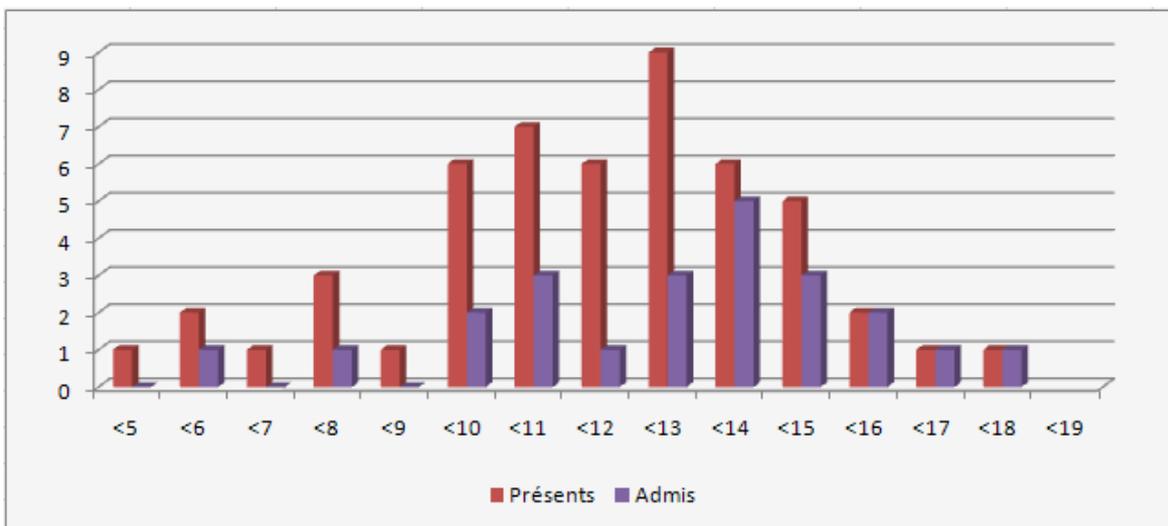
2.4.1.1 Épreuve pratique de spécialité du secteur A



2.4.1.2 Épreuve pratique de spécialité du secteur B

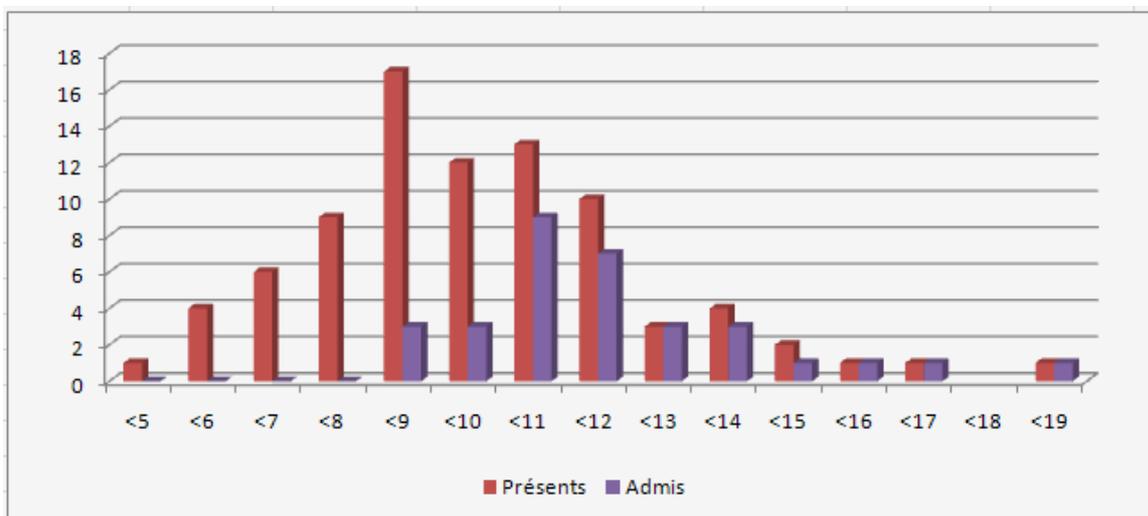


2.4.1.3 Épreuve pratique de spécialité de secteur C

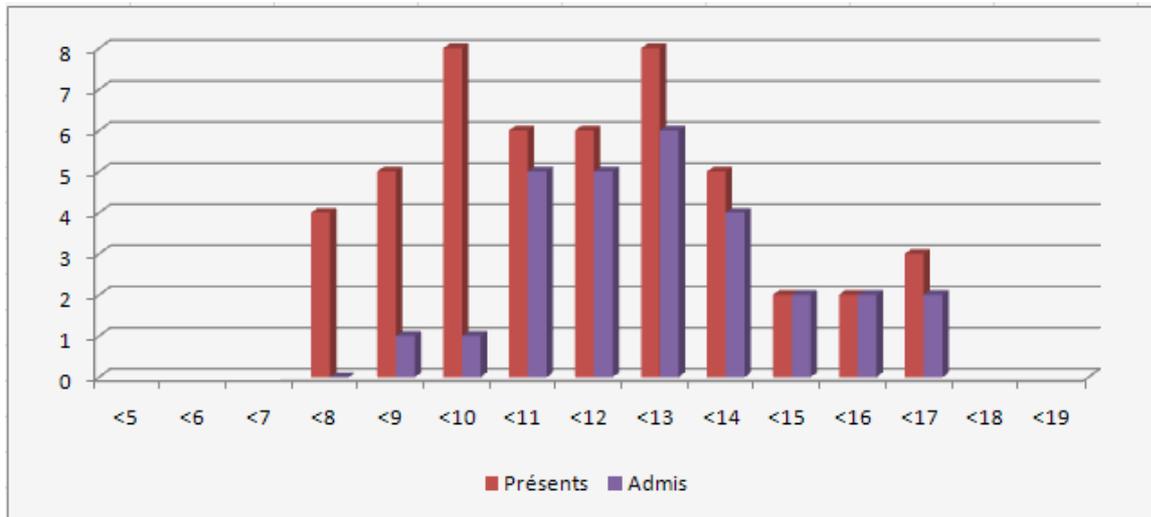


2.4.2 Épreuves pratiques de contre-option

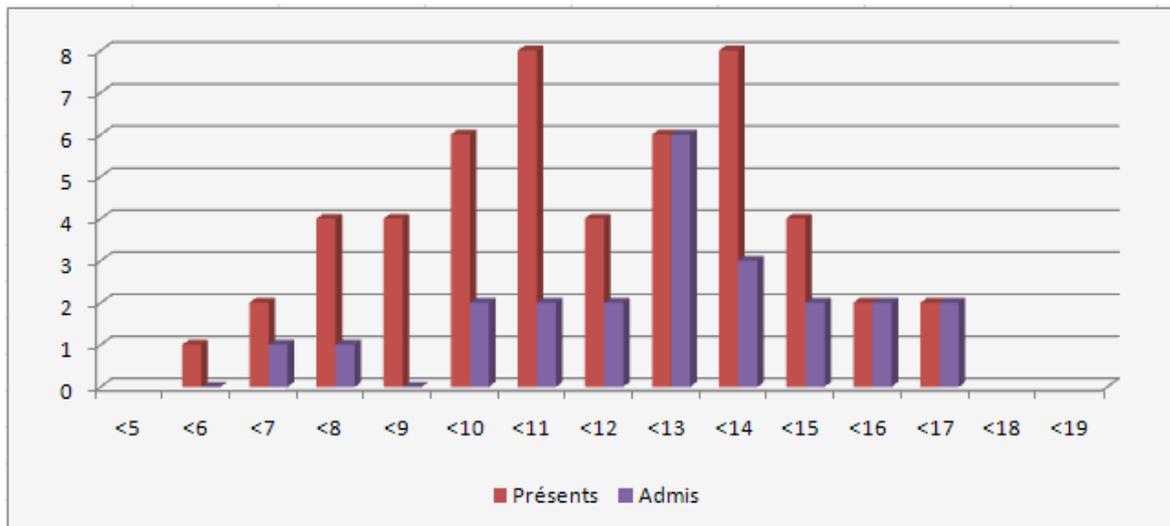
2.4.2.1 Épreuve pratique de contre-option sur les secteurs A et C pour les candidats de spécialité B



2.4.2.2 Épreuve pratique de contre-option sur les secteurs B et C pour les candidats de spécialité A



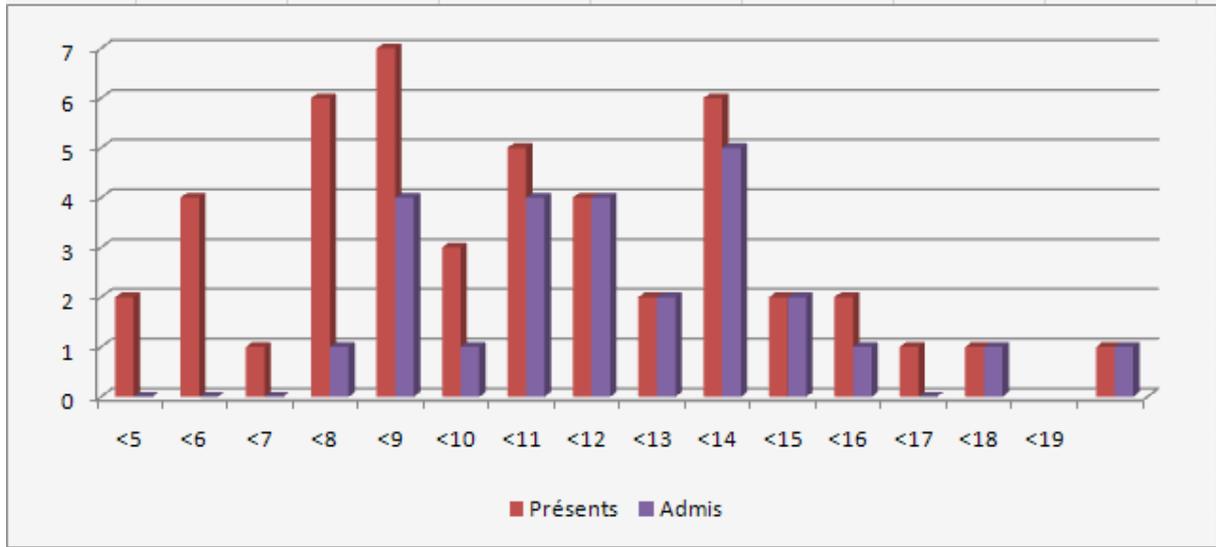
2.4.2.3 Épreuve pratique de contre option sur les secteurs A et B pour les candidats de spécialité C



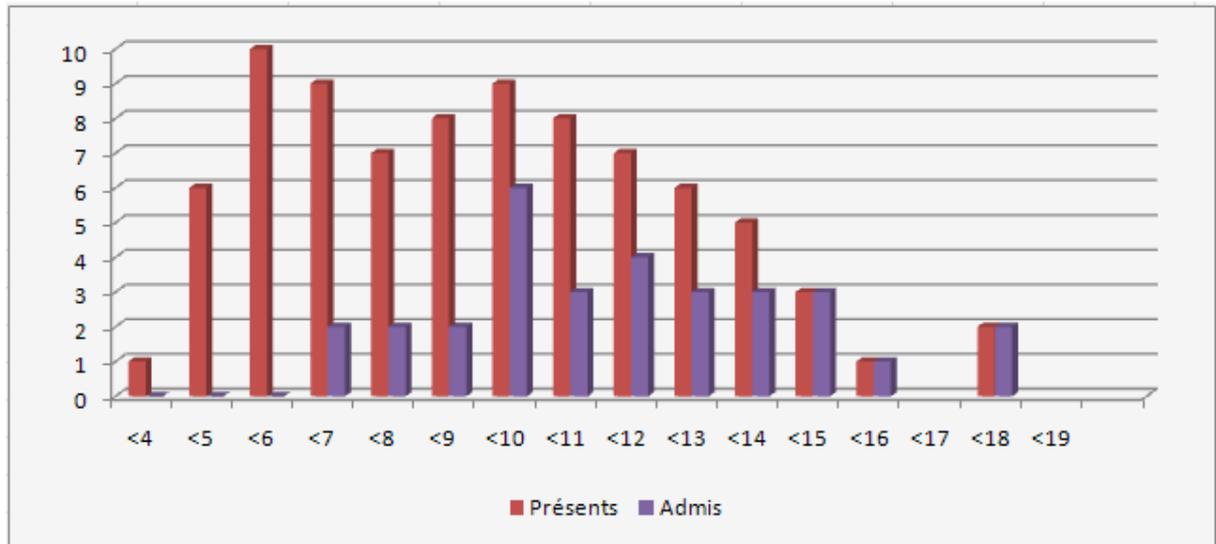
2.5 Quelques données statistiques concernant les épreuves orales

2.5.1 Épreuves orales de spécialité

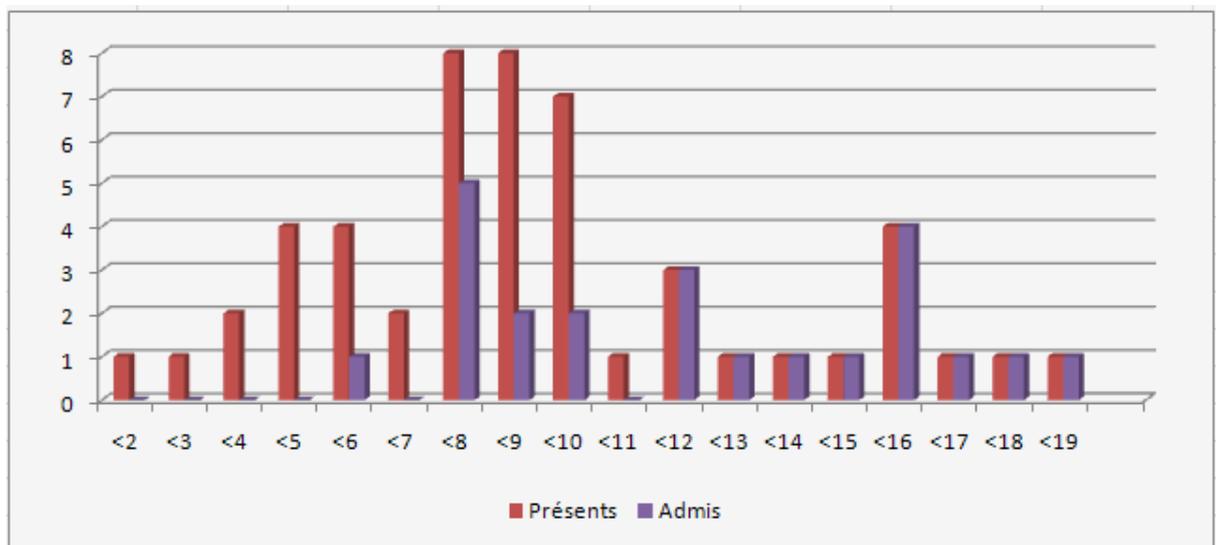
2.5.1.1 Épreuve orale de spécialité de secteur A



2.5.1.2 Épreuve orale de spécialité de secteur B

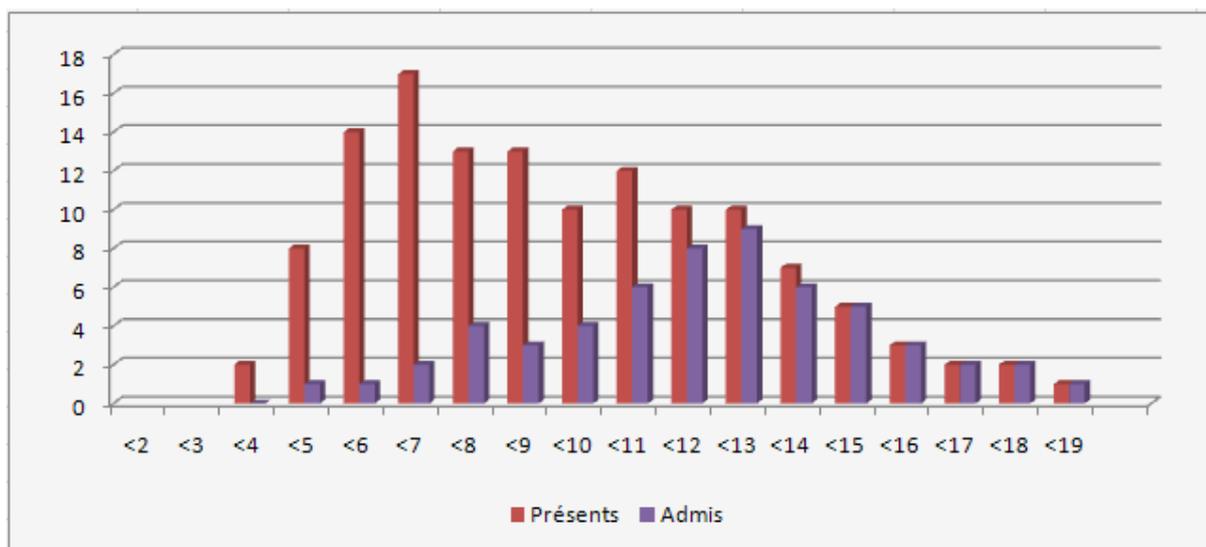


2.5.1.3 Épreuve orale de spécialité de secteur C

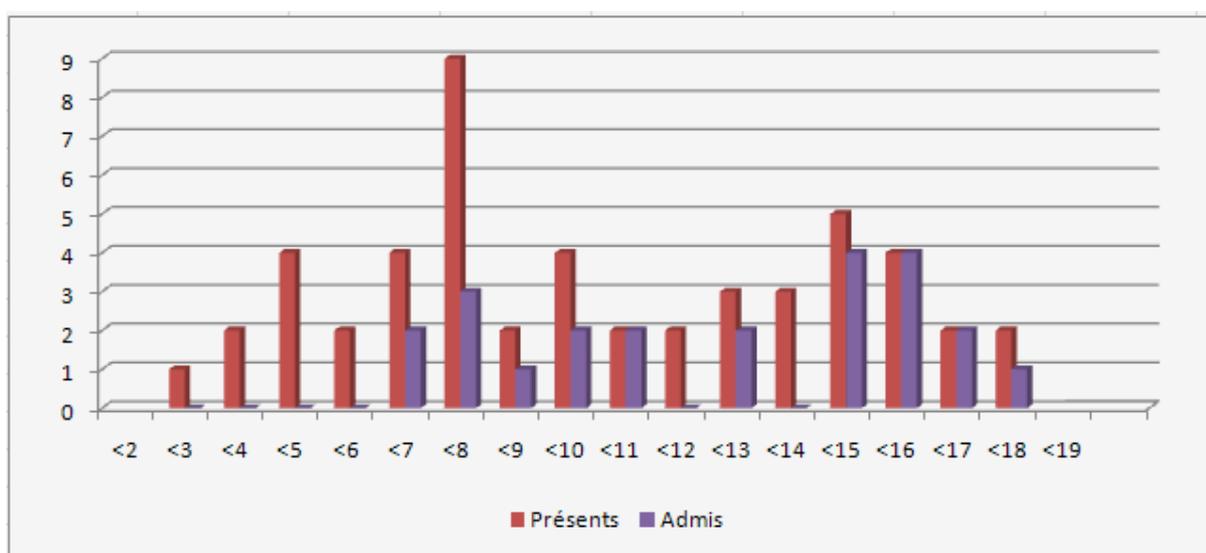


2.5.2 Épreuves orales de contre-option

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



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



3. PROGRAMME DU CONCOURS 2010

Le programme de l'agrégation des sciences de la vie-sciences de la Terre et de l'univers est rédigé en considérant les trois secteurs du champ disciplinaire :

- 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.

Ce programme est aussi structuré en niveaux :

- le programme de spécialité, qui définit le secteur, porte sur des connaissances du niveau de la maîtrise universitaire, et concerne les 1^{ère} et 3^{ème} épreuves d'admission ;
- 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 annexe de questions d'actualité sur lequel peut porter l'entretien qui suit l'exposé de la 4^{ème} épreuve d'admission.

Le programme de connaissances générales de chaque secteur fait partie du programme de spécialité du secteur. En conséquence, il apparaît en premier dans le texte qui suit. 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.

4.1 PROGRAMME DE CONNAISSANCES GÉNÉRALES SCIENCES DE LA VIE

Outre la présentation des connaissances à posséder pour le concours, le programme général de SV doit être consulté en ayant présent à l'esprit trois impératifs :

- l'observation des objets et des phénomènes, héritée de l'histoire naturelle et/ou des sciences naturelles, est une obligation,
- la démarche expérimentale nécessaire à l'explication des phénomènes, doit être présente à tous les niveaux d'étude,
- la conceptualisation à partir des données précédentes qui s'applique à l'ensemble de la discipline, se doit d'être d'actualité tout en connaissant les limites éventuelles dans certains domaines et, dans quelques cas, des éléments d'histoire des sciences et d'épistémologie.

Il s'agit d'une discipline expérimentale. À cet égard, l'utilisation de systèmes-modèles, simplifiés, est requise. Cette démarche implique la connaissance des particularités du modèle en relation avec la question posée mais, dans la majorité des cas, il est exclu de connaître l'ensemble de la biologie de l'organisme et/ou de l'organe retenu même si les limites éventuelles à la généralisation des connaissances sont à retenir. Dans cette démarche expérimentale, des méthodes et/ou des techniques de base et utilisables dans les établissements d'enseignement sont à posséder parfaitement. Pour d'autres approches plus modernes et/ou difficiles à mettre en œuvre dans les établissements, les principes généraux doivent être connus que ce soit en vue des explications fournies dans la présentation d'une question, en limitant éventuellement la portée des observations en raison de l'aspect technique et/ou méthodologique, mais aussi afin d'être à même d'utiliser au mieux les multiples documents disponibles actuellement, très souvent accessibles aux élèves, provenant des matériels et/ou des techniques les plus modernes.

Les connaissances élémentaires de physique, chimie et mathématiques représentent également un pré-requis pour les candidats.

Le programme de connaissances générales comporte sept rubriques :

- 1 - La cellule, unité structurale et fonctionnelle du vivant
- 2 - L'organisme, une société de cellules
- 3 - Plans d'organisation du vivant. Phylogénie
- 4 - L'organisme dans son environnement
- 5 - Biodiversité, écologie, éthologie, évolution
- 6 - L'utilisation du vivant et les biotechnologies
- 7 - Éléments de biologie et de physiologie dans l'espèce humaine

La répartition entre les secteurs A et B est la suivante :

- secteur A : rubriques 1, 2, 6, 7
- secteur B : rubriques 3, 4, 5, 7.

On ne s'étonnera donc pas de trouver des répétitions de thèmes et/ou d'exemples. Dans ce dernier cas, le choix du même exemple placé à plusieurs endroits du programme permet de l'alléger.

4.1.1 La cellule, unité structurale et fonctionnelle du vivant

Méthodes et/ou techniques à connaître au moins sur le principe : microscopies, spectrophotométrie, immunochimie, immunofluorescence, électrophorèse, hybridation moléculaire, immunoempreinte, cytométrie de flux, séquençage, cristallographie, patch-clamp, radioisotopes, autoradiographie...

Notions-Contenus	Précisions-Limites
1.1 Éléments de physico-chimie du vivant	
1.1.1 Constitution de la matière - Atomes, molécules - Liaisons chimiques - Propriétés de l'eau et de groupes fonctionnels - Polarité des molécules	Isotopes. Radioactivité. Molécules marquées Covalente, ionique, hydrogène. Énergie Acide, base, alcool, amine ; pH, pK, tampon Équation de Henderson-Hasselbach
1.1.2 Principales molécules biologiques - Glucides - Lipides - Acides aminés et protéines, nucléotides et acides nucléiques - Composés hémiques - Notion d'interactions intra et inter-moléculaires	Glucose, saccharose, amidon, glycogène Acides gras, glycérolipides, noyau stérol Chlorophylles, hémoglobines, cytochromes
1.1.3 Thermodynamique élémentaire - L'énergie et ses formes. Énergie interne. Variation d'énergie libre - Cinétique des réactions. Loi d'action de masse. Potentiel d'oxydoréduction	Prise en considération de la différence entre les conditions standards et les conditions in vivo
1.2 Organisation fonctionnelle de la cellule	
1.2.1 La théorie cellulaire	Rappels généraux
1.2.2 Les membranes cellulaires - Organisation et dynamique des membranes - Échanges transmembranaires - Jonctions cellulaires	Composition, structure, fluidité, trafic vésiculaire Échanges selon le(s) gradient(s) et contre le(s) gradient(s). Protéines membranaires (principe de fonctionnement. Le détail des structures et de la diversité n'est pas au programme général) : canaux ioniques, transporteurs (exemples du glucose : SGLT, GLUT et de l'eau : aquaporines), pompes (Na ⁺ -K ⁺ /ATP dépendantes), translocation de protons
1.2.3 La compartimentation cellulaire - Noyau, réticulum endoplasmique, Golgi, vacuole, lysosome, mitochondrie, chloroplaste	
1.2.4 Le cytosquelette - Éléments constitutifs - Trafic intracellulaire - Motilité	Transport axonal. Cyclose Contraction de la fibre musculaire squelettique. Flagelle des Eucaryotes
1.2.5 La cellule et son environnement - Récepteurs membranaires et intégrines - Transduction des signaux : protéines G, seconds messagers - Interactions membrane plasmique-matrices extra-cellulaires (animale et végétale) - Communication cellule-cellule : plasmodesmes, jonctions communicantes	(La transduction des signaux au niveau génique est abordée dans la rubrique 1.4.4)
1.3 Métabolisme cellulaire	
1.3.1 Bioénergétique - "Valeur" énergétique des substrats - Variation d'énergie libre d'hydrolyse et rôle des nucléotides phosphates dans les transferts énergétiques - Coenzymes d'oxydo-réduction - Origine de l'ATP Couplage transfert d'électrons, translocation de	Glucose, acides gras Couple ADP/ATP. Prise en compte de la différence entre les conditions standards et les conditions in vivo Formes réduites et oxydées du NAD et du NADP Phosphorylations liées au substrat (glycolyse) Gradient de protons et ATP synthase. Chaîne respiratoire et oxydation phosphorylante.

<p>protons et synthèse d'ATP</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de l'ATP <p>1.3.2 Enzymes et catalyse enzymatique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enzymes, coenzymes, cofacteurs - Vitesse de réaction, relations vitesse-substrat, affinité, vitesse maximale, spécificité - Contrôle de l'activité enzymatique <p>1.3.3 Voies métaboliques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anabolisme et catabolisme - Les grands types de réactions - Voies principales <p>Composés initiaux et terminaux, bilans, principales étapes, localisations intracellulaire et tissulaire</p> <ul style="list-style-type: none"> - Régulation des voies métaboliques 	<p>Chaîne photosynthétique et photophosphorylation acyclique (limitée aux Angiospermes)</p> <p>Cinétique de Michaelis-Menten, cinétique allostérique, représentations graphiques La classification des enzymes n'est pas au programme</p> <p>Transfert de groupement, oxydo-réduction, condensation....</p> <p>Cycle de réduction photosynthétique du carbone (cycle de Calvin) et synthèse de l'amidon, glycogénogenèse, glycogénolyse, gluconéogenèse, glycolyse, cycle des acides tricarboxyliques (cycle de Krebs), β-oxydation, fermentation alcoolique et fermentation lactique</p> <p>Exemples : glycogénolyse et glycolyse</p>
<p>1.4 Information génétique de la cellule</p>	
<p>1.4.1 Le support de l'information génétique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les acides nucléiques, supports de l'information génétique - L'ADN dans la cellule - Le gène, unité d'information génétique. <p>Évolution de la notion de gène</p> <ul style="list-style-type: none"> - Organisation générale du génome chez les Procaryotes et les Eucaryotes <p>1.4.2 Stabilité de l'information génétique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réplication de l'ADN - Mitose - Réparation <p>1.4.3 Dynamique et variabilité de l'information génétique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Méiose - Mutations - Réarrangement des gènes - Transformation, conjugaison et transductions chez les bactéries <p>1.4.4 L'expression des gènes et son contrôle chez les Eucaryotes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transcription, traduction - Maturation des ARN messagers - Maturation des protéines - Contrôle hormonal de l'expression du génome 	<p>Diversité des structures et de leur localisation (chromosomes, plasmides, ADN des organites)</p> <p>Structure des chromosomes, centromères, télomères, chromatine, caryotypes</p> <p>ADN codant et non codant</p> <p>Cas des dimères de thymine</p> <p>Mutations géniques et chromosomiques</p> <p>Exemple des immunoglobulines</p> <p>Cas de l'épissage</p> <p>Exemple d'une hormone ou d'une enzyme</p> <p>Exemple de la triiodothyronine</p>
<p>1.5 Le cycle cellulaire</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Différentes étapes du cycle : G1, S, G2, mitose, cytotélerèse - Le contrôle du cycle cellulaire - La mort cellulaire programmée : modalités et déterminisme 	
<p>1.6 Diversité des types cellulaires</p>	
<p>1.6.1 Particularités des cellules procaryotes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Organisation, comparaison avec une cellule eucaryote - Diversité du métabolisme bactérien <p>1.6.2 Organisation fonctionnelle de quelques cellules différenciées</p> <p>1.6.3 Totipotence, détermination et différenciation cellulaires ; dédifférenciation et redifférenciation</p>	<p>Cellule du parenchyme palissadique foliaire, tube criblé, spermatozoïde, cellules musculaires squelettique et cardiaque et autres</p> <p>cellules citées dans le programme général</p>
<p>1.7 Systèmes biologiques subcellulaires</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Les virus : structure, génome, cycle répliatif et transmission 	<p>Cycle d'un bactériophage. Virus de la mosaïque du tabac. Virus de l'immunodéficience acquise humaine</p>

4.1.2 L'organisme, une société de cellules

Notions-Contenus	Précisions-Limites
2.1 La notion d'organisme	
<ul style="list-style-type: none"> - Principes d'organisation : les colonies de cellules procaryotes (biofilms) et eucaryotes, l'état coenocytique, l'état pluricellulaire (tissus, organes, appareils ; notion d'individu) - Liquides extracellulaires des Métazoaires : nature, localisation, mise en mouvement, fonctions - Lignées germinale et somatique 	<p>Voir aussi 3.3</p> <p>Liquides interstitiel et coelomique, hémolymphe, sang et lymphes. Exemple de mise en mouvement : circulation des Mammifères (voir aussi 7.2.3)</p>
<p>2.2 L'origine de l'œuf</p> <p>2.2.1 Gamétogenèse</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aspects chromosomiques. (voir aussi 1.4.3) - Aspects cytologiques (enveloppes et réserves) <p>2.2.2 Rapprochement des gamètes, mécanismes cellulaires et moléculaires de la fécondation</p> <p>2.2.3 Transmission et expression des gènes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cas des haploïdes - Cas des diploïdes : allélisme, dominance et récessivité, épistasie - Réalisation du phénotype sexuel à partir du génotype 	<p>Exemples : Vertébrés (Amphibiens, Mammifères), Angiospermes</p> <p>Exemples : Amphibiens, Insectes</p> <p>Exemples : Angiospermes, Oursins, Mammifères (voir aussi 7.4)</p> <p>Transmission d'un couple d'allèles, transmission de plusieurs couples d'allèles</p> <p>Levures, Drosophile, Vertébrés dont espèce humaine (voir aussi 7.4)</p>
<p>2.3 La construction des organismes (biologie du développement)</p> <p>2.3.1 Les grandes étapes du développement embryonnaire. Inductions embryonnaires</p> <p>2.3.2 Les plans d'organisation : acquisition et diversité. Rôles des gènes du développement</p> <p>2.3.3 La croissance</p> <p>2.3.4 Renouvellement cellulaire</p> <p>2.3.5 Mort cellulaire</p> <p>2.3.6 Les métamorphoses animales</p>	<p>Exemple des Amphibiens</p> <p>Drosophile, Amphibiens, Arabidopsis</p> <p>Croissance discontinue : exemples pris chez les Insectes</p> <p>Croissance des Vertébrés : l'os long (voir aussi 7.2.1).</p> <p>Croissance des Angiospermes : méristèmes. Rôle de l'auxine</p> <p>Exemples : remodelage osseux, érythrocytes dans l'espèce humaine (voir aussi 7.1), zone génératrice libéro-ligneuse</p> <p>Au cours du développement embryonnaire et des métamorphoses (Insectes, Amphibiens)</p> <p>Sénescence chez les Angiospermes (exemple de la feuille)</p> <p>Insectes holométaboles, Amphibiens anoures</p>
2.4 La communication intercellulaire	
2.4.1 La communication nerveuse	Neurone, tissu nerveux, synapses. Messages nerveux. Potentiels d'action, potentiels électrotoniques, Jonction neuro-musculaire ; couplage excitation- contraction
2.4.2 La communication hormonale	Exemples : hormones thyroïdiennes, adrénaline, insuline, ecdystéroïdes, éthylène
2.4.3 La communication dans les mécanismes de l'immunité	Présentation de l'antigène, CMH, récepteurs des cellules T, cytokines
2.5 Les principes de la défense de l'organisme	
- La défense immunitaire	Les cellules et les molécules du système

- L'hypersensibilité et la résistance systémique acquise des végétaux	immunitaire. La défense non spécifique. La défense spécifique
---	---

4.1.3 Plans d'organisation du vivant.

Phylogénie les candidats devront maîtriser les connaissances concernant :

- les méthodes actuelles de la systématique ;
- les grandes lignes de la classification phylogénétique moderne des êtres vivants ;
- l'histoire évolutive de la lignée verte et des Vertébrés, en s'appuyant sur des données génétiques et écologiques actuelles, mais aussi sur les enregistrements fossiles (voir programme STU) ;
- les principaux plans d'organisation, leur diversité et leur mise en place au cours du développement et de l'évolution.

Notions-Contenus	Précisions-Limites
<p>3.1 Les méthodes actuelles de la systématique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Notions de groupe monophylétique, paraphylétique, polyphylétique. Abandon des anciens taxons de la systématique gradiste (agnathes, poissons, reptiles, thallophytes...) - Principe de la méthode cladistique. La phénétique : apport des données moléculaires, méthode UPGMA ("Unweighted Pair-Group Method with Arithmetic Means"). La construction des arbres phylogénétiques, difficultés rencontrées et sources d'erreurs - Les méthodes de parcimonie et leurs applications 	<p>On n'abordera pas les problèmes liés aux variations de taux d'évolution</p> <p>Les méthodes de maximum de vraisemblance ne seront pas abordées</p>
<p>3.2 La phylogénie du vivant</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les trois règnes du vivant : Eucaryotes, Eubactéries, Archae - La structuration de l'arbre des Eucaryotes : exemple de la discussion de la notion de groupe écologique polyphylétique (champignon et algue) - L'origine endosymbiotique de la cellule Eucaryote 	<p>L'étude peut s'appuyer sur la comparaison de l'agent du mildiou, de l'agent de la rouille (Puccinia), Coprinus, Fucus, Ulva</p> <p>Position phylogénétique de quelques unicellulaires hétérotrophes (Paramecium, Plasmodium, Foraminifères)</p> <p>Exemple de l'origine des plastes de la lignée verte</p>
<p>3.3 Plans d'organisation des Métazoaires</p> <ul style="list-style-type: none"> - Principaux plans d'organisation des Métazoaires (symétries et polarités) - Acquisition des symétries et des polarités au cours du développement, apports de la génétique du développement - Organisation du milieu intérieur 	<p>Éponge, hydre, planaire, Ascaris, Nereis, écrevisse, criquet, Mollusques (moule, escargot), un Echinoderme, un Téléostéen, grenouille, poulet, souris</p> <p>Quelques gènes du développement impliqués dans la mise en place du plan d'organisation chez la Drosophile et les Vertébrés (Amphibien, poulet) sont au programme. Les aspects moléculaires indispensables sont présentés en insistant sur les principes de la morphogenèse (gradients morphogénétiques, établissement des symétries et des polarités) et sur l'apport des gènes du développement à la compréhension de l'évolution (homologie moléculaire, origine du membre chiridien, hétérochronies)</p> <p>Liquides extracellulaires des Métazoaires, évolution du coelome</p>

<ul style="list-style-type: none"> - Arbre phylogénétique incluant les principaux phylums - La classification des Métazoaires : - Chronologie des grandes étapes de l'évolution des Métazoaires - Validité du critère morphologique : notions d'analogie et d'homologie - Convergence évolutive et adaptation aux conditions environnementales 	<p>Phylums des Spongiaires, Cnidaires, Brachiopodes, Bryozoaires, Plathelminthes, Mollusques, Annélides, Nématodes, Arthropodes, Echinodermes, Chordés Liaison avec les données de la paléontologie (faunes d'Ediacara et de Burgess, crises biologiques et extinctions évoquées dans le programme STU) Apports des caractères morpho-anatomiques et des séquences moléculaires</p> <p>Exemples possibles : les membres des Vertébrés, les ailes, les organes de collecte de nourriture des Métazoaires</p> <p>Un exemple possible : la prise de nourriture</p>
<p>3.4 La "lignée verte" (Glaucophytes, Rhodobiontes, Chlorobiontes : algues vertes et Embryophytes) et son adaptation aux différents milieux de vie.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Principaux plans d'organisation et leur acquisition - Classification des Embryophytes - Adaptations végétatives : stratégie poïkilohydre, structures de soutien et de conduction - Symbioses. - Cycles de développement comparés des Embryophytes 	<p>Cette partie s'appuie sur des exemples représentatifs tels que : Chlamydomonas, Ulva, Chara, Trentepohlia, polytrich, polypode, pin, Cycas ou Ginkgo, une Angiosperme Gènes du développement chez Arabidopsis thaliana ; on se limitera à la structuration de l'apex caulinaire et à l'ontogenèse florale (gènes homéotiques)</p> <p>Mycorhizes-nodosités Homologies des générations</p>

4.1.4 L'organisme dans son environnement Les caractéristiques physico-chimiques des milieux aquatiques et aériens doivent être connues sur les plans qualitatif et quantitatif.

Le programme privilégie les approches intégrative et comparée de la physiologie. L'approche intégrative, centrée sur l'organisme, aborde les phénomènes biologiques qui permettent la compréhension de l'adaptation au milieu ou de l'évolution. L'approche comparée révèle chez des organismes phylogénétiquement apparentés des fonctionnements différents en liaison avec des modes ou des milieux de vie dissemblables. Les contraintes écologiques déterminant les convergences évolutives sont dégagées. L'argumentation peut se situer aux différentes échelles, de la molécule à l'écosystème.

Notions-Contenus	Précisions-Limites
<p>4.1 La nutrition des organismes</p> <p>4.1.1 Les formes de l'énergie. Besoins énergétiques et matériels des organismes</p> <p>4.1.2 La nutrition des autotrophes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Assimilation du CO₂ par les végétaux photosynthétiques 	<p>Autotrophie</p> <p>Photo-autotrophie dans la lignée verte</p> <p>Chimio-autotrophie (nitrification, méthanogenèse)</p> <p>Hétérotrophie</p> <p>Sont au programme la capture de l'énergie lumineuse, l'assimilation du carbone, les échanges gazeux et leurs variations, le bilan carboné au niveau de la plante entière, les photosynthèses de type C₃, C₄ et CAM et leurs</p>

<p>Les formes de l'azote et leur assimilation par les organismes</p> <p>- Mycorhizes et nutrition hydrominérale des végétaux</p>	<p>conséquences écologiques</p> <p>On se limitera à l'assimilation des nitrates par les végétaux verts et à la fixation de l'azote par les procaryotes libres et les nodosités des légumineuses. On n'entrera ni dans les détails du dialogue moléculaire entre les organismes du sol et les racines, ni dans l'étude de la co-évolution entre ces organismes</p> <p>Voir aussi 3.4</p>
<p>4.1.3 La prise de nourriture et la digestion des hétérotrophes :</p> <p>- Prise de nourriture</p> <p>- Appareil digestif et digestion chez les Mammifères</p> <p>- L'alimentation des ectoparasites et des méso-parasites (hématophagie, osmotrophie)</p> <p>4.1.4 Les réserves. Nature, synthèse, utilisation</p> <p>- Mise en réserve postprandiale et mobilisation des réserves lors du jeûne chez l'Homme</p> <p>- Réserves ovocytaires et extra-ovocytaires des Vertébrés</p> <p>- Réserves chez les Angiospermes</p>	<p>Voir aussi 3.3</p> <p>Conditionnement de la nourriture par le tube digestif antérieur, digestion mécanique et chimique, absorption intestinale, motricité du tube digestif et son contrôle, sécrétions salivaires, gastro-intestinales et leur contrôle, transport des nutriments par le système circulatoire.</p> <p>Voir aussi 7.2.2</p> <p>On se limitera à un petit nombre d'exemples (moustique, sangsue, Cestodes)</p> <p>Glycogène musculaire et hépatique, graisse blanche</p> <p>Aspects circulatoires et régulation hormonale</p>
<p>4.2 La réalisation des échanges avec le milieu</p>	
<p>4.2.1 Les échanges gazeux</p> <p>- Diffusion des gaz, première loi de Fick</p> <p>- Les échangeurs de gaz (gaz-liquide, liquideliquide) et leurs caractéristiques générales</p> <p>- Deuxième loi de Fick</p> <p>- Maintien des gradients de pression partielle au niveau de l'échangeur</p> <p>- Transport des gaz et pigments respiratoires</p> <p>Le contrôle de la respiration et de la circulation lors de l'effort physique chez l'Homme</p> <p>4.2.2 Les échanges d'eau et de solutés ; l'élimination des déchets azotés chez les Métazoaires</p> <p>- Propriétés des principaux déchets azotés et leur répartition zoologique</p> <p>- Principe de fonctionnement des organes excréteurs</p> <p>- Équilibre hydro-électrolytique et milieux de vie des animaux (milieu marin, eau douce, milieu aérien)</p> <p>4.2.3 Les végétaux en milieu terrestre et le</p>	<p>Importance de l'aire d'échange, de sa finesse, et du gradient de concentration. Notion de conductance</p> <p>Seuls seront traités le tégument, les branchies (Téléostéens, Crustacés, Lamellibranches), les poumons (Mammifères), le système trachéen des Insectes et les stomates des plantes</p> <p>Importance du débit et de la capacitance</p> <p>On se limitera à la ventilation pulmonaire (Vertébrés) et trachéenne (Insectes), à la circulation d'eau au niveau branchial (Lamellibranches, Crustacés, Téléostéens) et aux appareils circulatoires des Vertébrés associés à ces échangeurs (Téléostéens, Mammifères)</p> <p>On se limitera aux hémoglobines normales chez l'Homme</p> <p>On se limitera aux principaux exemples tels que protonéphridies, tubes excréteurs des Insectes, reins des Mammifères</p> <p>On se limitera aux Vertébrés marins, aux Téléostéens d'eau douce, aux Mammifères et aux Insectes terrestres Variations au cours du développement post embryonnaire des Amphibiens (voir aussi 4.4.3)</p> <p>Réhydratation hygroscopique, reviviscence.</p>

problème de l'eau	Absorption hydrominérale, contrôle du flux hydrique (stomates et régulation stomatique, adaptations morphologiques, anatomiques et physiologiques des xérophytes) Les sèves et leur circulation. Voir aussi 3.4
4.3 Perception du milieu, intégration et réponses. Squelette et port	
4.3.1 La perception de l'environnement	On se limitera : - chez les animaux, aux phénomènes rétinien de la vision chez l'Homme - chez les plantes, à la perception de la gravité et au gravitropisme
4.3.2 Intégration, réponse motrice et squelette des organismes mobiles - Les squelettes	Test, squelette hydrostatique, exosquelette et endosquelette seront abordés à l'aide d'un nombre réduit d'exemples représentatifs
- Les différents types de systèmes nerveux	Systèmes nerveux diffus, médullaires, ganglionnaires
- La motricité somatique et son contrôle. Aspects biomécaniques, diversité fonctionnelle des muscles striés, contrôle nerveux de la motricité	On se limitera au contrôle nerveux de la posture chez l'Homme, et à un exemple de locomotion, la marche des Mammifères
4.3.3 Architecture et port des Embryophytes	Ramification et croissance en longueur et en épaisseur Dominance apicale, ramification des ligneux, influence des facteurs du milieu
4.4 Reproduction et cycles de développement	
4.4.1 Multiplication végétative, reproductions sexuée et asexuée - La reproduction sexuée (y compris pour l'espèce humaine) - La sexualisation des individus - Le rapprochement des partenaires	Diécie, gynodiécie, gonochorisme, hermaphrodisme. Rôle des phéromones, fécondation externe / fécondation interne Contrôle de la gamétogenèse et fécondation chez les Mammifères
- Gamétogenèse et fécondation	La pollinisation des Spermatophytes.
- Le devenir du zygote des Angiospermes (fruits et graines)	Autocompatibilité et autoincompatibilité des Angiospermes (les mécanismes moléculaires de l'autoincompatibilité seront limités au type Brassica)
- Physiologie des semences sèches	Déshydratation, vie ralentie, dormances Voir aussi 3.4
- La reproduction asexuée : principales modalités et conséquences sur les peuplements des milieux	Bourgeonnement. Vie coloniale (Cnidaires). Multiplication végétative naturelle (Embryophytes et Eumycètes)
4.4.2 Cycles de développement	
- Diversité des cycles de vie chez les Protozoaires	Cycle haplobiontiques (Apicomplexa), haplodiplobiontique (Foraminifères), et diplobiontique (Ciliophora) Cnidaires
- L'alternance des phases sexuées et asexuées chez les formes libres	Plasmodium, Trypanosoma Brucci, Schistosoma, Tenia, Ascaris, rouille (Puccinia), mildiou
- Les cycles des parasites	Germination des graines, levée de dormance, maturité de floraison
- Phénologie et synchronisation du cycle de reproduction des végétaux	On se limitera aux exemples suivants : les Insectes (comparaison holométaboles / paurométaboles), un bivalve méroplanctonique et un Anoure (Le contrôle neuro-endocrine n'est pas
4.4.3 Larves et métamorphoses : dispersion, changement de plan d'organisation, diversité des niches écologiques	

	au programme général)
4.5 Homéostasie	
4.5.1 Régulation de la glycémie à court terme (insuline/glucagon)	On se limitera à l'Homme (voir aussi 7.3.2)
4.5.2 Thermorégulation : régulation des échanges de chaleur ; thermogenèse, thermolyse	On se limitera à des exemples pris chez les Vertébrés Concepts cybernétiques associés aux contrôles et régulations (voir aussi 4.1.4)

4.1.5 Biodiversité, écologie, éthologie, évolution Les connaissances demandées relèvent de deux cadres conceptuels :

- une version actuelle de la théorie de l'évolution;
- une vision quantitative de l'écologie fonctionnelle.

L'approche mathématique élémentaire des modèles théoriques est au programme de connaissances générales ; des connaissances de base en statistiques et la maîtrise de formalisations telles que la loi de Hardy-Weinberg ou les modèles de Lotka et Volterra sont nécessaires.

Notions-Contenus	Précisions-Limites
5.1 Histoire et concepts en évolution	
<ul style="list-style-type: none"> - Conceptions pré-darwiniennes, la révolution darwinienne, la synthèse néo-darwinienne - La théorie moderne de l'évolution - Neutralisme - Notion de valeur sélective (fitness) - Les unités de sélection 	<p>L'évolution des séquences est en grande partie neutre (voir aussi 3.1 : applications phylogénétiques de la théorie neutraliste)</p> <p>Composantes de la valeur sélective (viabilité, fertilité) et mesure à partir d'un nombre limité d'exemples</p> <p>Notion de "gène égoïste" (Dawkins)</p> <p>Problème de la sélection de groupe</p>
5.2 Génétique	
<p>5.2.1 Génétique formelle</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aspects génétiques de la méiose et de la fécondation - Transmission d'un couple d'allèles - Ségrégation de plusieurs couples d'allèles - Lois de Mendel <p>5.2.2 Génétique des populations</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fréquences alléliques, fréquences génotypiques - Régime de reproduction (panmixie, autogamie, consanguinité) - Pressions évolutives (sélection, mutation, migration, dérive) - Polymorphisme neutre (voir aussi 5.1) et sélectionné, cryptopolymorphisme <p>5.2.3 Génétique quantitative</p> <ul style="list-style-type: none"> - Héritabilité, hétérosis - Origine des plantes cultivées 	<p>Loi de Hardy-Weinberg-déficit en hétérozygotes</p> <p>Méthodes d'étude du polymorphisme (y compris marqueurs moléculaires)</p> <p>Exemples de la diversité des variétés des plantes cultivées, de la Phalène du bouleau et des maladies génétiques humaines</p> <p>Blé et maïs. Voir aussi 6.4.5</p>
5.3 Biogéographie	
<ul style="list-style-type: none"> - Définitions de l'espèce - Spéciation allopatrique et ses mécanismes, spéciation sympatrique - Notion de vicariance, endémisme - Zonation écologique au niveau de la planète (biomes terrestres et océaniques) 	<p>Exemple d'une espèce en anneau</p> <p>Les mécanismes de la spéciation sympatrique ne sont pas au programme général</p>

5.4 Écologie comportementale et éthologie	
<ul style="list-style-type: none"> - Ontogenèse et déterminisme des comportements - Interactions comportementales et communication - Comportement et sélection naturelle, coûts et bénéfices, approche comparative - Groupements familiaux, grégaires et sociaux. Sélection de parentèle 	On se limitera à un exemple de groupement social de Mammifères Organisation sociale des Hyménoptères
5.5 Biodiversité et biologie de la conservation Définition, composantes et mesures de la biodiversité	
5.5.1 Croissance et dynamique des populations isolées 5.5.2 Interactions entre populations : compétition interspécifique, niche écologique, relations prédateur-proie et hôte-parasite 5.5.3 Dynamique des communautés <ul style="list-style-type: none"> - Définition et mesure de la diversité spécifique des communautés - Successions écologiques Dynamique de la biodiversité (maintien, extinctions d'origine anthropique) 5.5.4 Biologie de la conservation et gestion durable des populations	Croissance exponentielle et logistique Formalisme de Lotka-Volterra Peuplements pionniers et climaciques, zonation
5.6 Écologie fonctionnelle, écosystèmes	
<ul style="list-style-type: none"> - Biomasse, production et productivité, stocks et flux - Comparaison d'un écosystème naturel et d'un agrosystème - Les interactions dans un écosystème : le plancton océanique Cycles biogéochimiques de l'eau, du carbone et de l'azote	Approche quantitative, méthodes et unités de mesure Organismes du plancton Facteurs limitants de la productivité Interactions y compris trophiques (réseaux et pyramides) Répartition spatio-temporelle Participation des êtres vivants Liens avec l'effet de serre

4.1.6 L'utilisation du vivant et les biotechnologies Il convient de prendre en compte les problèmes posés par ces méthodes et leurs conséquences (économiques, écologiques, éthiques...).

Notions-Contenus	Précisions-Limites
6.1 Les produits biologiques, matières premières de l'industrie	Blé, raisin, lait, bois
6.2 Bases scientifiques des biotechnologies 6.2.1 Le génie génétique 6.2.2 La génomique 6.2.3 Les cultures in vitro - Cultures de cellules animales et végétales - Cultures bactériennes	Clonage des gènes, hybridations moléculaires, amplification de l'ADN (PCR) Marqueurs génétiques moléculaires, empreintes génétiques. Principe du séquençage des génomes
6.3 Utilisation des micro-organismes dans l'industrie	
6.3.1 Utilisation des micro-organismes dans la production de biomasse 6.3.2 Application des métabolismes microbiens. Rôle des micro-organismes dans les	Bactéries, levures Fermentations industrielles, alimentaires

transformations industrielles 6.3.3 Les substances d'intérêt issues des microorganismes - Utilisation des enzymes microbiennes - Production de métabolites naturels - Production de protéines recombinantes	Exemple de la Taq polymérase Antibiotiques, vitamines
6.4 Biotechnologie des plantes et des animaux	
6.4.1 Méthodes de clonage ; conservation de la structure génétique 6.4.2 Induction d'une variabilité génétique par mutagenèse artificielle 6.4.3 Les biotechnologies de l'embryon 6.4.4 Les transformations génétiques - Principe et technique - Éléments sur les applications agronomiques, industrielles, médicales ; éléments sur les risques de propagation des transgènes dans l'environnement et pour la santé humaine 6.4.5 Sélection assistée par marqueurs moléculaires	Micropropagation : méristèmes, bourgeons Exemples : pomme de terre, orchidées Insémination artificielle chez les animaux Pollinisation artificielle chez les végétaux. Androgenèse On se limitera à l'exemple d'Agrobacterium tumefaciens et de son utilisation chez les plantes Notion de Quantitative Trait Loci (QTL)

4.1.7 Éléments de biologie et de physiologie dans l'espèce humaine.

Le contenu des programmes de l'enseignement secondaire justifie cette rubrique. Commune aux deux secteurs A et B, elle devra être abordée à tous les niveaux d'intégration, de la molécule (sauf indication de limite) aux populations. On s'appuiera également sur l'utilisation raisonnée des approches pathologiques.

Notions-Contenus	Précisions-Limites
7.1 Le corps humain - Anatomie élémentaire topographique, macroscopique, systémique - Compartiments liquidiens	Organes, systèmes et appareils. Principes des méthodes d'étude non invasive du corps humain Volumes et compositions (voir aussi 2.3.4)
7.2 Échanges de matière et d'énergie entre l'organisme et le milieu et à l'intérieur de l'organisme	
7.2.1 Les besoins de l'organisme et leur couverture - La dépense énergétique et ses variations. Calorimétrie. Métabolisme basal et variations. - La couverture des besoins par l'alimentation chez l'adulte . lors de la croissance 7.2.2 Digestion, absorption, transport et devenir des nutriments - Digestion et absorption Les phases : localisation, chronologie des phénomènes, sécrétions exocrines et endocrines Absorption et transport des nutriments Devenir des nutriments. Réserves. Ajustements des voies métaboliques entre les repas 7.2.3 La circulation - Le cœur : activités mécanique et électrique, contrôle	Principes (voir aussi 1.3). Mesures et valeurs Thermorégulation : voir aussi 7.5 Aspects quantitatifs et qualitatifs. Nutriments indispensables. Vitamines. Oligo-éléments Balance azotée. La croissance osseuse, rôle des hormones (le mode d'action cellulaire n'est pas attendu) Un exemple de cellule sécrétrice : la cellule pancréatique exocrine Phase post-prandiale. Phases du jeûne. État hormonal et voies métaboliques (le détail n'est pas au programme)

<p>- Les vaisseaux : . organisation fonctionnelle des différents segments . circulations locales - La pression artérielle : définition, variations et régulation à court terme par le baroréflexe. - Ajustements aux besoins de l'organisme et aux variations du milieu</p> <p>7.2.4 La respiration - La ventilation - Transport des gaz respiratoires par le sang - Échanges gazeux alvéolo-capillaires et tissulaires - Ajustements de la ventilation au cours de l'exercice physique</p> <p>7.2.5 L'excrétion - Fonctionnement du néphron - Participation du rein au maintien de l'équilibre hydro-sodé</p>	<p>Vasomotricité, répartition du débit cardiaque Voir aussi 7.5.2</p> <p>Les aspects moléculaires et expérimentaux approfondis ne sont pas au programme général. Voir aussi 7.5.2</p> <p>Quelques méthodes d'exploration fonctionnelle : clairance, microponctions...</p>
<p>7.3 Neurobiologie et endocrinologie</p>	
<p>7.3.1 Neurobiologie - Le tissu nerveux. Le message nerveux - Organisation structurale et fonctionnelle du système nerveux (compléments de 7.1) - Fonctions sensorielles. Principes généraux : stimulation, réception, transduction, codage, conduction - Contrôle de la posture</p> <p>7.3.2 Endocrinologie - Exemples de la reproduction et de la régulation à court terme de la glycémie</p>	<p>Systèmes nerveux central, périphérique, autonome</p> <p>On se limitera à la participation du réflexe myotatique</p> <p>Complexe hypothalamo-hypophysaire</p>
<p>7.4 Activité sexuelle et procréation</p>	
<p>7.4.1 Différenciation sexuelle, puberté, maturité, ménopause 7.4.2 Fonctions exocrine et endocrine des testicules et des ovaires 7.4.3 Grossesse, accouchement, lactation</p>	<p>Spermatogenèse, transport des spermatozoïdes. Ovogenèse, cycle ovarien, cycle menstruel. Contraception, contragestion Interventions hormonales. Échanges foéto-maternels majeurs. Suivi de la grossesse. Diagnostic prénatal</p>
<p>7.5 Homéostasie, régulations et réponses intégrées de l'organisme</p>	
<p>7.5.1 Exemples de grandes régulations et de leur perturbation - Régulation à court terme de la glycémie (insuline/glucagon) - Thermorégulation - Concept général de régulation</p> <p>7.5.2 Exemples de réponses adaptatives de l'organisme - Ajustements et adaptations respiratoires et cardio-vasculaires à l'exercice physique. - Effets de l'entraînement</p>	<p>On pourra aussi s'appuyer sur les exemples rencontrés dans le reste du programme</p>
<p>7.6 Santé et société</p>	
<p>- Diabète - Obésité - Alcoolisme</p>	<p>Voir aussi 7.2.2 Foie et détoxification. Lésions</p>
<p>7.7 L'homme face aux maladies</p>	

<ul style="list-style-type: none"> - Maladies infectieuses (origine bactérienne et virale. Maladies parasitaires) - Maladies génétiques ou résultant d'interactions entre gènes et environnement, maladies métaboliques - Éléments relatifs à la prophylaxie et à la thérapeutique (prévention, antibiothérapie, vaccinothérapie, sérothérapie, dépistage, médicaments...) 	<p>Exemples : grippe, tuberculose, maladies sexuellement transmissibles (MST), paludisme</p> <p>Exemples : thalassémies, cancers, diabète, obésité</p>
---	--

4.2 SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Le programme de connaissances générales est fondé sur une bonne connaissance des principaux objets géologiques à l'échelle du monde et du territoire national (métropole et outremer). Ainsi, les candidats doivent connaître les grands traits de l'évolution géologique (continents et océans) en s'appuyant sur des documents incontournables tels que la carte géologique du monde, les cartes des fonds océaniques, la carte géologique de l'Europe et la carte géologique de la France à 1/1.000.000 (6^{ème} édition 1996 et 6^{ème} édition révisée en 2003).

Les candidats doivent, par ailleurs, maîtriser les bases des principales disciplines des sciences de la Terre : géophysique, pétrologie, géochimie, tectonique, sédimentologie, paléontologie. Les méthodes ou techniques qui servent ces disciplines et qui s'appliquent aux enveloppes internes et externes, doivent être connues dans leurs principes élémentaires. On retiendra en particulier :

- l'identification macroscopique et microscopique des principaux minéraux, roches magmatiques, métamorphiques et sédimentaires, minerais indispensables à la compréhension des grands phénomènes géologiques inscrits au programme ;
- l'identification macroscopique et/ou microscopique des principaux fossiles et ichnofossiles (bioturbations), présentant un intérêt stratigraphique ou un intérêt paléo-environnemental ;
- la lecture des cartes géologiques et la réalisation de coupes, de schémas structuraux et de bloc-diagrammes simples (passage 2D-3D) ;
- l'analyse de documents satellitaires usuels : images dans le visible et l'infra-rouge, radar ;
- la lecture et l'interprétation de documents géographiques et géophysiques usuels (cartes topographiques et bathymétriques, cartes de réflectivité des fonds marins, profils sismiques et sismogrammes, cartes d'anomalies magnétiques et gravimétriques, cartes d'altimétrie satellitaire, documents de tomographie sismique, cartographie des mécanismes au foyer,...) ;
- l'interprétation des analyses géochimiques (majeurs, traces, isotopes stables et radiogéniques), en liaison avec les types d'objets étudiés (roche/minéral magmatique ou métamorphique, test de foraminifère, fluides interstitiels,...) ;
- les bases théoriques essentielles de la géochronologie relative et absolue (dans les limites énoncées plus loin) et le découpage des temps géologiques qui en est déduit.

Ces connaissances méthodologiques s'appuient sur une maîtrise des grands principes de la physique et de la chimie indispensables en sciences de la Terre, notamment dans les domaines de la mécanique des solides et des fluides, des champs de potentiel (magnétisme et gravité), de l'optique, de la thermodynamique et de la chimie des solutions. Enfin, il est souhaitable, dans quelques cas, de faire appel à l'évolution des idées dans le domaine des sciences de la Terre.

Le programme de connaissances générales comporte quatre grandes rubriques :

- 1- La Terre actuelle ;
- 2- Le temps en sciences de la Terre ;
- 3- L'évolution de la planète Terre ;
- 4- Gestion des ressources et de l'environnement;

4.2.1 La Terre actuelle

Notions-Contenus	Précisions-Limites
<p>1.1 La planète Terre dans le système solaire</p> <ul style="list-style-type: none"> - Structure et fonctionnement du Soleil et des planètes - Spécificité de la planète Terre - Météorites et différenciation chimique des planètes telluriques 	<p>L'étude se limitera à la composition des planètes et des atmosphères planétaires, ainsi qu'à leur activité interne. La connaissance du mouvement des planètes se limitera aux lois de Kepler</p>

1.2 Forme et structure actuelles de la Terre	
<ul style="list-style-type: none"> - Le géoïde - Structure et composition des ensembles suivants : noyau, manteau, lithosphères océanique et continentale, hydrosphère (liquide, glace), atmosphère 	On se limitera dans ce programme à la mise en évidence des ondulations du géoïde
1.3 Géodynamique externe	
<ul style="list-style-type: none"> - Distribution de l'énergie solaire dans l'atmosphère et à la surface de la Terre. Zonations climatique et biogéographique. Effet de serre - Circulations atmosphérique et océanique ; circulation thermohaline Couplage mécanique océan-atmosphère Cycle de l'eau et échanges énergétiques entre l'hydrosphère et l'atmosphère - Géomorphologie continentale et océanique ; mécanismes d'érosion, d'altération et de transport ; sédimentation actuelle - Rôles de la vie dans la genèse des sédiments. - Compaction des sédiments et diagenèse 	<p>On se limitera à la zonation climatique globale</p> <p>Les développements théoriques sur la force de Coriolis ne sont pas au programme</p> <p>On se limitera à l'étude de l'influence de la lithologie et du climat</p> <p>La pédogenèse n'est pas au programme La diagenèse à l'origine des roches carbonées n'est pas au programme</p>
1.4 Géodynamique interne du globe	
<ul style="list-style-type: none"> - Dynamique du noyau et champ magnétique - Dynamique mantellique : flux et gradient thermiques ; convection et panaches ; tomographie sismique ; élaboration d'un modèle Terre - Mobilités horizontale et verticale de la lithosphère : la tectonique des plaques. Cinématique instantanée ; failles actives (sismotectonique) ; géodésie terrestre et satellitaire. Cinématique ancienne : paléomagnétisme et anomalies magnétiques - Les grandes structures géologiques : <ul style="list-style-type: none"> . en zone de divergence : rifts continentaux ; évolution des rifts et des marges passives ; genèse de la croûte océanique à l'axe des dorsales ; aspects tectoniques et magmatiques ; hydrothermalisme ; comparaison avec le modèle ophiolitique. Évolution thermomécanique de la lithosphère hors axe . en zone de coulissage : failles transformantes et décrochements . en zone de convergence : subduction et phénomènes associés : évolution de la lithosphère subduite, métamorphisme, transfert de fluides et genèse des magmas d'arc, recyclage mantellique, bassins d'arrière arc. Obduction. Collision continentale, sutures ophiolitiques et grands coulissages intra-continentaux d'après l'analyse de chaînes de montagne. Déformations à toutes les échelles, géométrie des structures, marqueurs cinématiques, comportement rhéologique. Métamorphisme et transferts de fluides : assemblages minéralogiques et faciès, chemins 	<p>On se limitera à la composante dipolaire du champ sans développement mathématique</p> <p>La convection ne fera l'objet d'aucun développement mathématique ; on se limitera à la signification physique du nombre de Rayleigh</p> <p>Les aspects méthodologiques de la géodésie ne sont pas au programme</p> <p>À l'aide d'exemples judicieusement choisis, on s'attachera plus à dégager les caractéristiques essentielles de chaque type de structure qu'à l'étude exhaustive de nombreux exemples</p> <p>On ne traitera pas des discontinuités non transformantes, des centres d'accrétion en recouvrement, ni des propagateurs</p> <p>On ne traitera pas de la subduction de dorsales océaniques</p> <p>L'analyse quantitative des contraintes se limitera à l'utilisation du diagramme de Mohr</p> <p>Les principes de la thermobarométrie ne sont pas au programme. Seuls les résultats sont intégrés à l'interprétation des édifices géologiques</p>

Pression-Température-temps (P,T,t). Magmatisme associé.	
Désépaississement lithosphérique dans les chaînes de collision. Érosion et genèse des sédiments terrigènes et chimiques En zone intraplaque : points chauds	L'importance volumique des plateaux océaniques sera soulignée

4.2.2 Le temps en sciences de la Terre : âges, durées et vitesses des processus géologiques

2.1 Chronologie relative, continuité / discontinuité	
- Bases stratigraphiques et sédimentologiques de la chronologie relative - Principes de la biostratigraphie. Notion de taxon et de biozone - Approches physiques et chimiques de la stratigraphie : sismostratigraphie et bases de la stratigraphie séquentielle, rythmostratigraphie, magnétostratigraphie	On se limitera à quelques exemples de biozonation (macro, micro, nanofossiles) Le traitement des données sismiques n'est pas au programme. On ne traitera pas de l'analyse spectrale des cyclicités sédimentaires
2.2 Géochronologie absolue	
- Radiochronologie	On présentera le principe de la datation à l'aide du couple Rb/Sr et de l'isotope cosmogénique ¹⁴ C. On étudiera notamment la construction et l'exploitation d'une isochrone Rb/Sr. On se limitera à la simple utilisation des couples U/Pb. La diversité des autres couples utilisés et les raisons de leur choix sont l'objet du programme de spécialité
2.3 Synthèse	
- Mise en corrélation des différents marqueurs chronologiques - L'échelle des temps géologiques et la signification des différents types de coupures - Durée et vitesse des phénomènes géologiques: rythmes, cycles et événements	La succession et la durée des ères et des systèmes doivent être acquises, mais la connaissance exhaustive des étages n'est pas requise

4.2.3 L'évolution de la planète Terre

3.1 L'évolution précoce de la planète Terre	
- L'univers et les grandes étapes de la formation du système solaire - Différenciation chimique : formation du noyau et du manteau primitif. Dégazage du manteau, formation de l'atmosphère et de l'hydrosphère primitives - Genèse de la croûte continentale - Particularités de la géodynamique archéenne : flux de chaleur, fusion et composition des magmas (TTG, komatiites)	On se limitera à mentionner l'existence de la nucléosynthèse et les étapes conduisant à la formation de la planète Terre On s'attachera à montrer l'importance des arguments géochimiques et à replacer la genèse de la croûte continentale dans le cadre de l'histoire générale du globe terrestre
3.2 Enregistrements sédimentaires des paléoclimats et des phénomènes tectoniques	
Enregistrements sédimentaires des paléoclimats : aspects minéralogiques, paléontologiques et géochimiques	On se limitera à montrer comment il est possible d'obtenir des informations sur les paléoclimats à partir d'études minéralogiques, paléontologiques

	et géochimiques
3.3 Les fossiles : témoins de l'évolution biologique et physico-chimique de la Terre	
<ul style="list-style-type: none"> - Premiers vestiges de l'activité biologique et hypothèses sur l'origine de la vie - Processus de fossilisation - Roches exogènes précambriennes, enregistreurs de l'évolution initiale de l'atmosphère et de l'hydrosphère - Apparition de la cellule eucaryote et diversification des Métazoaires. Grandes étapes de la conquête du milieu terrestre et du milieu aérien. Radiations adaptatives et extinctives : corrélation avec les changements de l'environnement. Événements "catastrophiques" dans l'histoire de la Terre ; notion de crise biologique - Reconstitutions de quelques paléo environnements à partir de biocénoses fossiles et d'ichnofossiles - Origine et évolution des Hominidés 	<p>On s'attachera à partir d'un nombre limité d'exemples, notamment ceux évoqués dans le programme SV à montrer les grandes étapes d'évolution de la biosphère</p> <p>On ne traitera que la limite Crétacé -Tertiaire L'existence des autres crises dans l'histoire géologique du globe ne sera que mentionnée</p>
3.4 Formation et dislocation de la Pangée	
<ul style="list-style-type: none"> - Accrétion et dispersion des masses continentales - Conséquences : modification de la circulation des enveloppes fluides ; conséquences climatiques et biologiques 	
3.5 Le cycle actuel de l'eau	
Notion de réservoir, de flux et principes d'établissement d'un cycle (identification et quantification des processus impliqués)	

4.2.4 Gestion des ressources et de l'environnement

<ul style="list-style-type: none"> - Ressources minérales : les processus de concentration à l'origine de gisements d'intérêt économique - Ressources énergétiques : matières organiques fossiles, géothermie, minerais radioactifs - Eaux continentales de surface et souterraines Exploitation et protection des ressources en eau; exemples de pollution - Grands ouvrages et matériaux de construction - Prévision et prévention des risques naturels : l'exemple du risque sismique 	<p>On se limitera à l'exemple de l'or. Les méthodes de prospection et d'exploitation ne sont pas au programme</p> <p>On ne traitera pas des hydrates de gaz</p> <p>On se limitera au cas des barrages. On ne traitera que des ciments, bétons, briques et plâtre, ainsi que des pierres de taille</p> <p>On distinguera les notions d'aléa et de risque sismique ; la prévention et la gestion du risque sismique seront présentées</p>
---	---

4.3 PROGRAMME DE SPÉCIALITÉ

4.3.1 Secteur A : biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire ; leur intégration au niveau de l'organisme

Le programme de spécialité du secteur A porte sur les rubriques 1, 2, 6 et 7 du programme de connaissances générales et sur les 15 thèmes suivants regroupés en trois domaines et étudiés de façon approfondie en envisageant le niveau des connaissances et celui des approches méthodologiques et techniques. Cette démarche thématique permet d'approfondir globalement les

éléments des rubriques 1, 2 et 6 du programme de connaissances générales sans les reprendre exhaustivement en indiquant à chaque fois les attendus et les limites.

L'approfondissement de certains aspects de la rubrique 7 n'apparaît que pour des questions d'intégration accompagnant le libellé de la définition du secteur.

Interactions

(Le terme est pris dans le sens d'une action entraînant une réaction quel que soit le niveau d'étude pris en compte)

1 - Interactions protéines-ligands (exemples choisis parmi les enzymes, les récepteurs ionotropiques et métabotropiques)

2 - Interactions cellules eucaryotes-contraintes abiotiques (thermiques, osmotiques, hydriques)

3 - Interactions au sein du système immunitaire humain

4 - Interactions cellulaires au cours du développement animal

Signalisations et différenciations cellulaires

(Les protocoles expérimentaux ne sont pas exigibles, mais les principes des expérimentations doivent être connus)

5 - Détermination et différenciation des cellules

6 - Réplication de l'ADN : mécanisme et contrôles

7 - Mutations et cancers

8 - Ca^{2+} et signalisations cellulaires

9 - Les modifications post-traductionnelles : phosphorylations, glycosylations et ubiquitinations

10 - Les phytohormones

11 - Le contrôle du cycle cellulaire

Principes, applications et limites des biotechnologies en sciences de la vie.

(Les protocoles expérimentaux ne sont pas exigibles, mais les principes des expérimentations et les applications possibles doivent être connus. On entend par « limites » les contraintes techniques et éthiques des biotechnologies)

12 - La transgénèse : exemples choisis chez les végétaux et les mammifères

13 - Biotechnologies des cellules souches embryonnaires et adultes animales

14 - Génomique et amélioration végétale

15 - Ingénierie cellulaire et métabolique

4.3.2 Secteur B : biologie et physiologie des organisme et biologie des populations, en rapport avec le milieu de vie

Le programme de spécialité du secteur B porte sur les rubriques 3, 4, 5 et 7 du programme de connaissances générales et sur les 15 thèmes suivants regroupés en trois domaines et étudiés de façon approfondie en envisageant le niveau des connaissances et celui des approches méthodologiques et techniques.

Cette démarche thématique permet d'approfondir certains éléments des rubriques 3, 4 et 5 du programme de connaissances générales sans les reprendre exhaustivement en indiquant à chaque fois les attendus et les limites. L'approfondissement de certains aspects de la rubrique 7 n'apparaît que pour des questions d'intégration accompagnant le libellé de la définition du secteur.

Biologie et physiologie intégrative (L'organisme dans son milieu)

1 - Diversité des cycles de vie des parasites ; éléments-clés permettant la réussite du cycle : reproduction, filtres de rencontre et de compatibilité, virulence/avirulence, résistance/ sensibilité, favorisation

2 - Modalités et régulation des échanges gazeux, hydriques et minéraux entre l'organisme et son milieu de vie en conditions déshydratantes

3- Les signaux sonores (production, perception, apprentissage) et leur importance biologique : des mécanismes neurophysiologiques aux aspects écologiques

4 - Neurobiologie des rythmes : des fonctions circadiennes aux fonctions saisonnières

5 - Induction florale chez les Angiospermes : thermopériodisme, vernalisation, photopériodisme – des mécanismes moléculaires aux conséquences écologiques

6 - La locomotion chez les Vertébrés : approche intégrée des aspects morpho-anatomiques, bioénergétiques, mécaniques, écologiques et évolutifs

Plan d'organisation, phylogénie et évolution

7 - Segmentation et régionalisation du corps : variations anatomiques et fonctionnelles. Rôle des gènes du développement. Intérêt pour comprendre l'évolution des plans d'organisation et les grandes divisions systématiques des Métazoaires

8 – Évolution régressive à partir de l'exemple de parasites eucaryotes (animaux, plantes, oomycètes, eumycètes) ; phylogénies et convergences

- 9 - Importance des réarrangements inter et intra-génomiques dans les processus évolutifs.
- 10 - Construction des arbres phylogénétiques : méthodes de maximum de vraisemblance, notion de bootstrap et problèmes (enracinement, variations des taux d'évolution)
- 11 – les espèces domestiquées : domestication et apport à la compréhension des mécanismes de l'évolution
- Écologie fonctionnelle et évolutive
- 12 – Stratégies et comportements reproducteurs chez les animaux : aspects fonctionnels et évolutifs
- 13 – Coévolution hôtes-parasites : course aux armements, évolution de la virulence, évolution vers le mutualisme
- 14 – Les déplacements des Métazoaires : perception de l'environnement, orientation spatiale et guidage.
- 15 – La vie en groupe : états pluricellulaires, organismes coloniaux, groupes sociaux. Aspects fonctionnels, écologiques et évolutifs

4.3.3 Secteur C : Sciences de la Terre et de l'univers, interactions entre la biosphère et la planète Terre

Le programme de spécialité comporte le programme de connaissances générales et les quinze thèmes détaillés ci-dessous. Ce programme de spécialité s'appuie sur la connaissance des imageries géophysiques et satellitaires de la Terre interne et externe, ainsi que sur l'utilisation des modèles analogiques et numériques.

1. Géodésie et géodynamique (interne et externe)
2. Les radiochronomètres : choix et limites des méthodes
3. Le traçage isotopique des transferts dans les enveloppes externes
4. Les transitions de phase : mécanismes et conséquences dynamiques
5. Flux et transferts de chaleur dans les enveloppes internes et externes de la Terre
6. La Terre primitive : origine des enveloppes et de la vie
7. Les variations climatiques naturelles du Cambrien à l'actuel
8. Crises et renouvellement de la biosphère
9. Réservoirs et flux de carbone dans le système Terre
10. Évolution tectono-métamorphique de la chaîne paléozoïque d'Europe occidentale
11. Les gîtes métallifères associés à la convergence des plaques
12. Les vitesses des processus géologiques
13. Les provinces magmatiques géantes
14. La sismicité dans le système Alpes-Méditerranée
15. Les grands bassins salifères : formations, évolutions tectoniques et ressources associées

4.4 PROGRAMME ANNEXE DE QUESTIONS SCIENTIFIQUES D'ACTUALITÉ

1. L'obésité
2. Les nouvelles questions sur la place de l'Homme dans l'évolution : apports de la génomique, de l'écologie comportementale et des sciences cognitives.
3. Ressources minérales et énergétiques.

4.ÉPREUVES ÉCRITES

5.1 SECTEUR A

5.1.1 Le sujet

Le génome des eucaryotes

5.1.2 Commentaires

Les sujets des épreuves écrites du concours de l'agrégation des sciences de la vie, sciences de la Terre et de l'Univers, notamment du secteur A sont larges et de ce fait difficiles à traiter de manière exhaustive en 5 heures. Ils constituent un exercice de synthèse qui oblige le candidat à une réflexion approfondie sur un sujet en faisant appel à des connaissances transversales devant être puisées dans les différents champs scientifiques concernés par le secteur A (physiologie, biologie cellulaire, biochimie, biologie moléculaire). La composition, fruit de la réflexion du candidat doit être argumentée par des faits scientifiques récents et étayée le plus possible par les approches expérimentales qui ont conduit à la construction des différents concepts actuels. La connaissance des expériences, qualifiées d'historiques permet de valoriser un devoir. De la même manière, il est important de connaître les méthodes et les principes des techniques, utilisées actuellement et décrites dans les ouvrages faisant partie de la bibliothèque de l'agrégation.

Un sujet large permet donc à un candidat de montrer l'ampleur de ses connaissances, mais lui permet aussi de prouver sa capacité à raisonner et à traiter une question scientifique avec méthode et rigueur en s'appuyant sur des faits expérimentaux.

Un sujet de synthèse doit être traité avec une problématique clairement formulée dans la copie et ne peut pas se résumer à une composition descriptive constituant un catalogue de faits. L'analyse rigoureuse des termes du libellé du sujet proposé doit permettre de dégager la problématique scientifique qui servira à justifier le plan adopté par le candidat. L'introduction du devoir ne sert donc pas uniquement à décrire un plan, mais à définir les termes du sujet, à annoncer un questionnement et des idées dans un cadre clairement défini. Ce questionnement devra guider le candidat tout au long de sa composition en ne perdant de vue ni sa problématique initiale, ni les limites du sujet.

Le candidat doit donc avant tout veiller à cadrer son travail et ne pas l'étendre inutilement à des concepts en marge voire en dehors du domaine concerné par le sujet. Le sujet « génome des eucaryotes » proposé cette année n'était pas un synonyme d'un sujet s'intitulant « des gènes aux protéines actives chez les eucaryotes ». Un tel élargissement témoigne d'une mauvaise compréhension de la notion de génome et est préjudiciable car il éloigne le candidat du sujet et le conduit à un devoir descriptif, peu argumenté mais ne traitant pas suffisamment l'essentiel des attendus du jury.

Commentaires spécifiques sur le sujet

1. Difficultés à cerner le sujet

Dans plus de la moitié des copies, il apparaît clairement que les candidats n'ont pas su cerner correctement le sujet. Ils ont généralement donné une définition partielle du génome qui a consisté à le considérer uniquement comme un ensemble de gènes qui s'expriment au cours du cycle cellulaire et qui sont transmis dans la descendance lors des divisions cellulaires. Le devoir s'est donc résumé à une description de ces gènes, restreinte le plus souvent à ceux codant une protéine, à leur transcription et enfin à la traduction des ARN messagers correspondant en protéines et éventuellement à leur maturation. Les aspects traités dans ces copies ne recouvraient donc que partiellement le sujet et correspondaient plus à un intitulé du type : « des gènes aux protéines fonctionnelles chez les eucaryotes ».

2. Une problématique souvent absente.

Dans de trop nombreuses copies, le jury a constaté qu'aucune problématique n'a été définie ou alors de manière très approximative menant à un devoir descriptif et théorique. Par exemple, la nécessité de stabilité mais aussi de variabilité du génome n'a été présentée et discutée que dans quelques copies.

3. Des connaissances peu actualisées, trop anciennes par rapport au niveau d'exigence du concours de l'agrégation.

De très nombreuses copies n'ont pas ou très peu décrit les techniques de séquençage de l'ADN. Dans ces devoirs, les déterminations de séquences complètes et les interprétations qui en découlent n'ont donc pas été abordées. La vision du génome est donc ancienne puisqu'elle se résume à celle du début des années 90 et ne tient pas compte des développements de la génomique de ces 20 dernières années. De même, les éléments génétiques mobiles ont été très peu décrits et encore moins analysés comme des acteurs de la fluidité du génome. La dynamique du génome se limitait pour de nombreux candidats à de rares mutations ponctuelles. Les innovations génétiques et notamment l'importance du processus de duplication dans ces phénomènes n'ont été abordées que dans les quelques très bonnes copies.

4. Des connaissances souvent trop approximatives

Des aspects fondamentaux du sujet ont été trop souvent négligés ou traités très superficiellement. Cela concerne par exemple l'existence des génomes des organites et leur particularité, les structures importantes du chromosome comme les centromères et télomères et leur rôle dans la transmission des génomes ou encore la nature des séquences répétées constituant certains génomes (séquences satellites, éléments génétiques mobiles...)

5. Des imprécisions et erreurs sur des aspects fondamentaux

Un certain nombre d'erreurs sont retrouvées trop fréquemment. Il y a une proportion non négligeable de candidats qui présentent dans leur copie une structure fautive de l'ADN (erreurs sur la nature de l'ose, sur la structure d'un nucléotide, sur les différentes liaisons impliquées dans la structure de la molécule...). De la même manière, trop peu de candidats ont une vision claire du devenir des chromosomes au cours du cycle cellulaire et de la relation entre chromosome et chromatine. Les candidats font en général un effort pour présenter les expériences historiques à l'origine des découvertes majeures, cependant les explications apportées sont vagues, mal appropriées et trop souvent mal replacées dans la chronologie.

Le texte présenté ci-dessous ne doit pas être considéré comme un corrigé type du sujet. Il présente une réflexion qui doit permettre au lecteur de comprendre dans quel esprit les membres du jury du secteur A ont appréhendé la correction des épreuves écrites et de présenter les points principaux qui pouvaient être abordés par les candidats. Ce texte contient des figures issues de différents ouvrages et articles. Ils ne sont qu'une illustration qui accompagne le texte pour éclairer un certain nombre de concepts. Ils ne sont pas légendés de manière exhaustive et ne sont pas détaillés. Plusieurs schémas ou illustrations similaires ont été retrouvés dans les copies des candidats, ce que le jury a apprécié.

La grille de correction proposée en fin de document reprend les différents attendus. Elle permet également au correcteur de valoriser des idées ou des développements proposés par des candidats et qui n'ont pas été prévues dans la grille initiale. La ligne coup de cœur en fin de tableau est utilisée à cet effet. Un raisonnement particulièrement pertinent sur des items inclus dans la grille peut également être valorisé de la même manière. Une attention est également portée à l'utilisation de la démarche expérimentale et aux connaissances techniques pour la mise en œuvre des expériences. Un devoir construit dans cet esprit pouvait ainsi être valorisé.

5.1.3 Éléments de réflexion sur le fond du sujet

Introduction :

Le génome des eucaryotes, comment définir ces termes ?

Le mot génome est utilisé la première fois en 1920 dans un ouvrage rédigé en allemand par le botaniste H. Winckler pour définir le lot de chromosomes et les gènes qu'ils contiennent. Aujourd'hui dans le langage courant, ce terme désigne avant tout l'ensemble des gènes d'un organisme. Les avancées de la génétique et de la biologie moléculaire donnent aujourd'hui accès aux séquences complètes de plus en plus de génomes d'eucaryotes, de procaryotes et d'archéobactéries. On

découvre ainsi une vision nouvelle et bien plus complexe du génome. C'est une structure présentant une grande variabilité d'organisation chez les différentes espèces eucaryotes. Les gènes ne représentent qu'une partie du génome et sont souvent dupliqués. Leur nombre est moins important que prévu. Les régions non codantes sont souvent composées d'éléments génétiques mobiles. Un important polymorphisme intra-espèce est observé. Ce sont là quelques conclusions générales apportées par les études actuelles du génome. Dans ce travail, nous nous attacherons à décrire cette nouvelle vision du génome tout en analysant le rôle fondamental d'un génome qui est de permettre le fonctionnement de la cellule eucaryote.

Qu'est-ce qu'un génome :

La première définition, énoncée par H. Winckler désigne l'ensemble des gènes contenus sur les différents chromosomes. L'étymologie du mot génome est une contraction des termes gènes et chromosomes. Cette définition a déjà une double signification. Le génome est à la fois une architecture et un contenu d'informations.

Le génome se définit aujourd'hui comme l'ensemble du patrimoine héréditaire d'un organisme. Sur le plan structural, c'est l'ensemble des séquences d'ADN d'une cellule : il se compose de l'ADN nucléaire sous forme de chromosomes linéaires, de l'ADN des organites (mitochondries et chloroplastes) généralement circulaire et d'un éventuel ADN plasmidique à localisation nucléaire, retrouvé chez quelques unicellulaires. Sur le plan fonctionnel, c'est l'ensemble du contenu en gènes et autres éléments chromosomiques qui sont nécessaires à l'édification, au fonctionnement et à la reproduction d'une cellule. La bivalence entre structure et contenu déjà énoncée dans la première définition est toujours conservée.

Comment est-on arrivé à la définition actuelle : approche historique et intérêt de la génomique.

Les découvertes majeures dans les domaines de la génétique formelle et moléculaire (lois de Mendel, théorie chromosomique de l'hérédité, établissement de cartes génétiques, démonstration que l'ADN est support de l'information, élucidation de la structure de l'ADN, détermination de la structure des gènes, transcription, réalisation de cartes physiques des chromosomes ...) constituent des étapes clés dans la connaissance des génomes. La conception puis l'utilisation de techniques qui jalonnent le développement de la génétique et de la biologie moléculaire (cytogénétique, caryotypes, techniques classiques de biologie moléculaire, techniques d'hybridation, détermination de la séquence nucléotidique, PCR, puces à ADN) ont contribué largement à ces découvertes.

La mise au point de la technique de séquençage par F. Sanger en 1977, puis les améliorations successives qui ont été apportées à cette technique durant les 20 dernières années conduiront au décryptage de génomes complets. En 1996, le génome de la levure *S. cerevisiae* sera le premier génome eucaryote entièrement séquencé. Il sera suivi par ceux des principaux organismes modèles utilisés en biologie. En 2002, la première ébauche du génome d'*homo sapiens* est publiée. Aujourd'hui, les séquences complètes de plus de 100 génomes de métazoaires, de végétaux et d'unicellulaires eucaryotes sont disponibles dans les bases de données. Ces séquençages systématiques se poursuivent pour les génomes de nombreuses autres espèces mais également pour les génomes de différents individus appartenant à une même espèce (exemple du projet 1000 génomes humains).

La génomique, mot énoncé la première fois lors d'un congrès par T. Roederick en 1986 qui se décline aujourd'hui en génomique structurale, fonctionnelle et comparative selon les aspects abordés, a pour conséquence d'apporter un éclairage nouveau sur notre vision du génome eucaryote en tant que structure, en tant que contenu d'informations et tant que dynamique, source d'innovations.

Le génome peut donc être considéré comme un équilibre entre une structure stable permettant ainsi la conservation et la transmission de l'information et une structure dynamique, source de modifications et d'innovation. En effet, une stabilité totale du génome signifierait un état statique qui s'opposerait à l'apparition de nouvelles formes de vie en réponse notamment à des modifications extérieures. Nous allons nous attacher dans cette composition à étudier cette dualité entre stabilité et variabilité au niveau du génome des eucaryotes et montrer comment elle permet son évolution.

Le génome, un ensemble stable :

Le génome est un édifice complexe contenant l'ensemble des séquences permettant son expression afin d'assurer le fonctionnement normal d'une cellule et sa transmission lors des divisions cellulaires. Ces mécanismes fondamentaux étant conservés chez les eucaryotes, un ensemble de régions particulières, de gènes et d'organisation du génome sont hautement conservées dans les différentes espèces et nécessiteront une stabilité du génome, soumise à très peu de variations.

Le génome, un ensemble dynamique :

Le génome n'est pas un ensemble rigide et statique comme le suggèrent les premiers travaux de génétique. La conception de stabilité commença à être remise en cause avec les travaux de Barbara McClintock (1956) sur le maïs où elle observa des modifications génomiques lors de la division cellulaire. Elle les interpréta en postulant l'existence d'éléments mobiles capables de se déplacer au sein du génome. Ces éléments transposables ou transposons furent ensuite mis en évidence aussi bien chez les eucaryotes que chez les procaryotes. La génomique a contribué à montrer que dans certains génomes comme ceux des mammifères, le nombre de ces éléments pouvait représenter jusqu'à la moitié du génome. D'autres travaux, dans différentes espèces, ont montré l'existence de modifications importantes des chromosomes, obtenues suite à des événements comme des insertions, des inversions, des délétions, des translocations ou encore des duplications de segments chromosomiques. Ces travaux ont largement contribué à l'idée d'un génome dont l'ensemble de la structure est bien plus fluide que ce qui était envisagé auparavant. L'analyse et la comparaison des génomes complets d'espèces différentes, aujourd'hui possible grâce aux outils de la génomique comparative, mettent en évidence un ensemble de points communs mais aussi de grandes différences dans l'organisation d'un génome d'une espèce par rapport à l'autre.

Les génomes actuels peuvent donc être considérés comme le résultat de l'accumulation d'événements qui se sont produits dans le passé. Les comparaisons de génomes d'espèces proches montrent qu'ils sont notamment le siège de grands remaniements chromosomiques telles des délétions, des inversions, des insertions et des translocations. Ils peuvent aussi être à l'origine de la mort cellulaire mais aussi la cause de maladies génétiques notamment chez l'Homme.

La première partie de ce travail présente l'architecture générale du génome chez les eucaryotes aussi bien pour la partie nucléaire que pour celle des organites et montre comment cette structure est capable d'être transmise avec fidélité lors des divisions cellulaires. Elle fait également ressortir les principales différences qui existent au niveau de la structure du génome chez les eucaryotes. La seconde partie est consacrée plus particulièrement aux gènes et à leur organisation chez les eucaryotes et se focalise sur le génome en tant que contenu de l'information. La troisième partie démontre que le génome est plastique, sujet à des variations pouvant conduire à des innovations, la vie nécessitant un équilibre entre conservation et nouveauté.

I. Le génome : une architecture capable d'être répliquée et transmise lors des divisions cellulaires.

Sur le plan structural, le génome est constitué de l'ensemble des séquences d'ADN d'une cellule : il se compose de l'ADN nucléaire sous forme de chromosomes linéaires, de l'ADN des organites (mitochondries et chloroplastes) généralement circulaire et d'un éventuel ADN plasmidique à localisation nucléaire, retrouvé chez quelques unicellulaires. Dans cette partie, la structure de ces différents éléments sera présentée et sera mise en relation avec les propriétés fondamentales que doit remplir le génome en termes de réplication et de transmission au cours des divisions cellulaires.

1 : Le génome nucléaire et son organisation

1.1.: Une taille variable :

Les premières estimations de la taille d'un génome ont été réalisées dans les années 40 en quantifiant l'ADN présent dans une cellule par densitométrie. Dans cette technique, l'ADN est d'abord coloré par le réactif de Feulgen. La coloration obtenue est quantifiée en fonction de la quantité de lumière que le colorant absorbe. On utilise actuellement une quantification par fluorométrie où l'ADN est marqué par du DAPI. La fluorescence émise qui est mesurée est proportionnelle à la quantité d'ADN.

Ces approches répétées sur plusieurs types de cellules provenant d'un même organisme ont tout d'abord permis de montrer que la quantité d'ADN était identique dans les différentes cellules d'un même organisme mais qu'elle était réduite de moitié dans les spermatozoïdes. Cette méthode de quantification a été étendue à des cellules de nombreuses espèces pour estimer la taille de leur génome. La quantité mesurée exprimée en picogrammes est appelée la valeur C. Cette expérience est un préalable avant la détermination de séquences complète d'un génome qui elle donnera une taille précise exprimée en nucléotides. La valeur C montre une variation très importante entre les grands groupes d'organismes mais également entre des espèces appartenant à un même groupe. Cette absence de corrélation entre le degré de complexité d'un organisme et cette valeur C est appelé le paradoxe de la valeur C (Figure 1). Par contre, une meilleure corrélation est observée entre la taille du génome et la taille des noyaux. Quelques exemples qui illustrent la variabilité: génome humain (3Gb), levure (12Mb), amibe (690 Gb).

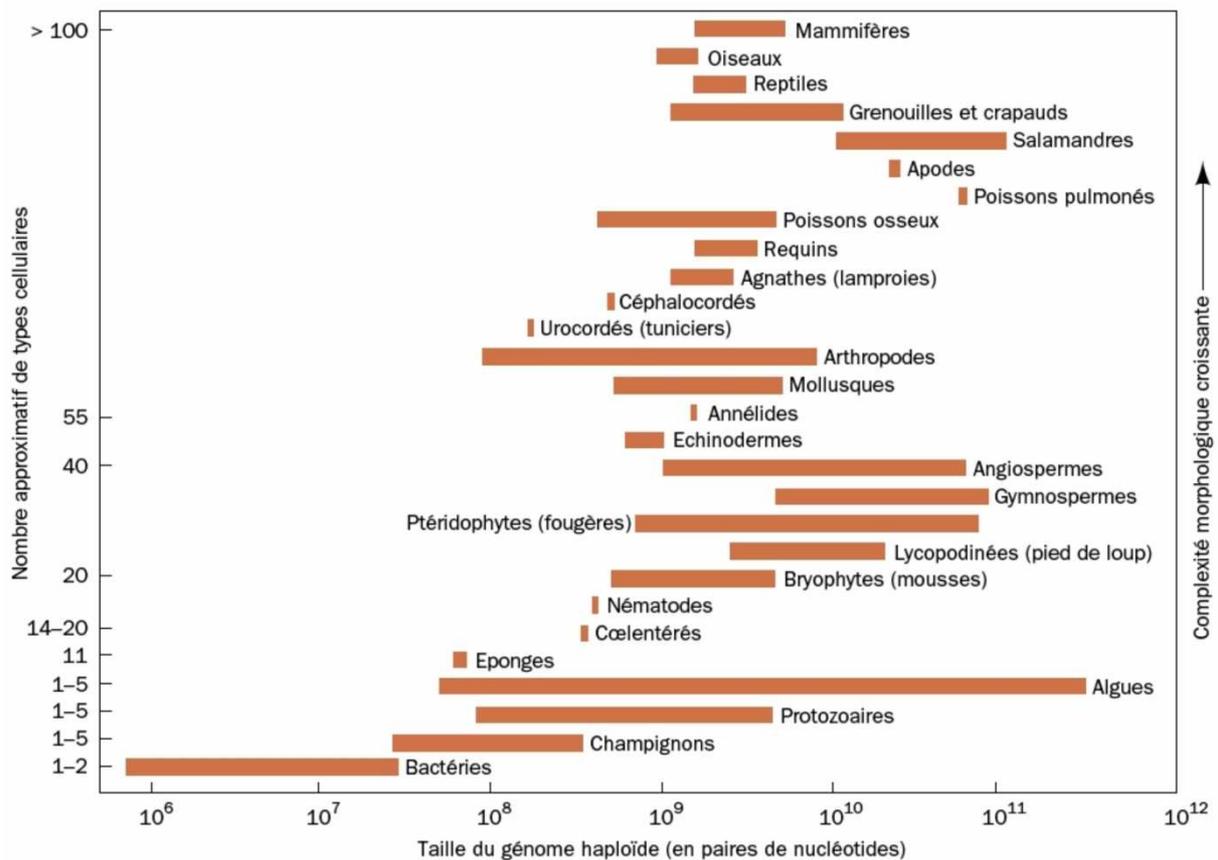


Figure 1 : diversité de la taille de différents génomes illustrant le paradoxe de la valeur C

1.2 : Une diversité de séquences :

La nature des séquences composant un génome peut être déterminée d'après la cinétique de réassociation de l'ADN préalablement dénaturé (Figure 2). Des fragments de 1000 à 10000 paires de bases, obtenus après fragmentation du génome sont dénaturés par chauffage. L'ADN simple brin obtenu est progressivement refroidi permettant la renaturation d'ADN double brin. La cinétique de réassociation présentée dans la figure 2 permet la mise en évidence de plusieurs types de séquences. La cinétique de réassociation dépend

de la fréquence statistique des appariements entre brins complémentaires au cours du temps et donc de la concentration des séquences identiques en solution. Ces séquences peuvent être classées en 4 catégories :

- Des séquences d'ADN autohybridantes (5 à 10% des génomes), formées de courtes séquences qui ont tendance à se renaturer sur elles-mêmes pour former une structure en épingle à cheveux.
- Des séquences d'ADN hautement répétées formées de courtes séquences répétées en tandem constituant l'ADN satellite (10 à 20% selon les espèces).
- Des séquences d'ADN moyennement répétées (40 à 70% selon les espèces) généralement dispersées dans le génome et qui correspondent essentiellement aux éléments génétiques mobiles. Ces éléments représentent 40% du génome humain. Ils seront étudiés dans la 3^e partie de ce travail.
- Des séquences uniques contenant notamment la plupart des gènes.

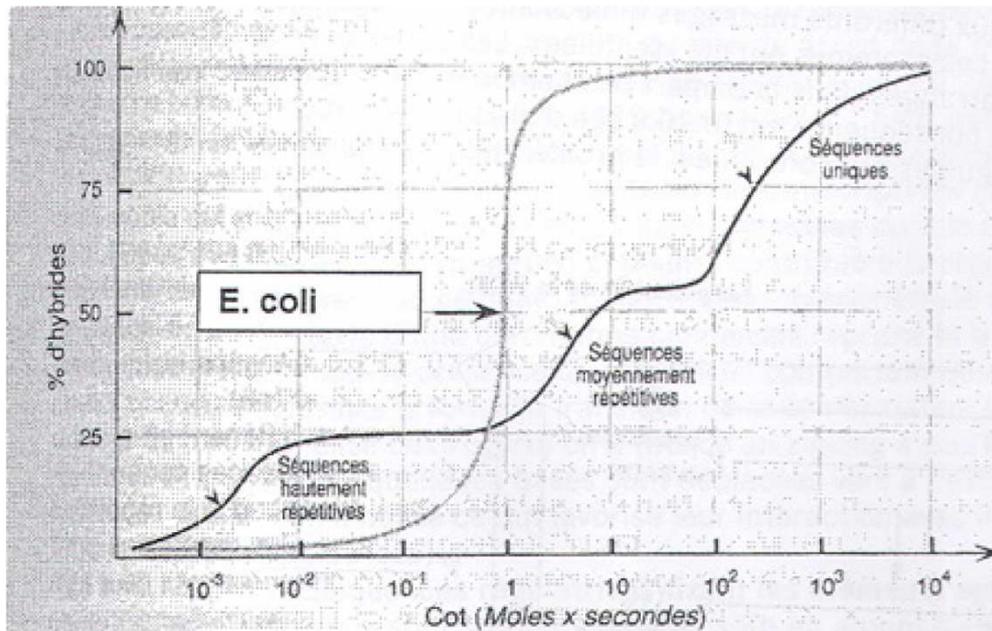


Figure 2. Cinétique de réassociation d'ADN : mesure du % d'ADN double brin d'une solution d'ADN fragmenté obtenu en fonction du temps

Les séquences d'ADN satellite peuvent également être mises en évidence par ultracentrifugation dans un gradient de chlorure de césium. Elles formeront une ou plusieurs bandes, qui se distinguent de la bande principale contenant le reste du génome d'où leur nom de satellite (Figure 3). Leur densité est différente car elles sont constituées de courtes répétitions en tandem dont la composition moyenne en nucléotides est différente de celle du reste du génome. On distingue 3 catégories d'ADN satellite :

- l'ADN satellite, constitué de très longs alignements (plusieurs centaines de kb selon les cas) qui se retrouvent au niveau des centromères (alpha satellites), dans les régions télomériques et dans une partie du chromosome Y des mammifères.
- les ADN minisatellites et microsatellites, dispersés dans le génome qui se distinguent par la taille des motifs qui se répètent de 10 à 100 fois. Ces types de séquences sont utilisés pour la cartographie des génomes et sont à la base des empreintes génétiques chez l'Homme vue leur variabilité d'un individu à l'autre en termes de nombre de répétitions.

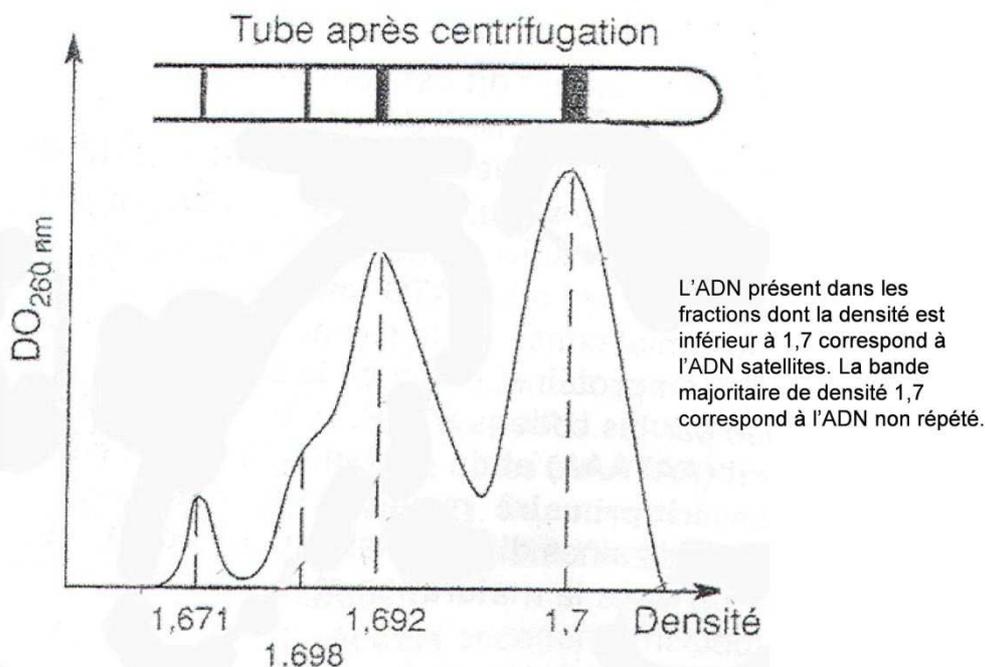


Figure 3 : Ultracentrifugation en chlorure de césium d'ADN humain et mise en évidence de l'ADN satellite.

1.3 : Une organisation en chromosomes :

1.3.1 : Les chromosomes « classiques » du noyau

Le génome nucléaire des eucaryotes est fractionné en plusieurs chromosomes. Le terme chromosome du grec *khroma*, couleur et *soma* a été proposé par Waldeyer en 1888 pour désigner les bâtonnets colorés par l'hématoxyline qui sont observables en microscopie optique dans le noyau de cellules en mitose. D'un point de vue biochimique, le chromosome est formé d'un complexe nucléoprotéique, appelé chromatine. Celle-ci est constituée d'une molécule d'ADN linéaire associée à différentes protéines dont notamment les histones. Le nombre et la structure des chromosomes définissent le caryotype. La structure est basée sur la taille et la forme des chromosomes (Figure 4). Cette dernière est fonction de la position des centromères et de l'alternance de bandes claires et sombres en fonction des conditions expérimentales. Le caryotype est établi à partir de cellules mises en culture et traitées par un agent anti-mitotique comme la colchicine ou l'un de ses dérivés qui ont pour but de bloquer la mitose en métaphase. À ce stade, les chromosomes sont condensés et prennent la forme dite classique à 2 chromatides correspondant à l'image populaire du chromosome en forme de X. Les caryotypes ont été réalisés pour de nombreuses espèces différentes. Chaque espèce possède son propre caryotype avec un nombre de chromosomes définissant cette espèce (Tableau 1). Pour une espèce donnée, le nombre de chromosomes est généralement constant, les chromosomes se distinguant les uns des autres par leur forme et /ou leur taille.

On distingue également dans de nombreuses espèces deux catégories de chromosomes, les autosomes appelés A et les chromosomes sexuels impliqués dans le déterminisme du sexe (X /Y ou Z/W) selon les espèces.

Chez quelques espèces, le nombre de chromosome peut être différent d'un individu à l'autre. Chez les nématodes et les insectes hyménoptères, le mâle est haploïde. De rares espèces peuvent présenter des différences dans le nombre de chromosomes. Une espèce du genre *Sorex* (musaraigne) qui possède une large distribution géographique comporte des individus dont le nombre d'autosomes varie de 18 à 30, variabilité résultant notamment de fusion de chromosomes dans certaines populations de ces animaux, isolées des autres.

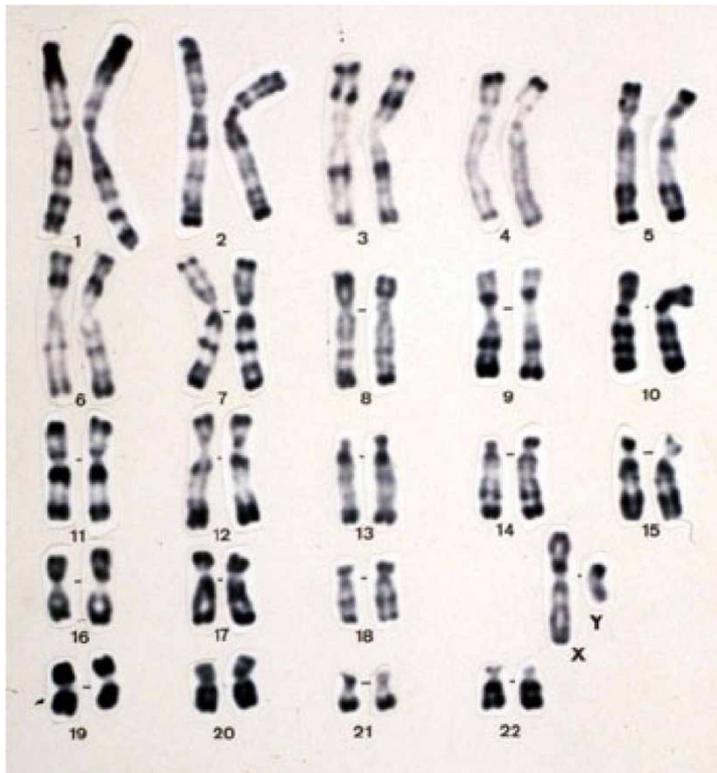


Figure 4 : Exemple de caryotype humain.

TABLEAU 3-1 Nombre de paires de chromosomes dans différentes espèces de végétaux et d'animaux

Nom usuel	Espèce	Nombre de paires de chromosomes	Nom usuel	Espèce	Nombre de paires de chromosomes
Moustique	<i>Culex pipiens</i>	3	Blé	<i>Triticum aestivum</i>	21
Mouche commune	<i>Musca domestica</i>	6	Homme	<i>Homo sapiens</i>	23
Oignon	<i>Allium cepa</i>	8	Pomme de terre	<i>Solanum tuberosum</i>	24
Crapaud	<i>Bufo americanus</i>	11	Bovin	<i>Bos taurus</i>	30
Riz	<i>Oryza sativa</i>	12	Ane	<i>Equus asinus</i>	31
Grenouille	<i>Rana pipiens</i>	13	Cheval	<i>Equus caballus</i>	32
Alligator	<i>Alligator mississippiensis</i>	16	Chien	<i>Canis familiaris</i>	39
Chat	<i>Felis domesticus</i>	19	Poulet	<i>Gallus domesticus</i>	39
Souris commune	<i>Mus musculus</i>	20	Carpe	<i>Cyprinus carpio</i>	52
Singe rhésus	<i>Macaca mulatta</i>	21			

Tableau 1 : Nombre de chromosomes dans différentes espèces

1.3.2 : Des chromosomes particuliers

a) les chromosomes B

Les chromosomes B sont des chromosomes surnuméraires que l'on peut retrouver chez certains individus dans quelques espèces d'insectes et de Poacées. Ils dérivent des chromosomes A suite à des remaniements chromosomiques et suite à des hybridations interspécifiques notamment. Ces chromosomes présentent de nombreuses séquences répétées dont des éléments génétiques mobiles et ne contiennent en général pas de gènes actifs. Ils présentent un mode de répartition non-mendélien.

b) les chromosomes géants : polytènes et en écouvillons

Les chromosomes géants sont des chromosomes non métaphasiques. Ils résultent de nombreuses réplifications d'ADN sans divisions de la cellule. Ils sont constitués de nombreuses chromatides associées les unes aux autres. On peut retrouver des chromosomes polytènes notamment dans les glandes salivaires d'un grand nombre de diptères, dans certains tissus végétaux... Les chromosomes en écouvillons peuvent être observés chez les ovocytes d'amphibiens. Il résulte de méiose très longue. Ils sont des bivalents méiotiques chacun formés de 2 chromatides sœurs.

1.4 : Le chromosome est une entité dynamique :

Les chromosomes sont des structures dynamiques non figées. L'observation d'un noyau d'une cellule en interphase en est une preuve car il n'est pas possible de distinguer les chromosomes sous leur forme classique du fait de leur faible condensation. En microscopie électronique, le noyau d'une cellule en interphase comporte des zones claires peu denses et des zones sombres plus compactes correspondant respectivement à l'euchromatine et à l'hétérochromatine dont les structures seront précisées dans la partie 2 (Figure 5).

Les chromosomes humains contiennent de 44 à 250 millions de paires de bases ce qui correspondrait sans aucune condensation à une longueur de 1,5 à 8,4 cm d'ADN. En métaphase, ces chromosomes ont une taille de 1,3 à 10 µm, le degré de compaction de la chromatine peut donc être estimé à 8000. Comment se fera cette compaction ? Quels sont les rôles des protéines associées à l'ADN dans cette compaction ?

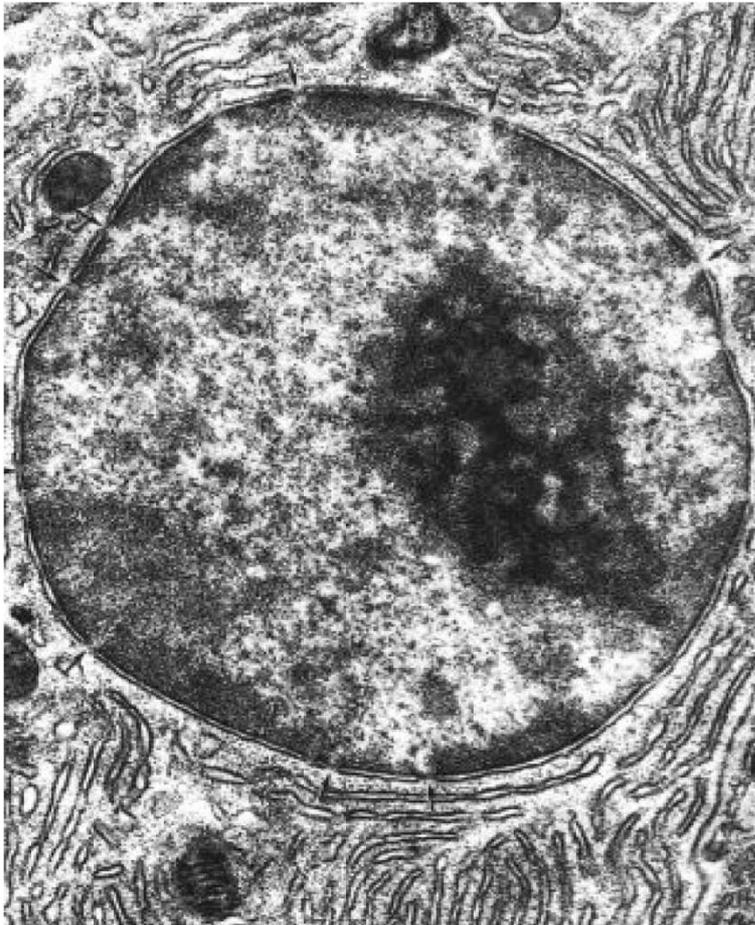


Figure 5 : Noyau de cellule en interphase

1.4.1 : La chromatine : une organisation variable au cours du cycle cellulaire

Les études structurales de la chromatine lors des différentes phases du cycle cellulaire ont montré que l'on distingue trois niveaux de compaction. Les histones sont les principaux acteurs de cette compaction. Ce sont des protéines à caractère basique caractérisées par leur richesse en résidus lysine et arginine, capables d'établir des liaisons ioniques avec les groupements phosphates de l'ADN. On distingue cinq types d'histones : H1, H2A, H2B, H3 et H4 qui sont hautement conservées chez l'ensemble des eucaryotes. Les études structurales de la chromatine par R. Kornberg en 1974 ont montré qu'elle contenait un nombre équivalent d'histones H2A, H2B, H3 et H4. Lorsque que l'on observe en microscopie électronique de la chromatine, extraite de noyaux et traitée par des solutions salines de concentration variable, elle présentera différents aspects. En faible salinité, elle se présente sous la forme d'une succession de particules de 10nm de diamètre appelés nucléosomes, reliés les uns aux autres par un segment d'ADN sensible à la DNase micrococcale, l'ensemble ressemblant à un collier de perles (Figure 6). Un nucléosome se compose d'un octamère constitué de 2 molécules de chacune des 4 histones H2A, H2B, H3 et H4 et d'un segment d'ADN de 200 pb (140 pb autour de l'octamère et 30 pb de part et d'autres). Cette organisation en nucléosomes représente le 1^{er} degré de compaction et permet une condensation d'un facteur 7. Le second degré de compaction est réalisé par l'enroulement d'une succession de nucléosomes pour former une fibre de 30nm de diamètre (Figure 7). L'ensemble est stabilisé par la fixation de l'histone H1 qui se fixe entre deux nucléosomes adjacents. Le filament de 30 nm est formé par l'enroulement des nucléosomes en un solénoïde ayant 6 nucléosomes par tour. Le degré de compactage est ici de 40. Le degré final de condensation est dû au repliement de la fibre de 30 nm en boucles disposées de façon radiale (Figure 8). Elles sont attachées à un échafaudage protéique par des régions riches en A et T. Cette compaction ultime est nécessaire lors des divisions cellulaires pour la ségrégation correcte des chromosomes dans les cellules filles.

La composition protéique de l'échafaudage ainsi que le mécanisme de passage des chromosomes de l'interphase à la métaphase sont très peu documentés.

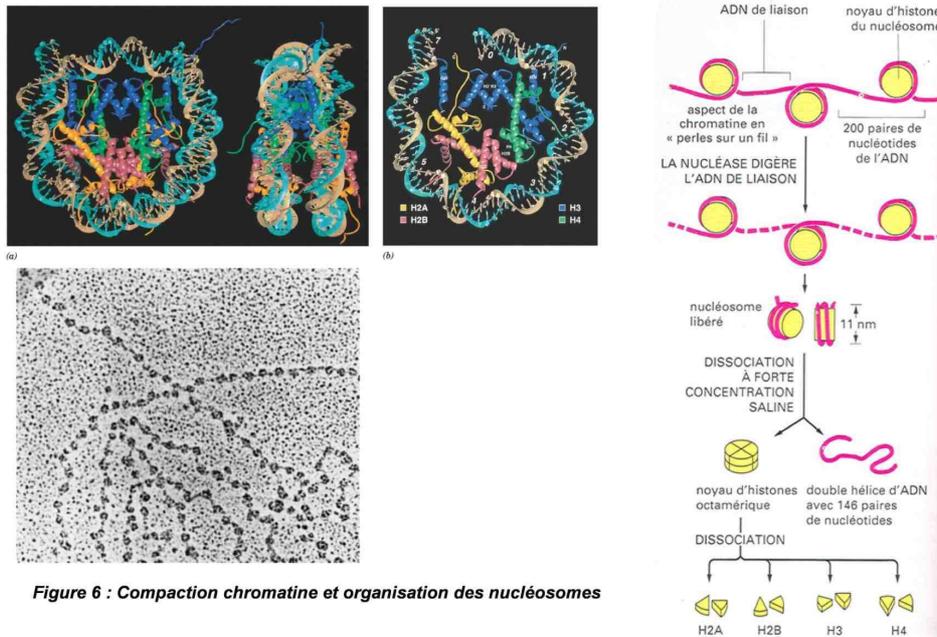


Figure 6 : Compaction chromatine et organisation des nucléosomes

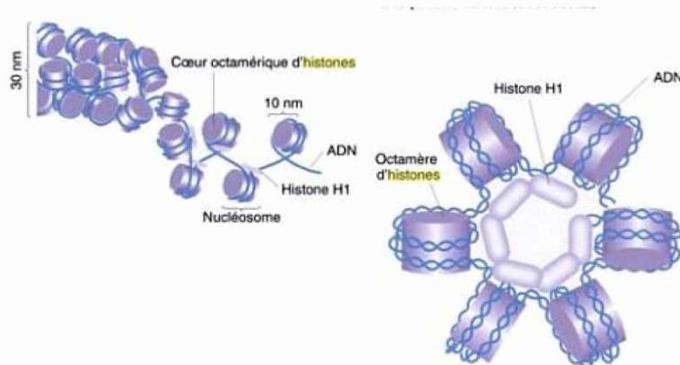
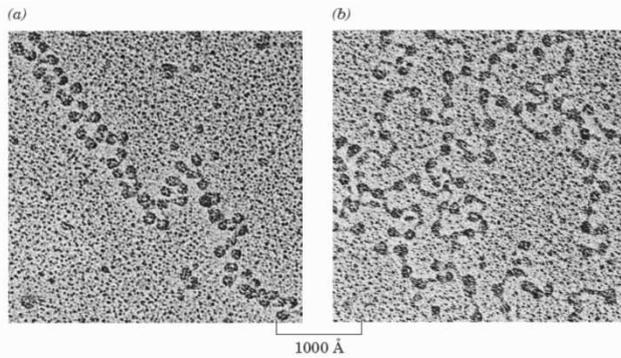


Figure 7 : Compaction chromatine Filaments de 30 nm

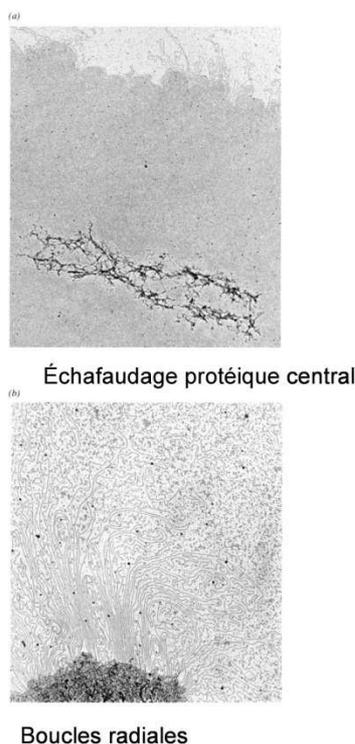
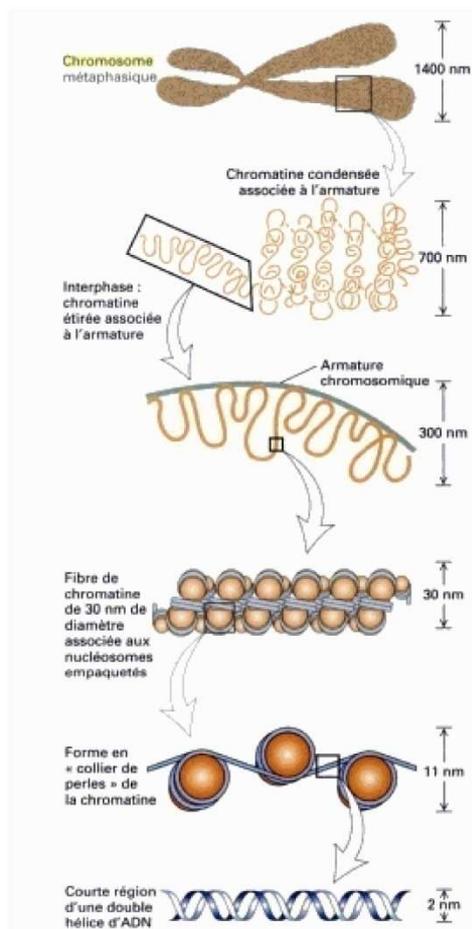


Figure 8 : Compaction chromatine
Boucles radiales et chromosome en métaphase

1.4.2 : Le chromosome : une entité à répliquer lors du cycle cellulaire

La réplication de l'ADN est une étape essentielle pour la division des cellules ; elle doit permettre une copie fidèle et intégrale de l'ensemble de l'ADN composant les chromosomes. Le but de ce paragraphe n'est pas de détailler les différents aspects moléculaires de la réplication et de décrire les enzymes impliquées mais de se focaliser uniquement sur les aspects liés directement au génome en identifiant les régions des chromosomes qui sont essentielles à cette fonction tout en précisant quelle est la stratégie générale de la réplication.

1.4.2.1 : La réplication, un processus semi-conservatif

La réplication a lieu lors de la phase S du cycle cellulaire. Les expériences de Meselson et Stahl et de Taylor ont permis de le montrer. Chez les eucaryotes, l'organisation des chromosomes sous forme de chromatine entraîne une complexité plus grande du phénomène de réplication par rapport aux procaryotes. Plusieurs complexes protéiques participent à ce processus qui se déroule en trois grandes étapes :

- l'étape d'initiation : elle débute par la reconnaissance d'une origine de réplication ARS (séquence de réplication autonome). La mise en place progresse de façon bidirectionnelle formant deux fourches de réplication. Sur ces fourches, différentes protéines impliquées dans l'ouverture de la double hélice et la progression de la fourche vont venir se fixer. (Figure 9)

- l'étape d'élongation : la synthèse d'ADN grâce au complexe de l'ADN polymérase ne progresse que dans le sens 5'-3' et produit un brin complémentaire antiparallèle. Cette progression se fait différemment selon les deux brins. Le brin direct est synthétisé de manière continue jusqu'au point de terminaison. L'autre brin qualifié de tardif ne peut être synthétisé que de façon discontinue à partir d'une série d'amorces, les fragments d'Okazaki. En effet, le sens de progression de la fourche est opposé à celui de sa copie.

- l'étape de terminaison : elle nécessite également des activités enzymatiques, mais qui sont à l'heure actuelle encore très peu connus.

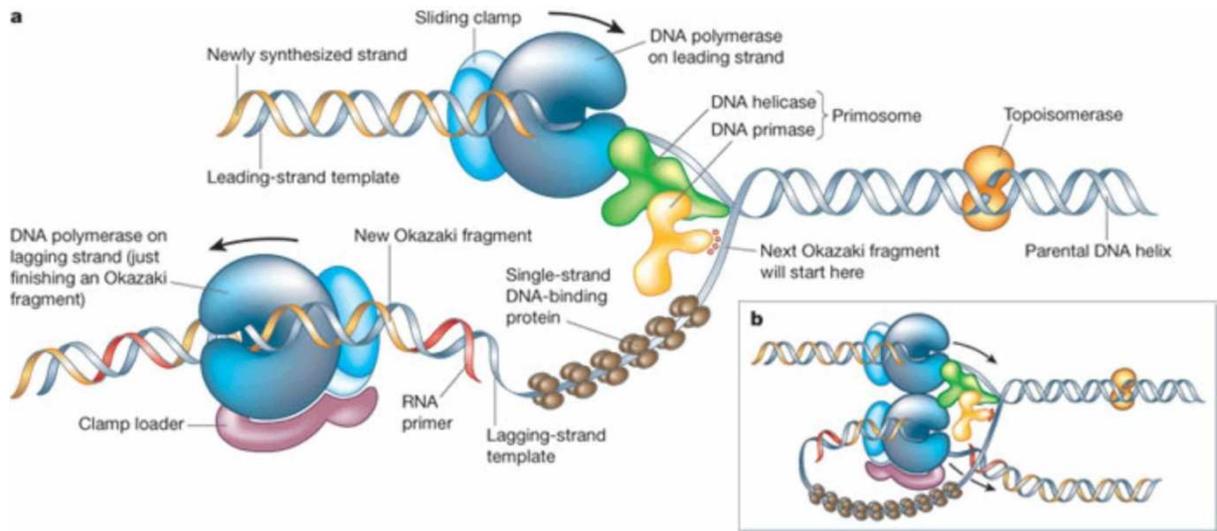


Figure 9 : La fourche de réplication

1.4.2.2 : Les séquences ARS des régions essentielles du génome pour l'initiation de la réplication

Du fait de leur longueur, les chromosomes sont répliqués à partir de plusieurs origines. Le nombre de ces origines est variable, il est plus ou moins corrélé à la taille du génome. Il y a environ 500 séquences ARS (autonomous replicating sequence) dans le génome de levure et environ 100 000 dans le génome des mammifères. Les ARS les mieux identifiées sont celles

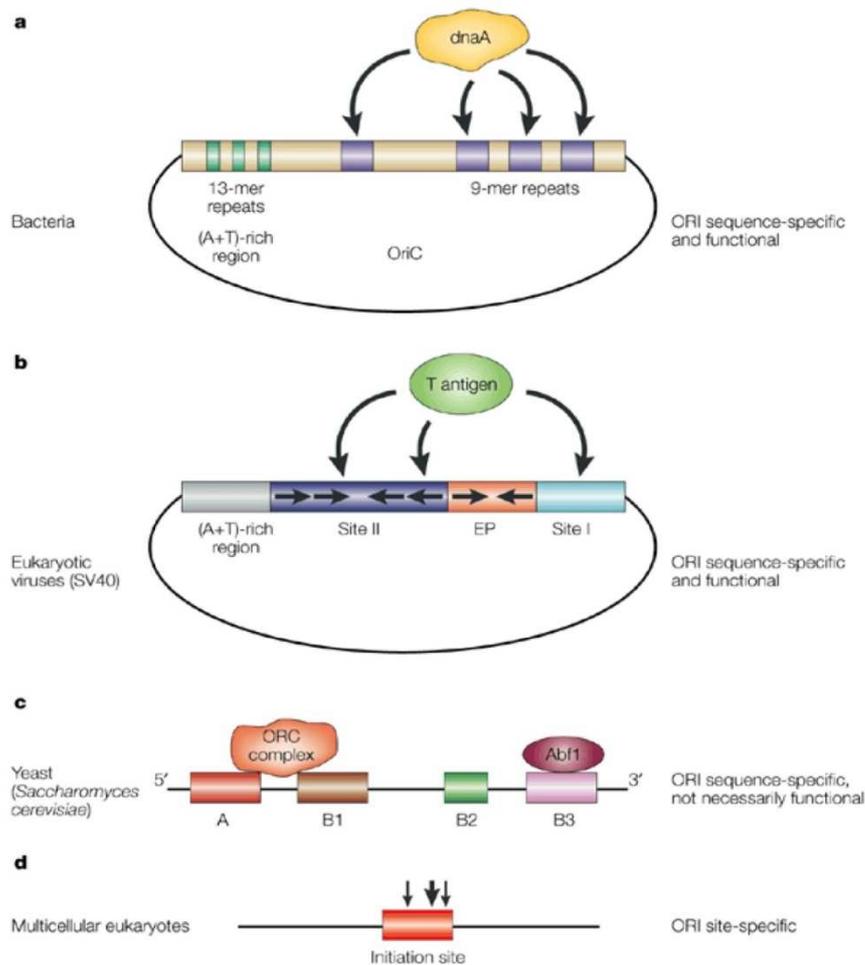


Figure 10 : Les origines de réplication

de la levure *S. cerevisiae*. Ce sont des régions de 100 à 200 nucléotides qui contiennent une séquence conservée de 11 nucléotides riches en A et T, indispensable à la fonction ARS et qui est flanquée de séquences moins conservées. Ces ARS constituent le site de fixation du complexe protéique ORC (origin replication complex, Figure 10). Ces régions globalement riches en A et T sont également plus facilement dénaturées et facilitent ainsi l'ouverture de la double hélice lors de l'initiation de la réplication. L'ensemble des origines ne fonctionne pas de manière synchrone ; on distingue des origines de réplifications précoces et d'autres tardives.

Chez les autres eucaryotes, ces séquences ne sont pas clairement identifiées. Elles sont plus longues et peuvent contenir plusieurs sites de fixation du complexe protéique ORC qui lui est bien conservé chez l'ensemble des eucaryotes.

1.4.2.3 : Les télomères des régions essentielles du génome pour assurer la réplication des extrémités du chromosome

Les télomères sont des régions destinées à protéger l'extrémité des chromosomes. Ils sont constitués de séquences d'ADN spécifiques répétées associées à des protéines particulières. Ils jouent un rôle fondamental dans le maintien de la stabilité du génome. En l'absence de télomères, les extrémités chromosomiques peuvent fusionner et perturber ainsi les divisions cellulaires. Chez les mammifères, un motif TTAGGG est répété plusieurs milliers de fois pour former une séquence de 10-12 kb dans les cellules embryonnaires. À quelques exceptions près, des motifs similaires forment la partie ADN des télomères de la plupart des eucaryotes (Figure 11).

Lors de la réplication de l'ADN, la zone simple brin qui est produite par la dégradation de la première amorce initiant le premier fragment d'Okazaki sur le brin retardé ne peut pas être comblée. Il reste donc un segment monocaténaire aux extrémités de chaque chromosome en fin de phase S d'une longueur correspondant à celle d'une amorce (quelques dizaines de nucléotides). Cette structure simple brin est détectée par les systèmes de réparation du génome et est dégradée provoquant le raccourcissement des télomères à chaque réplication. Ce phénomène conduit à un raccourcissement progressif des télomères en fonction du nombre de divisions cellulaires.

La télomérase est une enzyme à activité reverse transcriptase. Elle est en charge de répliquer l'extrémité des télomères indépendamment de la réplication. Elle est formée de deux sous-unités. Un ARN complémentaire de la séquence TTAGGG utilisé comme matrice et une sous-unité enzymatique qui assure la synthèse et la mise en place de la séquence télomérique. Cette sous-unité n'est pas exprimée dans la plupart des cellules somatiques. Elle n'est active que dans les cellules embryonnaires, les cellules germinales, certaines cellules somatiques comme les cellules de la moelle osseuse et les cellules immunitaires et dans les cellules tumorales. Le prix Nobel de médecine en 2009 a été attribué aux auteurs qui ont mis en évidence la télomérase et qui ont caractérisé cette enzyme.

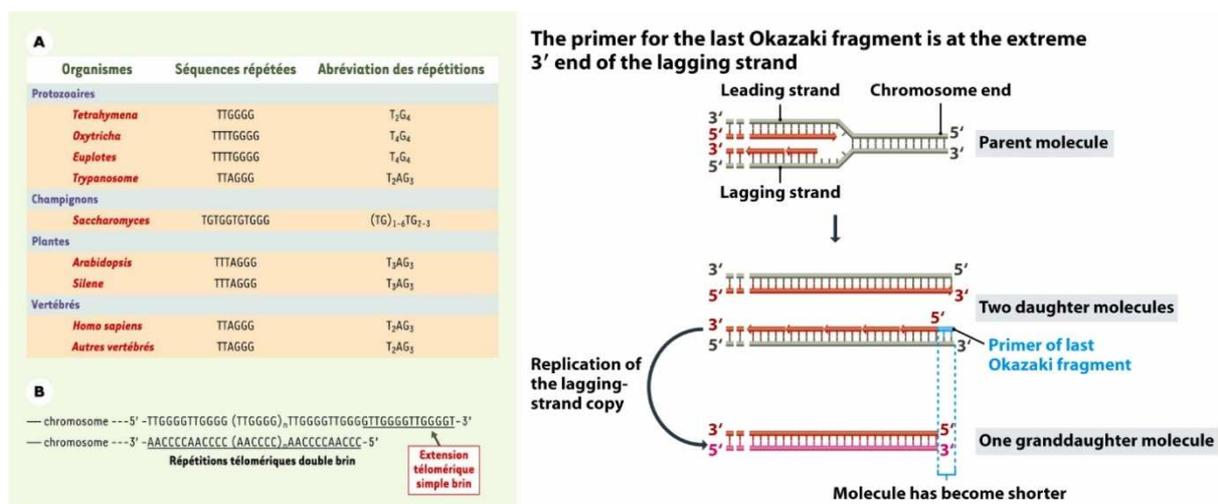


Figure 11 : La structure des télomères et la réplication des extrémités des chromosomes

1.4.3 : La répartition correcte des chromosomes au cours des divisions cellulaires, le rôle du centromère

Dans ce paragraphe, nous analyserons les éléments du génome qui sont essentiels pour transmettre avec fidélité les chromosomes lors des divisions cellulaires. Nous n'aborderons pas les aspects moléculaires et cellulaires des mitoses et méioses.

Le centromère se définit comme la constriction primaire du chromosome métaphasique chez de nombreuses espèces eucaryotes. Cette région est fixe et unique par chromosome et est constituée d'une séquence d'ADN spécifique. Au niveau de l'ADN, cette région n'a pas une organisation conservée, comme les télomères chez l'ensemble des eucaryotes. On distingue au moins quatre types différents de régions qui constituent cette structure. Le centromère le mieux caractérisé est celui de la levure *S. cerevisiae* qui se caractérise par une région courte de 125 pb sans répétitions (centromère de type ponctuel). Chez la levure *S. pombe*, on parle de centromère régional. C'est une longue séquence de plus de 40 kb formée de motifs répétés organisés en tandem. Chez les mammifères, les centromères sont également de type régional. Ils sont constitués de longues répétitions d'ADN satellite essentiellement de type alpha sur plusieurs milliers de nucléotides. L'ensemble des séquences centromériques humaines représente 5% du génome total. Chez la drosophile, ce sont également des séquences répétées qui constituent le centromère mais elles sont de nature différente puisqu'il s'agit de rétrotransposons (voir partie 3). Enfin, dans certaines espèces comme le nématode *C. elegans*, les centromères ne sont pas visibles en métaphase. Il n'y a pas une région unique mais plusieurs régions qui sont localisées tout au long du chromosome et qui vont jouer ce rôle. On parle d'holocentromère (Figure 12).

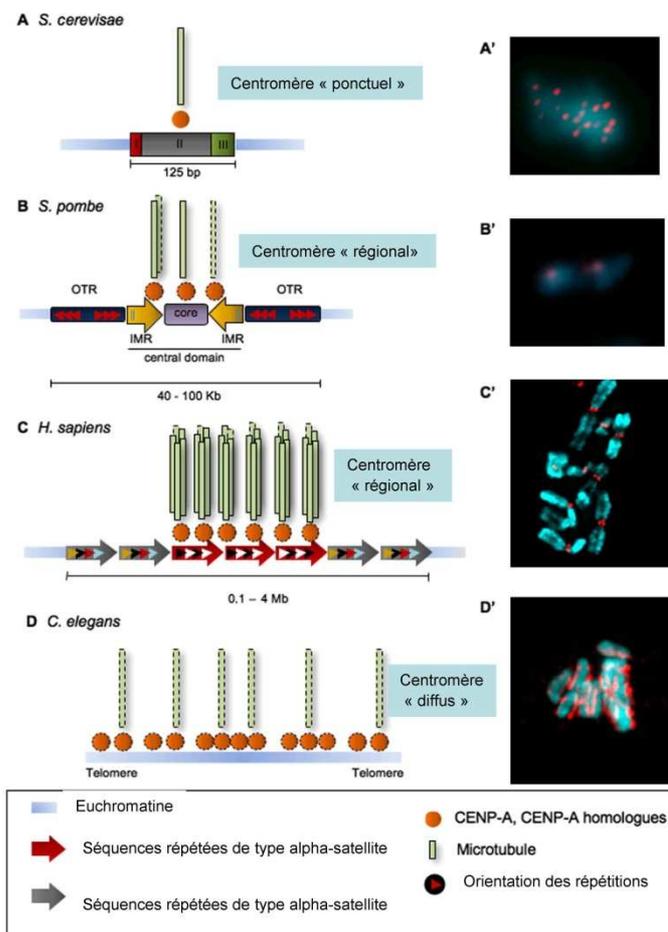


Figure 12 : Les différents types de centromères

Sur ces régions va venir se fixer un complexe très élaboré de protéines, l'ensemble formant le kinétochore. La réplication de l'ADN conduit à la formation de 2 chromatides sœurs. Ces 2 chromatides sont associées au niveau du centromère et le resteront jusqu'à l'anaphase. C'est à cet endroit que le chromosome sera attaché aux fibres du fuseau achromatique et que se localiseront les protéines moteurs responsables de la montée des chromosomes aux pôles lors de l'anaphase.

Les télomères participent également à la répartition des en évitant la fusion des chromosomes créant ainsi des chromosomes à deux centromères.

1.5 : Autres éléments du génome eucaryote

Quelques espèces de levures ascomycètes comme notamment *S. cerevisiae* contiennent un plasmide naturel circulaire. Ce plasmide est présent à haut nombre de copies dans le noyau. Il est répliqué indépendamment des chromosomes et se répartit dans les cellules filles selon un mécanisme spécifique. Les seules informations génétiques contenues dans ce plasmide servent uniquement à sa réplication et à sa transmission donc à son maintien.

2. La structure du génome des organites :

2.1 : Les génomes extra-chromosomiques sont présents en plusieurs exemplaires :

a) Le génome mitochondrial

Le génome mitochondrial est généralement circulaire. Il existe quelques espèces dans lesquelles le génome est linéaire ; c'est le cas par exemple chez *Tétrahymena* ou chez plusieurs levures ascomycètes. Ce génome est localisé à la surface de la membrane de la mitochondrie, du côté de la matrice. On estime qu'il y a en moyenne 2 à 10 génomes par mitochondrie, ce qui en fonction du type cellulaire et du nombre de mitochondries dans ces cellules va entraîner un nombre important de génomes mitochondriaux dans une même cellule. De nombreux génomes mitochondriaux ont été séquencés : on constate une très grande variabilité de la taille de ce génome (*A. thaliana* : 367 kb, *S. cerevisiae* : 75 kb, mammifères : 16 kb). Les grands génomes mitochondriaux comportent des répétitions de séquences orientées dans le même sens ou en sens inverse. Ces régions peuvent recombiner et donc engendrer dans une cellule des remaniements expliquant la formation de génomes hétérogènes qui coexisteront avec ceux d'origine.

b) le génome chloroplastique

Le génome chloroplastique est également une molécule d'ADN circulaire double brin. La taille du génome est plus homogène (120 à 190 kb). Dans les plastes, le génome est organisé en nucléoïdes qui correspondent à plusieurs génomes qui sont condensés

2.2. : Une origine endosymbiotique

Ces deux génomes sont des preuves de l'origine endosymbiotique d'une alpha-protéobactérie pour la mitochondrie et d'une cyanobactérie pour les chloroplastes.

2.3 : Une réplication particulière et une transmission majoritairement uniparentale pendant les divisions.

La réplication de ces génomes est particulière. Elle est assurée par une polymérase spécifique et ne se déroule pas spécifiquement en phase S. Elle est apparentée à une réplication bactérienne avec cependant des modalités différentes qui peuvent varier d'une espèce à l'autre.

La transmission de ces génomes est essentiellement uniparentale et donc non-mendélienne. Les génomes des mitochondries ont le plus souvent une transmission maternelle chez les animaux. Elle peut être monoparentale chez certains végétaux et biparentale chez d'autres. Les génomes chloroplastiques ont une hérédité maternelle chez les Angiospermes et de type paternelle chez les Spermatophytes non Angiospermes à quelques exceptions près.

Dans cette première partie, nous avons montré que le génome était une structure devant être transmise avec fidélité lors des divisions. Un ensemble de régions que nous avons définies participent au maintien et à la transmission de cette infrastructure dans les cellules filles lors des divisions. Dans la 2^e partie, nous aborderons le génome en tant que contenu d'informations.

II. Le génome est un contenu d'informations :

Dans cette partie, nous allons définir la notion de gène en lien direct avec le génome et sa structure. Nous allons donc préciser la structure, la localisation, l'organisation et l'importance quantitative de ces éléments dans un génome. Nous allons aussi nous focaliser sur les régions cis-régulatrices des gènes, séquences directement impliquées dans l'expression et dans la régulation. Nous n'aborderons pas le mécanisme de transcription, ni ceux des modifications post transcriptionnelles comme l'épissage qui ne rentrent pas dans le cadre de cette étude. De même nous n'aborderons pas les méthodes utilisées pour déterminer la fonction de ces différents gènes.

1. Le gène : unité d'information

1.1 : Aspects historiques et évolution du concept de gène :

C'est en 1909 que Johanssen introduit le mot gène pour désigner les caractères héréditaires analysés dans les approches de génétique classique.

En 1944, les travaux d'Avery et collaborateurs sur la transformation bactérienne ont apporté la première preuve que l'ADN est le support biochimique de l'information génétique. Ce rôle fut confirmé et définitivement admis après les expériences d'Hershey et Chase sur le bactériophage T2 en 1952. Au préalable en 1941, Beadle et Tatum avaient proposé le concept : un gène et une protéine à partir de leurs travaux sur des mutants auxotrophes chez le champignon *Neurospora crassa*. La mise en évidence de la structure de l'ADN, puis quelques années plus tard de la transcription, des modifications post-transcriptionnelles, du code génétique et de la traduction a permis de compléter la définition d'un gène et d'en donner une définition à la fois structurale et fonctionnelle.

1.2 : Qu'est-ce qu'un gène ? Qu'est-ce qu'un gène à l'ère de la génomique et de la post-génomique ?

Le gène peut être défini comme une séquence d'ADN qui spécifie la synthèse d'une chaîne polypeptidique ou d'un acide ribonucléique fonctionnels. C'est une définition qui reste cependant très vague.

Les analyses de génomique structurale, notamment la recherche bioinformatique des gènes potentiels suite aux séquençages systématiques ainsi que les analyses des transcriptomes par hybridation sur puces à ADN conduisent aujourd'hui à une vision revisitée de la définition du gène. La figure 13 illustre ce nouveau concept et permet de définir un gène aujourd'hui : un gène peut être considéré comme un ensemble de séquences génomiques qui sont potentiellement recouvrantes, qui codent des molécules fonctionnelles (protéines ou ARN) et qui contiennent les signaux nécessaires à son expression.

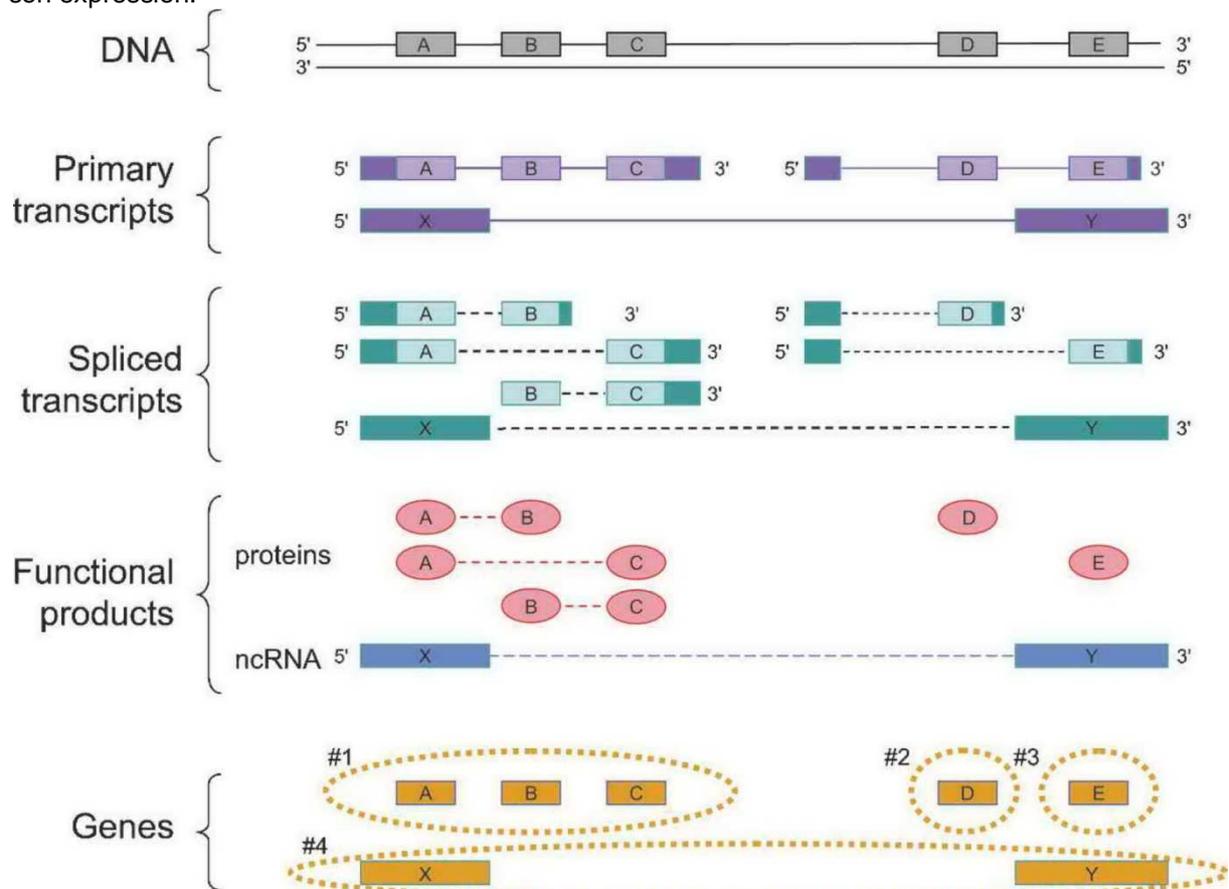


Figure 13A : Le concept de gène aujourd'hui

Source : What is a gene ? Genome Research 2007,17, 669-681

1.3. Les différents types de gènes nucléaires :

Les gènes codant des protéines

Les gènes codant les ARN ribosomiques (ARNr 5S, 5.8S, 18S et 28S).

Les gènes codant les ARN de transfert

Les gènes codant les petits ARN nucléaires (ARNsn) qui participent à l'épissage des ARNm.

Les gènes codant les petits ARN nucléolaires (ARNsno) qui sont des ARN contenus dans le nucléole et qui permettent la maturation des ARNr.

Les gènes codant les micros ARN (miRNA) qui permettent la régulation de l'expression de certains gènes par destruction des ARNm dont ils sont complémentaires.

Les différentes régions d'un gène eucaryote codant une protéine sont présentées dans la Figure 13B. La taille des gènes chez l'Homme est très variable pouvant aller de moins de 10kb comme le gène codant l'insuline, les gènes codant les histones ou les globines jusqu'à des tailles de plusieurs centaines de kb comme le gène codant la dystrophine ou les gènes codant les chaînes lourdes et légères des immunoglobulines.

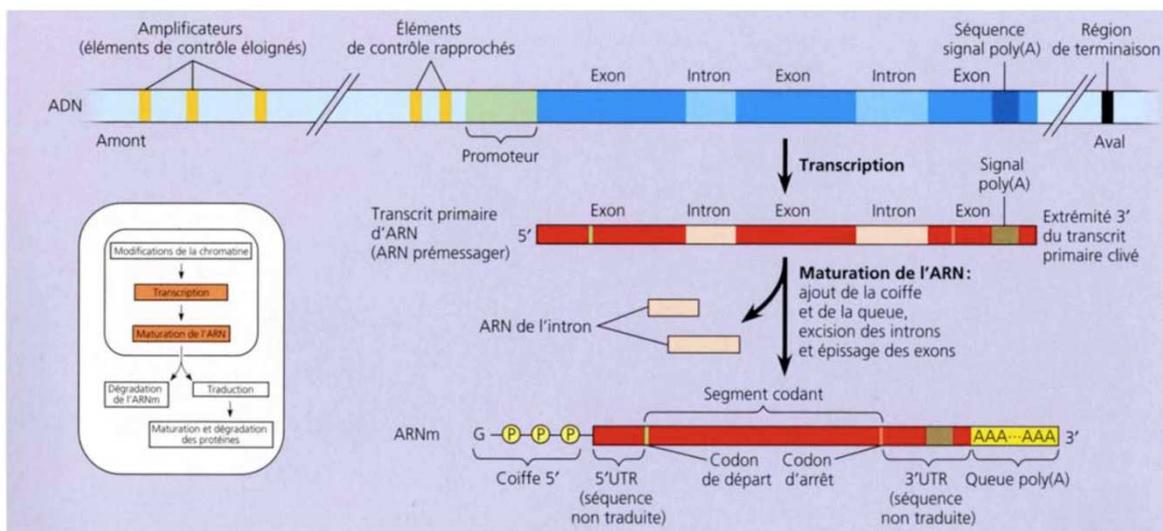


Figure 13B : Organisation d'un gène eucaryote

1.4. Les gènes des génomes des organites :

1.4.1 : les gènes mitochondriaux

Un ensemble de protéines mitochondriales sont issues de l'expression de gènes mitochondriaux. Ces gènes sont transcrits et traduits dans la mitochondrie. On retrouve dans le génome mitochondrial les catégories de gènes suivants (Figure 14).

- Gènes codant des ARN ribosomiques
- Gènes codant des ARNt
- Gènes codant des protéines : les polypeptides synthétisés font partie des complexes protéiques qui interviennent dans l'oxydation phosphorylante. Le nombre de gènes peut différer d'une espèce à l'autre.

1.4.2 : les gènes chloroplastiques

Les génomes chloroplastiques contiennent plus de gènes que les génomes mitochondriaux. On retrouve dans le génome chloroplastique les catégories de gènes suivants.

- Gènes codant des ARN ribosomiques
- Gènes codant des ARNt
- Gènes codant des protéines : les polypeptides synthétisés font partie des complexes impliquées dans la photosynthèse, dans le transfert d'électrons, dans l'ATP synthase et dans l'ARN polymérase chloroplastique. Le nombre de gènes peut également différer d'une espèce à l'autre.

Ces génomes ne contiennent pas l'ensemble des gènes codant les différentes protéines mitochondriales ou chloroplastiques. Un certain nombre de fonctions sont codées par des gènes nucléaires.

Figure 14 : organisation des génomes mitochondriaux

Source : Médecine-Sciences

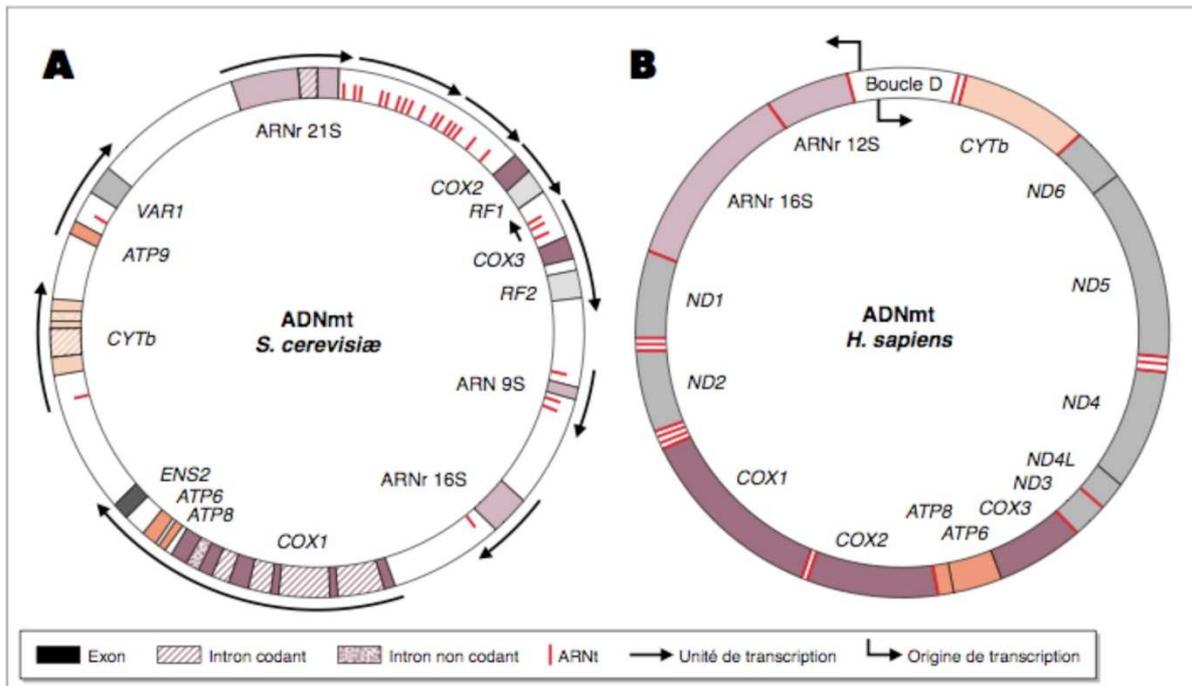


Figure 1. **Carte de l'ADN mitochondrial de *Saccharomyces cerevisiae* (A) et de *Homo sapiens* (B).** CYTB : code pour le cytochrome b de l'ubiquinone cytochrome c oxydo-réductase, COX1, COX2, COX3 : trois sous-unités de la cytochrome c oxydase, ATP6, ATP8, ATP9 : trois sous-unités de l'ATP synthase, ND1 à ND6 : sept sous-unités de la NADH déshydrogénase, VAR1 une protéine du ribosome mitochondrial et ENS2 : une endonucléase. ARNr : ARN du ribosome mitochondrial; ARNr 9S : ARN de la RNaseP mitochondriale. RF1 et RF2 sont deux phases ouvertes de lecture qui sont interrompues par un série de GC chez *S. cerevisiae*. Chez *S. cerevisiae*, le nombre d'introns présents dans les gènes CYTB et COX1 et dans le gène codant pour l'ARN 21S peut varier d'une souche à une autre et une souche parfaitement viable possédant un génome mitochondrial sans intron a pu être construite.

2. L'organisation des gènes au niveau du génome eucaryote :

Les analyses génomiques et post-génomiques des séquences complètes des génomes visent à identifier l'ensemble des gènes contenus dans un génome avec l'objectif de pouvoir identifier à terme l'ensemble des fonctions des gènes présents dans un génome. Dans cette partie, nous présenterons quelques données concernant l'organisation des gènes dans les génomes eucaryotes.

Les cartes génétiques établies par les généticiens sont les premières illustrations de l'organisation des gènes dans un génome. Ces études ont été complétées par l'établissement de cartes physiques des chromosomes. Aujourd'hui la connaissance de la séquence totale du génome donne une vue beaucoup plus précise sur le nombre, la localisation et l'organisation des gènes.

2.1. un nombre de gènes variables et limité chez les eucaryotes :

Le nombre est variable. Le tableau 2 présente le nombre de gènes présents dans les génomes de plusieurs espèces. D'une manière générale, le nombre de gènes est moins important qu'initialement prévu. Pour le génome humain, les prédictions sont passées de 100 000, à 50000 puis à 30000 pour être aujourd'hui plutôt proche de 24000. Pourquoi ? L'importance de l'épissage alternatif est l'une des raisons. La détermination exacte du nombre est difficile. L'analyse reste prédictive s'il n'y a pas d'approches expérimentales pour valider ou non une séquence comme étant un gène.

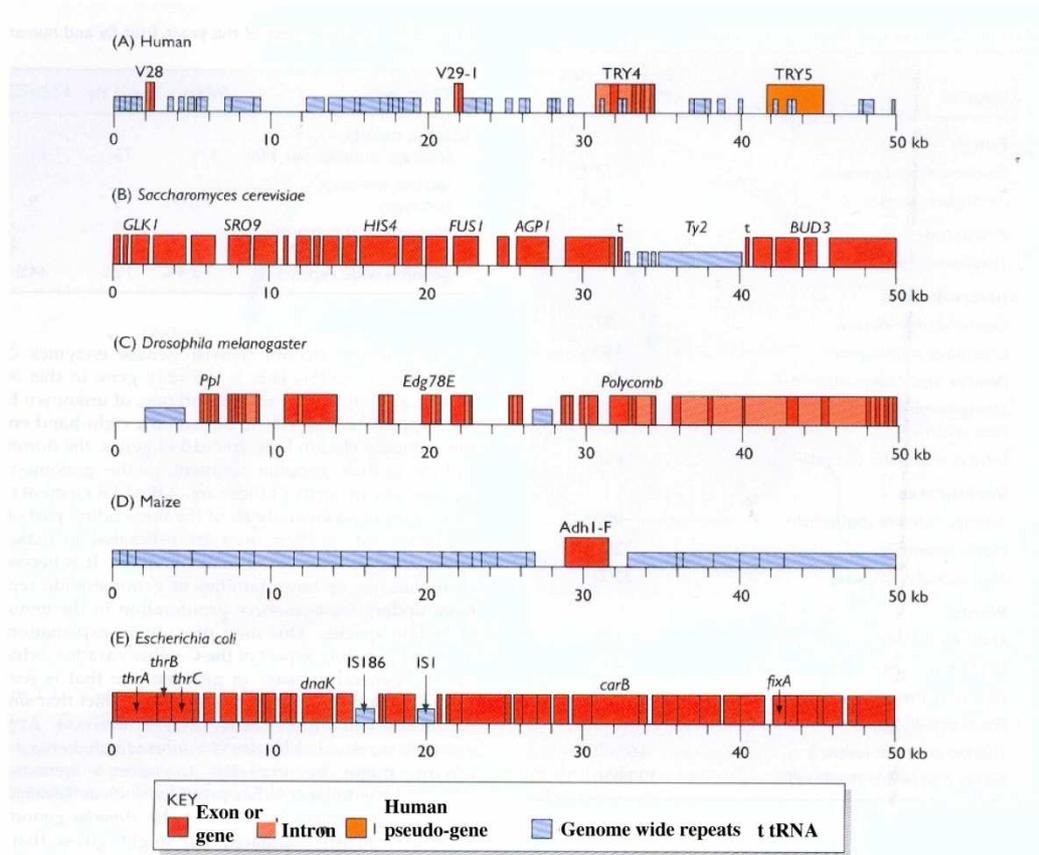
Tableau 2 : Nombre de gènes codant des protéines dans différentes espèces

Espèces	Taille (kb)	NB Gènes (Prots)
Archées		
<i>Archeoglobulus fulgidus</i>	2178	2420
<i>Pyrococcus abyssi</i>	1765	1765
Eubactéries		
<i>Escherichia coli</i>	4639	4405
<i>Bacillus subtilis</i>	4214	4221
<i>Helicobacter pylori</i>	1643	1491
<i>Mycoplasma genitalium</i>	580	481
<i>Sporangium cellulosum</i>	13033	9367
Eucaryotes		
<i>Homo sapiens</i>	29000000	23000
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	12000	5807
<i>Ciona intestinalis</i>	180000	16000
<i>Caenorhabditis elegans</i>	100000	19000
<i>Arabidopsis thaliana</i>	115000	25500
<i>Drosophila melanogaster</i>	125000	14000
<i>Oriza sativa</i>	420000	35000

2.2. L'organisation des gènes sur les chromosomes

Les gènes sont disposés en tandem ou tête-bêche les uns par rapport aux autres. Selon la nature du brin d'ADN qui sert de matrice, ils seront transcrits dans un sens ou dans l'autre. On observe également une densité variable des gènes sur les chromosomes selon les espèces (Figure 15). Certaines régions peuvent également être très pauvre en régions codantes comme notamment celles qui sont à proximité des centromères.

Figure 15 : La densité de gènes



D'après Brown, 2002 in *Genomes*

2.3. Un regroupement en familles

Il existe chez les eucaryotes de nombreux exemples de gènes codant des protéines qui ont des structures et des fonctions proches. Ces familles résultent de duplications successives au cours de l'évolution (voir partie 3). Ces membres sont donc des gènes paralogues, qui se définissent comme des gènes homologues issus de duplications d'un gène ancêtre à l'intérieur d'une espèce. En termes de répartitions, les différents membres d'une famille peuvent être groupés sur un même chromosome ou dispersés dans le génome. Dans une même famille, on trouvera aussi bien des copies actives que des copies inactives (pseudogènes).

Quelques exemples de familles : gènes codant les histones, les gènes de globines, les gènes codant les récepteurs olfactifs (famille la plus grande chez les mammifères), les gènes homéotiques, les gènes codant les ARNs ribosomiques, les gènes des immunoglobulines.

2.4 : Le génome en interphase une organisation en euchromatine et hétérochromatine régulant l'expression des gènes :

Comme nous l'avons dans la 1^{er} partie, au cours de l'interphase, la chromatine peut être sous forme d'euchromatine ou d'hétérochromatine. La première correspond à une fraction active qui est pauvre en histone H1 dans laquelle l'ADN sera plus accessible. Des modifications chimiques des histones régulent aussi l'accessibilité à l'ADN : les queues des histones peuvent être acétylées sur les résidus lysines par des enzymes spécifiques. Lorsque les histones sont acétylées, elles perdent leurs charges positives et interagissent moins avec l'ADN et les nucléosomes voisins entraînant une chromatine qui a une structure plus lâche et un ADN qui est plus accessible aux facteurs de transcription. Par contre, l'hétérochromatine est une forme plus condensée dans laquelle les histones sont hypoacétylées et hyper méthylées. L'accessibilité à l'ADN est très réduite dans cette fraction de la chromatine qui contient des gènes non transcrits dans un type cellulaire donné (hétérochromatine facultative) et des régions particulières comme les centromères, télomères et autres régions dépourvus de gènes (hétérochromatine constitutive).

III. Le génome : une structure dynamique

Les travaux de génétique réalisés après la redécouverte des lois de Mendel au début du XX^e siècle ont abouti à l'élaboration des premières cartes génétiques. Ces premières explorations de génomes, animaux et végétaux ont donné une vision statique. Le fait qu'un certain nombre de fonctions essentielles devaient être conservées dans un organisme donné, laissait supposer que seules quelques modifications mineures pouvaient être acceptées. On pensait alors que les modifications intervenaient majoritairement lors du brassage génétique en méiose et que les mutations ne jouaient qu'un faible rôle dans la variation du génome.

Cette idée commença à être remise en cause dans les années 50 avec les travaux de Barbara McClintock. Lors d'études génétiques menées sur des plants de maïs, elle conclut à l'existence de gènes mobiles dits « gènes sauteurs » dans le génome de ces plantes. Ces éléments correspondaient aux premiers éléments transposables mis en évidence dans une espèce. Ce n'est qu'une trentaine d'années plus tard en 1983, à la suite de la mise en évidence d'éléments transposables dans la majorité des génomes et la caractérisation du mode de fonctionnement d'un certain nombre de ces éléments que le travail de Barbara McClintock fut reconnu et récompensé par le prix Nobel en 1983. La génomique et l'étude des séquences complètes montrent aujourd'hui l'universalité de ces éléments transposables dans les génomes ainsi que leur importance quantitative. Les comparaisons des génomes inter-espèces mais également intra-espèces mettent également en évidence l'importance des remaniements chromosomiques dans la fluidité du génome. Il a été montré que les modifications de la structure des chromosomes constituent l'un des éléments moteurs essentiels de la plasticité et de l'évolution des génomes. Différents types d'événements ont été décrits comme étant à l'origine de variabilité génomique. Il s'agit de délétions, de duplications, d'insertions de transposons, des inversions, des translocations réciproques et non réciproques. Dans cette 3^e partie, nous aborderons les différents mécanismes pouvant conduire à la réorganisation d'un génome. Dans une première partie, nous montrerons l'unicité du génome et les mécanismes qui conduisent à cette unicité. Dans une seconde partie, nous montrerons comment la plasticité du génome permet des innovations génétiques.

1. Les principaux acteurs de la variabilité des génomes

1. 1. Un génome est unique chez les eucaryotes

Dans une espèce donnée, le génome d'un individu n'est jamais identique à celui d'un autre individu sauf dans le cas de jumeaux homozygotes. La plupart des variations sont sans effet, certaines rares pouvant avoir des conséquences pathologiques si elles altèrent la fonction d'un gène. Elles peuvent être de nature différente. Les SNP (single nucleotide polymorphisme) sont des variations d'une seule paire de base entre individus d'une même espèce. On estime que dans le génome humain, il y a un site polymorphique toutes les 1000 paires de bases. Les microsatellites constituent un autre type de variation retrouvé dans la majorité des génomes eucaryotes. Ce sont des répétitions en tandem d'une courte séquence de 2 à 5 nucléotides. Dans ces régions, le nombre de répétitions varie de quelques unités à plusieurs dizaines. Ces répétitions sont présentes dans de nombreuses régions du génome sur l'ensemble des chromosomes. Pour un microsatellite donné, le nombre de répétitions peut varier d'un individu à l'autre. Ce sont ces régions qui sont utilisées comme marqueurs pour la constitution des empreintes génétiques d'un individu. D'autres types de polymorphismes peuvent être mis en évidence renforçant encore plus la notion d'unicité du génome. Ce sont des polymorphismes liés à des déplacements d'éléments transposables, des duplications de segments d'ADN, des délétions de segments chromosomiques...Le séquençage systématique de génomes de plusieurs individus d'une même espèce qui est en train de développer donne accès à l'ensemble de ces polymorphismes.

Ce polymorphisme est une conséquence du phénomène de recombinaison génétique essentiellement observé en méiose. Il résulte également du phénomène de la transposition et de ses éventuelles conséquences.

1.2 : La recombinaison génétique source de variabilité.

1.2.1 : Définition de la recombinaison

Dans son sens le plus large, la recombinaison peut se définir comme la réorganisation du génome : elle se fait

- par ségrégation au hasard des chromosomes à la méiose conduisant à un brassage interchromosomique
- au niveau moléculaire, par la construction d'une nouvelle combinaison de l'information génétique par cassure et recollage de deux molécules d'ADN (crossing-over ou enjambement). Chez les eucaryotes,

la recombinaison homologue est un processus universel existant dans toutes les espèces. Elle joue un rôle important en méiose en permettant une ségrégation correcte des chromosomes durant la méiose et générant une diversité génétique par un brassage intrachromosomique. Les chiasmas observables en prophase de méiose I sont les manifestations visibles de ces échanges interchromatidiens. Dans les cellules en mitose, la fonction principale de la recombinaison homologue est de réparer les cassures d'ADN double brin qui peuvent se former de manière spontanée ou suite à l'action d'agents mutagènes.

1.2.2 : Le mécanisme de la recombinaison homologue

Plusieurs modèles du mécanisme de la recombinaison homologue ont été proposés. Le premier par Holliday en 1964 dans lequel une coupure d'ADN simple brin va initier la recombinaison conduisant à une jonction dite de Holliday. Plusieurs arguments expérimentaux sont en faveur d'une coupure d'ADN double brin sur laquelle se base le modèle actuel présenté ci-dessous.

Suite à une cassure d'ADN double brin lors de la prophase de méiose, les extrémités 5' de l'ADN sont digérées sur une distance pouvant s'étendre sur plus d'un kb. Il y a alors invasion des extrémités 3' de la cassure d'ADN sur les brins intacts de l'autre chromatide. Ces extrémités serviront alors d'amorces pour l'initiation de la synthèse de nouveaux brins d'ADN en utilisant comme matrice la région intacte d'ADN. Ce processus va conduire à la formation de deux jonctions de Holliday. Si les deux jonctions de Holliday sont clivées de la même manière, une conversion génique est observée. En revanche, si une des jonctions est clivée au niveau des brins croisés et l'autre au niveau des brins non-croisés, il y a alors enjambement. Le schéma de ce modèle de rcombinaison est présenté dans la figure 16.

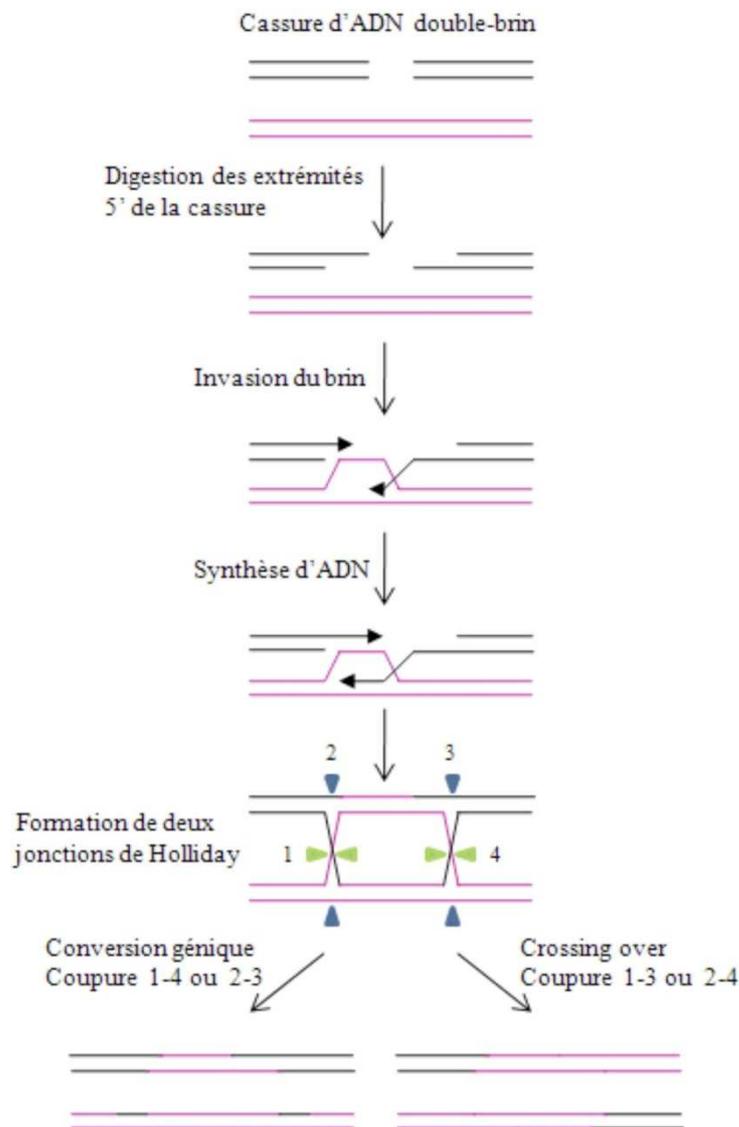


Figure 16 : Le modèle de recombinaison homologue

1.3. Les éléments génétiques mobiles : acteurs de la plasticité du génome

1.3.1 : Mise en évidence historique

Dans les années 40, Barbara Mc Clintock en travaillant sur une mutation instable chez le maïs a postulé l'existence d'éléments qu'elle a appelés contrôleurs ou sauteurs. Elle avait réussi, grâce à des approches de génétique classique et de cytologie mais sans analyse moléculaire, à postuler l'existence d'éléments transposables et de prédire les impacts qu'ils pouvaient avoir sur un génome. Accueillis avec scepticisme lors de leur publication, ces travaux furent récompensés par le prix Nobel en 1983. En effet, au cours des années 70, les éléments transposables ont été mis en évidence dans l'ensemble du monde vivant et largement étudiés aussi bien sur les plans structuraux, fonctionnels qu'évolutifs. L'accès aux séquences totales d'un génome permet aujourd'hui d'avoir une vue d'ensemble sur ces éléments, notamment leur importance quantitative, leurs localisations et leur organisation dans les génomes. Chez les mammifères, ces séquences peuvent représenter jusqu'à 50% du génome (40% chez l'Homme) et 80% dans certaines lignées de maïs, voire d'avantage dans des lignées du blé.

1.3.2 : Deux classes d'éléments transposables : les transposons à ADN et les rétrotransposons

Un élément transposable peut être défini comme une séquence d'ADN capable de se déplacer de façon autonome dans le génome et de s'y multiplier. Ces séquences codent l'ensemble des protéines nécessaires à leur déplacement.

On peut définir deux classes d'éléments transposables en fonction de leur structure et de leur mode de fonctionnement. (Figure 17)

1.3.2.1: Les rétrotransposons

Les éléments transposables de la classe 1 sont les rétrotransposons qui se déplacent selon un mode copier –coller et qui sont spécifiques des eucaryotes. Après transcription par l'ARN polymérase II, l'ARN messager est rétrotranscrit en ADN par la transcriptase réverse codée par le rétrotransposon. Cet ADN est alors inséré dans le génome grâce à une activité intégrase également codée par l'élément.

On distingue des rétrotransposons à LTR présentant d'importantes similitudes avec les rétrovirus. Ces éléments sont constitués de 2 longues répétitions qui encadrent une partie centrale codant pour une protéine GAG et une protéine POL portant notamment les activités réverse transcriptase et intégrase. Un assemblage de monomère GAG conduira à la formation de capsides présentes dans le cytoplasme dans lesquelles se déroulera la réverse transcription.

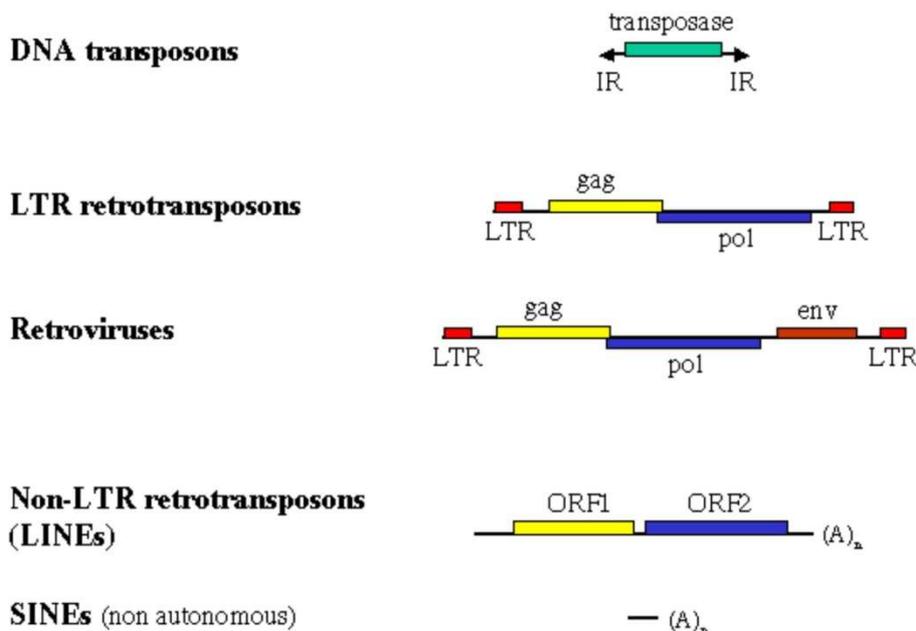


Figure 17 : Les éléments génétiques mobiles

L'ADNc nouvellement synthétisé s'intégrera dans un nouveau site chromosomique grâce à l'intégrase. Ces éléments sont peu présents chez les métazoaires mais abondants chez de nombreuses espèces de chlorobiontes et chez la levure *S. cerevisiae*.

Les rétrotransposons sans LTR définissent la 2^e classe des rétrotransposons. Ils comprennent notamment les éléments LINE. Ces éléments dépourvus de LTR codent également les enzymes nécessaires à la réverse transcription et à l'intégration. La réverse transcription a lieu dans le noyau directement au niveau du site cible. Les séquences de type SINE ont la même origine que les LINE mais ont perdu leur autonomie. Ils n'ont pas de séquences codantes. Ce sont des éléments de courte taille nécessitant la présence d'éléments LINE pour leur déplacement. Ils correspondent aux séquences ALU du génome humain. (Figure 17)

1.3.2.2. : Les transposons à ADN

Ces éléments sont retrouvés chez les procaryotes comme chez les eucaryotes. Ils se déplacent grâce à une transposase qui est une enzyme codée par le transposon. Ces éléments portent à leurs extrémités des courtes séquences inversement répétées qui encadrent une région centrale codant pour la transposase. Le mode de fonctionnement peut être ici du type couper – coller ou copier – coller dans le cas où il y a eu réplication avant transposition. Le transposon du maïs mis en évidence par B. Mac Clintock est un transposon appartenant à cette catégorie.

1.3.3 : Importance dans les génomes

Le nombre et le type d'éléments transposables présents dans le génome sont très variables d'une espèce à l'autre. Dans le génome humain, 40% des séquences sont des éléments transposables ; les rétrotransposons de type LINE et SINE sont majoritaires. Chez les mammifères, la proportion des éléments génétiques mobiles est variable mais largement supérieure à 30%. Dans certaines variétés de maïs, les éléments génétiques mobiles peuvent représenter jusqu'à 80% du génome. Dans d'autres espèces, la proportion de ces éléments dans le génome est moindre. (3% chez la drosophile, 6% chez *C. elegans* et 11% environ chez *Arabidopsis thaliana*).

1.3.4 : L'impact des éléments transposables sur les génomes

Les éléments transposables sont des acteurs de la dynamique du génome à deux niveaux : une dynamique liée à un déplacement d'un élément (effet immédiat) et une dynamique liée à la nature répétée de ces éléments (effet à long terme).

1.3.4.1 Effet du déplacement d'un transposon

Le déplacement d'un élément transposable peut conduire à différents effets selon le lieu d'insertion :

dans une région non codante : pas d'effet

dans une phase codante : effet mutagène par interruption de la phase de lecture

dans un intron, plusieurs possibilités :

- aucun effet
- arrêt prématuré de la transcription
- épissage incorrect ou inhibé conduisant à une protéine tronquée ou chimère

en amont d'un gène dans une zone régulatrice

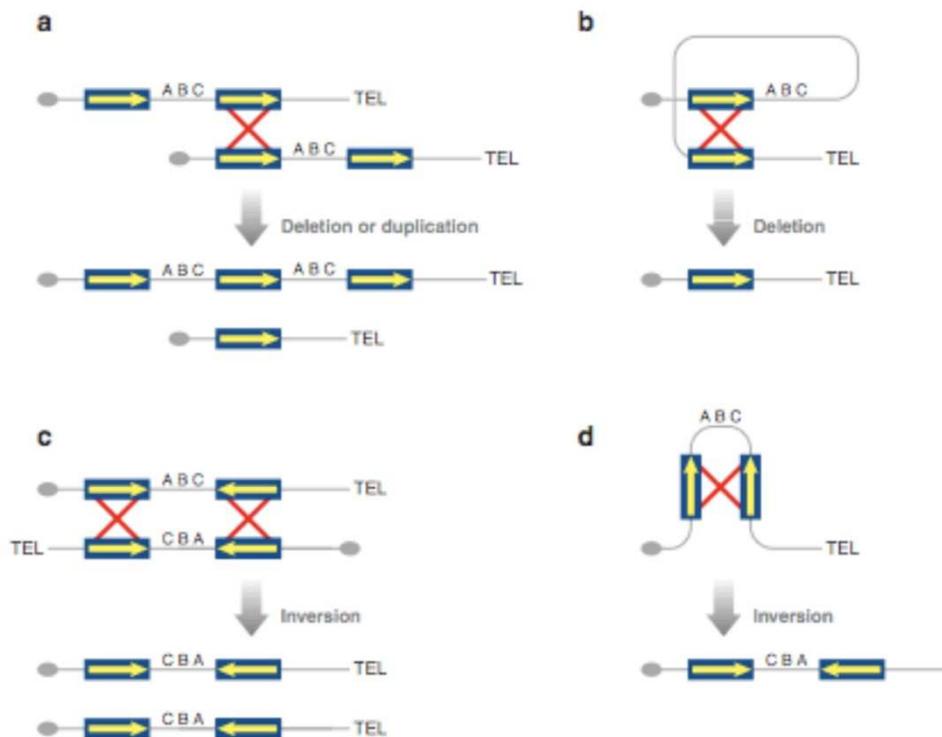
- inhibition de la transcription par inactivation des régions d'initiation.
- transcription modifiée :
 - augmentation de l'expression : un promoteur faible est remplacé par un promoteur fort présent dans le transposon
 - activation de la transcription d'un gène. Ce phénomène peut conduire à dérégulation spatio-temporelle d'un gène.

De nombreux exemples d'insertions provoquant les effets cités ci-dessus sont décrits dans la littérature. Par exemple, chez l'Homme plusieurs hémophilies dues à l'absence du facteur VIII sont causées par des insertions mutagènes dans un exon du gène correspondant.

1.3.4.1 Impact sur la structure du génome

En tant que séquences répétées dispersées sur les chromosomes, les éléments transposables peuvent être à l'origine de remaniements chromosomiques. Ce sont des recombinaisons dites ectopiques entre séquences d'un élément similaire situés à des sites chromosomiques « non-allèles » qui vont être à l'origine de ces remaniements en mitose essentiellement ou en méiose. (Figure 18)

Figure 18: Recombinaison ectopique entre éléments transposables et réarrangements chromosomiques associés



2. Plasticité et innovations génétiques

2.1 : Les duplications de gènes : source d'innovations

2.1.1 : Mise en évidence de l'importance quantitative des gènes dupliqués dans un génome

À partir des premières familles de gènes identifiées (celles qui codent les ARN ribosomiques, les histones ou l'hémoglobine des mammifères par exemple), Susumu Ohno a mis en avant l'importance du rôle des duplications à travers l'évolution dans son ouvrage "Evolution by gene duplication" (1970). Il émet l'hypothèse selon laquelle la duplication de gènes permet l'émergence de nouvelles fonctions. Il a ainsi proposé que la duplication de gènes était l'un des principaux mécanismes d'évolution : une des deux copies d'un gène, en absence de pression de sélection, va pouvoir accumuler de mutations aléatoirement et acquérir ainsi une nouvelle fonction. Ce n'est qu'à la fin des années 90, après la détermination et l'analyse des premières séquences complètes de génomes que l'importance des événements de duplication est clairement démontrée. L'analyse des séquences complètes permet d'identifier l'ensemble des gènes dupliqués (actifs ou pseudogène) qui n'auraient pu l'être avec les différentes approches expérimentales jusqu'alors utilisées. L'un des nombreux intérêts de ces programmes de séquençage a été de pouvoir comparer l'ensemble des gènes présents au sein d'un organisme entre eux (comparaison intra-spécifique) afin de caractériser leur redondance. Cette analyse permet de mesurer la redondance et a permis de donner une vision globale sur la nature des séquences d'ADN dupliquées c'est-à-dire sur leur proportion, leur taille, leur localisation. La fraction de gènes dupliqués présents chez un organisme correspond en moyenne à 1/3 de son génome. Il y a des exceptions, par exemple chez *Arabidopsis thaliana* où cette fraction dépasse les 2/3 de son génome. Le tableau 4 montre la proportion de gènes dupliqués dans quelques génomes.

2.1.2 : Plusieurs moyens de dupliquer une séquence d'ADN

L'apparition de gènes paralogues peut se produire suite à un événement de duplication pouvant être de nature variée. Ces paralogues seront à l'origine de la formation des familles de gènes. Plusieurs types de duplications ont été mis en évidence :

- Les duplications géniques : les éléments dupliqués peuvent être situés l'un à côté de l'autre, ce que l'on appelle une duplication en tandem ou bien ils peuvent être dispersés au sein du génome.
- Les duplications segmentales de plusieurs gènes contigus. Avant les séquençages systématiques de génomes, il était difficile de prendre en compte l'environnement chromosomique d'un gène dupliqué. Un gène peut être dupliqué en même temps que les gènes qui lui sont adjacents conduisant à une duplication de segment. Pour l'évolution des gènes, les segments dupliqués constituent un réservoir plus important de matériel permettant la spécialisation ou l'apparition de nouvelles fonctions qu'une

duplication génique. Une des surprises lors de l'analyse du génome humain a été la mise en évidence de plusieurs grands blocs d'ADN dupliqués avec une similarité de séquence très élevée (>90%). Ces blocs représentant 5% du génome total.

- Les duplications de chromosome

L'aneuploïdie correspond à une aberration chromosomique due à un nombre anormal de chromosomes. Dans la majorité des cas, l'aneuploïde diffère du type sauvage par un chromosome en moins ou en plus. On parle alors respectivement de monosomie ($2n-1$) et de trisomie ($2n+1$). Pour une trisomie, le matériel génétique situé sur l'ensemble d'un chromosome est dupliqué. Les végétaux sont en général plus tolérants à l'aneuploïdie que le règne animal. Les états aneuploïdes sont très étudiés chez l'homme : le syndrome de Down (trisomie 21), le syndrome de Klinefelter (XXY) et le syndrome de Turner (X0). Le taux d'apparition spontanée d'aneuploïdie est élevé (1/650 naissances pour la trisomie 21). Par ailleurs, la perte ou le gain de chromosomes sont également fréquents au niveau des cellules cancéreuses chez les mammifères

La cause de la plupart des états aneuploïdes est la non-disjonction des chromatides sœurs au cours de la méiose ou de la mitose. Cette non-disjonction correspond à un défaut du processus de ségrégation des chromosomes conduisant à l'aneuploïdie. Elle se produit spontanément.

- Les duplications totales du génome.

La manière la plus rapide d'augmenter le nombre de gènes se fait suite par une duplication complète du génome. Cette duplication est qualifiée de polyploïdisation. Chez les polyploïdes, il faut distinguer les autopolyploïdes, composés de multiples jeux provenant d'une même espèce, des allopolyploïdes, comportant des jeux de chromosomes issus d'au moins deux espèces.

L'autopolyploïdie résulte d'un dysfonctionnement au cours des divisions cellulaires. Cet événement peut se produire par erreur durant la méiose conduisant à la formation de gamètes diploïdes plutôt qu'haploïdes. Si deux gamètes diploïdes fusionnent, une cellule tétraploïde contenant 4 copies de chaque chromosome va être formée.

La polyploïdie est un processus très commun dans le monde végétal. Les autopolyploïdes sont souvent viables car chaque chromosome a forcément un homologue pouvant former des bivalents durant la méiose et conduire à l'obtention de gamètes permettant la reproduction. Mais généralement, le croisement avec l'organisme original qui a permis sa formation n'est pas fertile. En effet, le croisement, d'un tétraploïde avec un diploïde va engendrer un triploïde qui sera stérile car un jeu de chromosome n'aura pas de partenaire homologue au cours de la division méiotique.

Par contre, la polyploïdie est un processus très peu commun chez les animaux. Il existe cependant des cas apparus naturellement par exemple chez les vers plats, les sangsues et les crevettes.

L'analyse comparative de génomes de levures a mis à jour l'existence d'une duplication totale de génome de *S. cerevisiae* au cours du processus évolutif des levures hémiascomycètes. Ce type d'événement a également été décrit dans d'autres lignées. Dans la lignée des chordés à l'origine des vertébrés, une duplication totale du génome aurait eu lieu. Cet événement se serait également produit pour les xénopes ainsi que chez téléostéens

2.1.3 : Le devenir des gènes dupliqués

Les paralogues ainsi formés peuvent ensuite évoluer de différentes manières.

Plusieurs scénarios sont décrits

- La conservation de la fonction : la copie dupliquée conserve la même fonction que la copie originelle.
- La subfonctionnalisation : les deux copies se partagent dans ce cas les fonctions initialement portées par la copie originelle.
- La néofonctionnalisation : l'une des copies conserve la fonction originelle tandis que l'autre va en acquérir une nouvelle.
- La pseudogénéralisation : l'accumulation de mutations dans l'une des copies entraîne la perte de fonction. C'est le scénario majoritairement observé après une duplication.

Un exemple de néofonctionnalisation : sur le plan évolutif, l'un des événements les plus importants est l'apparition d'une nouvelle fonction à partir de séquences dupliquées. Ce phénomène a été décrit chez les primates pour deux gènes appartenant à la superfamille des ribonucléases, EDN (Eosinophilderived neurotoxin) et ECP (eosinophil cationic protein). Les produits de ces deux gènes sont présents au niveau des granules des leucocytes éosinophiles. La protéine codée par le gène EDN joue un rôle d'agent antiviral grâce à son action ribonucléolytique sur l'ARN génomique des rétrovirus. ECP code, lui, pour une protéine ayant une faible activité ribonucléasique mais qui agit comme toxine pour différents parasites et bactéries. Les hominidés et les singes de l'ancien monde comme le macaque ou le babouin possèdent ces deux gènes. En revanche, les singes du nouveau monde, comme le tamarin, ne possède qu'un seul gène homologue à EDN et ECP. Ce gène a

été nommé EDN car la protéine pour laquelle il code ne présente aucune toxicité contre les bactéries ou les parasites. Néanmoins son activité RNase est beaucoup plus faible que celle observée pour son orthologue chez les singes de l'ancien monde. Un événement de duplication en tandem du gène EDN ancestral serait survenu après la divergence des singes du nouveau monde (platyrrhiniens) et de l'ancien monde (catarrhiniens). Le gène ancestral ne possédait pas l'activité antibactérienne et antiparasitaire, ce qui laisse supposer que cette fonction a été acquise par ECP après la duplication par un processus de néofonctionnalisation.

Des exemples de pseudogénéisation :

Lorsqu'une copie dupliquée n'apporte pas d'avantage sélectif pour un organisme, aucune pression de sélection ne s'exerce alors pour maintenir ce gène. Dans ce cas, les mutations dans une des copies n'entraîneront pas d'effets délétères pour la cellule et pourront alors être fixées. Ainsi, les mutations de types faux-sens, non-sens, de décalage de cadre de lecture ou au niveau des régions promotrices ou régulatrices vont pouvoir s'accumuler au sein d'une des copies conduisant à son inactivation. Le gène non fonctionnel est alors qualifié de pseudogène. Si l'événement de pseudogénéisation est récent, le pseudogène pourra être mis en évidence par recherche de similarité de séquences avec la copie fonctionnelle. Chez l'Homme, de nombreux pseudogènes ont également été mis en évidence. Une analyse des chromosomes 21 et 22 chez l'Homme a déterminé que la proportion de pseudogènes pour l'ensemble des gènes de ces chromosomes était d'un pseudogène pour deux gènes fonctionnels. De plus, pour la grande famille des récepteurs olfactifs qui compte environ 1000 membres par espèce chez les mammifères (906 chez l'Homme), il a été défini qu'au moins 63% avaient dégénéré au cours du temps en pseudogènes alors que chez la souris, seuls 20% des gènes ont subi ce processus.

2.2. Autres sources d'innovations :

2.2.1 : *Le brassage d'exons*

Le brassage d'exons est un processus qui conduit à la création de nouveaux gènes par la formation de nouvelles associations d'exons provenant initialement de un ou plusieurs gènes.

Un exon code souvent pour un domaine d'une protéine, ayant une fonction donnée pouvant constituer un domaine. Généralement, ces domaines possèdent une autonomie au niveau de leurs fonctions et structures. Une fois redistribué, cet exon code au niveau du nouveau gène un domaine de fonction équivalente. (Figure ci-dessous)

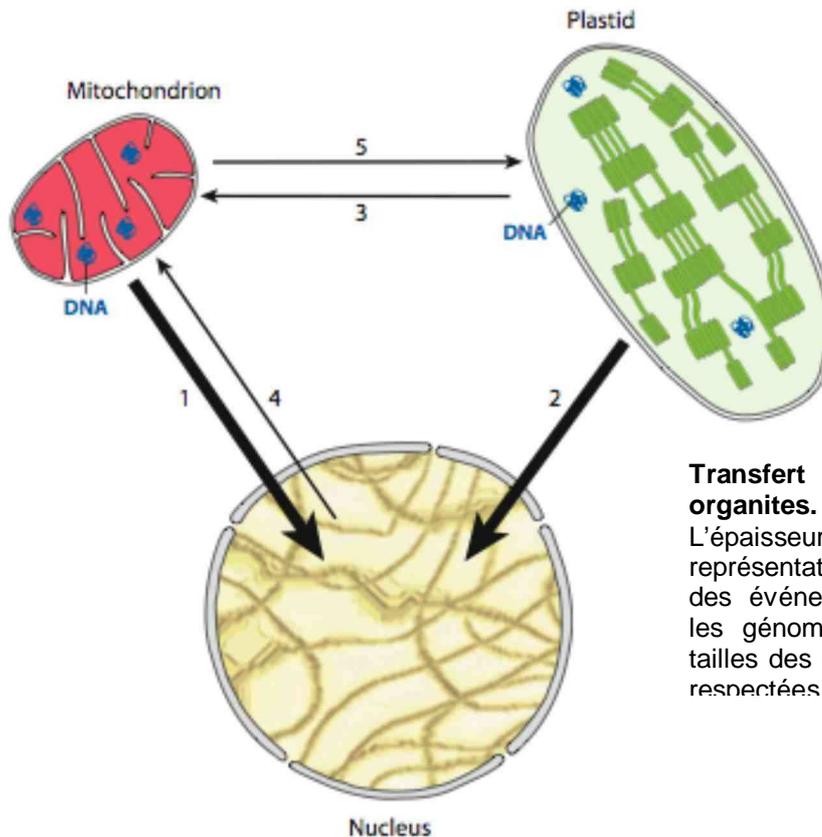
Différents événements moléculaires peuvent conduire au brassage des exons et à la création de nouveaux gènes :

- une duplication d'exons au sein du même gène par enjambement inégal notamment.
- un mélange de différents exons de gènes différents par recombinaison lors de la méiose
- un déplacement d'exon(s) ou de gène entier via les éléments transposables démontrant un autre rôle que peuvent jouer ces éléments génétiques mobiles.

2.2.2 : Les interactions génome nucléaire et génomes des organites : NUMTs et NUPTs

Les « NUMT » sont des séquences d'ADN mitochondrial qui ont été transférées du génome mitochondrial vers le génome nucléaire. (NUPTs séquences transférées du génome chloroplastique vers le génome nucléaire, P pour plastes). Le séquençage systématique des génomes de plusieurs espèces a permis de localiser ces séquences et de déterminer leur l'importance quantitative (Figures ci-dessous). Ce sont souvent des courtes séquences d'une centaine de nucléotides. Les transferts récents sont les plus facilement identifiés car l'identité entre le segment transféré (NUMT ou le NUPT) avec la séquence initiale est très élevée dans ce cas de figure.

Ces transferts se font probablement selon un mécanisme similaire à celui qui a conduit au transfert de gènes fonctionnels de la mitochondrie ou le chloroplaste vers le noyau. Le mécanisme impliqué dans ce transfert n'est pas connu.



Transfert d'ADN entre organites.

L'épaisseur des flèches est représentative de la fréquence des événements détectés dans les génomes des plantes. Les tailles des organites ne sont pas respectées

Espèce	Total séquences Numt (bp)	Densité (bp/kb)
<i>Arabidopsis thaliana</i>	625 000	5,42
<i>Oryza sativa</i>	825913	2,19
<i>Homo sapiens</i>	475269	0,17
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	2121	0,17
<i>Danio rerio</i>	32454	0,021
<i>Drosophila melanogaster</i>	777	0,005

Importance des séquences NUMT dans les génomes.

Total séquences NUMT (bp) : total de l'ensemble des NUMTs exprimé en paires de bases.

Densité exprimée en paire de bases par kilobase de génome.

Source : Annu.Rev.Plant.Biol 2009

2.2.3 : Les modifications provoquées

La plasticité du génome permet sa modification par les techniques de biologie moléculaire. Il peut être modifié par introduction d'ADN hétérologue par recombinaison. Dans les organismes modèles, ces intégrations dans les génomes permettent par exemple l'inactivation de gènes et l'étude des phénotypes engendrés par ces mutations. Les mêmes approches sont utilisées pour la formation d'OGM.

Conclusion et Perspectives :

Quelques points pouvant être abordés dans la conclusion en guise d'ouverture :

Apport de la génomique sur la connaissance des génomes dans le futur.

Apport de la génomique comparative intra-espèces (projet 1000 génomes humains)

Possibilités d'analyses globales : transcriptome avec techniques de séquences ultra haut débit

Identification de la fonction des gènes....

5.2 SECTEUR B

5.2.1 Sujet

La dispersion des organismes

5.2.2 Commentaire

"Aujourd'hui la vie est partout sur Terre, si la radiation évolutive y est pour beaucoup, la dispersion y est aussi pour quelque chose" candidat anonyme...



5.2.2.1 Justification du sujet

Ce sujet avait comme objectif de stimuler la réflexion des candidats autour d'un trait central structurant les processus écologiques et évolutifs. Cette réflexion devait être conduite à deux niveaux. Tout d'abord, les candidats étaient invités à illustrer leurs capacités d'analyse et de réflexion à propos de différents aspects et des différentes étapes d'un processus éco-évolutif central. Cette réflexion, disons théorique et conceptuelle, devait intégrer différentes échelles : celles des individus, des populations, des communautés, des espèces mais aussi celles des processus écologiques et des processus évolutifs. Le deuxième niveau de réflexion attendue était la mobilisation des connaissances dans tous les domaines du vivant pour illustrer les processus et notions associées à la dispersion. L'universalité de ce trait permettait aux candidats de se servir de nombreux exemples pris parmi les différents organismes du programme. Les candidats étaient invités à mobiliser leurs connaissances académiques, naturalisées en les observant sous un angle nouveau. On pouvait alors utiliser des données sur les cycles de vie, sur la biologie des parasites, sur le comportement animal, l'évolution, la biogéographie etc. pour illustrer avec précision les thématiques tournant autour de la dispersion.

Ce sujet large et synthétique donnait une grande liberté aux candidats, ces derniers pouvant puiser dans de nombreux points du programme pour illustrer leur propos. Le barème a été conçu autour d'une série de concepts détaillés ci-dessous et non pas autour d'exemples biologiques précis. Par exemple, pour parler des contraintes liées à la dispersion passive par le vent, on pouvait parler des adaptations morpho-anatomiques de certains fruits mais aussi de celles de grains de pollen, de spores etc. Si les correcteurs ont un certain nombre d'attentes sur les thèmes à traiter dans le sujet, ils sont avant tout attentifs à la qualité de l'argumentation (logique et précision) et sont tout à fait ouverts à des idées, argumentations originales dès lors que celles-ci sont justifiées. La définition d'organismes par exemple pouvait être variable entre candidats (doit-on inclure les virus, les gamètes, les grains de pollen ?). Peu importe en quelque sorte tant que les arguments présentés sont justifiés, valides et cohérents.

Nous avons préféré l'utilisation du terme *dispersion* plutôt que celui de *dissémination* car il nous a semblé que ce dernier pouvait orienter vers un sujet centré autour de la dispersion des semences, sujet qui aurait été fortement ancré dans le domaine du végétal. Or nous souhaitions que le candidat soit amené justement à intégrer à sa réflexion des exemples provenant de différents phylums, ce qui devait le conduire à effectuer de riches parallèles et comparaisons.

5.2.2.2 Quelques commentaires et suggestions sur le contenu

Le propos ne peut se limiter à la description d'exemples. Ceux-ci doivent être présentés pour illustrer ou discuter des notions, des concepts. Bien sûr la dispersion peut passer par une locomotion active ou par multiplication végétative, mais détailler les différents types de vol ou les différents modes de scissiparité ne permettent pas d'approfondir la notion de dispersion ! Ces digressions sont hors sujet.

De nombreux candidats se sont par exemple attelés à décrire avec détails les différents types de locomotion, ou de reproduction asexuée. Bon nombre sont partis dans la présentation de nombreux exemples de multiplication végétative (marcottage, bouturage, greffe (!)) sans généralement replacer ces exemples dans la problématique du sujet. Ce mode de reproduction est souvent associé à une dispersion à courte distance et permet une colonisation locale à mettre en relation avec le côté clonal de ce type de reproduction (génotype a priori pas trop mal adapté localement puisque la plante mère parvient à se reproduire). On peut discuter de l'intérêt par exemple de combiner un mode de reproduction végétatif et sexué dans un cycle de vie (ex. des pucerons, reproduction parthénogénétique avec colonisation locale et formes ailées dispersantes). Le développement d'un bon exemple précis et maîtrisé par le candidat permettant d'illustrer des concepts est plus approprié qu'une série catalogue de description de modalités. Ces tendances générales peuvent être modérées aussi par des exemples contradictoires.

Afin d'enrichir ses propos, il est souvent utile d'adopter une démarche comparative plutôt que simplement descriptive.

L'exhaustivité doit être recherchée non pas dans les exemples mais dans les notions et concepts sous-jacents au sujet.

On peut regretter un manque de connaissance pratique des objets biologiques. Les exemples fournis par exemple concernant la dispersion des semences étaient quasiment toujours les mêmes (pissenlit). On aurait apprécié que les candidats se servent de leurs observations et expériences personnelles pour enrichir d'exemples concrets plus variés leurs propos. Nous ne pouvons qu'insister sur la nécessité pour de futurs enseignants de connaître de manière concrète et directe le vivant. Les candidats ne doivent pas uniquement se reposer sur un savoir théorique livresque mais ils doivent essayer de tisser plus de lien entre ce savoir et leur expérience et connaissance pratique des objets biologiques. A cette fin, nous ne pouvons qu'encourager les futurs candidats à s'investir dans des séances de travaux pratiques, des stages de terrain, à garder une forte curiosité sur le monde vivant qui les entoure et à parvenir à remobiliser ces savoirs lors des épreuves écrites (et orales) du concours.

Concernant la forme des copies, les illustrations sont peu nombreuses et généralement de piètre qualité. Les plans sont souvent non justifiés avec des articulations logiques entre les différentes parties qui sont non pertinentes car artificielles.

De nombreuses copies dissocient artificiellement dans leur plan les structures dispersées (I) et les adaptations permettant leur dispersion (II) ce qui conduit à un inventaire (I) et à une redite (II) qui récapitule la structure pour parler de son adaptation. D'ailleurs les relations structure-fonction des structures dispersées sont trop largement bâclées. Dans le même ordre d'idée, la notion d'organisme ne se limite pas aux animaux (I) et végétaux (II) ce qui disqualifie les plans utilisant cette archaïque dichotomie impropre à refléter la diversité du vivant et induisant aussi de très nombreuses redondances comme les convergences évolutives qui ont façonné la dispersion de manière analogue chez les animaux et les végétaux.

Certaines erreurs récurrentes méritent d'être corrigées ici.

- Le grain de pollen n'est pas un gamète. S'il se développe dans les parois de la spore qui lui a donné naissance, c'est un organisme pluricellulaire haploïde ou gamétophyte. En outre les spores sont traitées dans de nombreuses copies comme des structures de reproduction uniquement asexuée.
- La survie, la pérennité des espèces ou pire le « bien-être » des espèces sont des notions obsolètes beaucoup trop véhiculées dans les copies. La survie est un trait d'histoire de vie d'un individu (ou éventuellement d'une population) et comme la dispersion (qui est un attribut de l'individu ou de la population) permet d'augmenter la répartition d'une espèce elle peut conduire à l'isolement géographique et donc aboutir à une spéciation. La dispersion n'assure donc pas la « pérennité de l'espèce ». L'échelle de la population et la variation entre populations au sein d'une espèce sont trop méconnues des candidats.
- La compétition interspécifique est trop souvent annoncée comme une barrière à la dispersion, ce qui donne l'occasion de réciter la compétition interspécifique à de trop nombreuses copies. Il est donc important de rappeler que la compétition interspécifique se matérialise pour les exemples cités couramment (balanes/chtamale) après installation des larves et donc après la

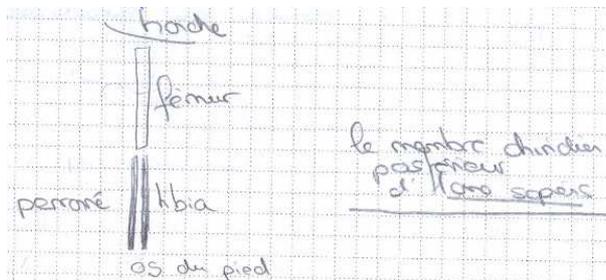
phase initiale de dispersion.

- La place d'un événement aussi crucial que la méiose dans le cycle de développement des végétaux tout comme le nom des générations (sporophytes/gamétophytes) n'est pas maîtrisée par un bon nombre de candidats.
- Dans les copies qui se sont intéressées aux conséquences écologiques et évolutives de la dispersion, ce processus est plus souvent énoncé comme une source de spéciation alors même que la dispersion entre populations est une force évolutive majeure d'homogénéisation génétique de ces populations.

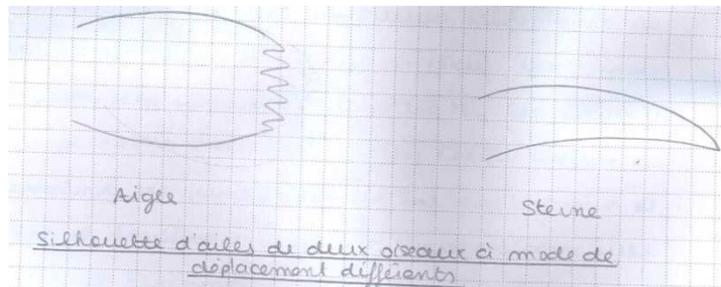
5.2.2.3 Commentaires sur la forme

• Dessins inutiles

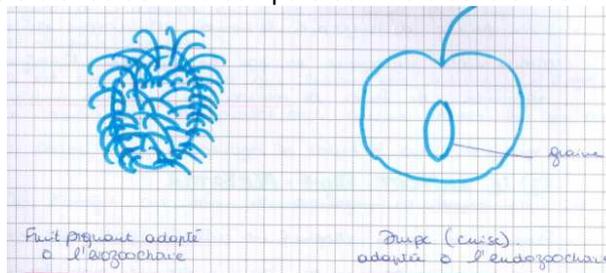
Le candidat (et le futur enseignant) doit, avant de se lancer dans la réalisation d'une illustration, réfléchir aux notions que cette représentation est censée illustrer. On peut donc enrichir la représentation et la légende en ce sens (vie ralentie, signalisation, attraction du véhicule de la dispersion, protection contre les agressions physiques et chimiques...). De nombreuses illustrations sont très simplistes et surtout n'apportent aucune information. Le contenu d'une illustration sera enrichi si, par exemple, le candidat se sert de cette illustration pour **comparer** des éléments ou **mesurer** quelque chose.



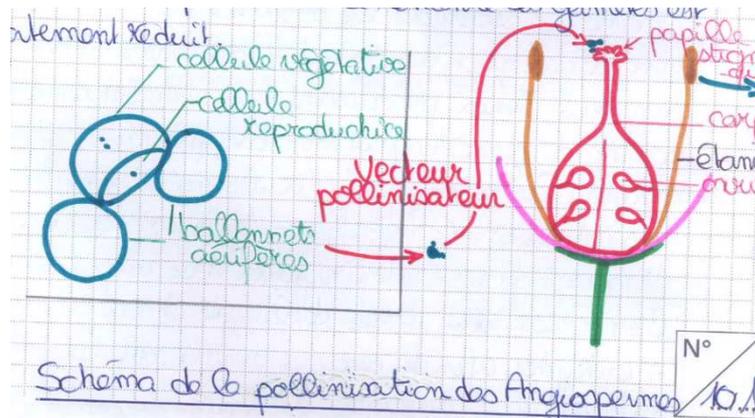
Dessin simplistes sans intérêt.



Ici on a une volonté louable d'effectuer une comparaison mais celle si reste assez pauvre.



Dans le dessin ci-dessus, on peut douter de la pertinence esthétique de l'utilisation de feutres de couleur. Dans le cas de la cerise (à droite;-), les notions à faire passer dans le cadre du sujet sont par exemple le rôle de protection de la graine joué par le noyau (non figuré), ainsi que la pulpe juteuse et sucrée et la couleur vive du fruit en lien avec l'endozoochorie (non figurés). On voit que ces trois éléments sont absents de cette représentation.



Grâce à un joli schéma synthétique on peut rassembler pollinisation entomo- et anémogame.

- **Précision du vocabulaire**

Utiliser un vocabulaire précis. Par exemple, éviter de dire dispersion volontaire ou involontaire et préférer les qualificatifs de passive ou active.

Éviter l'utilisation de qualificatifs **vagues** et **subjectifs**. Par exemple le terme « important » nécessite généralement que l'on précise en quoi quelque chose est important. (« ...adaptés à des mouvements importants dans la durée »). Le correcteur mais aussi les élèves n'ont pas à interpréter la pensée du candidat ou de l'enseignant. Le candidat doit faire l'effort de chercher et utiliser un qualificatif plus précis que ce terme portant en lui-même en fait bien peu d'information.

L'usage des **guillemets** est sauf cas particuliers à proscrire. Il est souvent utilisé par le candidat pour éviter de définir précisément le terme utilisé et laisse à nouveau au lecteur le soin d'interpréter sa pensée..

« ... dispersion des graines permet un certain « déplacement » des espèces » → préférer "une variation de l'extension de l'aire de répartition des espèces".

De même, il convient d'éviter l'utilisation d'expression de type « plus ou moins » (« la dispersion sera donc plus ou moins facile en fonction du milieu de vie ») qui en général conduit à écrire des phrases ne contenant pas d'information précise. De même les phrases se terminant par « blablabla... ou non » peuvent être supprimées sans que le propos ou la démonstration ne soit affectée.

Heureusement, il existe une grande diversité dans la nature des vecteurs de dispersion. Il peut être biologique (comme vu précédemment) ou non. Il est plus ou moins efficace dans le temps et dans l'espace. Il optimise généralement la dispersion des

Illustration des "ou non" et des "plus ou moins" portant bien peu d'information.

Dans la même lignée, nombreuses copies sont constituées en grande partie de propos très vagues caractérisées par un usage fréquent du terme "certain" sans jamais préciser de quoi on parle. Par exemple « certaines stratégies sont développées... pour conquérir certaines niches écologiques »... Quelles sont ces stratégies ? Quelles niches ? Quels organismes ? Le propos doit s'appuyer sur des éléments factuels les plus précis possible. On ne peut pas se limiter à des généralités aussi vagues.

- **Utilisation des connecteurs logiques "donc", "ainsi"**

La graine est issue de la fécondation. lorsqu'elle germera elle donnera un nouvel individu (Figure 4). La graine est donc bien une structure de dispersion d'organismes végétaux.

La logique du "donc" dans l'extrait ci-dessus est absente. Le candidat doit éviter ce genre de raccourcis et montrer qu'il est capable de dérouler une argumentation logique cohérente. Ce type de raccourcis dénote un manque de rigueur scientifique.

Cependant, la dispersion par le biais d'insectes pollinisateurs reste largement répandue aussi, au cours de l'évolution des adaptations particulières des plantes se sont conservées. Ainsi, les abeilles (*Apis mellifera*) possèdent sur leurs pattes arrière des sacs où elles entrapent du pollen dans le but de le donner comme nourriture à leurs larves. Lors du trajet de retour à la ruche, du pollen peut s'en échapper.

Ici à nouveau la logique du "ainsi" est assez obscure.

- **Orthographe et syntaxe**

La qualité de l'expression, la rigueur du propos ne peuvent reposer sur une utilisation approximative de la syntaxe et une orthographe sommaire. De trop nombreuses copies témoignent de connaissances limitées sur l'orthographe de nombreux mots, l'accord des verbes, les règles syntaxiques élémentaires. Cela pose un double problème, l'un relatif à la maîtrise des savoirs ("ce qui se conçoit bien s'énonce clairement") et l'autre relatif à la transmission des savoirs à des élèves.

5.2.3 Éléments de correction

Tous les organismes bougent (mouvements) au moins à un moment de leur cycle de vie. Ces mouvements ainsi que l'organisation spatiale des habitats et la composition des écosystèmes vont déterminer la distribution des organismes, leur abondance et une part de leur évolution.

5.2.3.1 Termes du sujets

- **Notion d'organisme**

Entité autonome (génétiquement) dans son fonctionnement et son développement ou reproduction, souvent composée d'un ensemble d'organes. Le programme génétique doit suffire pour permettre le développement de l'organisme dans un contexte où celui-ci est possible.

Extension du concept aux unicellulaires & virus mais exclusion des gamètes (pas de développement ni de reproduction autonome génétiquement ni de division cellulaire).

On pouvait éventuellement attendre une discussion argumentée sur le grain de pollen qui doit légitimement faire partie du sujet. On peut faire le parallèle entre les grains de pollen et les organismes mâles des animaux d'un point de vue démographique.

- **Notion de dispersion**

On attendait des candidats qu'ils discutent et tentent de définir la notion de dispersion : déplacement dans l'espace généralement unidirectionnel, unique et définitif (à la différence des migrations saisonnières) ou au moins rare au cours de la vie de l'organisme, d'amplitude assez large (à la différence des mouvements au sein d'un territoire). Ce déplacement est généralement suivi d'une phase d'installation de l'organisme. La dispersion concerne des individus ayant conservé un potentiel reproducteur. C'est un trait d'histoire de vie fondamental de tous les organismes vivants.

La colonisation locale peut être considérée à la limite comme une sorte de dispersion à petite échelle (multiplication végétative).

On pouvait aussi discuter de la notion de dispersion dans le temps. La vie ralentie, les formes de dormance permettent à des propagules de traverser des distances temporelles variables et ré-émerger dans un nouveau milieu même si celui-ci est localisé au même endroit que le lieu de production (ex. germination de graines de milieu ouvert après l'ouverture du milieu dans une forêt). Les dispersions dans l'espace et le temps agissent d'ailleurs souvent de concert.

On peut distinguer dans un événement de dispersion trois étapes principales : le départ de l'habitat d'origine ; une phase transitoire de déplacement dans l'espace et le temps ; une phase de sélection de l'habitat et d'installation dans le nouvel habitat. On peut alors réfléchir aux contraintes associées à ces trois phases et étudier les adaptations sélectionnées pour les franchir au mieux.

5.2.3.2 Commentaire sur les limites du sujet.

La problématisation et la contextualisation du sujet sont généralement très pauvres voire inexistantes dans l'introduction. Les exemples utilisés pour contextualiser la notion de dispersion sont dans la plupart des cas mal choisis, voire totalement hors de propos. Dans les meilleurs des cas, la problématique se résume à mettre en forme interrogative le pourquoi disperser, comment disperser et quelles sont les conséquences de la dispersion.

Les termes et concepts abordés sont très rarement définis. Quand c'est cependant le cas, les candidats se cantonnent souvent à des définitions rigides ("avec pollen", "sans pollen", "que pollen") et péremptoires sans jamais discuter la notion ni même justifier leur choix.

Le terme organisme n'est pratiquement jamais défini hormis quelques copies pour lesquelles organismes équivaut à êtres vivants. Un certain nombre de candidat n'ont pas jugé bon d'écartier les gamètes de ce sujet et ils se sont lancés dans des explications approfondies sur la mobilité du flagelle... Or à notre sens les gamètes ne peuvent pas être considérés comme des organismes et ils ne participant que très marginalement à la dispersion des organismes qui les ont produits.

La notion de dispersion, lorsqu'elle est définie, se résume souvent au déplacement d'individus d'un endroit à un autre ou bien est régulièrement confondue avec la distribution des organismes, le déplacement, le mouvement ou même parfois la reproduction. Si la dispersion a des conséquences réelles sur la répartition des organismes et suit souvent un événement de reproduction, ces termes n'en sont pas pour autant synonymes, loin s'en faut.

Quelques copies (et c'est très appréciable) se sont intéressées aux limites de la notion d'organisme ou de dispersion.

5.2.3.3 Quelques attendus

• Méthodologie

On pouvait s'attendre à quelques développements sur les méthodes de mesure de la dispersion : techniques de marquage-capture-recapture, mesures de FST, FIS, utilisation de poudres fluorescentes pour mesurer la dispersion du pollen, suivi radiotéléométrique, utilisation de balises, etc. Quasiment aucun candidat n'a abordé cet aspect.

Après avoir défini de manière argumentée ce que l'on entend par dispersion, et par organismes, on est amené à réfléchir aux questions pertinentes que l'on peut se poser à propos de la dispersion. Cette réflexion peut bien sûr aider à structurer le plan d'un devoir. Tout d'abord, pourquoi disperser ? Discussion sur les coûts, les avantages, la manière dont ce trait a pu être sélectionné au cours de l'évolution. Puis, comment disperser ? Quelles adaptations particulières permettent aux organismes de disperser, en réduisant les coûts associés à cette dispersion et en rendant cette dernière plus efficace. Enfin, on peut étudier les conséquences écologiques et évolutives de la dispersion.

• Pourquoi disperser ?

↳ To disperse or not to disperse, that's the question

On peut partir d'un constat initial : l'habitat d'origine est par définition propice à la croissance et à la reproduction du ou des géniteurs. Paradoxe entre le coût (mortalité, production de structures dispersantes) et l'universalité de ce trait : comment a-t-il été sélectionné ?

La qualité de l'habitat, de l'écosystème peut être modifiée :

- Par une disparition brutale (perturbation catastrophique, tels que feu, tempête, inondation, mort de l'hôte pour un parasite).
- Par une modification progressive (fermeture du milieu, succession, réaction immunitaire, changement climatique, arrivée d'un prédateur, d'un compétiteur)

Les interactions intraspécifiques peuvent sélectionner pour de la dispersion. On peut parler de :

- La dispersion des jeunes permet de diminuer la compétition entre apparentés. Essaimage des hyménoptères sociaux.
- La compétition pour les ressources : territoire, nourriture, ex. des espèces territoriales telle que les oiseaux chanteurs. Notion de densité dépendance.
- La compétition pour la reproduction : espèces polygynes, Lions avec mâles erratiques.
- L'effet de la dépression de consanguinité.

• Quand disperser ?

Position de la phase dispersante dans le cycle de vie.

- Phase souvent précoce : dispersion natale ou juvénile, larves planctoniques, graines, spores, mais dispersion des adultes grâce au vol chez certains insectes.
- Changements de milieux de vie liés à une phase de dispersion pour les espèces subissant une métamorphose : Insectes, Ascidie, Huitre, Amphibien.
- Alternance de phases dispersantes et non dispersantes : ex. pucerons.
- Synchronisation temporelle avec le cycle de vie d'une autre espèce : ex. des larves de schistosome et des périodes d'activités des hôtes.
- Dispersion couplée des partenaires d'une association symbiotique : ex. des sorédies & isidies des lichens.

Réponse à une modification de l'habitat.

- Perception de la dégradation de l'habitat. ex de la fructification (spores) de l'amibe sociale *Dictyostelium* après épuisement local des ressources
- Notion de prédictibilité de la dégradation de l'habitat et cyclicité des conditions environnementales : ressources éphémères (fruits pourris & drosophiles). Perception de la saison via la durée du jour, etc.
- Des modifications de l'habitat non prévisibles vont sélectionner pour des stratégies de dispersion non nulles. On peut alors observer de la dispersion même dans un habitat temporairement stable.

Pour les candidats qui ont abordé cette question, c'est la dégradation de l'habitat qui génère en temps réel la dispersion. Quasiment aucun candidat n'a exprimé l'idée que la variabilité passée des conditions environnementales (régulière et/ou stochastique) a sélectionné des stratégies de dispersion non nulle. Pourtant l'observation de faits simples devrait leur avoir fait prendre qu'un pissenlit par exemple produit des fruits dispersant quel que soit les conditions de l'environnement dans lequel il pousse et non simplement en réponse à une perturbation de son habitat (ça serait d'ailleurs trop tard si celle-ci est trop brutale).

Souvent la dispersion est évoquée comme un moyen d'éviter le surpeuplement, l'épuisement local des ressources du milieu. Or une telle réponse suppose de la sélection de groupe, de l'altruisme ou si la population est bien structurée spatialement, de la sélection de parentèle. On pense rarement à la consanguinité, la compétition entre apparentés et tout simplement le fait que l'extinction locale est inéluctable.

Le déterminisme de la dispersion (dans l'espace) se résume le plus souvent à la limitation des ressources nutritionnelles. La limitation des autres ressources et la détérioration de l'habitat sont le plus souvent absents des copies. Les aspects temporels de la dispersion ne sont quasiment jamais abordés et lorsqu'ils le sont, c'est de manière incidente mais jamais explicitement comme un des aspects de la dispersion des organismes.

• Comment disperser ?

On pouvait commencer par traiter des contraintes spécifiques à la phase de transport telles que la très forte mortalité liée à la traversée d'un milieu contraignant, à la durée de la traversée, à l'incertitude sur l'arrivée et les coûts d'installations liés à la compétition, au manque d'expérience etc.

En réponse à cette forte mortalité la production d'une très grande quantité de propagules a été sélectionnée (ex. du pollen anémophile, des larves planctoniques, graines d'orchidées). La sélection peut aussi favoriser la survie des propagules : déshydratation, vie ralentie, protection physique (téguments, noyau), réserves. Notion de compromis évolutif entre la quantité et la qualité (ex. graines d'orchidées - noix de coco).

D'autres traits vont être sélectionnés comme la distance de dispersion, la rapidité de la dispersion, le ciblage vers un habitat d'arrivée favorable (pollinisation entomophile).

Les modalités de la dispersion sont abordées dans la quasi totalité des copies (de manière plus ou moins pertinente). Cette partie s'est trop souvent transformée en un catalogue plus ou moins précis d'exemples redondants. Si le grain de pollen et le pappus du pissenlit sont le plus souvent cités, les différentes contraintes, avantages et inconvénients des différentes modalités sont généralement traités avec moins d'acuité que ce que l'on peut attendre de candidats à l'agrégation. La relation structure-fonction n'est de manière très surprenante quasiment jamais abordée.

• Modalités liées au transport

Transport passif et sustentation (plancton aérien, aquatique). Description des structures de portance (bras des larves pluteus, pappus des akènes de pissenlit, petite taille du pollen anémophile, pucerons ailés, etc.)

Transport passif sur un animal actif (ectozoochorie). Description des structures d'accrochage (épines, crochets, pollen entomophile, gaillet, benoite, etc.).

Transport passif dans un animal actif (endozoochorie, parasites). Exemples d'adaptations : noyau des drupes, mucilage autour des graines des baies.

Être transporté par un agent spécialisé permet de restreindre les milieux d'arrivée et donc un meilleur ciblage de l'habitat d'arrivée. Ex. des spécificités insectes pollinisateurs-plantes. Ciblage du lieu de dépôt des graines de gui dans les fientes de grive, etc.

Transport actif (autochorie). Présence d'adaptations particulières sur les phases dispersantes d'animaux (fourmis ailées...). Ex. chez les des végétaux: concombre d'âne, géranium, ouverture des gousses de genêt, etc.

Système pour déclencher le départ au bon moment : sensibilité aux conditions de l'environnement (ex. ouverture du péristome des capsules de mousse en fonction de l'hygrométrie) ; attraction des prédateurs de fruits (modification du goût et couleur des drupes des baies en lien avec la maturité des graines).

Relation entre véhicule de dispersion et distance (courte/longue; généraliste/spécialiste; ...). Discussion sur l'importance écologique et évolutive des distances maximales de dispersion même si ces évènements sont rares (colonisation de nouveaux habitats distants, ex. îles).

- **Modalités liées à la survie**

Les difficultés de la dispersion

Vie ralentie, déshydratation résistance aux conditions extrêmes, résistance à la durée (graine, spore, grain de pollen, kystes, rotifères, tardigrades).

Réserves énergétiques (corpulence, cotylédons). Compromis entre autonomie et coût de transport (ex. criquet pèlerin, réserves glucides/lipides, taille des graines).

Protection contre les agressions physiques : (tégument, sporopollenine, noyau...)

Protection contre la prédation au cours de la phase de dispersion : transparence des larves planctoniques.

Dans de nombreuses copies, on explique que la graine est en vie ralentie, qu'elle possède des réserves mais sans expliquer en quoi réserves et vie ralentie peuvent être considérées comme des adaptations à la dispersion.

- **Arrivée et sélection de l'habitat**

Où s'installer ?

- Système pour faciliter l'arrivée : spécificité du pollinisateur (odeur, morphologie florale) ou du prédateur (baie du gui mangée par des oiseaux qui se perchent sur des arbres).
- Sélection des sites d'arrivées. Estimation de la qualité de l'habitat. Indices directs et indirects (présence de conspécifiques et mesure de leur état/succès reproducteurs, ex. de la Mouette tridactyle, des gobemouches). Ex. de sélection de l'habitat par des larves planctoniques (ex. balanes).

Quand s'installer ?

- Levée de dormance, condition de germination, positionnement dans la saison (ex. banque de graines dans le sol).

Coûts d'installations. Découverte du milieu (ressources, dangers..). Compétition avec des individus déjà présents plus expérimentés, plus adaptés...

Les aspects sur la qualité, la sélection, la temporalité de l'installation de la forme dispersante sont très rarement abordés.

- **Faire face à un environnement hétérogène dans le temps et l'espace et peu prévisible**

On peut considérer que la non prédictibilité de la distribution spatio-temporelle des habitats favorables a sélectionné pour des stratégies de dispersion intrinsèquement hétérogènes (stratégies de répartition des risques dite de "bethedging").

- Étalement dans le temps des départs : tous les akènes d'un pissenlit ne se détachent pas au même moment, maturation des étamines progressives, libération progressives des graines d'une gousse d'orchidée.
- Étalement dans l'espace : exemples de polymorphisme des semences conduisant à augmenter la variance des distances de dispersion (*Dimorphotheca*, *Heterotheca*).
- Variabilité des conditions de levée de dormance,...

Notion de convergence évolutive des morphologies et des stratégies des formes dispersives (faire le parallèle entre graines, spores champignons, spores de fougères, grain de pollen).

Discussion du lien entre reproduction sexuée et asexuée et distance de dispersion (diversité génétique & adaptation locale). La reproduction asexuée est souvent associée à une colonisation à

courte distance bien que ce patron souffre de nombreuses exceptions (conidies par ex.). La reproduction asexuée permet de conserver des associations de gènes localement adaptées. La variabilité génétique dans la descendance issue de reproduction sexuée peut permettre d'augmenter les chances qu'une des formes parvienne à conquérir des habitats éloignées aux conditions différentes de celles de l'habitat d'origine.

Les reproductions sexuées et asexuées sont très souvent traitées dans les copies, parfois longuement en passant en revue toutes ses modalités mais sans que les différences en terme de brassage génétique, de vitesse, de distance et autres aspects de la dispersion ne soient mis en avant. Il s'agit dans la majorité des cas d'une simple présentation des deux modes de reproduction sans que les rapports avantages/inconvénients et les conséquences en termes de dispersion ne soient abordés.

- **Conséquences écologiques et évolutives de la dispersion**

Conséquences écologiques

- Colonisation d'un nouvel habitat (suite à néoformation ou extinction locale retrait glacier, île volcanique, catastrophe, nouvel hôte).
- Dispersion et biodiversité: lien entre richesse insulaire et distance au continent (modèle en île, biogéographie)
- Dispersion et successions écologiques (lien entre taille des semences et modalités de transport et phase de la succession; lien entre anémochorie et milieu ouvert et endozochorie et milieux fermés).

Conséquences démographiques

- Maintien de la métapopulation (balance extinction locale/renforcement et nouvelles colonisation).
- Populations sources, populations puits (exemple de la recolonisation des Alpes françaises par le loup ; populations éteintes, populations sources dans les Abruzzes).

Conséquences génétiques

- Flux de gènes, diversité génétique, avantage contre la consanguinité mais le flux de gène peut casser les adaptations locales.
- Lien avec la spéciation: la dispersion entretient le flux de gènes, et favorise le maintien de l'unité génétique de l'espèce, sinon une dérive puis une spéciation allopatrique sont possibles. Importance des événements de dispersion même rares. Lien avec les zones refuges au cours des glaciations (ex. Méditerranée, bassin amazonien; comparaisons de la biodiversité Europe Amérique du Nord).

Dispersion en relation avec les activités humaines.

- Limitation de la dispersion : la fragmentation de l'habitat conduit à une fragilisation de la métapopulation. Les extinctions locales ne sont plus compensées pas des invasions. Ex. des routes, déforestation, aménagement, emprise agricole, canaux...
- L'homme, un agent dispersant. Ex. des espèces envahissantes (Vison, Écrevisse de Louisiane, Ailante, Conyza, Moule zébrée etc.)
- Espèces commensales (rats, souris, cafards)
- Problèmes économiques : dispersion des adventices de culture, dispersion des virus/maladies, dispersion des gènes des OGM
- Changement climatique (forçage anthropique), déplacement des aires potentielles de répartition. Ex. de la remontée des aires de distribution des espèces alpines (dispersion bloquée vers le bas). Question de la vitesse de dispersion, importance des corridors écologiques, lien avec la 6eme extinction.
- Dispersion artificielles volontaire (ex. de réintroduction (Vautour fauve dans les Grands Causses), de renforcement (Ours brun des Pyrénées), d'introduction (Lapin en Australie).

Les aspects évolutifs, notamment la spéciation, sont abordés dans la moitié des copies, avec plus ou moins de bonheur. Si certaines copies traitent ces aspects avec les versants démographiques, génétiques et écologiques, d'autres les abordent uniquement en les citant. Une confusion fréquente a été d'indiquer que la dispersion permettait la spéciation sans préciser qu'un isolement de populations (donc sans dispersion) favorisait la spéciation allopatrique.

Le concept de coévolution a été régulièrement évoqué sans que les exemples choisis soient appropriés (ex. Coévolution ophrys abeille-abeille). Cette notion semble mal comprise par les candidats.

Les niveaux de sélection sont aussi mal compris par la plupart des candidats. On a pu lire de manière récurrente que tel ou tel trait a été sélectionné pour "permettre la pérennité de l'espèce". Nous ne pouvons que conseiller aux futurs candidats de bien réfléchir à la manière dont l'évolution se déroule et aux niveaux de sélections concernés (gènes, individus, mais rarement groupes et encore moins espèces).

Les aspects anthropiques sont assez souvent abordés mais là aussi le plus de manière incidente et sans mettre l'accent sur les différents rôles de l'Homme dans la dispersion des organismes. Le rôle de l'Homme comme agent dispersant est généralement cité (avec un exemple d'espèce invasive) mais tous les autres rôles de l'Homme sont la plupart du temps ignorés.

La conclusion se résume le plus souvent à un résumé de la copie. La mise en perspective et l'ouverture sont très pauvres voire absentes.

5.3 SECTEUR C

5.3.1 Sujet

L'eau et la dynamique de la Terre solide

5.3.2 Éléments de correction

5.3.2.1 Vue d'ensemble

Le rôle de l'eau est bien sûr central dans l'évolution de notre planète mais on pense surtout à son intervention dans les processus externes, et en particulier dans les enveloppes externes, atmosphère et hydrosphère. L'eau est pourtant présente dans la Terre interne, même à très grande profondeur, et elle intervient dans nombre de processus profonds de premier ordre. Nous avons choisi les termes de *Terre solide* à la place de *Terre interne* pour que le cycle complet de l'eau, depuis la formation des roches sédimentaires jusqu'à la déformation ou la fusion du manteau, soit traité. La plupart des candidats ont bien compris l'étendue du sujet, et rares sont ceux qui ont par exemple éliminé les aspects magmatiques sous prétexte que le magma n'est pas solide mais liquide... Il va sans dire que les enveloppes externes étaient hors sujet, sauf quand il s'agissait de traiter des différents types de couplages entre dynamique interne et dynamique externe. Le détail donné à la fin de ce corrigé donne une idée de l'étendue des thématiques qu'il fallait aborder. Aucun candidat n'a fait totalement le tour du sujet comme on pouvait s'y attendre et ils ont souvent privilégié soient les processus externes (sédimentologie s.l.), soient les processus internes (fusion du manteau, rhéologie) et rares sont ceux qui ont traité des couplages entre interne et externe.

Une solution simple pour faire le tour du sujet était de traiter les aspects externes, les aspects internes et les couplages interne-externe. On voyait alors facilement que l'eau joue un rôle majeur à différents niveaux. Dans le domaine externe l'eau est un agent majeur de l'érosion mécanique (cryoclastie...) ou chimique (hydrolyse et formation de minéraux hydratés), du transport des éléments rocheux ou des ions et de leur dépôt dans des corps sédimentaires variés. Son rôle majeur est de déplacer les masses rocheuses à la surface depuis les montagnes jusqu'aux bassins. De cette façon on met en évidence un premier couplage entre les processus externes et internes. L'érosion des chaînes active facilite leur croissance et permet la remontée des roches profondes dans les zones de collision ou de subduction continentale ; cette érosion et le dépôt des sédiments détritiques dans les bassins d'avant-pays localise à la déformation à l'échelle crustale. Le climat (s.l.) interagit avec les processus sédimentaires et donc avec les processus internes. L'eau rentre dans le cycle interne grâce aux zones de subduction ou aux failles. Elle peut atteindre des profondeurs très importantes, au moins la zone de transition entre le manteau supérieur et le manteau inférieur comme le suggère les études expérimentales sur les minéraux qui constituent le manteau, tels que l'olivine et ses diverses formes cristallographiques, minéraux sans eau dans la formule structurale mais qui peuvent embarquer des quantités assez importantes d'eau à grande profondeur dans le manteau, qui est donc un réservoir important de l'eau de la Terre. Cette eau profonde, dans la croûte et dans le manteau va jouer plusieurs types de rôles : elle facilite la fusion des roches, elle les rend plus facilement déformables, elle transporte des éléments et de la chaleur. Si le premier point a en général été bien vu par les candidats, les deux autres ont grandement été ignorés ou peu traités. Les candidats semblent sous-estimer grandement l'importance de l'eau profonde pour faciliter la déformation cassante ou ductile des roches, de la croûte au manteau. L'eau est le lubrifiant principal de la tectonique.

5.3.2.2 Quels sont les écueils principaux relevés au cours de la lecture des copies ?

Introduction et conclusion : les candidats n'ont pas fait preuve d'une imagination débordante pour introduire le sujet et conclure. Dans la très grande majorité des copies l'introduction était basée sur des généralités sur la Terre, seule planète aussi riche en eau, sous ses trois formes grâce à sa position par rapport au soleil. La planète bleue a eu un énorme succès. Qu'il s'agisse de l'introduction ou de la conclusion il y avait très souvent, voire presque toujours une phrase ou un développement

sur l'eau et la vie qui n'était pas indispensable ici sauf pour parler des couplages entre interne et externe. La dynamique des enveloppes externes, éliminée à juste titre dès l'introduction par la plupart des candidats, a souvent fait l'objet de phrases très banales, sur la pluie, le vent, les nuages, très loin du niveau attendu pour passer l'agrégation. Un grand nombre d'introductions présentaient la logique, ou plutôt l'absence de logique, suivante : l'eau existe en grande quantité à la surface où elle est indispensable à la vie, mais alors quel est son rôle en profondeur ?

Très peu de candidats ont pensé à introduire le sujet par des observations simples telles que la présence d'eau dans les roches magmatiques, son rôle évident dans la dynamique éruptive, l'importance de l'eau dans les roches sédimentaires et la question de son devenir en profondeur puisque ces roches subduisent. Cette remarque doit être mise en parallèle avec l'impression très nette que les candidats aiment bien raconter une histoire, décrire un scénario (naissance de la Terre, de l'hydrosphère...), mais qu'ils ont souvent beaucoup de mal à partir des faits d'observation ou des expériences qui sont sous-jacents dans ces scénarios pour construire un raisonnement scientifique.

Quelques « hors-sujets » manifestes : La dynamique interne de la Terre (tectonique des plaques, convection...) ne devait pas être traitée en tant que telle mais seulement en montrant comment l'eau peut interagir avec elle... (rhéologie, thermique, fusion...). Les nappes phréatiques ne faisaient pas partie du sujet. Le processus de karstification était à la limite du sujet.

Les points peu ou mal traités : si les thématiques touchant à la sédimentologie et aux processus magmatiques ont été souvent assez bien traités, de nombreux points sont restés dans l'ombre ou ont été seulement survolés.

Couplages interne-externe : Les aspects externes sont rarement mis en rapport par les candidats avec la dynamique interne. Le déplacement des masses en surface par les processus d'érosion-transport-sédimentation est un des rôles majeurs de l'eau. Il intervient de façon prédominante dans les couplages interne-externe en transférant des masses crustales d'un endroit à l'autre, de la chaîne de montagne au bassin d'avant-pays par exemple, ce qui a une influence sur la localisation de la déformation à cette échelle. De même le rôle joué par les sédiments gorgés d'eau dans les zones de subduction comme « lubrifiant » est rarement évoqué, de même que l'introduction de l'eau dans le manteau par la subduction. On notera tout de même que le soulèvement post-glaciaire et le fluage mantellique associé sont assez souvent traités.

Les moteurs des cycles externe et interne de l'eau : Si le cycle externe de l'eau est en général mis en rapport avec l'énergie fournie par le soleil, il est très rare de voir des copies dans lesquelles la chaleur interne active le cycle interne ; pourtant le parallèle était facile.

Le rôle de l'eau dans la dynamique profonde de la lithosphère continentale : ce point majeur est très sous-estimé en général. Un très petit nombre de copies abordent les processus magmatiques, hydrothermaux, tectoniques où l'eau joue un rôle majeur. Au moins autant que dans la lithosphère océanique, voire plus, l'eau est un élément très important dans les processus de fusion partielle, de transport des éléments en profondeur, de localisation de la déformation par affaiblissement de la résistance des roches dans les domaines cassant et ductile. L'anatexis de la croûte continentale n'est vue qu'au travers de l'exemple des chevauchements de type himalayen, l'anatexis post-orogénique est ignorée des candidats.

Rhéologie : de façon générale les aspects rhéologiques sont ignorés des étudiants. Nous venons de l'évoquer pour la croûte continentale mais l'eau joue un rôle majeur pour affaiblir les roches de la croûte et du manteau en domaine continental et océanique, et ceci de diverses façons. La présence d'eau, même en très faible quantité, dans les roches abaisse leur résistance. L'eau dissoute dans les minéraux nominalement anhydres comme le quartz et l'olivine les rend beaucoup plus facilement déformables, ce qui contrôle en grande partie les enveloppes rhéologiques. Une bonne partie des discussions sur la rhéologie de la lithosphère tient à la présence ou l'absence d'eau. La cristallisation par les réactions métamorphiques de phases minérales hydratées, qui sont en général moins résistantes, comme les micas, les chlorites ou les serpentines, est un autre facteur d'affaiblissement des roches. De même la présence d'eau sous forme de films très fins aux joints des grains minéraux facilite le glissement aux joints de

grains, un mécanisme de déformation significatif. Les processus de dissolution-précipitation (pression-solution) sont également importants dans la déformation de la croûte. Les interactions et rétroactions entre déformation, circulation des fluides et réactions métamorphiques ne sont jamais traitées. Finalement la pression de fluides dans le domaine cassant facilite également la fracturation et modifie donc le cycle sismique. Cette grande variété des rôles de l'eau dans la déformation n'a été que rarement évoquée.

Les grands corps sédimentaires : les grands deltas, les bassins sédimentaires de différents types (intra-cratoniques, avant-pays...) sont rarement évoqués dans les copies. De manière très surprenantes les candidats décrivent souvent en détail la sédimentation dans les méandres des rivières mais pas les grandes accumulations sédimentaires qui jouent un rôle important dans la dynamique lithosphérique. Pourquoi ce choix ?

Fluides profonds et propriétés de solvant de l'eau : l'eau comme solvant et transporteur d'éléments est seulement évoquée pour la surface, très rarement pour les domaines profonds. Les processus syn-métamorphes impliquant l'eau (réactions métamorphiques, veines...) sont souvent ignorés ainsi que les aspects métallogéniques associés. Les candidats connaissent très peu de choses sur les fluides métamorphiques, les veines, l'hydrothermalisme continental, les fluides et les granites, la métallogénie.

Réactions métamorphiques et minéraux : les candidats semblent ignorer les réactions métamorphiques classiques qui impliquent l'eau, hydratation ou déshydratation. Certaines sont pourtant très connues comme la déstabilisation de la muscovite. Il aurait été utile également de citer des réactions n'impliquant pas l'eau en comparaison. De même les formules des minéraux les plus simples ne sont pas citées. Il était pourtant facile de citer quelques exemples de minéraux anhydres et de minéraux hydratés et de montrer dans quels sites cristallographiques rentrent les ions OH^- . L'anatexie de la croûte.

Inclusions fluides : le piégeage des fluides dans les inclusions des minéraux, les méthodes d'étude et la signification du contenu de ces inclusions semblent totalement inconnus des candidats.

Quelques diagrammes fantaisistes : si le diagramme de Goldschmidt est assez souvent cité et reproduit par les candidats, le positionnement des différents ions dans le diagramme est parfois fantaisiste. Le diagramme de Hjulstrom est souvent mal reproduit et le diagramme de phase de l'eau est très souvent mal représenté ; l'état super-critique est presque toujours ignoré.

Les applications de la géologie : ce sujet offrait la possibilité de traiter des applications des sciences de la Terre, en particulier les aspects géothermiques et métallogéniques. Très peu de candidats y ont pensé. Leurs connaissances dans ces domaines sont sans doute très lacunaires.

5.3.2.3 Les attendus du sujet

NB : Ceci n'est pas une rédaction détaillée, ni un plan, car de nombreuses façons de concevoir ce sujet sont pertinentes, mais plutôt une explication succincte des attendus du sujet sur le fond scientifique.

I. Les cycles de l'eau, interne et externe, les différentes échelles de circulation. Vision globale

I-1. Cycle interne et cycle externe

- Le cycle externe de l'eau est animé par l'énergie solaire : on décrit très succinctement la convection atmosphérique et océanique, les eaux continentales et océaniques. La circulation ? : **évaporation, précipitations, écoulement vers les fleuves, puis vers l'océan.**

- Le cycle interne de l'eau est animé par la chaleur interne. On rappelle les notions de gradient géothermique, de gradient conductif et de gradient convectif. L'eau circule en tant que fluide indépendant ou entraînée par les matières solides dans lesquelles elle est dissoute ou intégrée à la structure cristallographique. **Circulations d'eau dans les croûtes supérieure et moyenne connectées avec la surface...contrairement aux niveaux plus profonds.**

- Synthèse sur les différentes échelles de convection, atmosphère, océan, manteau, convection de fluides et convection de matière solide. Schémas synthétiques des différents systèmes de circulation de l'eau dans la croûte, dans le manteau, dans les océans et l'atmosphère...

I.2. Les différentes formes de l'eau, bilan chimique de la Terre (réservoirs et quantification)

- Les principaux éléments chimiques constituant la Terre, l'importance de l'oxygène, ses différentes formes, la molécule d'eau.

- La présence d'eau liquide en grande quantité est une caractéristique de la Terre. Comparaison de la Terre avec les autres planètes, les conditions de pression et de température à la surface, la distance au soleil... pour en tirer des conclusions sur notre planète.

I.3. Les différentes formes de l'eau

- L'eau libre sous forme liquide ou gazeuse (dans les roches, on ne parle ici plus d'atmosphère et d'océans).
- L'eau sous forme OH^- dans les minéraux.
- L'eau super-critique en profondeur.

II. Où est l'eau et sous quelle forme ?

II.2. L'eau dans les minéraux

- Les minéraux nominalement hydratés, l'eau dans la structure cristalline, les différentes familles de minéraux (phyllosilicates, **dont minéraux argileux**, amphiboles... hydroxydes...) des exemples.
- Quelques formules de minéraux, hydratés ou non.
- L'eau dissoute dans les minéraux nominalement anhydres tels que le quartz, l'olivine ou les pyroxènes. Il suffit de mentionner que l'eau peut se trouver à de faibles concentrations dans les minéraux dont la formule ne contient pas d'eau. Les méthodes d'études...
- Les inclusions fluides. L'eau piégée pendant la cristallisation des minéraux, donc témoin des conditions de cristallisation, roches magmatiques ou métamorphiques. Différents types d'inclusion (mono, di ou triphasée...). Les méthodes d'étude...

II.3. L'eau dans les roches

- L'eau aux joints de grain dans les roches. L'eau comme un film de très faible épaisseur entre les grains.
- L'eau dans les veines. Les veines, ou fentes de tension, sont des sites privilégiés d'accumulation des minéraux déposés par les fluides. La porosité des roches métamorphiques. Elle décroît avec la profondeur (pression lithostatique...).
- Pression lithostatique et pression hydrostatique. Dans les zones de profondeur intermédiaire (transition ductile-cassant, la porosité peut être connectée avec la surface, au moins temporairement - séismes, période co-sismique...).

III. L'eau transporte des ions et de la matière

III.1. L'eau est un solvant, l'eau est un réactif

- Les propriétés de la molécule d'eau comme solvant. L'eau molécule polaire ...
- Les ions solubles et peu solubles, les diagrammes classiques, le transport des espèces chimiques. Diagramme de Goldschmidt...
- L'altération, y compris les conséquences métallogéniques (gîtes latéritiques...). **Néof ormation de minéraux notamment argileux...** Profils latéritiques... ségrégation des éléments en fonction de la solubilité...

III.2. Circulation de l'eau en surface et transport de matière

- Erosion/transport/sédimentation : définitions, exemples, les facteurs qui contrôlent ces processus (les diagrammes classiques de type Hjulstrom ainsi que les facteurs auto et allocycliques).
- Ces processus changent la répartition des masses à la surface de la lithosphère, interaction entre érosion/sédimentation et mouvements verticaux (subsidence, soulèvement).
- Interaction sédimentation/tectonique à différentes échelles, comment la tectonique oriente et localise la circulation des eaux continentales et marines et donc le dépôt des sédiments.

III.3. L'eau et l'érosion, le transport et le dépôt des sédiments

- Les facteurs jouant sur érosion/transport/sédimentation. Le climat, la tectonique, la nature du substratum. Les interactions entre tectonique et érosion. Le modèle géomorphologique.
- Les sédiments contiennent de l'eau : entre grains, au sein de minéraux hydratés. L'eau et la diagenèse.
- Les grandes accumulations sédimentaires. Les différents types de grands corps détritiques, exemples de corps de très grande taille, les grands deltas... les bassins d'avant-pays, les causes de la subsidence, interaction interne-externe.

IV. Interaction eau-roches en profondeur

IV.1. L'eau et le magmatisme

- L'eau et la fusion du manteau, pourquoi l'eau favorise-t-elle la fusion ? déplacement des solidus, l'eau désorganise la structure des minéraux, elle les rend globalement plus lâches... Métasomatose. Le cas des arcs insulaires et la subduction, conséquences métallogéniques.
- L'eau et la fusion de la croûte continentale. Idem pour les solidus. Exemple classique de la fusion partielle en Himalaya. Migmatites, granites et restites, les granites entraînent l'eau dans la croûte supérieure, les granulites anhydres restent au fond.
- L'eau dans les magmas, dynamisme éruptif. Dégazage, éruptions phréato-magmatiques... caractère plus ou moins explosif des magmas en fonction de la richesse en eau, donc du contexte géodynamique...

IV.2. L'eau et le métamorphisme s.l.

- L'hydrothermalisme océanique. Circulation convective de l'eau de mer dans la croûte océanique, les failles, les fumeurs... serpentinisation... conséquences métallogéniques,
- L'hydrothermalisme continental, fluides et mise en place des plutons, minéralisation, métallogénie, géothermie.
- L'eau et les réactions métamorphiques, quelques exemples de réactions classiques de déshydratation ou d'hydratation, le rôle de la température, le rôle de la pression. Courbes réactionnelles avec ou sans fluides (droites ou courbes...)
- Fluides et métamorphisme, l'eau dans les principaux faciès métamorphiques : une revue des principaux faciès en fonction des différentes lithologies, où y a-t-il de l'eau...
- L'eau dans le métamorphisme de haute pression, les minéraux hydratés qui restent stables (lawsonite par exemple). La déshydratation des schistes bleus pour donner des éclogites dans les zones de subduction... classique... mais certains minéraux comme la lawsonite peuvent rester stables jusqu'à de très grandes profondeurs (> 200 km) et entraîner de l'eau très loin dans le manteau...
- L'origine des fluides (météoriques, eau des sédiments, eau des réactions métamorphiques).

IV.3. L'eau dans le manteau

- Eau présente dans les laves basaltiques : indication de la présence d'eau dans le manteau. Concentration faible mais volume important.

- La subduction entraîne de l'eau à très grande profondeur, les minéraux concernés (lawsonite... serpentine...). Serpentinisation du coin mantellique.
- Serpentinisation du manteau sous les dorsales, cette eau peut être entraînée à grande profondeur, elle jouera un rôle important pour la rhéologie du manteau...
- L'eau dans les différents étages du manteau (les différentes formes de l'olivine et l'eau, la zone de transition...).

V. L'eau et la déformation des roches

Idées essentielles :

- même en d'infimes proportions, l'eau affecte le comportement mécanique des roches en abaissant leur résistance ;
- la majeure partie de l'eau est cantonnée dans la croûte supérieure et moyenne ; mais subduction et collision introduisent de l'eau dans la croûte inférieure et le manteau.

V.1. L'eau dans la croûte cassante

- Déformation localisée : failles. Eau et failles, le rôle des fluides. Pression lithostatique et pression effective. Déplacement du cercle de Mohr. L'eau abaisse la résistance des roches à la fracturation. La pression d'eau doit être soustraite à la pression totale (pression effective, les contraintes orientées deviennent en proportion plus grandes...). Les minéraux hydratés tels que les phyllosilicates ont des coefficients de friction plus faibles que les autres (voir les expériences de Byerlee).
- Eau et déformation cassante, les veines, les fentes de tension où les fluides circulent et précipitent des minéraux. Exemples de veines et leur relations avec la tectonique.
- Pression de fluides, surpressions et fracturation hydraulique.
- Eau et failles sismiques, failles bloquées / lubrifiées. Exemple de portion de faille qui glisse silencieusement (microsismicité), le rôle potentiel des fluides... et des sédiments dans les zones de subduction (zone sismogénique et phyllosilicates, séismes lents...).

V.2. Eau et rhéologie de la croûte ductile

- Déformation répartie dans le volume rocheux. Minéraux hydratés et rhéologie, les micas, le talc... sont peu résistants (relation avec la structure en feuillet, plus ou moins liés), relation avec la localisation de la déformation et les réactions métamorphiques. Toute réaction métamorphique qui produit des phyllosilicates va abaisser la résistance de la roche localement et donc favoriser la localisation de la déformation, en retour la localisation de la déformation peut favoriser la circulation des fluides... feedback. Importance pour les enveloppes rhéologiques...
- Minéraux nominalemeⁿt anhydres, un peu d'eau dissoute abaisse fortement la résistance... exemple du quartz anhydre et hydraté. On considère en général qu'il y a toujours assez de fluide pour que le quartz soit faible.
- L'eau aux joints de grain abaisse également la résistance des roches en favorisant le glissement entre les grains. On a de plus en plus tendance à considérer que le glissement aux joints de grains est un mécanisme de déformation majeur.

V.3. Eau et rhéologie du manteau

- Dans le manteau aussi la présence d'eau dissoute dans les minéraux ou aux joints de grain abaisse la résistance. Discussion sur la validité des enveloppes rhéologiques. Selon que le manteau est hydraté ou non, il sera résistant ou faible (discussion sur les modèles de type crème brûlée/jelly sandwich). La LVZ est interprétée comme une région où le géotherme vient tangenter le solidus du manteau, donc fusion partielle, donc faible résistance, ou comme une zone où le manteau est riche en eau, donc plus faible...
- La serpentine est un minéral très faible, déformation du coin mantellique dans les zones de subduction, conséquences sur le canal de subduction et l'exhumation des roches de HP-BT. Les serpentinites du manteau océanique formées à la dorsale peuvent servir de niveau de décollement...

5.3.2.4 Exemples de bonus

Métallogénie.

Fonte des calottes glaciaires et rebond isostatique.

Planétologie comparée.

Sans eau, pas de localisation de la déformation et donc pas de tectonique des plaques, comparaison avec Vénus...

Toute information quantitative sur les concentrations, les volumes... les méthodes d'analyse. Des données sur la concentration de l'eau dans les différents minéraux (chlorite, serpentine, lawsonite, carpholite : 12 % ; micas : 3-4 % ; amphiboles : 2% ; olivine : jusqu'à 500 ppm ; ringwoodite-wadsleyite : jusqu'à 20 000 ppm, stabilisé par la pression..., entre 0.1 et 0.6 % d'eau dans les verres basaltiques, entre 100 et 1000 ppm dans le manteau en général).

Production d'hydrogène aux dorsales par interaction péridotites-eau. Au cours de la serpentinisation, de l'hydrogène est libéré lors d'une réaction qui oxyde le fer et réduit l'eau.

Circulations d'eau exploitées pour la géothermie..

L'altération des silicates et le CO₂.

La localisation de la déformation par l'érosion.

5. ÉPREUVES PRATIQUES

Les sujets présents dans ce rapport sont généralement mis en page de façon un peu différente de celle utilisée au cours de l'épreuve. Ils comportent souvent des éléments de réponse aux questions. Les personnes désireuses de se procurer les versions vierges des fichiers peuvent les trouver sur le site du concours.

6.1 ÉPREUVE DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR A

6.1.1 Sujet

Quelques propriétés de la « Protéine à Fluorescence verte » (Green Fluorescent Protein, GFP)

Le présent sujet, de 41 pages, se compose de **deux ensembles indépendants**.

- Un premier ensemble (parties I, II, III et IV) : **Identification, purification et analyse biochimique d'une protéine de fusion entre la « Glutathion S-transférase » (GST) et la « Green Fluorescent Protein » (GFP)**; *durée conseillée : 4 heures 30 - barème : 14 points sur 20*
- un deuxième ensemble (partie V) : **La GFP : traceur cellulaire dans l'étude de la physiologie cardiaque** ; *durée conseillée : 1 heure 30 - barème : 6 points sur 20*

Partie I - Première étape de l'identification des souches bactériennes	page 4
Partie II - Identification de la souche bioluminescente comportant le gène de la GST (Glutathion S-Transférase)	page 7
Partie III - Purification de la protéine de fusion GFP-GST-6HIS par chromatographie d'affinité	page 12
Partie IV - Étude de quelques propriétés physico-chimiques de la protéine de fusion GFP-GST	page 19
Partie V - La GFP : traceur cellulaire pour l'étude de la physiologie cardiaque	page 31

**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 RENDRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DE TOUS LES DOCUMENTS. RENDEZ LA TOTALITÉ DE VOS FEUILLES.

Premier ensemble :
Ensemble I :

IDENTIFICATION, PURIFICATION ET ANALYSE BIOCHIMIQUE D'UNE PROTÉINE DE FUSION ENTRE LA « GLUTATHION S-TRANSFÉRASE » (GST) ET LA « GREEN FLUORESCENT PROTEIN » (GFP)

durée conseillée : 4 heures 30 - barème : 14 points sur 20

INTRODUCTION

L'objectif est de purifier puis d'étudier quelques propriétés physico-chimiques d'une protéine de fusion : la Green Fluorescent Protein - Glutathion S-Transférase (GFP-GST). La purification de la protéine de fusion se fait à partir d'une souche d'*Escherichia coli* transformée avec un plasmide d'expression bactérienne codant pour la GFP-GST étiquetée par 6 résidus Histidine, on l'appellera la souche bactérienne d'intérêt (voir **Annexe A** page 23). Le tube contenant cette souche bactérienne d'intérêt faisait partie d'un lot de 4 tubes contenant des souches différentes. Les 4 tubes ont malencontreusement perdu leur identification (étiquettes décollées) et une étape préalable va consister à identifier chacun des 4 tubes pour continuer la manipulation uniquement sur la souche d'intérêt.

Le travail à réaliser comporte les 4 parties suivantes :

Parties I et II : Identification des 4 tubes et, en particulier, de celui contenant la souche d'intérêt.

Partie III : Purification de la protéine de fusion GFP-GST.

Partie IV : Analyse de quelques propriétés de la protéine de fusion GFP-GST.

Deux feuilles de papier millimétré vous sont fournies.

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

Indications sur l'organisation de l'épreuve :

- 1- Les parties I et II sont dépendantes entre elles ; **durée conseillée : 45 min (I) et 1h (II)**
- 2- Les parties III et IV sont dépendantes entre elles ; **durée conseillée : 2h (III) et 45 min (IV).**
- 3- Les parties (I-II) et (III-IV) sont indépendantes.

La partie II comporte une **Réaction de Polymérisation en Chaîne (PCR) d'une durée de 2h environ**. Les réactions seront lancées à intervalles réguliers, par le jury, selon les indications données en salle au début de l'épreuve (i.e. **premier démarrage environ 1h après le début de l'épreuve, et dernier lancement 2h15 après le début de l'épreuve**).

- 4- La partie II comporte une électrophorèse : **les dépôts se feront au minimum 1h30 avant la fin de l'épreuve**, sous la supervision du jury. La prise de photographie sera réalisée par le jury et la photographie remise au candidat.
- 5- Tout le matériel nécessaire aux manipulations est disposé sur les paillasses de chaque candidat. Il ne sera pas délivré de matériel ou d'échantillon supplémentaire.
- 6- Le candidat présentera les réponses à chaque question, ou les résultats, dans les cadres prévus à cet effet. Il collera ainsi sur sa copie les résultats des lectures au spectrophotomètre et les photographies demandées.
- 7- **Au cours de l'épreuve, certains résultats seront contrôlés par les membres du jury en salle : le candidat doit obligatoirement appeler un membre du jury qui examinera son résultat.**

PARTIE I - PREMIÈRE ÉTAPE DE L'IDENTIFICATION DES SOUCHES BACTÉRIENNES

Les souches bactériennes ont été étalées sur des boîtes de Pétri contenant un milieu d'agar nutritif sélectif. Les colonies obtenues seront utilisées pour l'identification dans la partie I et la partie II.

Dans cette première étape, vous disposez du matériel suivant pour effectuer 3 types de test sur chacune des 4 souches fournies (boîtes numérotées 1, 2, 3, 4).

- Réactifs pour test de Gram (protocole standard en **Annexe B** page 24)
- Substrat pour la β -galactosidase, bain-marie (protocole standard en **Annexe C** page 25).
- Table UV, lunettes de protection.

I-A-1. Expliquez succinctement le principe du test de Gram.

Réponse à la question I-A-1

Coloration permettant de **discriminer bactéries selon l'épaisseur et la structure de leur paroi** (épaisseur de la paroi de peptidoglycane, double ou simple bicouche lipidique).

Principe : **coloration forte (colorant violet)** puis **étape de décoloration ménagée discriminante** :

-si paroi fine, bactéries décolorées (Gram -)

-si paroi épaisse, la décoloration est beaucoup plus lente et les bactéries restent colorées (Gram +),

Seconde coloration (colorant rose, contre-coloration) pour visualiser les bactéries Gram- .

I-A-2. A l'aide des réactifs et du protocole standard fourni en Annexe B page 24, réalisez un test de Gram sur chacune des quatre souches. Indiquez les résultats dans le tableau ci-dessous.

Appelez un membre du jury pour vérifier vos résultats expérimentaux (vous présenterez sous l'objectif votre meilleur champ pour chaque lame).

Réponse à la question I-A-2 :

Souche	Résultat	Pour annotation du jury
1	+	
2	-	
3	-	
4	-	

I-B-1. De nombreuses souches utilisées dans les laboratoires de biologie moléculaire comportent une activité β -galactosidase. Donnez un exemple d'utilisation de cette activité enzymatique en génie génétique.

Réponse à la question I-B-1

Clonage moléculaire : l'insertion d'un fragment d'ADN dans la séquence codante du gène LacZ permet d'interrompre la séquence du gène (donc la protéine codée est inactive) et de visualiser les colonies (blanches) présentant un ADN inséré.

Utilisation comme gène rapporteur : en utilisant un substrat expérimental (analogue du substrat naturel, par exemple le X-gal dont le produit de réaction catalysée par la β -galactosidase est bleu), on peut visualiser le fonctionnement d'une construction génique de type promoteur d'intérêt- β gal

I-B-2. Vous disposez d'un milieu réactionnel et d'un substrat pour la β -galactosidase (l'ONPG) (Protocole standard en **Annexe C** page 25). Testez chacune des souches bactériennes pour déterminer l'activité β -galactosidase.

Reportez vos résultats dans le tableau ci-dessous et faites contrôler la coloration par le jury.

Réponse à la question I-B-2 :

Souche	Résultats (négatif, positif)	Pour annotation du jury
1	-	
2	+	
3	+	
4	-	

I-C-1. Enfin, vous déterminerez quelle(s) souche (s) comporte(nt) une activité bioluminescente en examinant les boîtes sur la table UV disponible dans la salle (**lunettes de protection obligatoires**).

Reportez vos résultats dans le tableau ci-dessous et faites contrôler le résultat par le jury.

Réponse à la question I-C-1 :

Souche	Résultats (négatif, +, ++)	Pour annotation du jury
1	-	
2	+/-	
3	+	
4	-	

I-C-2. Concluez à partir de ces premiers résultats.

Réponse à la question I-C-2

Élimination des souches 1 et 4. Garder la souche 3 nettement fluorescente, s'il subsiste un doute sur la souche 2 d'après la bioluminescence, le test ONPG permet de la sélectionner aussi.

Remarque : avec la luminosité en salle, la bioluminescence peut être difficile à apprécier : on vous donne une indication supplémentaire : les deux souches bioluminescentes, comportent également une activité β -galactosidase.

PARTIE II – Identification de la souche bioluminescente comportant le GÈNE de LA GST (GLUTATHION S-TRANSFERASE)

A l'issue de la partie I, vous disposez de deux souches bioluminescentes qu'il faut discriminer (cartes et séquences utiles en **Annexe A** page 23). Cette détermination sera faite par la méthode de Réaction de Polymérisation en Chaîne (ou PCR).

II-A-1. Expliquez le principe de la PCR.

Réponse à la question II-A-1

Amplification d'une séquence d'ADN d'intérêt à partir d'ADN total par cycles de polymérisation successifs in vitro, grâce à une ADN polymérase thermorésistante.

Chaque cycle comporte 3 étapes :

dénaturation de l'ADN double brin (température T1 élevée, 94°C ; la polymérase ne se dénature pas,

hybridation des amorces complémentaires de chaque brin (T2 inférieure à T1, en général 50-60°C),

polymérisation des brins complémentaires (T3 = 72°C)

Spécificité de la séquence amplifiée: l'ADN polymérase a besoin d'amorces pour fonctionner, les amorces sont spécifiques de la séquence d'intérêt.

Aspect quantitatif : A chaque cycle : doublement du nombre de séquences d'intérêt.

II-A-2. Quel est l'intérêt d'utiliser la PCR pour cette détermination ?

Réponse à la question II-A-2

Possibilité de discriminer les deux séquences par le choix d'amorces spécifiques de l'une ou l'autre des séquences pour amplifier soit l'une, soit l'autre ; ou bien de choisir des amorces communes aux deux séquences et de discriminer par la taille du fragment amplifié.

En faisant des PCR utilisant les 2 amorces sur l'ADN de chacune des souches, on repèrera quelle séquence/quelle taille de fragment d'ADN a été amplifiée dans chacune des souches et finalement quelle souche contient le gène de la protéine de fusion.

C'est une méthode spécifique, fiable et rapide (réponse en 2 heures à partir des bactéries) par rapport au séquençage par exemple, qui nécessite une amplification et une purification de l'ADN plasmidique au préalable.

II-A-3. Donnez un exemple d'une méthode alternative, utilisée avant l'usage courant de la PCR.
Réponse à la question II-A-3

Exemple 1 : Augmenter la quantité d'ADN total de chaque souche par culture bactérienne, extraction de l'ADN plasmidique, digestion de l'ADN plasmidique par des enzymes de restriction pour analyse des fragments obtenus.

Exemple 2 : rechercher de la séquence GFP-GST par Southern Blot avec une sonde spécifique.

Exemple 3 : à la suite de l'analyse exemple 1, on peut séquencer une partie de l'ADN plasmidique.

II-B. Vous devez identifier la souche d'intérêt. Vous pouvez réaliser au maximum 5 échantillons de PCR (le contrôle compris). Vous disposez de cinq types d'amorces d'ADN dont la séquence est donnée ci-dessous :

Séquence de l'amorce A	5' - ATG TCG TAC TAC CAT CAC CAT - 3'
Séquence de l'amorce B	5' - TTC ATG TCC CCT ATA CTA GGT - 3'
Séquence de l'amorce C	5' - CCG CAT CGT GAC TGA CTG A - 3'
Séquence de l'amorce D	5' - TCA GTC ACG ATG CGG CCG - 3'
Séquence de l'amorce E	5' - GCT AGT TAT TGC TCA GCG GTG - 3'

II-B-1. A l'aide des données fournies en Annexe A page 23, détaillez votre stratégie et justifiez les amorces choisies pour identifier la souche d'intérêt parmi les deux souches bioluminescentes.
Réponse à la question II-B-1

But de l'expérience : pouvoir discriminer les 2 séquences, soit la séquence de la GFP uniquement ou celle de la fusion GFP-GST et analyser la taille du fragment obtenu par PCR.

Amorces spécifiques pour la séquence GFP : A, E

Amorces spécifiques pour la séquence GFP-GST: B, D (C ne se trouve pas dans la bonne orientation)

La stratégie la plus précise est de détecter à la fois la présence spécifique des deux séquences, par exemple [A/E puis B/D] ou [A/E et A/D] ou [A/E et B/E].

II-B-2. Indiquez le résultat attendu à l'issue de l'électrophorèse.
Réponse à la question II-B-2

En fonction des amorces choisies, le candidat indique ici la taille des fragments attendus et comment cela lui permet de discriminer les deux souches.

Ci dessous : le candidat a reçu ce tableau des résultats attendus après avoir réalisé sa propre expérience.

Figure 2: liste des bandes possibles en fonction des couples d'amorce utilisés. Les souches A et D ne donnent aucune bande.

Couple d'amorces	Souche B	Souche C
A+B	Pas de bande	Pas de bande
A+C	Pas de bande	Pas de bande
A+D	Pas de bande	1400
A+E	750	1450
B+C	Pas de bande	Pas de bande
B+D	Pas de bande	700
B+E	Pas de bande	750
C+D	Pas de bande	Pas de bande
C+E	Pas de bande	Pas de bande
D+E	Pas de bande	Pas de bande

II-B-3. A l'aide de l'Annexe D page 26, détaillez les volumes requis pour préparer le tube unique de milieu réactionnel (vous calculerez les volumes pour cinq échantillons plus un volume supplémentaire pour anticiper les erreurs de pipetage : six échantillons au total). **Vous donnerez votre réponse dans le tableau ci-dessous.**

Réponse à la question II-B-3 :

Composé	Volume pour six échantillons (en µl)
eau	37,5
Tampon PCR	15
dNTP	1,5
Taq ADN polymérase	6 (6 unités)

II-B-4 Composez chacun de vos cinq échantillons dans les microtubes spécifiques fournis et portez les informations dans le tableau ci-dessous.

Identifiez les tubes avec vos initiales, et signalez au jury lorsque vous êtes prêts pour lancer les incubations. La réaction de PCR sera réalisée dans un thermocycleur, par le jury et durera 2h, à l'issue desquelles vous récupérerez vos échantillons et les analyserez par électrophorèse.

Réponse à la question II-B-4 :

Composé	contrôle	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4
eau	5 µl *	-	-	-	-
Amorce 1	une paire d'amorces au choix 5 µl+5 µl *	5 µl	5 µl	5 µl	5 µl
Amorce 2		5 µl	5 µl	5 µl	5 µl
matrice	-	Lysat bactérien 5 µl	Lysat bactérien 5 µl	Lysat bactérien 5 µl	Lysat bactérien 5 µl
Milieu réactionnel	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl	10 µl
Volume final	25 µl	25 µl	25 µl	25 µl	25 µl

* : on accepte l'absence d'amorces et le remplacement par 10 µl supplémentaires d'eau.

II-C-1. Expliquez le principe de l'électrophorèse d'ADN.

Réponse à la question II-C-1.

Principe : Faire migrer les fragments d'ADN dans un gel sous tension. L'ADN, chargé négativement donc se déplace dans le gel du pôle (-) vers le pôle (+). Les fragments d'ADN sont séparés selon leur taille essentiellement, puisque les plus grands fragments migreront moins vite.

Révélation des bandes d'ADN : par un marqueur fluorescent spécifique de l'ADN présent dans le gel (intercalant de l'ADN de type Bromure d'étéidium).

II-C-2. Pour analyser vos échantillons par électrophorèse sur gel d'agarose, vous disposez de marqueurs de taille moléculaire d'ADN (prêt au dépôt) (sur la glace) et de milieu de charge (concentré 5 fois) (voir **Annexe D** page 26). **Indiquez ci-dessous la composition de vos échantillons pour le dépôt de l'électrophorèse.**

Réponse à la question II-C-2

Selon l'annexe D : mélanger le produit de PCR (15 µl) et le tampon de charge (5 µl) ; faire une piste pour le marqueur de taille moléculaire.

II-C-3. Composez vos échantillons et appelez le jury pour réaliser vos dépôts.

La migration et la prise de photographie seront réalisées par le jury. La photographie de votre gel vous sera rapportée. **Annotez et légendez votre résultat ci-dessous.**

Réponse à la question II-C-3 : Résultat (photographie) à coller ici (ruban adhésif disponible dans la salle).

Exemples de résultat obtenu au cours de l'épreuve par des candidats:

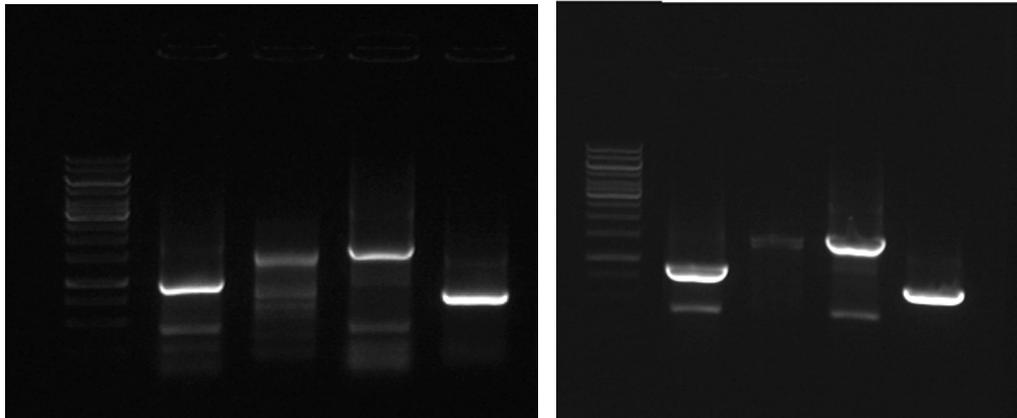
Piste 1 : marqueur de taille moléculaire

Piste 2 : souche B, amorces A+E

Piste 3 : souche B, amorces B+D ** (voir remarque ci-dessous et note en figure 1, donnée aux candidats)

Piste 4 : Souche C, amorces A+E

Piste 5 : souche C, amorces B+D



II-C-4. Le jury vous distribuera un résultat théorique que vous comparerez au vôtre. Interprétez vos résultats. Concluez.

Réponse à la question II-C-4

Selon le résultat de l'électrophorèse (et/ou le résultat théorique), l'expérience permet d'identifier la souche B comme contenant le plasmide comprenant la séquence de la GFP seule, et la souche C, contenant le plasmide comprenant la séquence de la GFP fusionnée à celle de la GST (fragment de taille 1500pb env. avec les amorces A+E ou A+D et amplicon de taille 700pb env. avec les amorces B+D).

* critique éventuelle de la stratégie utilisée par le candidat.

** Remarque, l'amplification avec un grand nombre de cycles conduit parfois à l'apparition de fragments non spécifiques de plus faible intensité comme sur le gel ci-dessus, piste 3.

Partie II. Résultat de la PCR, Analyse par électrophorèse. (document distribué au candidat en fin d'expérience).

Résultat théorique de l'analyse des souches B et C.

Seules les bandes spécifiques sont indiquées, celles-ci correspondent aux bandes les plus fortes observées sur votre gel. Le gel obtenu en TP peut comporter en plus des bandes non spécifiques, en général de faible intensité.

Figure 1.

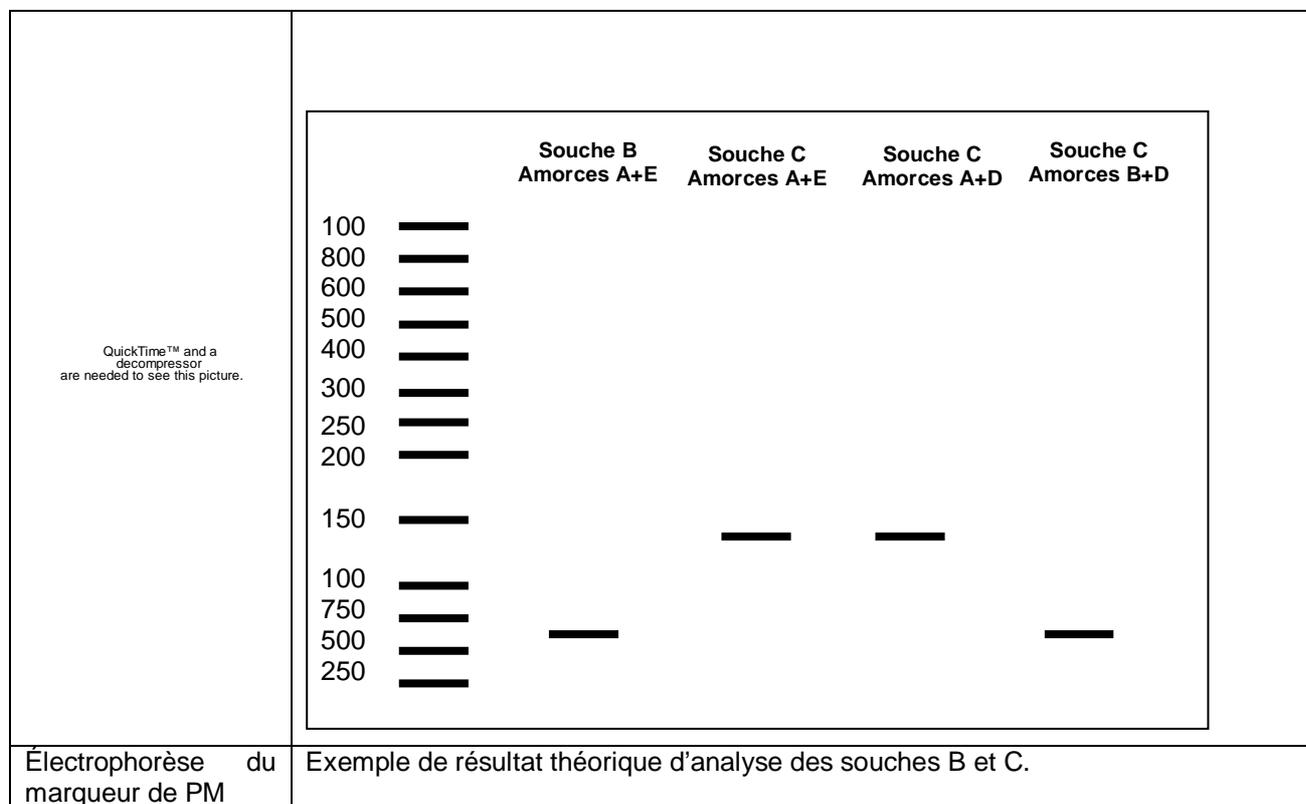


Figure 2: liste des bandes possibles en fonction des couples d'amorce utilisés. Les souches A et D ne donnent aucune bande.

Couple d'amorces	Souche B	Souche C
A+B	Pas de bande	Pas de bande
A+C	Pas de bande	Pas de bande
A+D	Pas de bande	1400
A+E	750	1450
B+C	Pas de bande	Pas de bande
B+D	Pas de bande	700
B+E	Pas de bande	750
C+D	Pas de bande	Pas de bande
C+E	Pas de bande	Pas de bande
D+E	Pas de bande	Pas de bande

PARTIE III - Purification de la PROTÉINE de fusion GFP-GST-6HIS par chromatographie D’AFFINITÉ

A l’issue de l’identification de la souche bactérienne d’intérêt, les bactéries ont été multipliées dans un milieu nutritif. Le lysat de ces bactéries permettra d’obtenir la protéine de fusion GFP-GST.

Note : Cette partie est indépendante des deux parties précédentes. Vous partirez du lysat fourni (sur la glace).

III-A-1. Quelle étape fondamentale doit être réalisée avant la lyse des bactéries?

Réponse à la question III-A-1

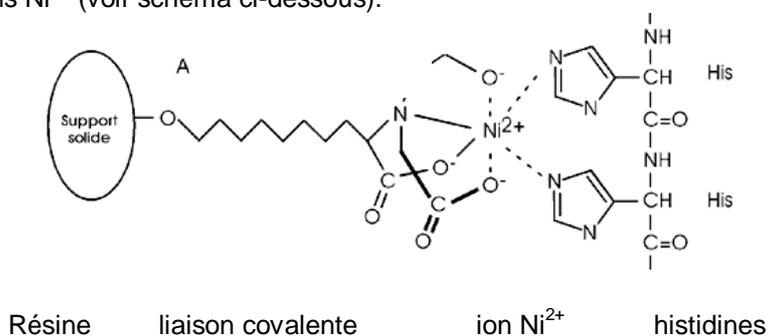
Dans cette partie, il s’agit de purifier la protéine de fusion, dont l’ADNc est sous le contrôle de l’opérateur lacO (Annexe 1). Il faut donc induire l’expression du gène préalablement à la purification.

III-A-2. En vous aidant de vos connaissances sur l’opéron lactose et de la carte fournie en annexe A page 23, précisez comment cette étape a été réalisée.

Réponse à la question III-A-2

On peut utiliser un inducteur de l’opéron lactose, le lactose lui-même ou un de ses analogues (ici l’IPTG). L’ajout de l’inducteur à la culture bactérienne provoque l’expression du gène, suivie de la traduction massive de la protéine de fusion.

III-B. La culture bactérienne a été centrifugée et le surnageant éliminé. Le culot cellulaire obtenu a été lysé par sonication (ultrasons) dans une solution de lyse, puis les débris cellulaires ont été éliminés par centrifugation. Le lysat obtenu (1,5 mL) vous est fourni sur la glace. A partir de ce lysat, vous réaliserez la purification de la protéine de fusion GFP-GST par chromatographie d’affinité. Dans ce but, la séquence de la protéine GFP-GST a été préalablement fusionnée avec une courte séquence de 6 histidines (HIS, voir carte du plasmide en **Annexe A** page 23). L’histidine présente une forte affinité pour les ions Ni^{2+} (voir schéma ci-dessous).



Vous disposez d’une colonne de chromatographie contenant une résine comportant des ions Ni^{2+} (liaison covalente).

III-B-1. Expliquez brièvement le principe de la chromatographie.

Réponse à la question III-B-1

Méthode générale de purification d’une molécule biologique (ici une protéine) d’intérêt à partir d’un extrait (ici lysat bactérien) en passant l’extrait sur une colonne qui retient la protéine d’intérêt dans un premier temps; dans un second temps, la protéine retenue est décrochée grâce à un milieu d’élution.

III-B-2. Expliquez le principe de la chromatographie d’affinité.

Réponse à la question III-B-2

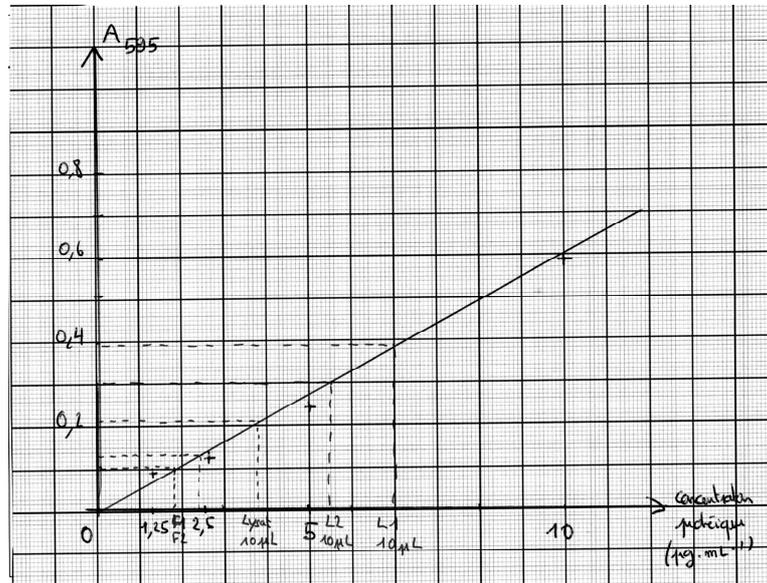
La colonne retient la protéine en établissant des liaisons spécifiques, de type faible, entre la protéine d’intérêt et un substrat lié covalamment à la résine. En l’occurrence, ici, ce sont les ions Ni^{2+} de la colonne qui présentent une forte affinité pour l’histidine. La colonne retient donc préférentiellement toute protéine étiquetée histidine.

Alternativement, on prélève 100 μL pour le point 10 μg puis on réalise des dilutions en série (1/2) successives dont on prélève 100 μL à compléter par du LEW.

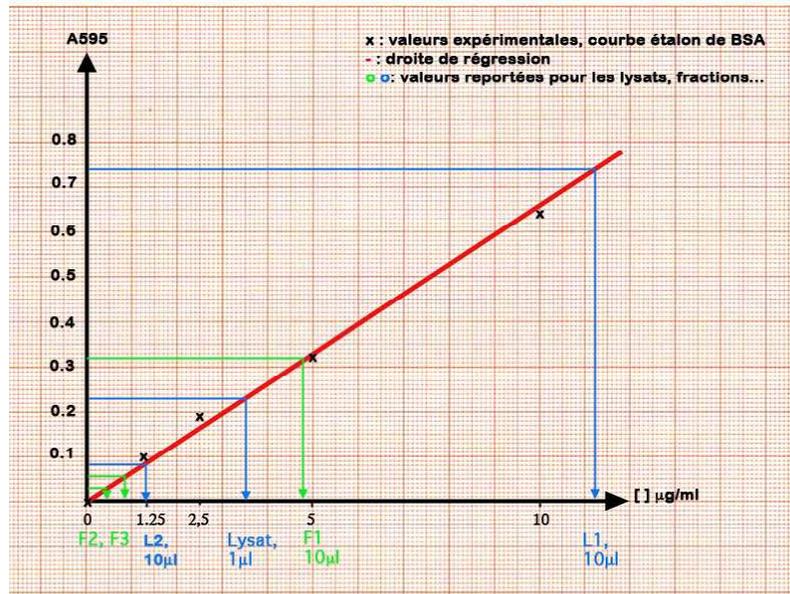
Le blanc (0 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$.) est indispensable pour réaliser le point zéro. Quatre points au minimum plus le zéro permettent d'obtenir une droite de régression correcte.

Note : en laboratoire, pour obtenir des résultats plus précis, chaque valeur est mesurée deux fois et les résultats obtenus sont moyennés.

En utilisant le protocole fourni en annexe F, on obtient par exemple les résultats suivants :



Exemple obtenu lors de l'épreuve par un candidat



Courbe étalon de BSA obtenue par dosage de Bradford et report des valeurs expérimentales obtenues pour la purification du lysat GFP-GST : exemple représentatif de résultat

III-C-2. A partir de vos fractions, prélevez 11 μL , préparez les échantillons pour dosage de Bradford (**Annexe F** page 29) et dosez les protéines totales (utilisez une seule cuvette plastique).

Présentez vos résultats dans le tableau ci-dessous et sur la courbe-étalon ci-dessus (III-C-1). À l'aide des pipetmans, évaluez le volume total de chaque fraction ou échantillon. Calculez la quantité totale de protéine. Commentez brièvement vos résultats dans le cadre ci-dessous.

Réponse à la question III-C-2 : tableau des résultats de dosage des fractions (exemple représentatif ci-dessus).

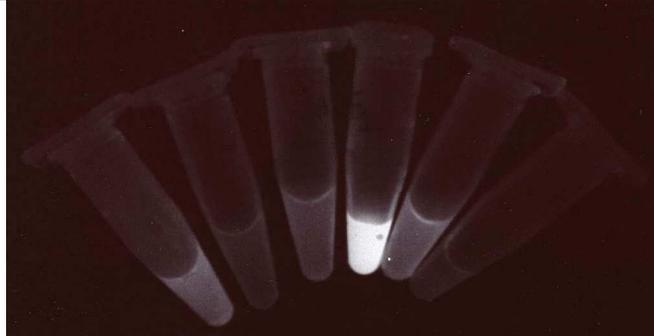
échantillon ou fraction	A595 indiquer le volume d'échantillon utilisé (μL)	concentration ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	Concentration initiale de l'échantillon ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	volume total (μL)	quantité totale de protéines dans l'échantillon (μg)
lysate	1 μL - 0,229	3,5 $\mu\text{g.mL}^{-1}$	3,5 x 1000 = 3500 $\mu\text{g.mL}^{-1}$	2000 μL = 2 ml	7000 μg
L1 (lavage 1)	1 μL - 0,035	11,2 $\mu\text{g.mL}^{-1}$	11,2 x 100 = 1120 $\mu\text{g.mL}^{-1}$	320 μL = 0.32 ml	358 μg
L2 (lavage 2)	10 μL - 0,084	1,25 $\mu\text{g.mL}^{-1}$	1,25 x 100 = 125 $\mu\text{g.mL}^{-1}$	320 μL = 0.32 ml	40 μg
F1 (fraction 1)	10 μL - 0,323	4,8 $\mu\text{g.mL}^{-1}$	4,8 x 100 = 480 $\mu\text{g.mL}^{-1}$	240 μL = 0.24 ml	115,2 μg
F2 (fraction 2)	10 μL - 0,023	0,8 $\mu\text{g.mL}^{-1}$	0,8 x 100 = 80 $\mu\text{g.mL}^{-1}$	240 μL = 0.24 ml	19,2 μg
F3 (fraction 3)	10 μL - 0,061	0,45 $\mu\text{g.mL}^{-1}$	0,45 x 100 = 45 $\mu\text{g.mL}^{-1}$	240 μL = 0.24 ml	10,8 μg

Suite de la réponse à la question III-C-2

On remarque que la majorité des protéines du lysate passent lors du dépôt de l'échantillon et des deux lavages. La fraction F1 comporte cependant une quantité notable de protéine.

III-C-3. En utilisant le banc UV (et les **lunettes de protection**), analysez qualitativement les fractions obtenues.

Réponse à la question III-C-3.



tube 1 : lysate, tube 2 : L1, tube 3 : L2 ; tube 4 : F1 ; tube 5 : F2 ; tube 6, F3.

L'analyse de la bioluminescence sur le banc UV permet de sélectionner la fraction F1 pour la suite de l'analyse.

III-C-4. Dans le but d'évaluer le degré de purification obtenu de la protéine bioluminescente, vous doserez au spectrophotomètre dans l'UV sur les trois longueurs d'onde suivantes : 260nm, 280nm, 395nm. Vous comparerez 20 μL des deux échantillons (ou fractions) les plus pertinents et d'un contrôle protéique laissé à votre choix. Vous complétez les 20 μL avec 130 μL de LEW dans un eppendorf. Les mesures seront faites en utilisant une seule cuve UV.

III-C-4-a. Indiquez la nature des composés dosés à 260nm et 280nm respectivement. Commentez l'utilité de ces mesures.

Réponse à la question III-C-4a

Les composés dosés à 260nm sont les acides nucléiques et à 280nm les protéines. On utilise ces mesures surtout pour évaluer la pureté de solutions d'acides nucléiques. Ici, le dosage de Bradford est beaucoup plus précis, car il évite justement les interférences entre les absorbances des acides nucléiques avec celle des protéines à 280nm.

III-C-4-b. La GFP a un pic d'absorbance caractéristique à la longueur d'onde 395nm. Quelle loi permet de calculer la concentration de la GFP à partir de A395 ?

Réponse à la question III-C-4-b

La loi de Beer-Lambert (ou Beer-Lambert-Bouguer) : $A_\lambda = \epsilon_\lambda \times l \times c$ Donc $c = A_\lambda / \epsilon_\lambda \cdot l$

A_λ : absorbance à la longueur d'onde λ

ϵ_λ : coefficient d'extinction molaire en L-1mol-1cm-1

l : longueur du trajet optique dans la solution traversée (cm)

III-C-4-c. Ici, nous nous contenterons de calculer l'enrichissement relatif entre le lysat de départ et votre meilleure fraction. Mesurez les absorbances A260, A280, A395 pour vos trois échantillons (utilisez une seule cuvette UV), reportez les dans le tableau ci-dessous.

Réponse à la question III-C-4-c :

fraction	Volume	A260	A280	A395	A395 / A280	A260 / A280	A395.µg ⁻¹ de protéines totales (Bradford, III-C-2)
lysat	20µL (*dilué 1/20 sinon trop concentré)	0,456 pour 20 µL lysat non dilué: (0,456x20=9,12)	0,440 pour 20 µL lysat non dilué: (0,440x20=8,8)	0,011 pour 20 µL lysat non dilué: (0,011x20=0,22)	r1 (lysat) 0,025	r2 (lysat) 1,03	r3 (lysat) 0,22/70=0,0031
Fraction F1	20µL	0,546	0,492	0,152	r1 (F) 0,309	r2 (F) 0,9	r3 (F) 0,152/9,6=0,0158
contrôle BSA, 2,5ug	20µL	0,01	0,021	0,001	r1 (T) 0,476	r2 (T) 0,47	r3 (T) 0,004

*Remarque : On utilise 20 µL de chaque échantillon ou bien dans le cas du lysat (la mesure montre qu'il est trop concentré), une dilution 1/20 puis on ramène à 20 µL de lysat pur :

III-C-4-d. Comparez r1 et r3. Calculez les rapports suivants : r1 (F) / r1 (lysat) et r3 (F) / r3 (lysat). Analysez r2. Commentez l'ensemble de ces données.

Réponse à la question III-C-4-d :

r1 (F) / r1 (lysat)	12,3
r3 (F) / r3 (lysat).	5,1

Les rapports r1 (F) / r1 (lysat) et r3 (F) / r3 (lysat) mesurent l'enrichissement relatif en activité GFP, selon que l'on se rapporte à A₂₈₀ ou à la quantité absolue de protéine dans l'échantillon mesurée par la méthode de Bradford. Cette mesure étant plus précise ici, comme indiqué précédemment, nous estimons donc l'enrichissement dans la fraction F1 par rapport au lysat à 5.1 fois.

En laboratoire, la répétition des mesures et la réalisation de dilutions supplémentaires auraient permis de proposer des mesures plus précises.

Le rapport r2 montre que les échantillons ne sont pas purs pour les acides nucléiques, ce qui est normal puisque l'on n'a pas fait une extraction dans ce but.

III-C-5. Concluez sur le résultat de votre purification.

Réponse à la question III-C-5.

On peut conclure que l'expérience de purification par chromatographie d'affinité a fonctionné, et que nous avons pu analyser la présence enrichie en fluorescence de la GFP soit qualitativement, directement sur le banc UV, soit quantitativement, en mesurant l'absorbance spécifique de la GFP à 395nm.

PARTIE IV - ÉTUDE De quelques PROPRIÉTÉS physico-chimiques de la PROTÉINE de fusion GFP-GST

La fraction purifiée la plus concentrée obtenue en Partie III (appelée F ici) sera utilisée dans cette Partie IV (toujours gardée sur la glace). Vous devez disposer d'au moins 70 µL de solution de protéine purifiée. Les activités de bioluminescence de la GFP et l'activité enzymatique de la GST seront analysées dans des conditions de pH et de température variables. Vous proposerez une solution de protéine contrôle, analysée en parallèle.

IV-A-1. Dans une première étape, 33 µL de la fraction F sont traités par un chauffage à 50°C pendant 15 min. En parallèle, vous traiterez 33 µL de fraction F en ajoutant 3 µL de Tris base (pH 9.5) pour tamponner la solution à un pH basique, pendant 15 min. A la fin du traitement, vous diviserez votre échantillon en deux tubes : 20 µL pour l'analyse de la GFP par spectrophotométrie UV, 10 µL pour l'activité de la GST par cinétique enzymatique. Les mesures seront faites en utilisant deux cuves UV. Pour la lecture de l'activité GFP, vous complétez les 20 µL avec 130 µL de LEW dans un eppendorf comme précédemment.

IV-A-2. Dosez au spectrophotomètre UV les absorbances A280 et A395 des échantillons (utilisez une seule cuvette UV). Concluez sur l'effet du traitement sur l'activité GFP de la protéine de fusion.

Réponse à la question IV-A-2 :

échantillon	A280	A395	A395 / A280
contrôle	0,210	0,001	0,004
F	0,230	0,068	0,295
F / 50°C	0,244	0,071	0,29
F/ pH9.5	0,206	0,052	0,252

Le contrôle est un échantillon de BSA, à une concentration similaire à celle de la fraction F1.

On peut conclure que l'absorbance spécifique de la GFP varie peu dans ces différentes conditions, avec une légère diminution pour le pH basique. Si on estime que cette absorbance traduit la bonne conformation de la protéine et donc son activité de bioluminescence, on peut conclure que l'activité de la GFP est peu influencée par les conditions de pH et de température.

IV-B. Dosage de l'activité GST par analyse de la cinétique enzymatique. La GST catalyse la réaction suivante : conjugaison du L-glutathion au substrat CDNB (1-chloro-2, 4 dinitrobenzène).

Glutathion (G-SH, substrat 1) + CDNB (substrat 2) → G-S-DNB conjugué + HCl.

L'activité enzymatique est dosée par analyse de l'absorbance A340 pendant 5 min : l'augmentation de A340 (Absorbance du conjugué) est directement proportionnelle à l'activité enzymatique.

IV-B-1. Vous disposez des réactifs nécessaires au dosage de l'activité GST dans la fraction purifiée : voir protocole en **Annexe G** page 30.

Réalisez le dosage sur les échantillons suivants : le contrôle protéique, la fraction F (10 µL), la fraction F (chauffée 50°C, 10 µL) et la fraction F (pH9.5, 10 µL). Reportez vos résultats dans le tableau ci-dessous.

Réponse à la question IV-B-1 :

échantillon	A340 t = 1min	A340 t = 2min	A340 t = 3min	A340 t = 4min	A340 t = 5min
contrôle	0,131	0,131	0,128	0,131	0,132
F	0,148	0,157	0,169	0,182	0,194
F / 50°C	0,141	0,145	0,146	0,158	0,157
F/ pH9.5	0,135	0,140	0,141	0,144	0,143

IV-B-2. Vous calculerez la vitesse de la réaction pour chaque échantillon selon la formule :

$$\Delta A_{340} \cdot \text{min}^{-1} = \frac{\mathbf{A_{340} \text{ (temps final = 5 min)} - A_{340} \text{ (temps initial = 1 min)}}{\mathbf{\text{durée de réaction (temps final - temps initial)}}$$

Attention, vous ne compterez pas t = 0, mais t = 1 min comme temps initial (la solution doit se stabiliser à la température de la chambre). Remplissez la colonne 2 du tableau ci-dessous.

Réponse à la question IV-B-2 :

échantillon	$\Delta A_{340} \cdot \text{min}^{-1}$	Activité spécifique de la GST
contrôle	0.0002	0.0087
F	0.0115	0.503
F / 50°C	0.004	0.175
F/ pH9.5	0.002	0.087

IV-B-3. Comme indiqué plus haut, l'augmentation de A340 (Absorbance du conjugué) est directement proportionnelle à l'activité enzymatique. L'activité spécifique de l'enzyme dans chaque échantillon s'obtient selon la formule :

$$\mathbf{\text{Activité spécifique de la GST } (\mu\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})} = \frac{\mathbf{\Delta A_{340} \cdot \text{min}^{-1} \times V \text{ (mL)} \times d}{\mathbf{\epsilon_{mM} \times V_i \text{ (mL)}}$$

V = volume réactionnel

d = dilution de l'échantillon de départ

ϵ_{mM} coefficient d'extinction du conjugué G-S-DNB à 340nm = $9,6 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

V_i = volume de l'échantillon

Sans faire le calcul explicite de l'activité spécifique de la GST, évaluez l'effet des traitements sur l'activité enzymatique dans les différents échantillons.

Réponse à la question IV-B-3

On analyse qualitativement les résultats et on peut conclure que l'activité GST est fortement affectée par les deux types de traitement.

IV-B-4. En utilisant la formule ci-dessus, calculez l'activité spécifique de la GST dans chaque échantillon et complétez la colonne 3 du tableau en IV-B-2 de la page 20. Commentez vos résultats.

Réponse à la question IV-B-4

On dilue 10 μL d'échantillon dans $V=1\text{ml}$ de tampon réactionnel ($1/101^e$, $d=101$)

Le volume initial V_i de la fraction F1 est 240 μL

$Vxd / (\epsilon_{mM} \times V_i) = 1 \times 101 / (9,6 \times 0.240) = 43,8$ pour tous les échantillons.

Ce calcul confirme l'analyse qualitative.

IV-C. Conclusions

IV-C-1. Concluez sur l'effet de la température et du pH sur l'activité GST et l'activité GFP de la protéine de fusion GFP-GST.

Réponse à la question IV-C-1

On peut conclure que chacune des parties de la protéine de fusion GFP-GST présente une activité distincte dans différentes conditions de pH et de température : l'activité de la GFP est peu sensible aux variations des paramètres physicochimique du milieu, tandis que l'activité GST est beaucoup plus labile.

IV-C-2. Faites un commentaire sur l'utilisation de la GFP dans des organismes possédant différentes températures physiologiques ; donnez des exemples.

Réponse à la question IV-C-2

La GFP et la GST sont toutes deux utilisées pour étiquetter des protéines dans le but d'analyses biologiques variées. Cependant, d'après les manipulations réalisées ici, on peut conclure que la GFP semble mieux adaptée pour étiquetter des protéines dans des organismes à température corporelle variable ou éloignées de 37°C. On peut citer des organismes animaux invertébrés par exemple, ou des plantes.

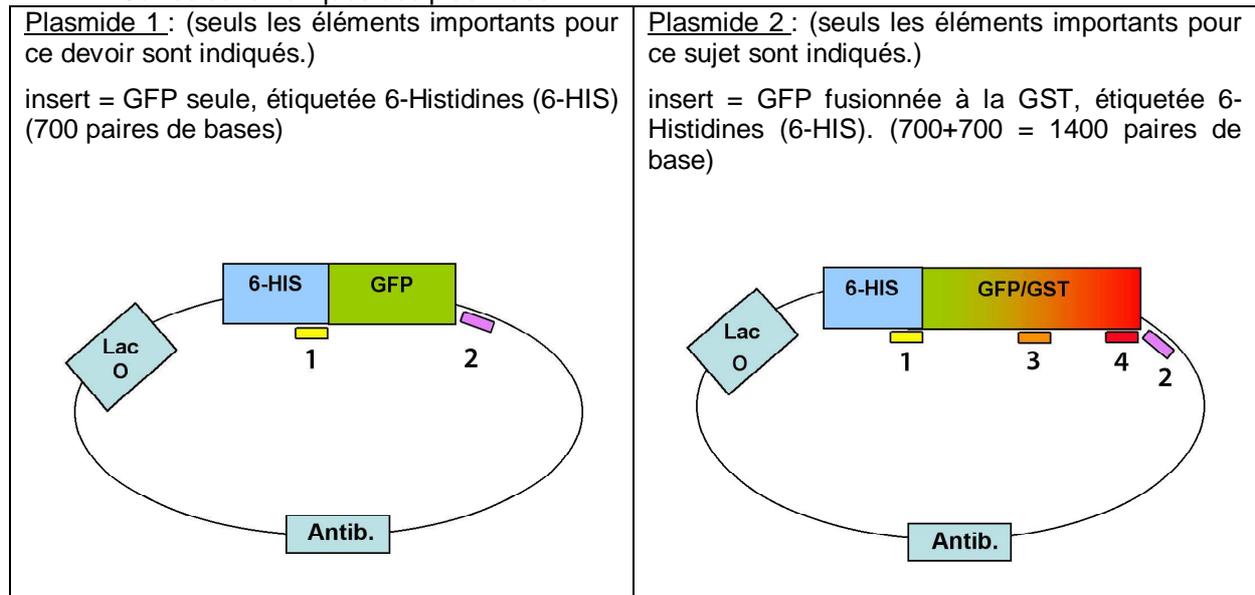
IV-C-3. Faites un commentaire sur les utilisations de la GFP dans différents compartiments cellulaires à pH différents du pH 7-8 ; donnez un exemple.

Réponse à la question IV-C-3

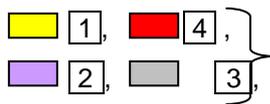
De la même façon, la GFP peut permettre de visualiser l'expression de protéines dans des compartiments cellulaires à pH varié, sous forme de protéines de fusion ou sous le contrôle d'un promoteur tissu-spécifique. On peut citer les lysosomes ou les peroxysomes par exemple.

ANNEXE A :
Cartes et SÉQUENCES utiles des plasmides D'INTÉRÊT

1- Cartes schématiques des plasmides.



Légende:



régions détaillées ci-dessous

○ Schéma de la structure circulaire de l'ADN du plasmide.

LacO : opérateur *lacO* de l'opéron lactose
Antib.: gène de résistance à un antibiotique.

2- Séquences utiles des plasmides 1 et 2.

Les régions 1, 2 et 3 sont positionnées sur les cartes ci-dessus. La séquence de chaque brin d'ADN est indiquée. La séquence supérieure correspond au sens 5'-3' de la transcription des gènes sur la carte ci-dessus.

Région 1 : domaine 6-HIS

5' - ATG TCG TAC TAC CAT CAC CAT CAC CAT CAC GAT TAC - 3'
3' - TAC AGC ATG ATG GTA GTG GTA GTG GTA GTG CTA ATG - 5'

Région 2 : domaine de terminaison de la transcription

5' - GCT TGC CAC CGC TGA GCA ATA ACT AGC - 3'
3' - CGA ACG GTG GCG ACT CGT TAT TGA TCG - 5'

Région 3 : séquence 5' de la GST (la séquence d'initiation ATG est soulignée)

5' - TTC ATG TCC CCT ATA CTA GGT TAT TGG AAA ATT - 3'
3' - AAG TAC AGG GGA TAT GAT CCA ATA ACC TTT TAA - 5'

Région 4 : séquence 3' de la GST (le codon stop TGA est souligné)

5' - CGG CCG CAT CGT GAC TGA CTG ACG ATC TGC - 3'
3' - GCC GGC GTA GCA CTG ACT GAC TGC TAG ACG - 5'

ANNEXE B : COLORATION DE GRAM

1- Matériel et solutions

<input type="checkbox"/> Boîtes de Pétri inoculées	souches 1, 2, 3, 4	<input type="checkbox"/> Lamelles	x8
<input type="checkbox"/> Plateau de coloration en verre	x1	<input type="checkbox"/> Cotons-tiges stériles	x8
<input type="checkbox"/> Portoir pour 4 lames	x1	<input type="checkbox"/> Pipette pasteur plastique	x6
<input type="checkbox"/> Lames de verre pour histologie	x8	<input type="checkbox"/> Papier absorbant	
<input type="checkbox"/> Milieu de montage Aquatex	1 par salle	<input type="checkbox"/> Huile à immersion pour microscopie	
<input type="checkbox"/> Eau distillée		<input type="checkbox"/> Eau du robinet	
<input type="checkbox"/> Solution 1 : Cristal violet	5mL	<input type="checkbox"/> Solution 3 : Safranine	5mL
<input type="checkbox"/> Solution 2 : Lugol	5mL	<input type="checkbox"/> Solution 4 : décolorant	5mL
<input type="checkbox"/> Ethanol 95%			

2- Réalisation de l'étalement bactérien

- Nettoyer les lames à l'alcool, essuyer au papier absorbant, laisser sécher.
- A l'aide d'un coton-tige, prélever une colonie isolée sur la boîte de Pétri fournie (si possible, ou plus si les colonies sont petites et confluentes).
- Faire deux étalements par lame, sur 2 cm de diamètre environ : un étalement de la colonie pure et un étalement dans une petite goutte d'eau distillée déposée préalablement.
- Laisser complètement sécher (5 min à l'air libre).

3- Coloration de Gram

- Disposer plusieurs couches de papier absorbant au fond du plateau. Placer les lames sur le portoir, dans le plateau de coloration.
- Recouvrir les étalements largement de solution de Cristal Violet, pendant 2 minutes. Rincer délicatement mais abondamment à l'eau du robinet, jusqu'à ce que le colorant ne dégorge plus.
- Recouvrir les étalements largement de solution de Lugol pendant 1 minute. Enlever la solution en versant dans le plateau, rincer délicatement mais abondamment à l'eau du robinet.
- Décolorer les lames à l'éthanol 95%, goutte à goutte, jusqu'à ce que le colorant ne dégorge plus, pas davantage, sous peine d'éliminer la coloration 1. Eliminer l'alcool en rinçant une fois à l'eau distillée.
- Recouvrir les étalements largement de solution de safranine pendant 1 minute. Enlever la solution en versant dans le plateau, rincer délicatement mais abondamment à l'eau courante. Laisser sécher.
- Monter les étalements entre lame et lamelle dans le milieu de montage aqueux Aquatex. Examiner la préparation. Interpréter.

ANNEXE C :
Analyse qualitative de L'ACTIVITÉ de la β -galactosidase en milieu liquide

1- Matériel

Boîtes de Pétri inoculées avec chacune des souches à analyser

Cône de pipette stérile

Microtube Eppendorf + portoir

Poubelle de déchets bactériologiques

Pipetman 1000 + cônes

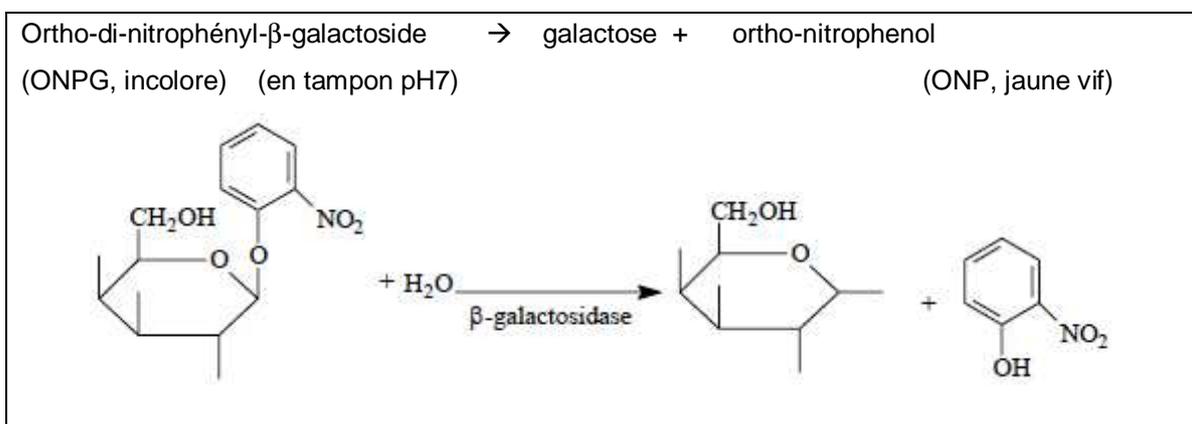
Pipetman 20 + cônes

Milieu réactionnel pour β -galactosidase 2 mL

Solution de substrat concentrée 10X ($1,5\text{mmol.L}^{-1}$ ONPG): 0,2 mL

2- Principe

La β -galactosidase catalyse la réaction suivante :



3- Protocole

- Utiliser des gants pour toute la réaction.
- Préparer 1,2mL de milieu réactionnel contenant le substrat.
- Transférer 200 μL de ce milieu dans chaque microtube, en prévoyant un tube contrôle.
- Transférer, à l'aide d'un pipetman 20 équipé d'un cône, plusieurs colonies dans chaque tube à tester. Resuspendre par agitation/pipetage. Jeter le cône dans la poubelle à déchets bactériologiques.
- Fermer soigneusement les tubes et agiter (utiliser le vortex 10 secondes).
- Incuber les tubes au bain-marie à 37°C , pendant au moins 15 minutes et au maximum 1h.
- Interpréter.

ANNEXE D :
RÉACTION DE POLYMÉRISATION EN CHAÎNE (PCR) SUR COLONIE BACTÉRIENNE

1- Matériel

a. Matériel commun

Bain à sec à 100°C
Thermocycleur
Mini-centrifugeuse

b. Matériel individuel

Boîtes de pétri inoculées avec les deux souches bioluminescentes
Pipeteman 20 et 200
Cônes jaunes stériles
Gants
Tubes stériles pour PCR 200 µL
Tubes eppendorf 1,5mL stériles

Eau bidistillée
Solution de Triton-X100 à 10%
Amorces de PCR (20 ng.µL⁻¹)
Tampon de PCR (10x)
Désoxynucléotides A, C, G, T (10 mM chacun, dNTPs)
Enzyme Taq ADN Polymérase 1 Unité.µL⁻¹
Tampon de charge
Marqueur de poids moléculaire

2- Préparation de la matrice d'ADN.

- a. Préparer 1mL de tampon de lyse (Triton-X100 à 1% dans de l'eau bidistillée)
- b. Gratter une grosse colonie ou plusieurs petites à l'aide d'un cône jaune.
- c. Inoculer un microtube Eppendorf contenant 50µL de tampon de lyse, bien agiter.
- d. Lysér les bactéries : 2 min à 100°C dans le bain à sec.
- e. Réserver sur la glace : ce lysat bactérien sera utilisé comme matrice dans la réaction PCR

3- Préparation des tubes de réaction.

La réaction est réalisée dans un volume final de 25 µL, **tous les composants et les mélanges doivent être conservés sur la glace.**

- a. Préparer un seul tube de milieu réactionnel commun pour vos 6 échantillons. Ajoutez dans l'ordre pour chaque échantillon :

Eau	Qsp (quantité pour) 10 µL final
Tampon de PCR	2,5 µL
dNTP	0,25 µL
Taq ADN polymérase	1 Unité

Mélanger en tapotant délicatement, centrifuger brièvement pour faire tomber d'éventuelles gouttes au fond du tube.

- b. Pour chaque échantillon, préparer un tube contenant :

ANNEXE E :
Purification de PROTÉINE ÉTIQUETÉE histidine par chromatographie D’AFFINITÉ

1- Matériel

Lysat issu d’une culture de la souche identifiée en partie II.	1,5 mL
Colonne de chromatographie d’affinité sur ion métal immobilisé	1
Milieu d’équilibration et lavage LEW	
Milieu d’élution (contenant 250mM imidazole)	
Eau bidistillée	

2- Equilibration de la colonne d’affinité

La colonne est préchargée avec la résine chélatrice d’ion Nickel (Ni^{2+}).

Préparer un tube avec 2 mL de tampon LEW et un autre avec 1mL de tampon d’élution 1x, refroidir sur glace.

Equilibrer la colonne avec 320 μL de tampon d’équilibration LEW. Laisser écouler par gravité. Jeter l’éluat.

3- Purification de la protéine de fusion étiquetée HIS

Tous les lysats et les éluats doivent rester sur la glace au maximum, afin de préserver les activités protéiques.

Après équilibration, placer un tube eppendorf propre sous la colonne.

Déposer 1 mL de lysat sur la colonne. Numéroter l’éluat obtenu (L0).

Laver la colonne avec deux fois 320 μL de LEW, en changeant de tube à chaque fois. Numéroter les éluats de lavage L1 et L2.

Dans trois tubes eppendorfs propres, éluer la protéine de fusion par trois fois 240 μL de tampon d’élution 1x. **Conserver les fractions F1, F2, F3 sur la glace.**

ANNEXE F :
DOSAGE DES PROTÉINES TOTALES PAR COLORIMÉTRIE : COLORATION DE BRADFORD

1- Principe

La coloration de Bradford utilise le changement d'absorbance à 595 nm du colorant Coomassie quand il se lie à des protéines: Coomassie (rouge) → Coomassie-protéine (bleu)

Les échantillons à mesurer sont dosés grâce à une gamme-étalon d'Albumine sérique (BSA).

2- Composition des échantillons et protocole.

Vous disposez de LEW pour les dilutions, de colorant de Bradford concentré 5 fois. Composez chaque échantillon de la façon suivante :

échantillon à doser	volume d'échantillon (μL)	LEW
ech x	v_x	$800 \mu\text{L} - v_x$

Au moment de lancer la réaction (quand tous les échantillons sont prêts), ajoutez 200 μL de colorant concentré à chaque tube. **Comptez 15 min à partir du moment où le dernier tube a reçu le colorant.** A partir de 15 min, vous pouvez mesurer les absorbances. La mesure A595 doit se faire entre 15 min et 50 min après le début de la réaction. Vous utiliserez des cuvettes plastiques pour spectrophotomètre.

3- Réalisation de la gamme-étalon

Vous disposez d'une solution de BSA à 100 mg.mL^{-1} . A partir de cette solution, réalisez les dilutions nécessaires (dans le LEW) afin de réaliser une gamme étalon allant de $1,25 \mu\text{g.mL}^{-1}$ à $10 \mu\text{g.mL}^{-1}$. Mesurez A595 et tracez la courbe-étalon sur du papier millimétré.

4- Analyse des fractions purifiées.

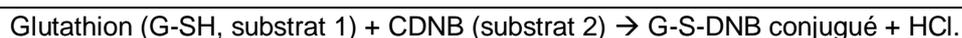
Vous prélèverez 11 μL de chaque échantillon (lysats initial, lavages L1, L2, fractions F1, F2, F3) que vous diluerez dans 99 μL de LEW, pour obtenir 110 μL d'échantillon dilué.

Vous doserez deux quantités de chaque échantillon dilué : 10 μL et 100 μL , par la réaction de Bradford. Vous positionnerez les valeurs obtenues sur la courbe-étalon et en déduirez la quantité de protéines totales contenues dans chaque échantillon (en μg).

ANNEXE G :
DOSAGE DE L'ACTIVITÉ DE LA GST (GLUTATHION S-TRANSFÉRISE).

1- Principe

L'activité spécifique de la GST est proportionnelle à la vitesse d'apparition du produit de réaction le G-S-DNB qui présente une absorbance spécifique à 340 nm. La mesure consiste donc à mesurer la quantité de produit de réaction présente dans chaque échantillon chaque minute, pendant 5 minutes.



2- Protocole

Vous disposez du tampon de réaction (tampon Phosphate) et de chaque substrat concentré (L-glutathion G-SH, 200 mM) et CNDB (100 mM). Pour chaque échantillon et le contrôle, préparez le mélange suivant dans un tube eppendorf :

- 980 μL tampon
- 10 μL G-SH
- 10 μL CNDB

Mélanger. Laisser équilibrer à la température de la pièce.

Au moment de lancer la réaction, chaque échantillon un par un, vous placerez 1 mL du milieu réactionnel dans une cuvette UV pour spectrophotomètre. Rajoutez l'échantillon (10 μL pour chaque échantillon : F1 ou F1/50°C ou F1/pH9.5). Placer un morceau de parafilm pour fermer la cuvette et retournez pour mélanger : ceci constitue $t = 0$. Placer la cuvette dans le spectrophotomètre.

Mesurer A340 aux temps suivants : temps 1 min, 2 min, 3 min, 4 min et 5 min.

Ensemble II :
PARTIE V - La GFP : traceur cellulaire pour l'ÉTUDE de la physiologie cardiaque
durée conseillée : 1h30 - barème : 6 /20

Les données scientifiques présentées dans cette partie sont tirées des articles :
Tamaki T. et al. (2008) PloS One 3 : e1789 et Reineke H. et al. (2004) Circ.Res. 94 : e56-e60

V-A- Les cellules Sk-34 sont des cellules ayant les caractéristiques de cellules souches adultes pluripotentes qui sont purifiées à partir du tissu conjonctif interstitiel de muscle squelettique. Des expériences de culture cellulaire et de transplantation cellulaire ont montré que ces cellules peuvent se différencier en plusieurs types cellulaires tels que l'adipocyte, la cellule musculaire lisse vasculaire, la cellule de Schwann ou encore la cellule musculaire squelettique.

V-A-1. Quelles sont les caractéristiques d'une cellule souche adulte ?

Réponse à la question V-A-1

Autorenouvellement (division inégale : 1 cellule fille cellule souche, 1 cellule fille entre en différenciation)

Faible taux de prolifération

Pas totipotente (pluri ou unipotente) in vivo.

V-A-2. Présentez le principe d'une méthode permettant de purifier cette population de cellules Sk-34 à partir de la population cellulaire hétérogène du tissu conjonctif de muscle squelettique.

Réponse à la question V-A-2

Faire un immunomarquage fluorescent dirigé contre des **marqueurs spécifiques des cellules Sk-34** puis **trier les cellules positives au cytomètre de flux.**

Principe du tri au cytomètre de flux :

Cytométrie de flux est technique de caractérisation individuelle, de particules (en l'occurrence des cellules) en suspension dans un liquide qui défilent dans le faisceau d'un laser

Fonction tri du cytomètre permet de trier les cellules d'une population hétérogène en fonction de leurs propriétés optiques, en l'occurrence trier celles qui sont positives pour l'immunomarquage de celles qui ne le sont pas.

Les expériences dont les résultats sont présentés dans les questions B et C sont des expériences utilisant des cellules Sk-34 fraîchement purifiées à partir de tissu conjonctif interstitiel de muscle squelettique d'une souris transgénique pour la GFP (souris GFP-Tg).

V-A-3. Expliquez le principe d'une méthode d'obtention de souris transgéniques pour la GFP en vous aidant d'un schéma.

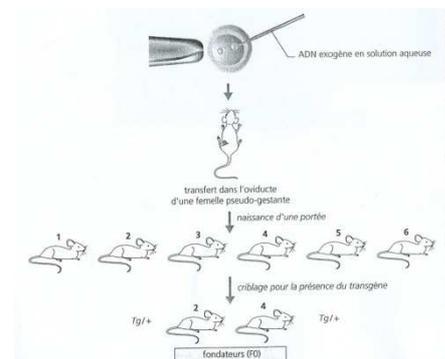
Réponse à la question V-A-3

Méthode injection dans le zygote



étapes fondamentales : injection gène GFP dans pronucléus mâle après fécondation , gène GFP s'associe au hasard (ou pas, si recombinaison homologue), sur l'ADN des chromosomes d'origine paternelle, zygote transgénique replacé dans une femelle porteuse, naissance d'un souriceau transgénique si la transgénèse a réussi, détection du souriceau transgénique par la fluorescence dans le cas de la GFP

ADN EXOGÈNE : gène GFP sous promoteur fort



criblage par détection de la fluorescence

OU

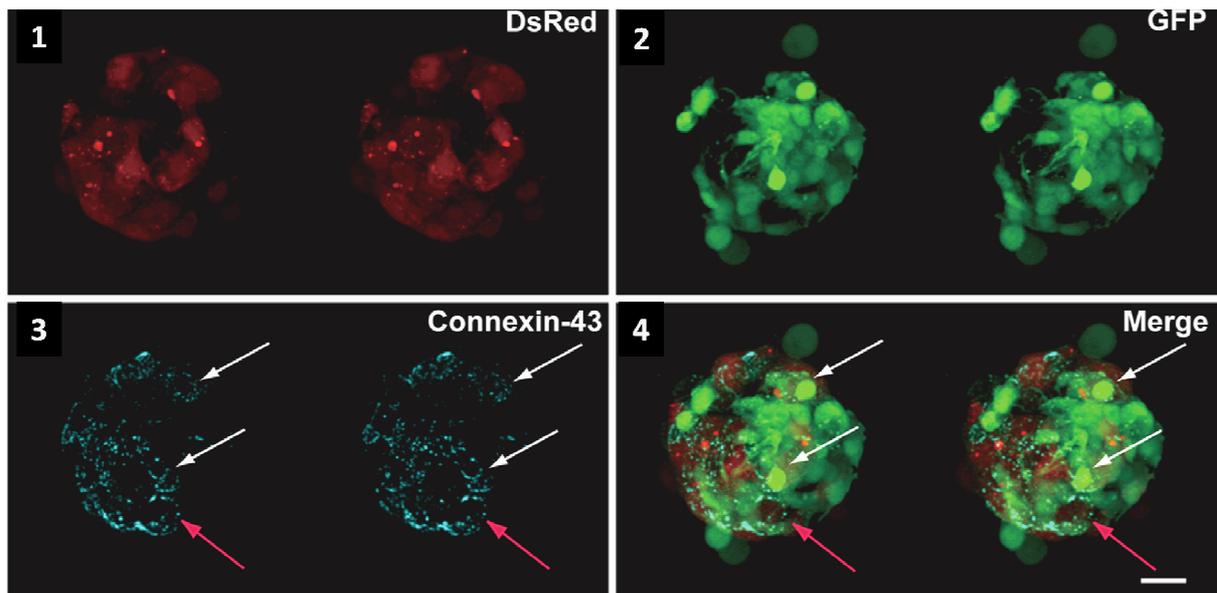
Méthode utilisation de cellules ES transfectées

V-B. Une première série d'expériences consiste à mettre en co-culture des cellules Sk-34 avec des cardiomyocytes embryonnaires de souris transgéniques pour la protéine fluorescente rouge DsRED. Ces co-cultures sont faites dans des chambres de culture sur lame histologique. Le suivi des co-cultures durant 6 jours permet d'observer la séquence suivante : en quelques heures, les cellules s'étalent sur la lame, après 2 à 3 jours de culture, on commence à observer des « agrégats » cellulaires qui finissent par s'organiser en sphères de cellules. Les cellules d'une même sphère présentent des contractions rythmiques synchrones et peuvent commencer à se détacher de la lame au sixième jour. Une photo de ces sphères cellulaires est présentée en **Figure 1**.



Figure 1- Photo de co-culture de cellules Sk-34 de souris GFP-Tg et de cardiomyocytes embryonnaires de souris DsRED-Tg montrant les sphères cellulaires. Barre d'échelle : 20 µm

Après 6 jours de co-culture, les lames sont fixées et on effectue un immunomarquage fluorescent anti-connexine 43 (fluorescence bleue), protéine présente au niveau des jonctions communicantes du tissu cardiaque chez les Mammifères. Les lames sont observées au microscope confocal, pour détecter la GFP, la DsRED et la connexine 43. Les résultats obtenus sont en **Figure 2** ci-dessous.



V-B-1. On pouvait supposer que les sphères observées étaient des colonies clonales, les résultats obtenus permettent-ils de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse et comment ?

Réponse à la question V-B-1

Une colonie clonale (=clone) est un ensemble de cellules dérivant par divisions successives d'une seule cellule.

Si les sphères étaient des colonies clonales, alors elles seraient constituées uniquement de cellules Sk-34 GFP+ ou uniquement de cardiomyocytes (fluorescence rouge). On observe sur la photo présentée que chacune des sphères contient les 2 types de cellules, ce qui permet d'infirmer cette hypothèse : les sphères ne sont pas des colonies clonales.

V-B-2. A partir de l'analyse de ces résultats, que pouvez-vous conclure et/ou émettre comme hypothèse quant à la formation des sphères cellulaires et à la différenciation des cellules Sk-34 en co-culture avec les cardiomyocytes ?

Réponse à la question V-B-2

Les photos 1 et 2 montrent que les sphères contiennent des cellules des 2 populations.

On peut en conclure que **les sphères se sont formées par association de cellules des 2 populations.**

La photo 4 montre **des cellules GFP+** qui expriment **les connexines 43 au contact de cardiomyocytes**. La connexine étant **un marqueur de différenciation musculaire**, ce résultat met en évidence une **différenciation structurale** des cellules Sk 34 en cardiomyocyte. D'autre part, les cellules de la sphère, dont les cellules d'origine Sk-34, se contractent, ce résultat met en évidence une **différenciation fonctionnelle** de ces cellules en cardiomyocyte.

On peut supposer que **la co-culture des cellules Sk-34 avec des cardiomyocytes a induit leur différenciation en cardiomyocyte** et la formation de sphères par établissement de jonctions cellulaires (au moins des jonctions communicantes) entre les cellules des 2 populations.

V-B-3. A partir de vos connaissances sur le fonctionnement d'un cardiomyocyte, précisez en quoi l'analyse de la figure 2 permet d'expliquer qu'il y a synchronisme des contractions des cellules d'une même sphère.

Réponse à la question V-B-3

Un cardiomyocyte adulte est une cellule contractile dont **la contraction est commandée par l'onde de dépolarisation transmise par les cellules nodales** (des cellules cardiaques d'origine musculaire peu contractiles et qui se dépolarisent spontanément). La transmission se fait par **un flux de cations (essentiellement Ca²⁺)** entre cellules nodales et cardiomyocytes et entre cardiomyocytes **au niveau des jonctions communicantes**

Chez l'embryon, les cellules cardiaques sont d'un seul type : des cardiomyocytes qui se dépolarisent spontanément.

La photo 4 de la figure 2 montre que les cellules des sphères des 2 populations cellulaires expriment des connexines 43, on peut en déduire que **la communication est possible entre elles**. La première cellule d'une sphère qui se dépolarise est à l'origine d'une onde de dépolarisation qui se transmet à l'ensemble des cellules, grâce aux connexines, et commande la contraction des cellules de façon synchrone.

V-C- Une seconde série d'expériences consiste à transplanter des cellules Sk-34 de souris GFP-Tg dans la paroi du ventricule gauche du cœur de rats chez qui on vient d'induire expérimentalement un infarctus du myocarde (rats MI). L'injection des cellules Sk-34 est faite précisément dans la zone du ventricule gauche lésée par l'infarctus.

V-C-1. Donnez la définition d'un infarctus du myocarde.

Réponse à la question V-C-1

Un infarctus du myocarde est une **lésion (mort par nécrose des cardiomyocytes)** d'une région du myocarde due à **une diminution ou une interruption de la circulation sanguine (ischémie partielle ou totale)** dans cette région.

V-C-2. Les biologistes font ces expériences de transplantation sur des rats nude (athymiques), expliquez pourquoi il est nécessaire d'utiliser cette lignée de rats.

Réponse à la question V-C-2

Les rats nude étant athymiques, ils ne possèdent **pas de lymphocytes T et ne développent donc pas de réaction immunitaire à médiation cellulaire**. Ces rats peuvent donc être transplantés avec des cellules de souris **sans risque de destruction de ces cellules par réaction immunitaire**.

Les cœurs sont prélevés et fixés 4 semaines après la transplantation cellulaire. Des coupes fines et ultra-fines sont effectuées. Un immunomarquage fluorescent (fluorescence rouge) anti-connexine-43 est effectué sur les coupes fines de cœur. Un immunomarquage anticorps primaire anti-GFP + anticorps secondaire couplé à la HRP (Horseradish Peroxydase= Peroxydase de Raifort) est effectué sur les coupes ultra-fines, les cellules marquées ont un cytoplasme plus dense aux électrons après la révélation. Les résultats d'observation des coupes sont en **Figure 3** et **Figure 4**.

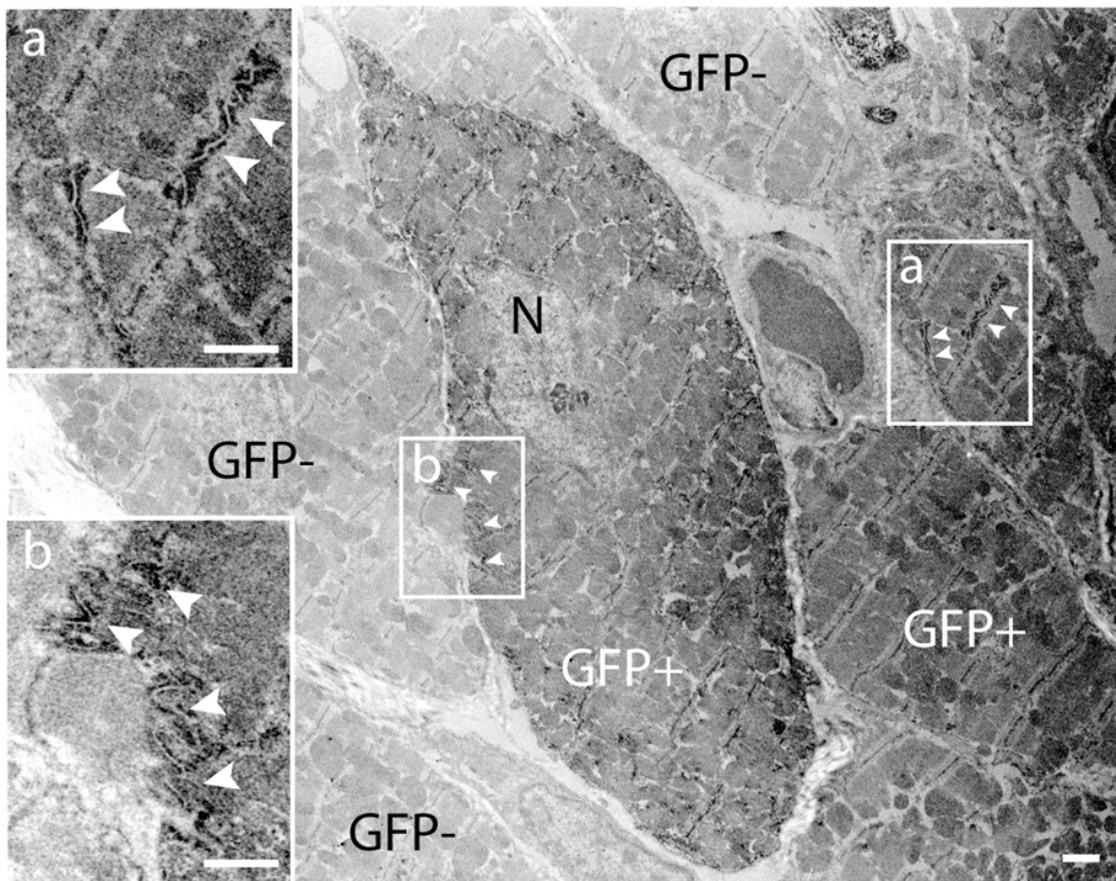


Figure 3 - Photo d'une coupe ultrafine de cœur de rat MI, dans la région transplantée avec les cellules Sk-34, avec immunomarquage anti GFP. GFP+ : cellule positive pour l'immunomarquage, GFP- : cellule négative pour l'immunomarquage. Les photos a et b sont des agrandissements des zones encadrées sur la photo centrale. Barre d'échelle : 2 μ m

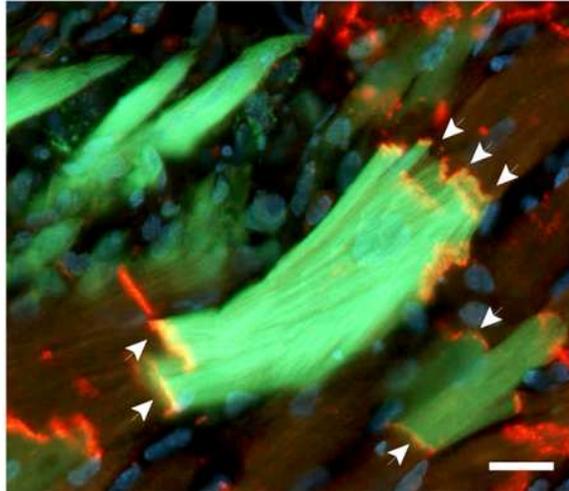


Figure 4 - Photo d'une coupe fine de cœur de rat MI, dans la région transplantée avec les cellules Sk-34, avec immunomarquage fluorescent anti-connexine-43 (fluorescence rouge). Barre d'échelle : 10 μ m

V-C-3. Pour chaque photo, précisez ce que désignent les pointes de flèches blanches.

Réponse à la question V-C-3

Sur la photo Figure 4, les flèches désignent les **zones positives pour l'immunomarquage anti-connexine-43**, il s'agit donc de **jonctions communicantes**.

Sur la photo Figure 3, les flèches sont au niveau de **portions de trait scalariforme** (=disque intercalaire), zones de contact de 2 cellules cardiaques.

Elles désignent des zones denses aux électrons, des **desmosomes**. (jonctions de type adhérent)

V-C-4. Analysez précisément les deux photos et concluez.

Réponse à la question V-C-4

Les photos montrent un tissu musculaire cardiaque de **structure normale, sans lésion**. On peut donc conclure que la région lésée a cicatrisé et **qu'un tissu nouvellement formé a remplacé le tissu lésé**.

La photo figure 3 montre clairement qu'une **cellule GFP+**, donc transplantée, **établit des jonctions cellulaires avec une cellule GFP-** donc une cellule cardiaque du rat transplanté.

L'ultrastructure des cellules GFP+ montre des myofibrilles, caractéristiques du muscle strié, et des disques intercalaires, caractéristiques du muscle strié cardiaque, on peut en conclure que **les cellules Sk-34 transplantées se sont différenciées en cardiomyocytes** en 4 semaines et **contribuent à réparer la lésion**.

La photo figure 4 montre que le tissu de la région lésée puis transplantée contient des cellules GFP+ (fluorescentes) jointes à des cellules GFP- , donc non transplantées. Le tissu cardiaque est donc une mosaïque de cellules transplantées et de cellules du rat.

V-D- Des tests fonctionnels sont effectués sur une série de rats MI transplantés avec des cellules Sk-34, les rats contrôle étant des rats MI chez lesquels on a injecté un volume de milieu physiologique égal au volume de suspension cellulaire injecté chez les rats transplantés. Quatre semaines après le déclenchement de l'infarctus et la transplantation de cellules, les rats sont opérés de façon à introduire un cathéter dans le ventricule gauche et mesurer le volume d'éjection systolique. Cette mesure est effectuée chez 8 rats transplantés et chez 8 rats contrôle, les moyennes et les déviations standard sont calculées pour chaque groupe. Les résultats sont donnés en **Figure 5**.

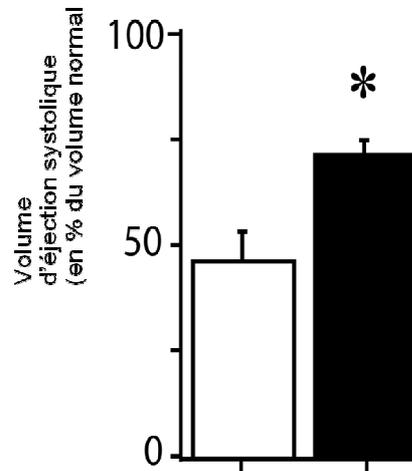


Figure 5 - Valeurs moyennes des volumes d'éjection systolique chez les rats MI contrôle (blanc) et chez les rats MI transplantés avec les cellules Sk-34 (noir). L'astérisque indique que $p < 0,05$.

V-D-1. Rappelez ce qu'est le volume d'éjection systolique et interprétez le résultat obtenu chez les rats contrôle.

Réponse à la question V-D-1

Le volume d'éjection systolique est le volume de sang éjecté à chaque contraction du ventricule (gauche)

On observe que les ventricules gauches des rats MI contrôle présentent un **volume d'éjection diminué de moitié par rapport à un volume d'un cœur non lésé**.

Les rats MI contrôle ont un **ventricule gauche dont une partie n'est plus fonctionnelle (région lésée lors de l'infarctus)** ; la **force de contraction développée étant fonction de la masse de myocarde contractile**, elle est donc diminuée chez les rats MI contrôle.

Le **volume d'éjection systolique est fonction** du remplissage du ventricule et de **la force de contraction du myocarde : la diminution de la force de contraction induit donc une baisse du volume d'éjection systolique**.

V-D-2. Après avoir expliqué ce que signifie $p < 0,05$, que pouvez-vous conclure de cette expérience ?

Réponse à la question V-D-2

$p < 0,05$: la **probabilité** que la différence entre la valeur moyenne des rats MI contrôle et celle des rats transplantés soit **non significative** (due au hasard) est **inférieure à 0,05** (5 % de risque maximum que la différence ne soit pas significative).

On observe une **différence (significative avec $p < 0,05$) entre les rats MI contrôle et les rats MI transplantés** puisque chez les transplantés le volume d'éjection systolique atteint presque 75% du

volume d'éjection d'un ventricule normal alors qu'il n'est que de 50% du normal chez des rats MI non transplantés.

Ce résultat permet de conclure que **les cellules Sk-34 transplantées ont contribué à augmenter la force de contraction du ventricule.**

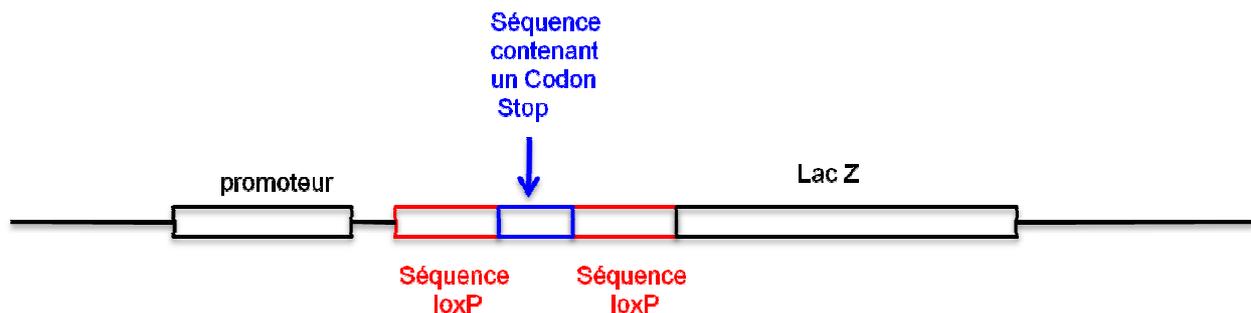
V-E. Quelle(s) perspective(s) médicale(s) peut-on envisager chez l'Homme à partir de ces expériences faites chez le rat ?

Réponse à la question V-E

Réparation du cœur après lésion due à un infarctus par injection locale d'une population de cellules souches adultes du type Sk-34 provenant du muscle squelettique du patient (greffe autologue). Les **cellules souches se différencieraient en cardiomyocytes et contribueraient à former un nouveau tissu musculaire cardiaque fonctionnel.**

Intérêt de cellules souches d'origine muscle squelettique d'un point de vue pratique : il **est facile de pratiquer une biopsie dans le muscle squelettique pour prélever le tissu** à partir duquel les cellules souches adultes sont purifiées pour être ensuite injectées

V-F. La transplantation dans le myocarde de cellules provenant de muscles squelettiques a été abordée selon une autre approche dans l'expérience suivante : une lignée de myoblastes est infectée par un adenovirus codant pour la construction suivante, appelée floxed-codon stop-lacZ :



Les séquences loxP sont des séquences reconnues par une recombinase d'origine virale appelée Cre. En présence de Cre, la portion d'ADN flanquée des séquences loxP est délétée.

Ces myoblastes transfectés sont injectés dans le myocarde de souris transgéniques MHC-Cre⁺ (la région codante Cre mise sous contrôle du promoteur de la chaîne lourde de la myosine cardiaque) et de souris contrôle MHC-Cre⁻.

Quatre semaines après la transplantation, les cœurs sont prélevés et fixés. Des coupes sont effectuées et traitées avec le substrat X-gal pour détecter la présence de la β -galactosidase. Les résultats sont en

Figure 6 ci-dessous.

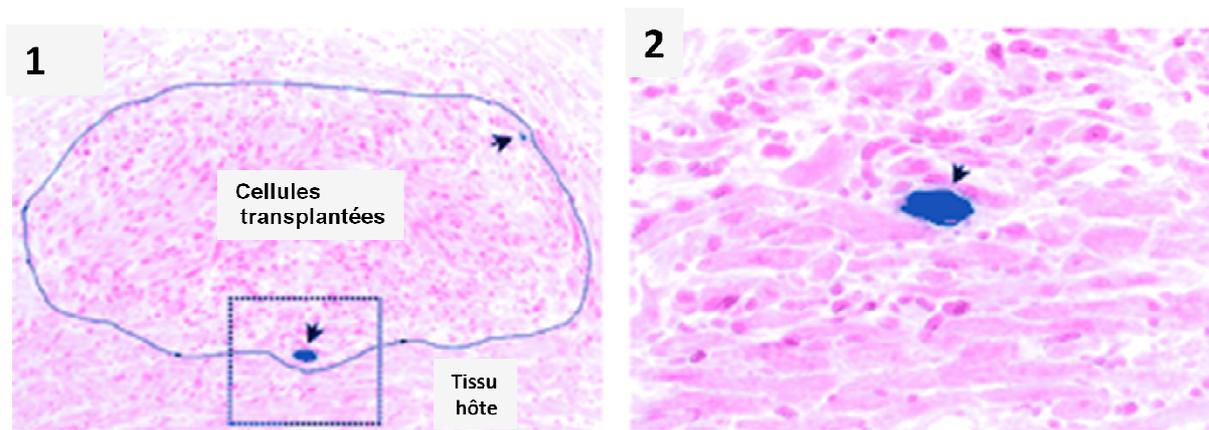


Figure 6 - Photos de coupes de coeur de souris MHC-Cre+ dans la zone injectée avec les myoblastes infectés (floxed-codon stop-lacZ). La photo 2 est un agrandissement de la zone encadrée de la photo 1. Les flèches repèrent des cellules positives.

L'analyse des cœurs transplantés des souris contrôle montre qu'il n'y a pas de cellules positives dans ces cœurs.

V-F-1. D'après l'organisation et le fonctionnement du système Cre/loxP décrit ci-dessus, expliquez à quelle condition une cellule peut être positive?

Réponse à la question V-F-1

Une cellule positive est une cellule **qui exprime la β -galactosidase** donc qui contient **la construction lox-codonstop-lacZ et la recombinaise Cre, enzyme nécessaire et suffisante pour rendre la construction fonctionnelle**, qui alors s'exprime dans la cellule.

V-F-2. Les résultats mettent en évidence qu'un phénomène cellulaire s'est produit lors de cette transplantation, lequel? Justifiez votre réponse.

Réponse à la question V-F-2

On observe une cellule positive sur la photo de coupe de cœur transplanté
 Il manque la construction loxP aux cellules de l'hôte pour qu'elles soient positives et il manque la recombinaise Cre aux myoblastes injectés pour qu'elles soient positives
La cellule positive est nécessairement une cellule qui résulte d'une fusion entre les 2 types de cellules (hôte et myoblastes injectés), chacune apportant un élément du système Cre/loxP
 Le phénomène qui s'est produit lors de cette transplantation est une fusion cellulaire.

V-F-3. Quel type de marquage supplémentaire aurait-il fallu faire dans les cœurs transplantés de l'expérience de la question V-C pour chercher si ce même phénomène s'est produit lors de cette transplantation?

Réponse à la question V-F-3

Marquage de type FISH (Fluorescence In Situ Hybridization) avec 2 types de sonde : une spécifique du génôme de rat (fluorescence rouge par exemple) pour repérer les cellules de l'hôte, une spécifique du génôme de souris (fluorescence jaune par exemple) pour repérer les cellules Sk-34.
Si une cellule résulte d'une fusion entre les 2 types cellulaires, elle présentera les 2 fluorescences.

V-F-4. L'expérience a été faite et donne un résultat négatif. A partir de vos connaissances sur le devenir naturel des myoblastes *in vivo*, émettre une (des) hypothèse(s) expliquant cette différence de devenir des cellules transplantées dans l'expérience de la question V-C et celle de la question V-F.
Réponse à la question V-F-4

Les myoblastes sont des cellules qui fusionnent pour former les fibres musculaires squelettiques lors de la différenciation musculaire *in vivo*, alors que les cellules Sk-34 ne sont pas des cellules déterminées à fusionner. On peut supposer que **cette différence de comportement observée *in vivo* se reproduit lors des expériences de transplantations** : les myoblastes infectés fusionnent avec les cellules de l'hôte alors que les cellules Sk-34 ne fusionnent pas mais établissent des jonctions avec les cellules de l'hôte.

6.1.2 Commentaire

L'épreuve de TP A était subdivisée en deux ensembles indépendants, le premier comportant une série de quatre expériences, le second composé d'une analyse de documents.

L'ensemble I était composé de quatre parties, I-II et III-IV, indépendantes deux à deux. Les candidats ont généralement choisi de traiter les parties dans l'ordre proposé. Un certain nombre de manipulations et d'observations ont fait l'objet d'une évaluation par le jury, pendant la séance. Chaque manipulation se rapportait à un protocole expérimental détaillé sous forme d'annexes, certaines d'entre elles nécessitaient une manipulation sur la glace pour assurer le maintien des activités enzymatiques. Les manipulations ont en général été réalisées correctement, mais de nombreux candidats ont du mal à gérer et organiser leur temps afin de mener de front les expériences et la rédaction du devoir.

Ensemble I

Objectifs de la Partie I.

Cette partie constituait un début simple par un ensemble de réactions réalisables en lycée. Il s'agissait de l'identification qualitative de 4 souches bactériennes en utilisant le test de Gram, une détection qualitative de l'activité beta-galactosidase in vitro et la détection de bioluminescence des bactéries portant un plasmide recombinant pour la GFP.

Cette partie débouchait sur l'identification des deux souches à la fois lacZ+ et bioluminescentes, utiles pour la suite des manipulations. Cette partie ne présentait pas de difficulté particulière, mais certains candidats ont passé beaucoup de temps à la réalisation des quatre lames de Gram, démontrant un manque de pratique, sur cette manipulation très classique. En général les candidats ont bien réussi cette partie.

Objectifs de la partie II.

Cette partie consistait en la mise en place d'une réaction de PCR et en son analyse sur gel d'agarose par électrophorèse, dans le but de discriminer la souche bioluminescente comportant la séquence de la GFP de celle comportant une fusion GFP-GST. Des expériences similaires peuvent être mises en oeuvre en lycée, si un thermocycleur – même d'une génération ancienne – est disponible à proximité.

Le candidat devait réfléchir à une stratégie et la justifier, avant de la mettre en oeuvre. Plusieurs possibilités étaient offertes dans le choix des amorces de PCR. Après avoir défini sa stratégie, le candidat devait s'aider du protocole et réaliser les divers mélanges réactionnels, avant de confier ses échantillons au jury, qui a réalisé les incubations dans le thermocycleur. A la fin de la réaction, qui dure 2 heures, les échantillons sont restitués à chaque candidat afin de les préparer pour l'analyse par électrophorèse. Le dépôt est réalisé par les candidats, puis la migration et la prise de photographie sont réalisées par le jury et la photo est remise au candidat. Durant le temps de réaction, le candidat était invité à analyser une fiche de résultats théoriques.

De nombreux candidats ont mis beaucoup de temps à mettre en place leurs échantillons, incitant le jury à retarder le déclenchement des incubations (de manière identique pour les deux vagues de candidats). Ainsi, presque tous les candidats ont lancé une réaction de PCR, puis une électrophorèse (même si quelques photos retardataires ont été réalisées dans les dernières minutes de l'épreuve: dans ce cas, la photographie était jointe à la copie directement par le jury).

La grande majorité des candidats ont réalisé les deux aspects de cette partie: 40/47 PCR et 38/47 gels d'électrophorèse. Les résultats des manipulations de PCR sont variables, en fonction de la stratégie adoptée, certaines n'aboutissant pas à la génération de produits de PCR. Dans ce cas, l'analyse des résultats théoriques attendus permettaient au candidat de recadrer son raisonnement à posteriori. De manière générale, les manipulations de petits volumes et les dépôts d'électrophorèse sont bien réalisés. Près de la moitié des candidats ont obtenu tout ou partie des résultats attendus et les ont analysés correctement en comparant avec les résultats théoriques fournis.

Objectif de la partie III.

La partie III était indépendante des parties I et II, et consistait en une analyse biochimique: purification sur colonne d'affinité de la protéine de fusion GFP-GST à partir d'un lysat de la souche identifiée en III

(le lysat était fourni). La purification ne présentait pas de difficulté, tant que l'ordre des tampons était respecté. La bioluminescence était nettement visible dans la première fraction éluée, permettant le choix de celle-ci dans les dosages suivants.

Les protéines des extraits obtenus étaient ensuite dosées, en comparant à une courbe de calibration d'albumine sérique, selon la méthode de Bradford. Les activités GFP des extraits étaient ensuite évalués, afin de calculer l'enrichissement en protéine d'intérêt, suite à la chromatographie. L'activité GFP était mesurée par son absorbance spécifique à 395nm au spectrophotomètre (à défaut de fluorimètre permettant de mesurer la fluorescence directement).

La réalisation de cette partie est très variable selon les candidats. Certains ne présentent pas clairement leur stratégie pour réaliser la courbe-étalon. D'autres ne précisent pas la nécessité de diluer certains échantillons (lysats) pour se situer dans l'intervalle de concentrations couvert par la gamme-étalon. Enfin, la réalisation des rapports de DO pour calculer l'enrichissement relatif de la fraction purifiée a souvent mal été réalisée. Néanmoins, quelques très bonnes copies (12/47) récoltent une majorité des points de cette partie.

Objectif de la partie IV.

La partie IV concluait l'ensemble I par une comparaison des activités de la GST et de la GFP dans deux conditions de réactions extrêmes (température, pH). La GST est une enzyme très sensible aux conditions réactionnelles tandis que la GFP est robuste et peu affectée dans ces conditions. L'analyse de l'activité GST nécessitait la mise en oeuvre d'une cinétique courte (5 min) pour calculer la vitesse de catalyse d'un substrat. Avant le calcul proprement dit, une estimation qualitative de la variation de cette vitesse était proposée.

Très peu de candidats ont abordé cette partie (14/47), les autres préférant se focaliser sur l'ensemble II. Néanmoins, ceux qui l'ont abordé ont soit réalisé une petite partie des manipulations, soit réfléchi, en posant des hypothèses, sur les résultats possibles des expériences. Dans les deux cas, cet effort a été récompensé par des points supplémentaires.

Ensemble II-Partie V

L'ensemble II permettait d'évaluer les compétences d'analyse et d'interprétation de données expérimentales, tout en testant un savoir de base nécessaire pour faire cette analyse en expert biologiste. Un futur enseignant agrégé de SVT doit en effet être capable d'actualiser ses savoir et savoir-faire en tirant des informations pertinentes de la littérature scientifique.

Les données concernaient deux modèles d'étude de thérapie cellulaire d'une lésion du myocarde suite à un infarctus provoqué chez des rats.

Dans ce type d'étude, il faut pouvoir identifier et suivre le devenir des cellules injectées pour réparer la lésion: un premier modèle utilisait des cellules purifiées à partir du tissu interstitiel de muscle squelettique de souris transgéniques pour la GFP (cellules Sk34 de souris GFP-Tg). Les résultats obtenus montraient que les cellules injectées ont participé à la formation d'un tissu musculaire cardiaque permettant ainsi une récupération fonctionnelle partielle (le volume d'éjection systolique des coeurs traités par injection de cellules est égal à 70% du volume normal versus 45% pour les coeurs non traités-Figure 5).

Ce premier modèle ne permettait pas de savoir si les cellules injectées avaient fusionné ou non avec des cellules de l'hôte lors de la formation du nouveau tissu musculaire cardiaque, puisqu'on ne donnait pas de résultats d'analyse du génôme des cellules GFP positives. Un second modèle d'étude utilisait le système Cre/loxP (injection de myoblastes floxed-codon stop-LacZ + dans le myocarde de souris transgéniques MHC-Cre+) de façon à mettre en évidence d'éventuelles fusions cellulaires entre les cellules injectées et les cellules de l'hôte. Les résultats obtenus montrent qu'il peut y avoir fusion si les cellules injectées sont des myoblastes. Une dernière question amenait le candidat à comparer ces deux systèmes de réparation utilisant des cellules d'origines différentes.

Pour cet ensemble, les notes vont de 3 à 48 sur 60, 21 candidats sur 47 obtiennent la moyenne. Les compétences à améliorer sont le plus souvent la précision dans l'analyse des résultats et la qualité de la rédaction scientifique: trop de copies manquent de clarté et de concision dans leurs réponses (voir corrigé). Pour être efficace dans ce type d'exercice, il faut bien évidemment pratiquer régulièrement l'analyse et l'interprétation de données scientifiques, et rendre compte de ce travail par écrit également régulièrement.

6.2 ÉPREUVE DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR B

6.2.1 Sujet

TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITÉ DU SECTEUR B

Durée totale : 6 heures

Métabolisme, vie ralentie et bilan énergétique des organismes

Cette épreuve comprend 6 parties indépendantes.

Partie I - La mesure des échanges respiratoires : un outil d'exploration fonctionnelle du métabolisme animal <i>durée conseillée : 1h30 - barème : 30 /120</i>	page 2
Partie II - La circulation des gaz respiratoires dans l'organisme animal <i>durée conseillée : 1h - barème : 25 /120</i>	page 11
Partie III - L'hibernation : une stratégie énergétique 13 <i>durée conseillée : 1h – barème : 15 /120</i>	page
Partie IV - Le tissu adipeux brun : un effecteur du métabolisme énergétique <i>durée conseillée : 1h – barème : 15 /120</i>	page 26
Partie V - Nitrates et dormance chez <i>Arabidopsis thaliana</i> 38 <i>durée conseillée : 1h – barème : 20 /120</i>	page
Partie VI - Reconnaissances raisonnées 49 <i>durée conseillée : 30 mn – barème : 15 /120</i>	page

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

AVANT DE RENDRE 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 - La mesure des échanges respiratoires : un outil d'exploration fonctionnelle du métabolisme animal

durée conseillée : 1h30 - barème : 30 /120

L'objectif de cette partie est d'élaborer un protocole de mesure des échanges respiratoires chez un animal à respiration aérienne. Ce protocole sera ensuite mis en œuvre afin de déterminer le coefficient Q_{10} et le quotient respiratoire chez deux espèces animales.

Dans cette partie, vous utiliserez également le quotient respiratoire afin de déterminer les substrats énergétiques utilisés par les animaux.

Matériel à disposition du candidat

- Un système d'ExAO comprenant une électrode à dioxygène (mesures exprimées en pourcentage), une électrode à dioxyde de carbone (mesures exprimées en ppm) et le système informatisé d'acquisition de données (fréquence d'acquisition réglable de 1 par seconde à 1 par minute) ;
- Une balance ;
- Des enceintes de 500 mL pouvant être closes hermétiquement et contenir les animaux et recevoir les sondes et électrodes ;
- Une souris et des asticots ainsi qu'une enceinte maintenues à 30°C ;
- Une souris et des asticots ainsi qu'une enceinte maintenues à température ambiante (20°C) ;
- Une souris et des asticots ainsi qu'une enceinte maintenues à 10°C ;
- Un tableau périodique des éléments.

I.A. La méthode de calorimétrie indirecte en circuit fermé. Conception d'un protocole et limites de la méthode

I.A.1. Rédigez un protocole vous permettant de déterminer l'intensité métabolique, le quotient respiratoire et le coefficient Q_{10} des animaux qui vous sont fournis. Vous donnerez précisément la succession des différentes étapes constitutives de votre protocole. Celui-ci doit pouvoir être mis en œuvre immédiatement et durer un maximum de 40 minutes pour réaliser l'ensemble des mesures en un seul passage au poste de mesure.

Réponse à la question I.A.1

1. faire une mesure courte (quelques dizaines de secondes) avec l'enceinte vide (contrôle)
2. peser le ou les animaux
3. introduire l'animal ou les animaux (attention risque de morsure avec la souris)
4. fermer l'enceinte
5. effectuer la mesure (maximum trois minutes, acquisition toutes les 15 à 30 secondes)
6. **ouvrir l'enceinte** (surtout lors des mesures avec la souris)
7. sortir l'animal ou les animaux
8. reprendre au point 1 avec une autre température et/ou un autre animal

I.A.2. Indiquez les éventuelles précautions à prendre et quels peuvent être les pré-requis pour pouvoir réaliser votre protocole.

Réponse à la question I.A.2

Précautions :

Manipulation des animaux (morsures, blessures à l'animal, bonnes pratiques)

Temps de mesure (risque d'asphyxie/d'hypercapnie pour la souris)

Calibration des sondes à O_2 et CO_2

Étanchéité de l'enceinte de mesure

I.A.3. Expliquez les limites techniques et d'application de la méthode utilisée en comparaison des méthodes (i) de calorimétrie indirecte en circuit ouvert et (ii) de l'eau doublement marquée.

Réponse à la question I.A.3

Calorimétrie indirecte en circuit fermé = pas de renouvellement du gaz ventilé par les animaux donc détérioration de la composition de ce gaz qui s'éloigne de la composition nominale de l'air ambiant. Cette détérioration est d'autant plus rapide que l'intensité métabolique du(es) organisme(s) en mesure est élevée. Il est à noter que le système de mesure peut-être amélioré par l'ajout d'un piège à CO_2 (tout risque d'hypercapnie est alors écarté). Dans ce cas, la consommation d'oxygène peut être mesurée par la mesure du volume d'air à introduire dans l'enceinte pour y maintenir une pression constante.

Cette méthode de calorimétrie indirecte en circuit fermée est très coercitive, les animaux étant confinés dans un espace réduit. Les mesures ne peuvent se faire que sur une durée très limitée (aucune information sur le coût énergétique des activités de l'animal, impossibilité de chiffrer les différentes composantes de la dépense énergétique).

(i) La calorimétrie indirecte en circuit ouvert (flux d'air à débit contrôlé et mesuré dans une cage contenant l'animal) permet des mesures sur le long et très long terme (pour autant que l'animal puisse manger et boire). Il devient possible de mesurer les différentes composantes de la dépense énergétique mais il reste impossible de déterminer le métabolisme d'existence d'un animal (celui-ci reste confiné dans une cage).

(ii) La méthode de l'eau doublement marquée permet grâce à la différence de vitesse de décroissance isotopique de ^{18}O (perte sous forme d' H_2O et de CO_2) et du ^2D (perte sous forme d' H_2O), de déterminer la dépense énergétique d'un animal totalement libre de ses mouvements sur des périodes longues (au regard de l'expérimentateur). Elle permet donc de mesurer le métabolisme d'existence d'animaux en milieu naturel. Elle ne permet cependant pas de déterminer le coût énergétique des différentes activités que peut mener un animal dans son milieu naturel.

I.B. Mesure des échanges respiratoires – exploitation des résultats.

I.B.1. Mise en œuvre de votre protocole

Mettre en œuvre votre protocole afin de déterminer les intensités métaboliques, le ou les coefficients Q_{10} et les quotients respiratoires des animaux qui vous sont proposés. **Assurez-vous de la présence d'un examinateur lors de la mise en œuvre de votre protocole.**

Rappel : votre présence au poste de mesure ne peut pas excéder 40 minutes.

I.B.2. Reportez sous forme de tableau les valeurs de consommation d'oxygène et de dépense énergétique en unité internationale mesurées sur les animaux fournis. Reportez également les valeurs de dépense énergétique spécifique. Justifiez les unités employées. Commentez.

Réponse à la question I.B.2

Le volume occupé par les animaux et les sondes dans l'enceinte est à estimer (par exemple 20 mL pour une souris et 10 mL pour 20 g d'asticots).

Soit P1 le pourcentage d'oxygène dans l'enceinte avant la mesure. Le volume d'oxygène présent dans l'enceinte avant la mesure (V_i en mL) est de $V_i = P1 \times (500 - \text{volume de l'animal et des sondes (à estimer)})$

Soit P2 le pourcentage d'oxygène dans l'enceinte à la fin de la mesure. Le volume d'oxygène restant dans l'enceinte après la mesure (V_f en mL) est de : $V_f = P2 \times (500 - \text{volume de l'animal et des sondes (à estimer)})$

VO_2 (consommation d'oxygène en mL O_2/min) = $(V_i - V_f) / \text{durée de la mesure en minute}$

Souris : XXX mL $\text{O}_2 \cdot \text{min}^{-1}$

Asticots : ZZZ (7 à 8 fois moins que la souris pour une masse identique mais cela est dépendant de la température de mesure....)

Dépense spécifique : Normalisation des résultats par unité de temps et par unité de masse^{0,75} (comparaison inter-spécifique) L'exposant 0,75 est le coefficient d'allométrie qui rend compte de la variation d'intensité métabolique en fonction de la taille des organismes. Il permet donc de comparer les intensités métaboliques d'organismes de masse différentes.

ATTENTION : Précision de la température de mesure impérative (surtout pour les ectothermes). Elle doit être la même pour les deux organismes

Unité attendue : $\text{J} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-0.75}$ (ou tout multiple ou sous-multiple de ces unités). $\text{W} \cdot \text{g}^{-0.75}$ est également une unité acceptable. $\text{mL O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-0.75}$ reste exact pour la consommation d' O_2 mais pas pour la dépense énergétique (20 kJ/L O_2).

I.B.3. Définissez ce qu'est le coefficient Q_{10} (signification, unités, valeurs significantes)

Rappel de la loi de Van t'Hoff : $Q_{10} = (\text{intensité métabolique à } T_1 / \text{intensité métabolique à } T_2)^{(10 / (T_1 - T_2))}$

Réponse à la question I.B.3

Q_{10} : rapport des intensités métaboliques d'animaux ectothermes pour une variation de 10°C de la température corporelle (approximée à la température ambiante chez les espèces ectothermes). **La notion de Q_{10} n'a donc pas de sens pour les espèces endothermes puisque leur température corporelle ne varie pas avec la température ambiante.** Valeurs classiquement comprises entre 2 et 3 (l'intensité métabolique est multipliée par un facteur 2 à 3 lorsque la température ambiante augmente de 10°C). Ce facteur multiplicatif implique que la relation entre l'intensité métabolique et la température ambiante est exponentielle. Le coefficient Q_{10} peut donc être obtenu en calculant la pente de la droite $\log(\text{intensité métabolique})$ en fonction de la température ambiante. Nombre sans dimension.

I.B.4. Reportez sous forme de tableau la ou les valeurs de Q_{10} calculée(s) à partir des mesures effectuées sur les animaux fournis. Commentez.

Réponse à la question I.B.4

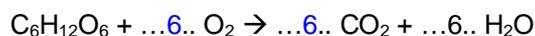
Cf. réponse à la question I.B.3. pour ce qui est du Q_{10} chez la souris.

Au vu de la définition du coefficient Q_{10} (question I.B.3.), il était attendu que les candidat(e)s effectuent des mesures à deux des températures ambiantes proposées, si possible avec un écart de 10°C . Bien sûr, il était possible d'effectuer les mesures aux trois températures ambiantes proposées.

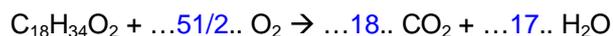
I.B.5. Equilibrez les réactions proposées en renseignant les zones en pointillés. Définissez ce qu'est le quotient respiratoire (signification, formule, unités). Calculez sa valeur pour les trois réactions proposées. Commentez les valeurs obtenues.

Réponse à la question I.B.5.

Réaction 1 :



Réaction 2 :



Réaction 3 :



QR : rapport entre la quantité (en moles ou en volume) de CO₂ produite et la quantité d'O₂ consommée. C'est un nombre sans dimension.

$$\text{QR réaction 1} = 1/1 = 1$$

$$\text{QR réaction 2} = 18/25,5 = 0,71$$

$$\text{QR réaction 3} = 5/6 = 0,83$$

La valeur du QR renseigne sur la nature chimique des substrats énergétiques oxydés. Valeurs entre 0,7 (correspondant à l'oxydation de lipides, réaction 2 = oxydation de l'acide oléique (C18:1)) et 1 (correspondant à l'oxydation de glucides, réaction 1 = oxydation du glucose). Le QR des protéines est de l'ordre de 0,8 à 0,85 en fonction de la nature des acides aminés oxydés (réaction 3 = oxydation de l'alanine).

I.B.6. Reportez sous forme de tableau les valeurs de quotient respiratoire calculées à partir des mesures effectuées sur les animaux fournis. Commentez.

Réponse à la question I.B.6

Le volume occupé par les animaux et les sondes dans l'enceinte est à estimer.

Soit P1 le pourcentage de CO₂ dans l'enceinte avant la mesure. Le volume de CO₂ présent dans l'enceinte avant la mesure (Vi en mL) est de $V_i = P1 \times (500 - \text{volume de l'animal et des sondes (à estimer)})$

Soit P2 le pourcentage de CO₂ dans l'enceinte à la fin de la mesure. Le volume de CO₂ restant dans l'enceinte après la mesure (Vf en mL) est de : $V_f = P2 \times (500 - \text{volume de l'animal et des sondes (à estimer)})$

$$VCO_2 \text{ (production de CO}_2 \text{ en mL CO}_2\text{/min)} = (V_f - V_i) / \text{durée de la mesure en minute}$$

$$\text{Souris : } XXX \text{ mL CO}_2\text{.min}^{-1}$$

$$\text{Asticots : } ZZZ$$

$$QR = VCO_2 / VO_2$$

I.C. Le quotient respiratoire : utilisation pour la détermination des substrats énergétiques oxydés.

*** Calcul de la nature des substrats énergétiques oxydés chez un animal à jeun.**

Un lapin est isolé sans nourriture ni boisson dans un récipient ventilé (l'air affluent est sec et débarrassé du CO₂) dont le gaz effluent traverse successivement 2 colonnes, la première (colonne 1) contient de la drierite (piège à eau), la deuxième (colonne 2) contient de l'ascarite (NaOH piégeant le CO₂). En 6 heures la masse de la colonne 2 augmente de 8 g tandis que la masse de la colonne 1 augmente de 10 g, ce qui représente également la perte de masse du récipient contenant l'animal.

I.C.1. Calculez les valeurs (exprimées par 24 heures) de l'amaigrissement, des pertes en eau par évaporation, de la production de CO₂, de la consommation d'O₂ et du quotient respiratoire du lapin. Commentez vos résultats et concluez sur la nature des substrats énergétiques oxydés par le lapin.

Réponse à la question I.C.1

$$\text{Amaigrissement du lapin} = \text{perte de masse du récipient le contenant} = 10 \text{ g/6 h soit } 40 \text{ g/24 h}$$

$$\text{Pertes évaporatives} = \text{gain de masse de la colonne 1} = 10 \text{ g/6 h soit } 40 \text{ g/24 h}$$

Production de CO_2 = gain de masse de la colonne 2 = 8 g/6 h soit 32 g/24 h soit $32/44 = 0,727$ mol/24 h

Cons. d' O_2 = (prod CO_2 + pertes en eau) – amaigrissement = $(32+40)-40 = 32$ g/24 h soit $32/32 = 1$ mol/24 h

QR = $0,727 / 1 = 0,727$ (**ATTENTION rapport de quantité de matière donc quantités de CO_2 et O_2 exprimées en mol ou en L mais en aucun cas en unité de masse (pas de rapport massique) donc surtout pas 32/32**)

QR proche de celui des lipides (0,7) donc le lapin à jeun oxyde très majoritairement des lipides pour assurer la couverture de sa dépense énergétique

* Calcul de la nature des substrats énergétiques oxydés chez un animal nourri.

Un rat a une dépense énergétique de 120 kJ par 24 heures et une excrétion d'urée de 0,425 g par 24 heures. Son quotient respiratoire moyen sur 24 heures est égal à 0,879.

I.C.2. Calculez les participations relatives des glucides, lipides et protéines à la couverture de la dépense énergétique. Vous calculerez également quelles sont les masses de glucides, lipides et protéines oxydés par le rat en 24 heures.

Rappels : l'oxydation d'un gramme de protéine conduit à la formation de 0,34 g d'urée. Les densités énergétiques des glucides, lipides et protéines sont respectivement de 18 kJ.g⁻¹, 39 kJ. g⁻¹ et 18 kJ. g⁻¹. Pour cet exercice vous considérerez le quotient respiratoire des glucides égal à 1, celui des lipides égal à 0,7 et celui des protéines égal à 0,81.

Réponse à la question I.C.2

Qté de P oxydée : $0,425 / 0,34 = 1,25$ g/24 heures

Qté d'énergie produite par oxydation des P : $1,25 \times 18 = 22,5$ kJ

Part des P à la couverture de la dépense énergétique : $(22,5 / 120) \times 100 = 18,75$ %

$(1 \times \%G) + (0,7 \times \%L) + (0,81 \times 0,1875) = 0,879$

$\%G + \%L + 0,1875 = 1$

→ $\%L = 28,5$ % → 34,24 kJ/24 heures → 0,877 g/24 heures

→ $\%G = 52,75$ % → 63,34 kJ/24 heures → 3,52 g/24 heures

Partie II - La circulation des gaz respiratoires dans l'organisme animal

durée conseillée : 1h - barème : 25 /120

Les échanges gazeux ont lieu dans les poumons chez les mammifères. Ces gaz sont transportés grâce à la circulation du sang, lui-même mis en mouvement grâce à l'action des pompes cardiaques. L'objectif de cette partie est de réaliser une dissection de la souris permettant la mise en évidence des principaux vaisseaux partant du cœur permettant ainsi le transport des gaz respiratoires.

Matériel à disposition du candidat

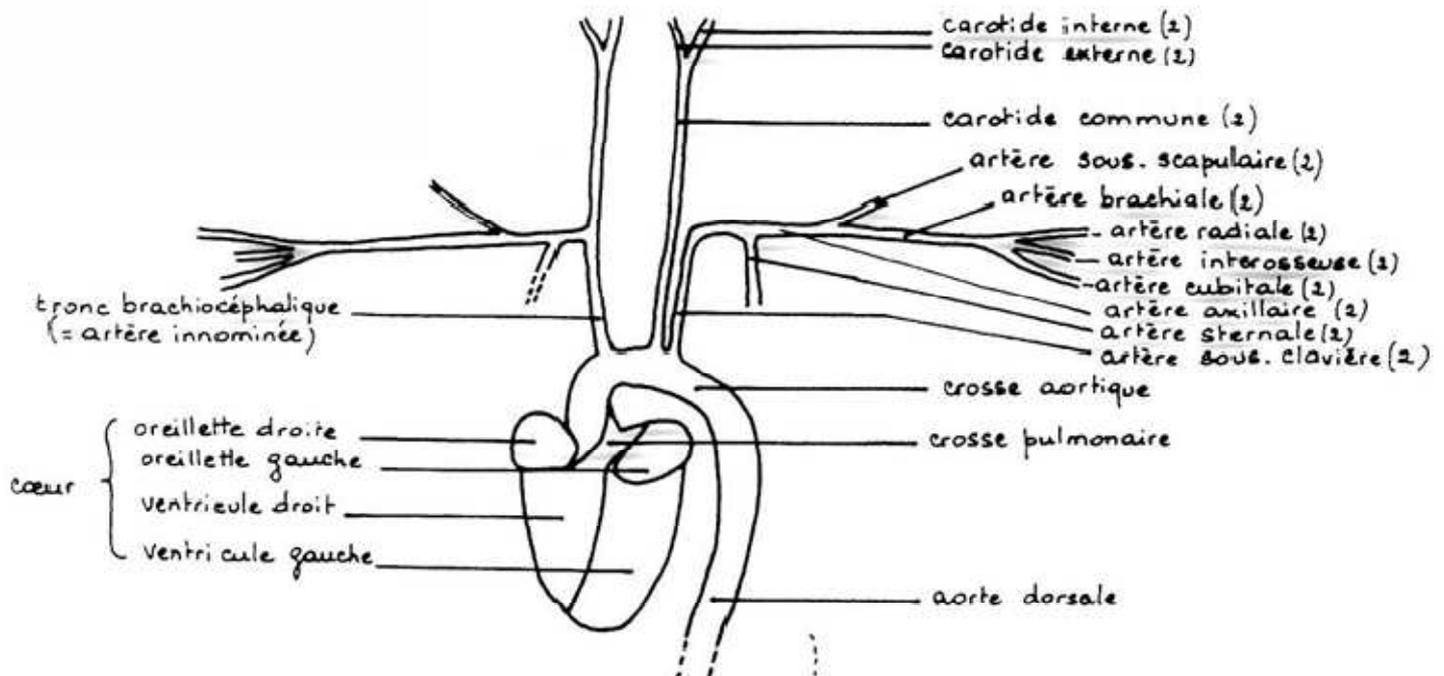
- Une souris morte (attention, ce même animal sera utilisé pour une autre dissection dans la partie IV.A.1.).

II.A. Dissection

Sur la souris mise à votre disposition, réalisez une dissection présentant le cœur et les poumons, ainsi que les principaux vaisseaux artériels de la région thoracique et du cou.

Réalisez un dessin annoté de votre dissection dans le cadre ci-après. **Appelez un examinateur à l'issue de la réalisation de votre dessin.** Celui-ci jugera de la qualité de votre dissection et de la correspondance entre votre dissection et le dessin que vous en aurez réalisé.

Réponse à la question II.A.



Partie III - L'hibernation : une stratégie énergétique

durée conseillée : 1h – barème : 15 /120

D'après Heldmaier G. *et al.*, 2004, *Resp. Physiol. Neurobiol.* 141 : 317-329. Geiser F., 2004, *Ann. Rev. Physiol.* 66 : 239-271. Wang L.C.H., 1978, in *Strategies in the cold*, Academic Press, 109-145. Phillips P.K. et Health J.E., 2004, *Comp. Biochem. Physiol. A* 138 : 451-457.

Parmi les stratégies mises en place par les animaux pour assurer la couverture de leurs besoins énergétiques, l'hibernation est une des plus efficaces pour faire face à la baisse des ressources alimentaires pendant la mauvaise saison.

L'objectif de cette partie est d'étudier l'efficacité de réduction de la dépense énergétique au cours de l'hibernation. Un intérêt particulier sera porté à l'influence de la taille des hibernants sur l'efficacité de la réduction des dépenses énergétiques lors de l'hibernation ainsi qu'aux variations de température corporelle associées à l'hibernation.

Matériel à disposition du candidat

- Une feuille de papier avec quadrillage en double échelle logarithmique.

III.A. Variations de la température corporelle au cours de l'hibernation.

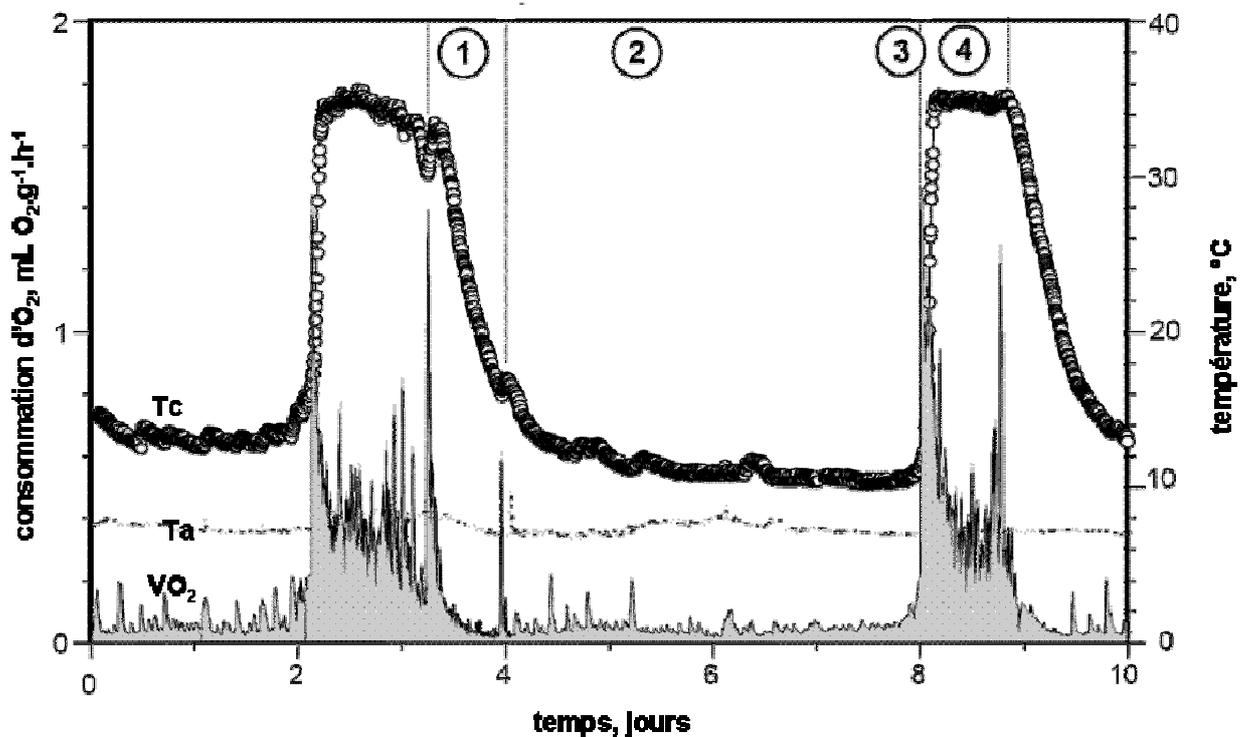


Figure 3A : Enregistrements simultanés au cours du temps (les jours correspondent à la durée d'enregistrement des données et non à la durée depuis le début de la période d'hibernation) de la température corporelle profonde (Tc en °C), de la température ambiante (Ta en °C) et de la consommation d'oxygène (VO_2 en $mL O_2 \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$) chez une marmotte alpine (*M. marmota*) en hibernation.

III.A.1. Commentez la figure 3A. A quoi correspondent les phases notées 1, 2, 3 et 4 sur cette figure ?

Réponse à la question III.A.1

Cette figure met en évidence que les animaux en hibernation ne sont pas en hypométabolisme durant toute la durée de la période d'hibernation mais qu'ils présentent des réveils périodiques au cours desquels l'intensité métabolique est élevée (comparée à celle des phases d'hypométabolisme) et la température corporelle remonte à un niveau qui est celui de l'euthermie (au alentour de 37°C).

La phase 1 correspond à la phase d'entrée en hypométabolisme. On constate que la baisse de la consommation d' O_2 précède la baisse de la température corporelle.

La phase 2 correspond à la phase d'état d'hypométabolisme. La température corporelle et la consommation d'O₂ ne représente plus qu'une fraction de celles de l'animal éveillé (dans cet exemple, la phase d'état dure 4 jours).

La phase 3 correspond au réchauffement très rapide de l'animal qui se traduit par une remontée de la température corporelle au niveau de celui de l'euthermie. Cette phase de réchauffement est concomitante d'une très forte consommation d'O₂.

La phase 4 correspond à la phase de réveil et d'euthermie durant laquelle les niveaux de consommation d'O₂ et de température corporelle sont ceux d'un animal non hibernant. Dans cet exemple cette phase d'éveil dure deux jours. Cette phase d'éveil est à nouveau suivie par un phase d'entrée en hypométabolisme.

Les animaux en hibernation présentent donc des réveils périodiques. La succession des 4 phases constitue un cycle d'hibernation. La période d'hibernation est constituée par une succession de cycle.

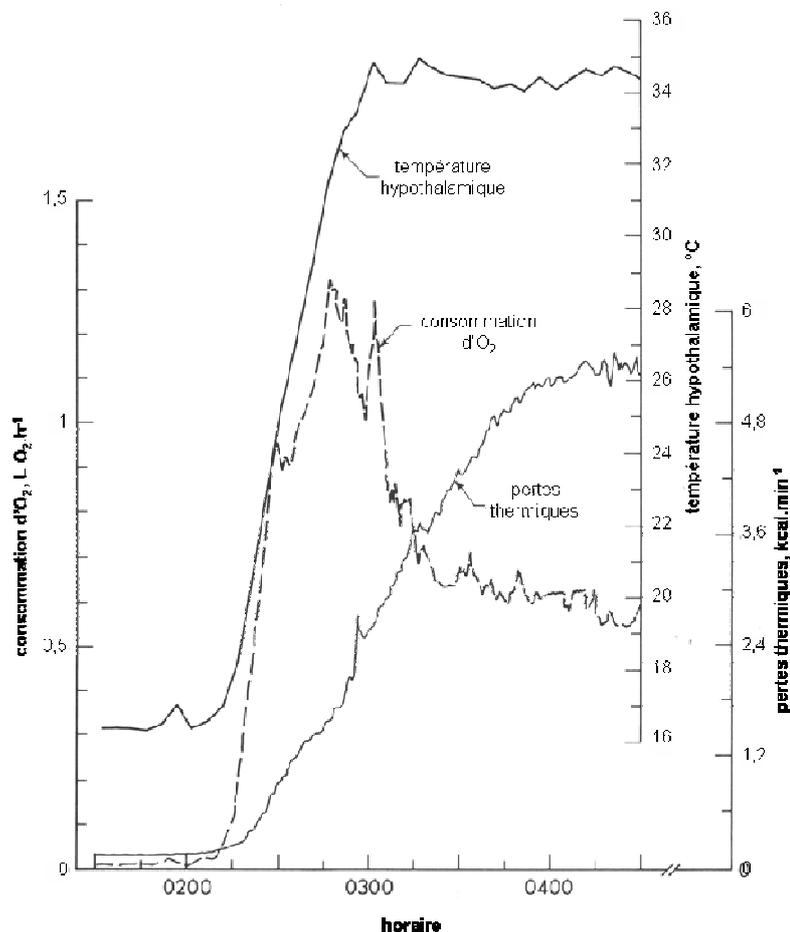


Figure 3B : Enregistrements simultanés au cours du temps de la température hypothalamique (en °C, mesurée par une sonde thermique implantée dans l'hypothalamus), de la consommation d'O₂ (VO₂ en L O₂.h⁻¹) et des pertes thermiques (kcal.min⁻¹) lors de la séquence temporelle correspondant à la phase 3 de la figure 3A chez un spermophile de Richardson (*S. richardsonii*) en hibernation. Durant l'enregistrement, l'animal reste dans son hibernaculum dont la température demeure constante.

III.A.2. Commentez la figure 3B. Expliquez en quoi les évolutions des trois paramètres mesurés sont ou non interdépendantes au cours du temps.

Réponse à la question III.A.2

De 0 à 02 heures, l'animal est en hypothermie avec une consommation d'O₂ et des pertes thermiques proches de 0. Pendant ce temps, la température hypothalamique est d'environ 17°C.

A partir de 02h10 environ, la consommation d'O₂ augmente fortement et concomitamment à la température hypothalamique. L'augmentation de la consommation d'O₂ conduit à une production de chaleur qui permet l'élévation de la température corporelle (par accumulation de chaleur), en l'occurrence la température hypothalamique.

Les pertes thermiques augmentent avec un retard de quelques minutes.

L'augmentation des pertes thermiques est liée à l'augmentation de la température corporelle qui conduit à une augmentation du gradient thermique entre l'animal et l'environnement, donc à une augmentation de la conduction thermique de l'animal.

De 02h10 environ à 03h environ, la consommation d'O₂ augmente puis se stabilise à une valeur maximale. Durant toute cette période, la température hypothalamique augmente (jusqu'à atteindre une valeur de 35°C) ainsi que les pertes thermiques. Les relations liant les trois paramètres restent les mêmes que celles expliquées ci-dessus.

A partir de 03h environ, la consommation d'O₂ diminue rapidement puis beaucoup plus lentement à partir de 03h30. Pendant tout ce temps, la température hypothalamique est stable alors que les pertes thermiques continuent à augmenter jusqu'à 04 heures. A partir de 04 heures, les pertes thermiques se stabilisent.

L'abaissement puis la stabilisation de la consommation d'O₂ sont liées au moindre coût énergétique de la maintenance de la température corporelle par rapport à son élévation (il est plus coûteux thermiquement d'augmenter la température corporelle que de la maintenir constante).

L'augmentation des pertes thermiques alors que la température hypothalamique est stable est le reflet du retard du réchauffement du reste de l'organisme par rapport au réchauffement de l'hypothalamus. L'augmentation des pertes thermiques est liée à l'augmentation du gradient thermique entre la température corporelle (plus précisément la température de surface) de l'organisme et la température ambiante. Les variations des pertes thermiques ne sont plus alors le reflet de l'augmentation de la température centrale mais celui de la redistribution de la chaleur au sein de l'organisme.

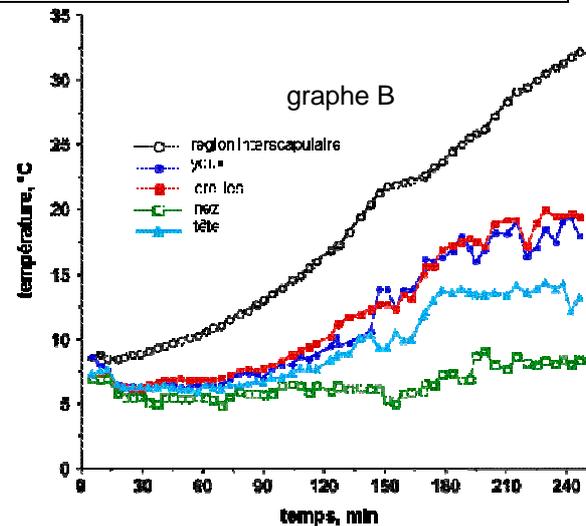
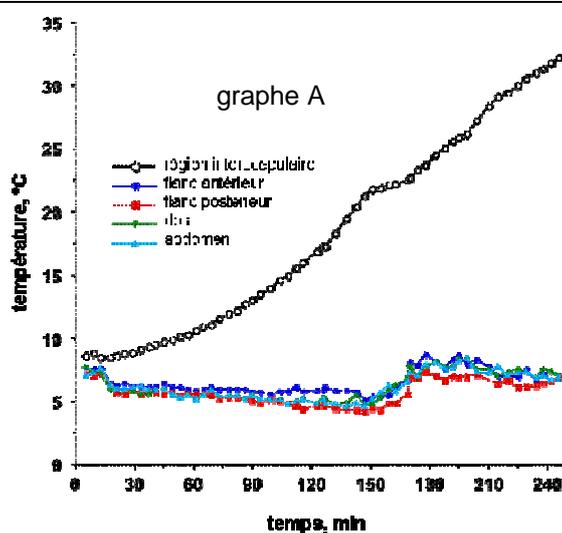


Figure 3C : Mesures simultanées au cours du temps de températures de surface (par thermographie infrarouge) de différentes régions du corps lors de la séquence temporelle correspondant à la phase 3 de la figure 3A chez une marmotte à ventre jaune (*M. flaviventris*) en hibernation. Durant l'enregistrement, l'animal reste dans son hibernaculum dont la température demeure constante. La phase 3 débute au temps 0.

III.A.3. Commentez la figure 3C. Expliquez à partir de cette figure 3C mais également de la figure 3B quels peuvent être les flux thermiques au sein d'un animal hibernant lors de la phase 3 d'un cycle d'hibernation (phase 3 telle qu'illustrée sur la figure 3A).

Réponse à la question III.A.3

L'augmentation de la température de la région interscapulaire est très rapide. C'est dans cette région que se trouve le tissu adipeux brun dont la fonction est de produire de la chaleur, notamment lors de la phase d'émergence chez les hibernants. Cette rapide augmentation rappelle celle de la température hypothalamique (figure 3B). Il est donc possible de faire l'hypothèse que la chaleur produite par le tissu adipeux brun est utilisée en premier lieu pour assurer le réchauffement du système nerveux central, au moins l'hypothalamus.

Les régions de surface de la tête voient leurs températures augmenter plus tardivement (figure 3C, graphe B). Les yeux et les oreilles ont une température (de surface) qui augmente plus rapidement que celle de la tête. Les yeux et les oreilles étant des organes sensoriels, il est possible d'émettre l'hypothèse que l'élévation de la température de ces organes soit nécessaire à la remise en place des capacités sensorielles de l'animal.

Le nez est également associé à un sens mais sa température augmente beaucoup moins que celle des autres régions de la tête. Les échanges ventilatoires ne sont pas présentés ici mais il est possible d'émettre l'hypothèse que le réchauffement de l'animal s'accompagne d'une augmentation de la ventilation, ce qui conduit à une perte de chaleur, limitant d'autant l'augmentation de la température du nez.

Les régions de surface du reste du corps (autre que la tête et la région interscapulaire) présentent une augmentation de leurs températures qui est beaucoup plus tardive puisque 4 heures après le début de l'émergence, ces températures de surface n'ont toujours pas augmentées. Il peut même être observé une légère diminution de la température cutanée des régions autres qu'interscapulaire entre 15 et 175 minutes. Cette diminution peut être attribuée à une vasoconstriction périphérique, le sang se réchauffant étant cantonné au noyau thermique afin de conserver la chaleur dans le noyau thermique afin d'en optimiser la vitesse de réchauffement. Les tissus cutanés, recevant peu de sang réchauffé depuis le noyau thermique et étant en contact avec l'environnement froid voient leurs températures s'abaisser.

Il semble donc que la source de chaleur soit située dans la région interscapulaire (tissu adipeux brun) et que l'hypothalamus soit la première région de l'organisme à être réchauffée. Les températures de surface n'augmentent que plus tardivement, laissant supposer que l'organisme privilégie le réchauffement de son noyau thermique, en retardant le réchauffement de l'enveloppe thermique afin de minimiser les pertes thermiques dans un premier temps.

III.B. Hibernation, masse corporelle et épargne énergétique.

	<i>M. marmota</i>	<i>S. richardsonii</i>
Masse, g	3100	400
Durée de l'hibernation, jours	193	191
Dépense énergétique pendant l'hibernation, MJ	23	5,636
Durée totale d'un cycle (phases 1+2+3+4), heures	281	244
Durée des phases 1+2, % d'un cycle	82,2	89,6
Dépense énergétique durant les phases 1+2 d'un cycle, kJ	226	49,8
Durée phase 3, % d'un cycle	1,3	0,9
Dépense énergétique durant la phase 3 d'un cycle, kJ	237,2	57
Durée de la phase 4, % d'un cycle	15,5	9,5
Dépense énergétique durant la phase 4 d'un cycle, kJ	932,1	193,2
Dépense énergétique à jeun hors hibernation, $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	163,2	447,8

Tableau 3D : Mesures obtenues chez un spermophile de Richardson (*S. richardsonii*) et chez une marmotte alpine (*M. marmota*) en hibernation et lors d'un jeûne hivernal hors hibernation. Les phases 1, 2, 3 et 4 au cours de l'hibernation font référence à ces mêmes phases telles que définies sur la figure 3A. La succession de ces 4 phases constitue un cycle d'hibernation. Dans cet exercice, les masses corporelles des animaux sont considérées comme stables tout au long de l'hibernation et au cours du jeûne. Les valeurs présentées sont des valeurs moyennes, les écarts-types ont été omis volontairement dans un souci de lisibilité des données.

III.B.1. Calculez pour chacun des deux animaux (tableau 3D), la dépense énergétique spécifique par unité de temps au cours de l'hibernation et au cours des phases 1+2, de la phase 3 et de la phase 4 d'un cycle d'hibernation. Présentez vos résultats sous forme d'un tableau.

Réponse à la question III.B.1

	<i>M. marmota</i>	<i>S. richardsonii</i>
Hibernation totale, $\text{J.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$	1,60	3,07
Phases 1+2, $\text{J.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$	0,316	0,569
Phase 3, $\text{J.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$	20,9	64,9
Phase 4, $\text{J.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$	6,9	20,8

III.B.2. Calculez pour chacun des deux animaux les dépenses énergétiques au cours des phases 1+2, de la phase 3 et de la phase 4 d'un cycle d'hibernation, exprimées en pourcentage de la dépense totale lors de ce cycle d'hibernation. Comparez ces résultats aux pourcentages du temps du cycle d'hibernation que représente chacune de ces phases. Commentez.

Présentez vos résultats sous forme d'un tableau. Dans cette question, vous ne comparerez pas entre eux les résultats obtenus chez la marmotte et chez le spermophile.

Réponse à la question III.B.2

	<i>M. marmota</i>	<i>S. richardsonii</i>

	% du temps	% de la dépense	% du temps	% de la
dépense				
Phases 1+2	82,2	16,2	89,6	16,6
Phase 3	1,3	17	0,9	19
Phase 4	15,5	66,8	9,5	64,3
Total	99	100	100	99,9

Pour les deux animaux, les phases 1+2 qui représentent la période d'endormissement et la période de torpeur (hypométabolisme) du cycle d'hibernation représente la grande majorité du temps du cycle (plus de 82 et de 89 % du temps). Par contre, ces périodes ne représentent qu'un peu plus de 16% de la dépense énergétique au cours de l'hibernation. Cela est rendu possible par un niveau de dépense particulièrement bas.

Pour les deux animaux, la phase 3 du cycle d'hibernation qui correspond à la période de réchauffement (émergence) qui met fin à la période d'hypométabolisme est très courte au regard de la durée du cycle d'hibernation (de moins de 1 à 1,3 % du temps). Cette période correspond pourtant à une part de la dépense énergétique au cours de l'hibernation de 17 à 19% de la dépense totale au cours de l'hibernation. Ceci est du à une dépense énergétique particulièrement élevée durant cette période correspondant à 66 fois le métabolisme spécifique de torpeur pour la marmotte et à 114 fois le métabolisme spécifique de torpeur pour le spermophile.

Suite de la réponse à la question III.B.2

Pour les deux animaux, la phase 4 du cycle d'hibernation correspond à la phase d'éveil entre deux phases d'hypométabolisme. Cette phase représente de 10 à 15% du temps mais à environ 65% de la dépense énergétique totale au cours de l'hibernation. Le métabolisme au cours de cette période est 22 fois élevé que durant la période d'hypométabolisme chez la marmotte et 37 fois plus élevé que durant la période d'hypométabolisme chez le spermophile.

Durant l'hibernation, les animaux présentent donc des périodes d'hypométabolisme où la dépense énergétique est très faible et qui occupent la grande majorité du temps. Ces périodes d'hypométabolisme sont séparées par des périodes de réchauffement et d'éveil qui bien que ne représentant qu'une faible fraction du temps (moins de 20% pour les deux animaux étudiés ici), correspondent à la plus grande partie de la dépense énergétique d'un animal hibernant (83 à 84% pour les deux animaux étudiés ici).

III.B.3. Calculez pour chacun des deux animaux les rapports, d'une part, entre les dépenses énergétiques spécifiques par unité de temps des différentes phases d'un cycle d'hibernation, et, d'autre part, entre ces dépenses énergétiques et celles lors d'un jeûne hors hibernation. Commentez vos résultats.

Dans cette question, vous ne comparerez pas entre eux les résultats obtenus chez la marmotte et chez le spermophile.

Réponse à la question III.B.3

Chez la marmotte	chez le spermophile
Dépense énergétique des phases 1+2 :	

1,5% de la dépense énergétique de la phase 3	0,9% de la dépense énergétique de la phase 3
4,6% de la dépense énergétique de la phase 4	2,7% de la dépense énergétique de la phase 4
4,6% de la dépense énergétique au cours du jeûne	3% de la dépense énergétique au cours du jeûne

Dépense énergétique de la phase 3 :

66 fois la dépense énergétique des phases 1+2	114 fois la dépense énergétique des phases 1+2
3 fois la dépense de la phase 4	3 fois la dépense énergétique de la phase 4
3 fois la dépense énergétique au cours du jeûne	3,5 fois la dépense énergétique au cours du jeûne

Dépense énergétique de la phase 4 :

22 fois la dépense énergétique des phases 1+2	37 fois la dépense énergétique des phases 1+2
33% de la dépense énergétique de la phase 3	32% de la dépense énergétique de la phase 3
101% de la dépense énergétique au cours du jeûne	111% de la dépense énergétique au cours du jeûne

Au cours de l'hibernation la dépense énergétique peut être diminuée jusqu'à moins de 5 % de celle de l'animal non hibernant durant les phases d'hypométabolisme (phases 1+2). A contrario, la dépense énergétique de la période de réchauffement (phase 3) représente jusqu'à 3,5 fois la dépense énergétique d'un animal non hibernant. La dépense énergétique d'un animal au cours d'un cycle d'hibernation peut ainsi varier d'un facteur de plus de 100. En comparaison, le rapport entre les dépenses énergétiques d'un homme au repos et d'un homme exécutant un exercice d'intensité maximale sera de 7 à 8.

La dépense énergétique des animaux en éveil entre deux phases d'hypométabolisme est très proche de celui des animaux non hibernant.

III.B.4. Calculez pour chacun des deux animaux les économies d'énergie réalisées grâce à l'hibernation, exprimées en valeur absolue et en valeur relative par rapport à un animal à jeun n'hibernant pas. Commentez vos résultats. Présentez vos résultats sous forme d'un tableau.

Réponse à la question III.B.4

Les seules comparaisons pertinentes se font sur les valeurs de dépenses énergétiques spécifiques par unité de temps ($J \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$). En effet toute autre comparaison ferait entrer en ligne de compte (et donc fausserait la comparaison) la masse de l'animal ou les durées des différentes phases du cycle d'hibernation qui diffèrent entre les deux animaux.

marmotte

spermophile

dépense énergétique moyenne au cours de l'hibernation	1,6 J.g ⁻¹ .h ⁻¹	3,07 J.g ⁻¹ .h ⁻¹
dépense énergétique totale au cours de l'hibernation	23 MJ	5636 kJ
dépense énergétique moyenne au cours du jeûne	6,8 J.g ⁻¹ .h ⁻¹	18,66 J.g ⁻¹ .h ⁻¹
dépense énergétique totale au cours d'un jeûne		
théorique de même durée que l'hibernation	97,6 MJ	34,2 MJ
économie d'énergie liée à l'hibernation (valeur absolue)	74,6 MJ	6,07 MJ
économie d'énergie liée à l'hibernation (en % de la		
dépense énergétique au cours du jeûne)	76,5 %	83,5 %

L'hibernation, par rapport à un jeûne (donc une dépense énergétique minimale) théorique de même durée permet de réaliser une économie d'énergie de 76,5% chez la marmotte et de 83,5% chez le spermophile. L'hibernation est donc une stratégie particulièrement efficace pour palier à la baisse des ressources alimentaires et au déséquilibre de la balance énergétique qui s'en suit lors de la mauvaise saison.

Les niveaux de dépense énergétique par unité de masse, que ce soit au cours de l'hibernation ou hors période d'hibernation sont élevés chez la marmotte que chez le spermophile. Quant à l'économie d'énergie réalisée grâce à l'hibernation, elle représente une proportion de la dépense énergétique courante (approximée par la dépense énergétique au cours du jeûne) plus importante chez le spermophile (animal plus petit) que chez la marmotte (animal plus gros).

III.B.5. Relations entre la masse corporelle et la dépense énergétique.

	masse corporelle, g	métabolisme de base, mL O ₂ .g ⁻¹ .h ⁻¹	métabolisme minimal en hibernation, mL O ₂ .g ⁻¹ .h ⁻¹
Monotrème			
<i>Tachyglossus. aculeatus</i>	2800	0,15	0,03
Marsupiaux			
<i>Acrobates pygmaeus</i>	14	1,08	0,065
<i>Cercartetus lepidus</i>	12,6	1,49	0,047
<i>Cercartetus concinnus</i>	18,6	1,2	0,034
<i>Cercartetus nanus</i>	36	0,66	0,019
<i>Burramys parvus</i>	50	0,83	0,038
Rongeurs			
<i>Zapus hudsonicus</i>	25	1,5	0,04

<i>Zapus princeps</i>	30	1,61	0,036
<i>Muscardinus avellanarius</i>	23,5	1,75	0,04
<i>Eliomys quercinus</i>	70	1,22	0,034
<i>Glis glis</i>	140	0,97	0,022
<i>Mesocricetus auratus</i>	90	1,19	0,07
<i>Cricetus cricetus</i>	330	0,88	0,032
<i>Tamias amoenus</i>	60	1,69	0,042
<i>Tamias striatus</i>	87	1,03	0,06
<i>Spermophilus tereticaudus</i>	125	0,72	0,048
<i>Spermophilus lateralis</i>	200	1,159	0,045
<i>Spermophilus mexicanus</i>	200	0,85	0,06
<i>Spermophilus citellus</i>	240	0,79	0,018
<i>Spermophilus saturatus</i>	246	0,47	0,038
<i>Spermophilus richardsonii</i>	400	0,535	0,02
<i>Spermophilus parryii</i>	1000	0,51	0,012
<i>Marmota flaviventris</i>	2500	0,25	0,022
<i>Marmota marmota</i>	3100	0,19	0,014
<i>Marmota monax</i>	4000	0,27	0,032
Macroscelidés			
<i>Elephantulus rozeti</i>	45	1,06	0,025
<i>Elephantulus myurus</i>	63	1,05	0,079
Insectivores			
<i>Setifer setosus</i>	270	0,34	0,07
<i>Tenrec ecaudatus</i>	1220	0,27	0,025
<i>Tenrec ecaudatus</i>	360	0,31	0,02
<i>Erinaceus europaeus</i>	700	0,433	0,016
Chiroptères			
<i>Myotis lucifugus</i>	6	1,53	0,06
<i>Barbastella barbastellus</i>	7	2,08	0,04
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	7,4	2,05	0,024

<i>Nyctophilus geoffroyi</i>	7	1,36	0,037
<i>Nyctophilus gouldi</i>	10	1,22	0,052
<i>Nyctalus noctula</i>	23,8	1,47	0,03
<i>Myotis myotis</i>	25	1,45	0,04
Strigiforme			
<i>Phalaenoptilus nuttallii</i>	35	0,788	0,05

Tableau 3E : Masses corporelles, métabolisme spécifique de base et métabolisme spécifique minimal en hibernation pour plusieurs espèces animales hibernantes.

III.B.5.a. D'après les données du tableau 3E, représentez sur le même graphique la relation, d'une part, entre la masse corporelle et le métabolisme de base et, d'autre part, entre la masse corporelle et le métabolisme minimal en hibernation. Tracez à la règle une droite de corrélation (approximative) pour chacun des nuages de point. Cette représentation graphique est à réaliser sur la feuille de papier quadrillé log-log qui vous est fourni.

III.B.5.b. Commentez le graphique obtenu en réponse à la question III.B.5.a. Que pouvez-vous dire quant aux relations liant la masse corporelle et le niveau du métabolisme.

Réponse à la question III.B.5.b

Plus un animal a une taille importante, plus son intensité métabolique spécifique est réduite. Il s'agit de la loi d'allométrie. Cette loi stipule que la dépense énergétique spécifique de base (*i.e.* le métabolisme basal spécifique) est égale à la masse corporelle puissance 0,25 (métabolisme spécifique = $c^{ste} \cdot \text{masse}^{0,25}$).

Attention, la relation liant masse corporelle (taille des animaux) et intensité métabolique est une droite en double échelle logarithmique, la relation liant la taille des animaux et leurs intensités métaboliques n'est donc pas linéaire....

Sur ce graphique, nous constatons que la pente est beaucoup plus faible pour la relation entre la masse corporelle et le métabolisme minimal en hibernation que pour la relation liant la masse corporelle et le métabolisme basal. Il existe donc encore une loi d'allométrie au cours de l'hibernation mais elle est différente de celle reliant masse corporelle et métabolisme énergétique durant l'éveil. La pente étant plus faible, dans la relation mathématique liant le métabolisme minimal en hibernation et la masse corporelle, l'exposant affectant la masse corporelle sera inférieur à 0,25.

En conséquence, l'écart de dépense énergétique entre le minimum de dépense énergétique en hibernation et le métabolisme de base (c'est-à-dire l'économie d'énergie liée à l'hibernation) est d'autant plus important que l'animal hibernant est de petite taille. A l'inverse, plus un animal aura une taille importante, moins l'économie d'énergie réalisée grâce à l'hibernation sera grande. Il existe donc une taille au-delà de laquelle l'hibernation n'est plus une stratégie énergétiquement intéressante pour les animaux.

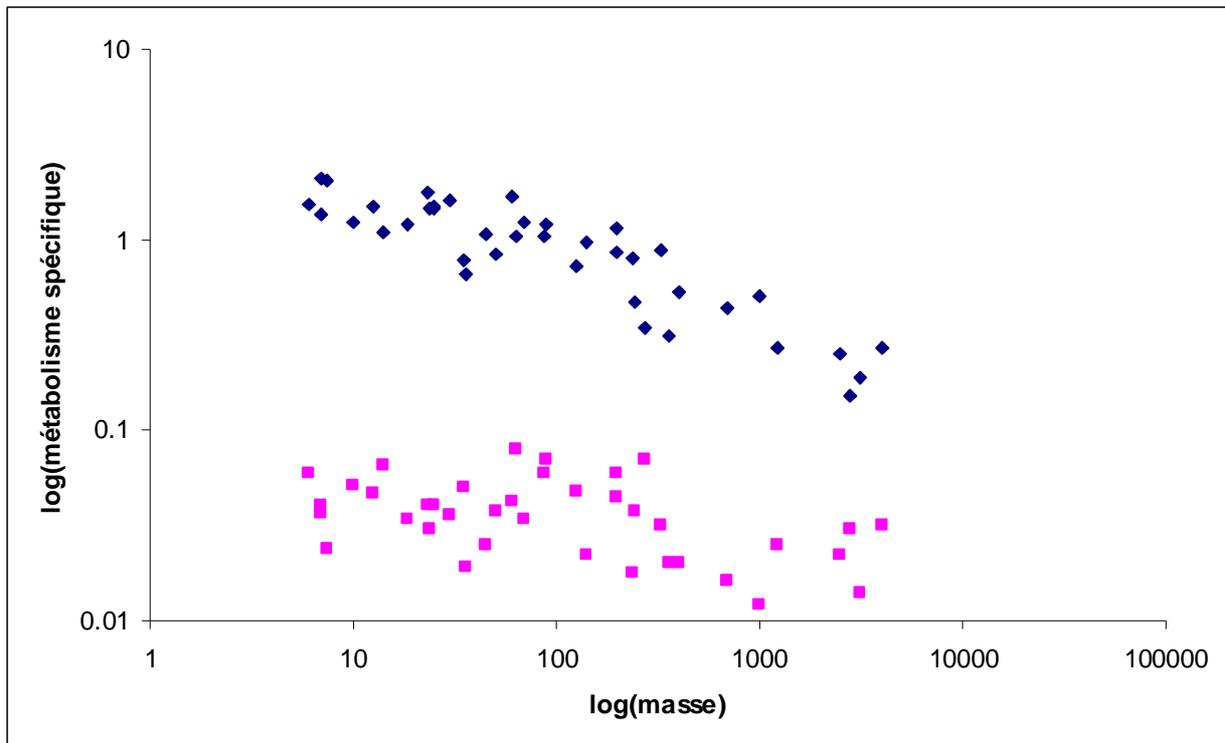
Cette différence d'efficacité dans l'épargne énergétique lors de l'hibernation associée aux différences de taille entre les animaux est plus liée aux différences de niveau de métabolisme basal spécifique qu'aux différences de niveau de métabolisme spécifique minimal au cours de l'hibernation (la pente de la relation entre les logarithmes du métabolisme spécifique basal et la masse corporelle est beaucoup

plus importante que celle entre les logarithmes du métabolisme minimum au cours de l'hibernation et la masse corporelle).

III.B.5.c. L'extrapolation des deux droites que vous avez tracées conduit à un croisement des deux droites correspondant à une masse corporelle de 15 tonnes. Que pouvez-vous dire quant au métabolisme énergétique d'un animal de cette taille ?

Réponse à la question III.B.5.c

Le croisement des deux droites indique que le métabolisme de base est alors égal à ce que serait le métabolisme minimal d'hibernation. Un animal de 15 tonnes aurait donc une dépense énergétique minimale en éveil qui serait égale à sa dépense énergétique minimale en hibernation. Indépendamment du coût des réveils périodiques au cours de l'hibernation, un animal de 15 tonnes n'aurait aucun bénéfice énergétique à entrer en hibernation.



Partie IV - Le tissu adipeux brun : un effecteur du métabolisme énergétique

durée conseillée : 1h – barème : 15 /120

Le tissu adipeux brun se rencontre exclusivement chez les mammifères et en particulier chez les mammifères hibernants.

L'objectif de cette partie est donc d'étudier ce tissu, en particulier sa contribution éventuelle au maintien des homéostasies thermique et énergétique chez certains mammifères.

Matériel à disposition du candidat

- Une feuille de papier millimétré

IV.A. Localisation anatomique et rôle du tissu adipeux brun

IV.A.1. Disséquez le dépôt interscapulaire de tissu adipeux brun de la souris utilisée pour la question II.A. Appelez un examinateur à l'issue de votre dissection.

IV.A.2. Quelle est la fonction de ce tissu ? Quelle(s) particularité(s) cytologique(s) lui permet(tent) de remplir cette fonction ?

Réponse à la question IV.A.2

Le tissu adipeux brun, présent uniquement chez certains mammifères, a pour fonction de produire de la chaleur. Il peut être activé lors d'une exposition au froid pour maintenir l'euthermie, ou lors du réchauffement des animaux hibernants ou en torpeur pour sortir de l'hypothermie et rejoindre l'euthermie. Il participe également au maintien de la balance énergétique en participant à la dissipation de l'énergie alimentaire pouvant être ingérée en excès (thermogenèse liée à l'alimentation).

La production de chaleur est réalisée grâce au découplage de la phosphorylation oxydative des mitochondries de ce tissu. Ce découplage est rendu possible par la présence d'une protéine découplante dans la membrane interne des mitochondries de ce tissu. Cette protéine permet l'entrée des protons de l'espace intermembranaire mitochondrial dans la matrice mitochondriale en court-circuitant l'ATP synthase. En conséquence, l'énergie libérée par l'oxydation des substrats énergétiques des cellules du tissu adipeux brun sera pas utilisée pour permettre la synthèse d'ATP mais sera dissipée sous forme de chaleur. Ce découplage nécessite un approvisionnement important en substrat énergétique, lequel est assuré par le fort contenu en lipide de ce tissu.

IV.B. Effet de la température

IV.B.1. Etude histologique du tissu adipeux brun

D'après Thomson J.F. *et al.*, 1963, *J. Cell Biol.* 41 : 312-334. Suter E.R., 1969, *J. Ultrastr. Res.* 26 : 216-241.

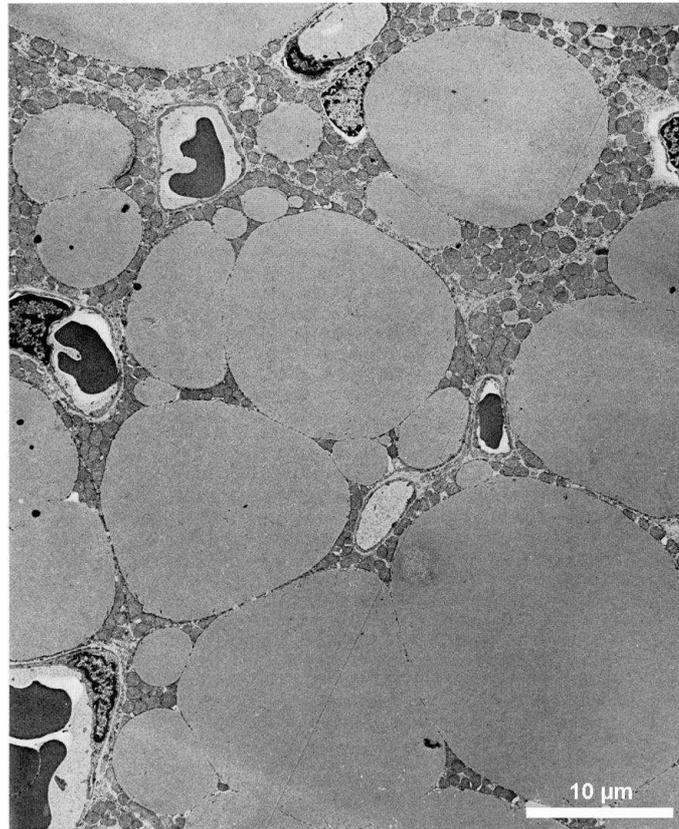
IV.B.1.a. Par quelle technique l'image de la figure 4A a-t-elle été obtenue ? Légendez ce document aussi précisément que possible. Répondre dans le cadre contenant le document 4A.

Réponse à la question IV.B.1.a.

Vaisseau sanguin (capillaire + hématie)

gouttelettes lipidiques

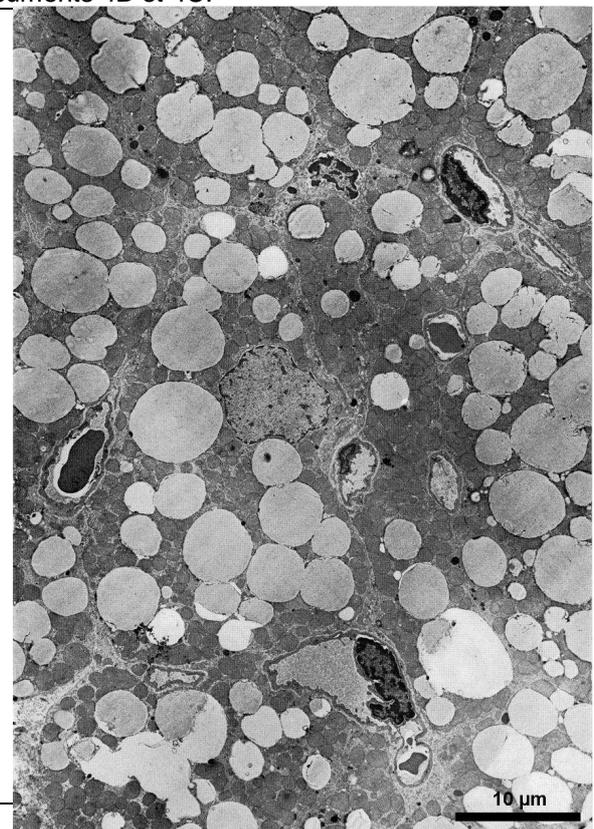
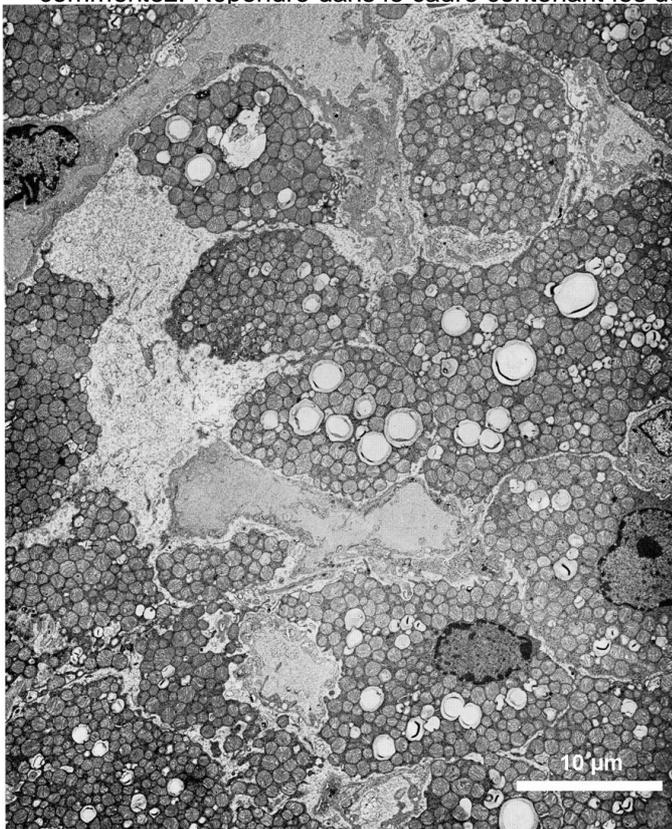
mitochondries



Document 4A : Organisation histologique du tissu adipeux brun chez un rat acclimaté à une température ambiante de 22°C pendant plusieurs semaines.

Image obtenue en microscopie électronique à transmission

IV.B.1.b. Expliquez les différences observées sur les clichés 4B et 4C par rapport au document 4A et commentez. Répondre dans le cadre contenant les documents 4B et 4C.



Document 4B et 4C : Organisation histologique du tissu adipeux brun chez un rat préalablement élevé à 22°C puis exposé à une température ambiante de 2°C pendant respectivement 24 heures (document 4B) et 9 semaines (document 4C).

Exposition à court terme au froid → appauvrissement du tissu en lipides de réserves (TAG)

Exposition à long terme au froid → reconstitution des réserves lipidiques

IV.B.2. Etude de la composition biochimique du tissu adipeux brun

Durée de l'exposition au froid	Masse du tissu adipeux brun (mg)	Masse de protéine du tissu adipeux brun (mg)	Masse d'ADN du tissu adipeux brun (µg)
0	169	12,13	121
1 jour	189	17,75	224
2 jours	205	20,13	280
3 jours	264	28,19	492
4 jours	296	30,31	427
7 jours	403	39,56	557
2 semaines	527	54,00	709
3 semaines	682	69,50	856
4 semaines	651	67,94	750
5 semaines	754	74,44	739
6 semaines	738	74,25	737
8 semaines	714	68,75	594

Tableau 4D : Mesures obtenues sur du tissu adipeux brun de rats préalablement élevés à une température ambiante de 22°C puis exposés à une température ambiante de 5°C pour les durées indiquées.

IV.B.2.a. Tracez sur la feuille de papier millimétré fournie une représentation graphique vous permettant de mettre en évidence les variations des différents constituants du tissu adipeux brun lors d'une exposition au froid.

IV.B.2.b. Commentez les courbes obtenues en réponse à la question IV.B.2.a.

Réponse à la question IV.B.2.b

La masse augmente peu dans un premier temps du fait du recrutement donc de l'appauvrissement du tissu en lipide. Le BAT voit sa teneur en ADN et en protéine augmentée lors de l'exposition au froid. Ces observations peuvent s'expliquer par un enrichissement en mitochondrie (mitochondriogenèse) et/ou un enrichissement des mitochondries en protéine découplante. L'augmentation de la quantité d'ADN correspond à une augmentation du nombre de cellule donc à une hyperplasie tissulaire et/ou

un enrichissement en mitochondrie. La conséquence de ces variations est que la capacité thermogénique du BAT est augmentée.

IV.B.3. Analyse de la composition tissulaire du tissu adipeux brun **D'après vous, pourquoi les auteurs de cette étude ont-ils mesuré le contenu en protéines et le contenu en ADN du tissu adipeux brun ?**

Réponse à la question IV.B.3

Le tissu adipeux brun est très riche en mitochondries, lesquelles sont elles-mêmes riches en protéines. Le contenu en protéines est donc un index de la richesse du tissu en mitochondrie.

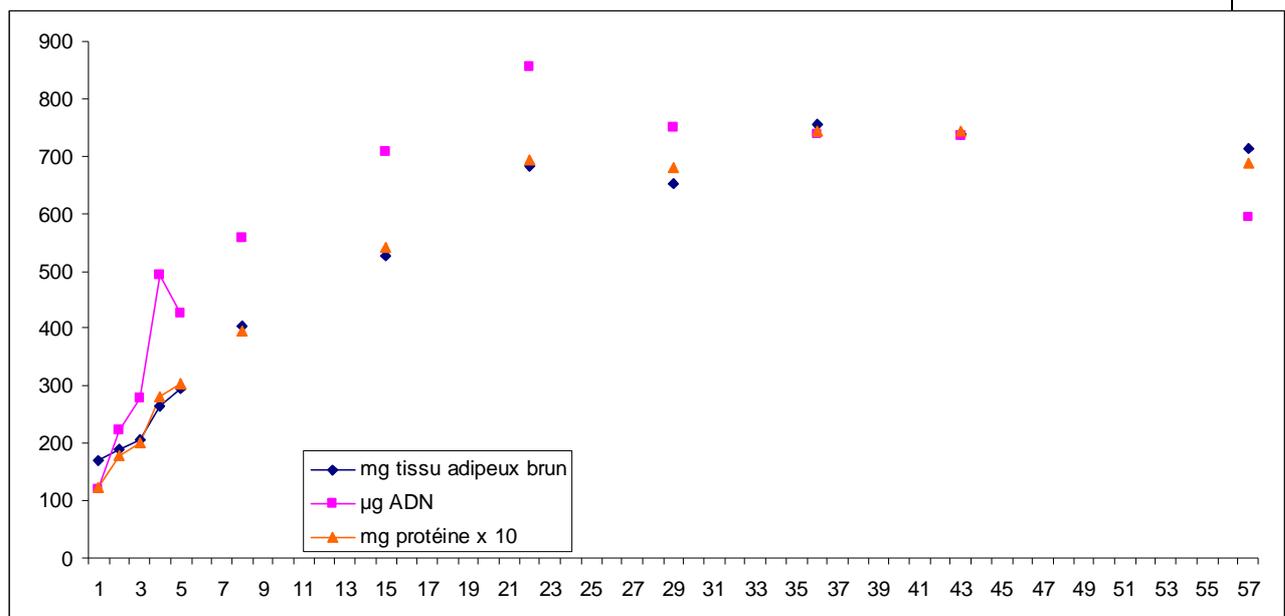
Le contenu en ADN est le reflet de la quantité de cellule constituant le tissu mais également de la quantité de mitochondrie. Sa variation permet donc de déterminer de manière indirecte les variations de la capacité thermogénique du tissu adipeux brun, que ce soit par hypo ou hyperplasie ou par variation de la richesse en mitochondrie.

IV.B.4. Cinétique de la réponse tissulaire du tissu adipeux brun lors d'une exposition au froid.

A l'aide des documents 4A, 4B et 4C (IV.B.1.) et des courbes que vous avez tracées (IV.B.2.) formulez une hypothèse sur le déroulé temporel des modifications tissulaires du tissu adipeux brun qui permettent à ce tissu de remplir sa fonction lors d'une exposition au froid.

Réponse à la question IV.B.4

A très court terme, le BAT produit de la chaleur en utilisant les lipides stockés *in situ*. L'utilisation à très court terme des réserves lipidiques intracellulaire se traduit par une limitation de l'augmentation de la masse du tissu adipeux brun dans les premiers jours d'exposition au froid alors que la masse de protéine et d'ADN (marqueurs de la prolifération cellulaire et/ou de la mitochondriogenèse) augmentent fortement. Si l'exposition au froid se prolonge, le BAT va augmenter sa capacité à produire de la chaleur d'une part en augmentant la quantité de mitochondrie et/ou la quantité de protéine découplante par mitochondrie et d'autre part en augmentant la quantité de cellule (hyperplasie).



IV.C. Tissu adipeux brun et homéostasie énergétique

D'après Klaus *et al.* 1998, *Am. J. Physiol.* 274(43) : R287.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la possible implication du tissu adipeux brun dans le maintien de l'homéostasie énergétique de la souris. Pour ce faire, les auteurs disposent de souris adultes stables en masse. Ces souris sont soit de génotype sauvage (contrôle), soit de génotype UCP-DTA (le tissu adipeux brun de ces souris a été rendu non fonctionnel). Les auteurs effectuent diverses mesures dont les résultats vous sont présentés dans les tableaux et figures ci-dessous.

	contrôle	UCP-DTA
Masse corporelle, g	33,0 ± 2,3	54,7 ± 5,0**
Masse grasse, g	4,9 ± 1,0	11,9 ± 0,7***
Masse maigre, g	22,3 ± 1,2	34,8 ± 3,6**
Masse grasse, % de la masse corporelle	14,5 ± 1,9	22,2 ± 1,1**
Masse maigre, % de la masse corporelle	68,0 ± 1,6	63,4 ± 0,9**
Prise alimentaire, g/jour	3,6 ± 0,1	3,1 ± 0,2
Assimilation alimentaire, %	68,8 ± 2,5	70,5 ± 1,3

Tableau 4E : Données métaboliques (moyenne ± erreur standard, 7 souris contrôles, 5 souris UCP-DTA, ** : $P < 0,01$ comparé au groupe contrôle, *** : $P < 0,001$ comparé au groupe contrôle).

IV.C.1. Que représente l'erreur standard ? Quel est l'intérêt des étoiles (**) pour la compréhension des résultats de l'expérience ?

Réponse à la question IV.C.1

L'erreur standard représente la variabilité au sein d'un groupe expérimental. Elle représente donc la variabilité individuelle du paramètre mesuré.

Les étoiles (**) marquant la significativité statistique sont indispensables pour pouvoir interpréter les différences entre les groupes expérimentaux. L'absence de significativité statistique entre deux moyennes indique que les valeurs moyennes ne sont pas différentes (quand bien même les valeurs ne sont pas identiques et paraissent éloignées les unes des autres). Seules les différences entre moyennes qui sont statistiquement significatives peuvent être interprétées.

IV.C.2. Commentez les différences observées entre les souris contrôles et UCP-DTA présentées dans le tableau 4E. Quelles hypothèses pouvez-vous exclure qui auraient pu rendre compte de ces différences observées (justifiez vos réponses).

Réponse à la question IV.C.2.

Les souris UCP-DTA sont plus grosses et ce surplus de masse corporelle est dû à une masse grasse et une masse maigre plus importantes (en valeurs absolues). Par contre, les souris UCP-DTA étant plus adipeuses que les souris contrôles, la valeur relative de la masse maigre est plus faible chez les souris UCP-DTA.

La plus forte masse corporelle et la plus forte adiposité chez les souris UCP-DTA ne peuvent s'expliquer ni par une prise alimentaire plus importante (pas de différence significative entre les deux

groupes) ni par une meilleure assimilation de la nourriture ingérée (pas de différence significative des rendements d'assimilation alimentaire entre les deux groupes).

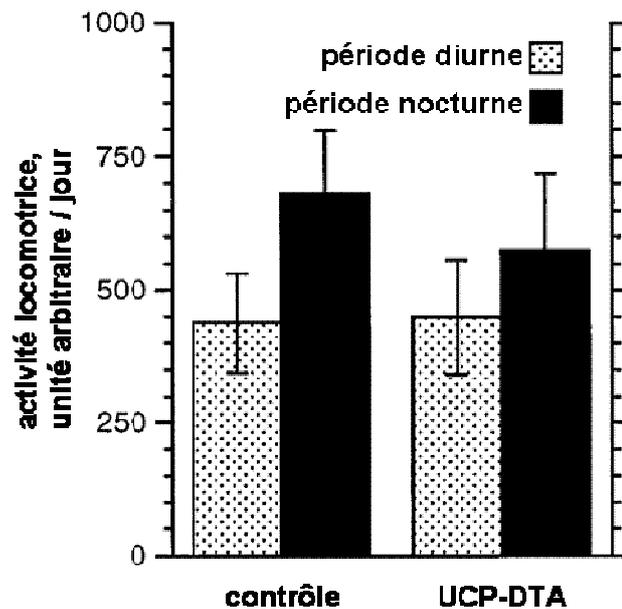


Figure 4F : Activité locomotrice (unité arbitraire) durant les phases diurne et nocturne d'un nyctémère.

IV.C.3. Commentez la figure 4F. Pourquoi avoir mesuré l'activité locomotrice ? Pourquoi les auteurs présentent-ils les résultats de l'activité locomotrice diurne séparément des résultats de l'activité locomotrice nocturne ?

Réponse à la question IV.C.3

L'activité locomotrice est une des composantes de la dépense énergétique (avec le métabolisme de base, la thermorégulation et la thermogénèse liée à l'alimentation). A ce titre une moindre intensité de l'activité locomotrice chez les souris UCP-DTA pourrait expliquer, au moins en partie la différence de masse et de composition corporelle observée chez les souris UCP-DTA. Ce n'est pas le cas ici.

La souris est un animal nocturne (période d'activité et d'alimentation), comme illustrée par le plus fort niveau d'activité locomotrice durant la période nocturne dans les deux groupes de souris. La présentation séparée des activités locomotrices nocturne et diurne permet de détecter si une éventuelle différence durant une période du nyctémère n'est pas compensée par une différence inverse durant l'autre période du nyctémère.

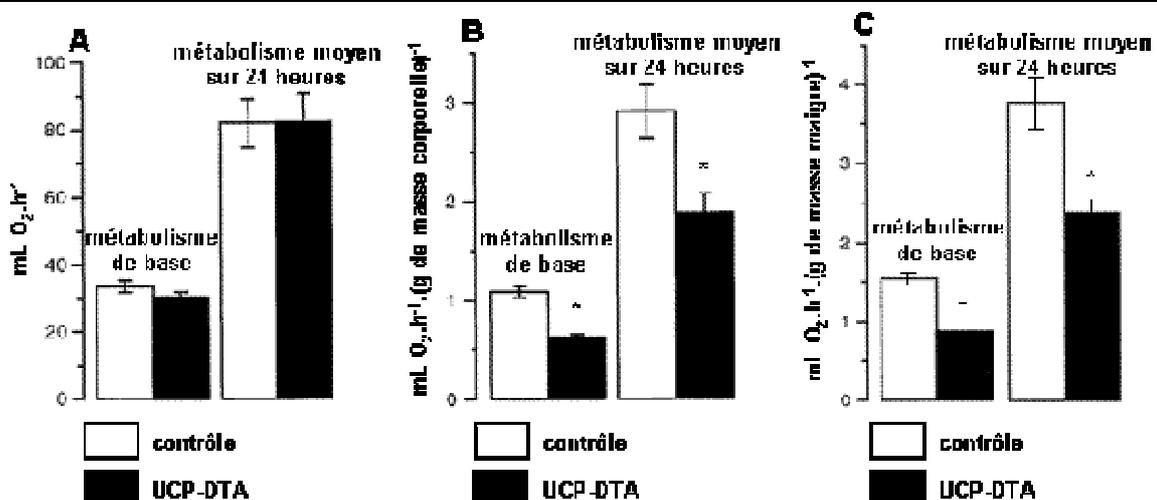


Figure 4G : Métabolisme basal et métabolisme moyen sur 24 heures des souris contrôles (barres blanches) et des souris UCP-DTA (barres noires), exprimés soit en mL O₂.h⁻¹ (graphe A), soit en mL O₂.h⁻¹.(g de masse corporelle)⁻¹ (graphe B), soit en mL O₂.h⁻¹.(g de masse maigre)⁻¹. * : P<0,05 comparé au groupe contrôle.

IV.C.4. Dépense énergétique des souris contrôles et UCP-DTA.

IV.C.4.a. Quelles sont les conditions expérimentales qui doivent être réunies pour effectuer une mesure du métabolisme basal ?

Réponse à la question IV.C.4.a

Pour une mesure de métabolisme basal, l'animal doit être au repos mais éveillé (pas de dépense d'activité), à la neutralité thermique (pas de dépense de thermorégulation), à jeun (pas de dépense liée à l'alimentation).

IV.C.4.b. Commentez la figure 4G. Pourquoi les auteurs ont-ils exprimé les résultats en trois unités différentes ?

Réponse à la question IV.C.4.b

Les métabolismes de base et moyen ne diffèrent pas entre les groupes si sont exprimés par animal (graphe A). Cependant les souris UCP-DTA sont plus grosses que les souris contrôles et des animaux plus gros ont un métabolisme plus important (un éléphant a un métabolisme plus important qu'un rat). Le métabolisme par animal étant identique dans les deux groupes, il est inférieur par unité de masse chez les animaux les plus gros, *i.e.* les souris UCP-DTA (graphe B). La différence de masse s'expliquant par des différences de masse grasse (tissu très peu métaboliquement actif) et de masse maigre (tissus très métaboliquement actifs), l'expression du métabolisme par unité de masse maigre permet de comparer les activités métaboliques des tissus métaboliquement actifs chez les deux groupes d'animaux (l'intensité métabolique est corrélée à la masse maigre).

IV.C.4.c. Que pouvez-vous conclure quant à une éventuelle différence de dépense énergétique entre les souris contrôles et les souris UCP-DTA (justifiez votre réponse) ?

Réponse à la question IV.C.4.c

Chez les souris UCP-DTA, l'unité de masse maigre et l'unité de masse corporelle ont un métabolisme plus faible que chez les souris contrôles. Cependant, la masse maigre et la masse corporelle étant plus importantes chez les souris UCP-DTA, cette plus grande importance compense le niveau métabolique plus faible et en valeur absolue, les niveaux de métabolisme ne diffèrent pas entre les deux groupes de souris (il n'y a pas de différence d'intensité métabolique entre les souris contrôles et les souris UCP-DTA (exprimés par animal)).

Il est à noter que les deux groupes d'animaux sont constitués de souris adultes stables en masse. La balance énergétique est donc équilibrée, aussi bien chez les souris contrôles que chez les souris UCP-DTA. La prise alimentaire ne différant pas entre les deux groupes et la balance énergétique étant équilibrée, il ne peut y avoir de différence de dépense énergétique (sinon il y aurait obligatoirement variation de masse corporelle).

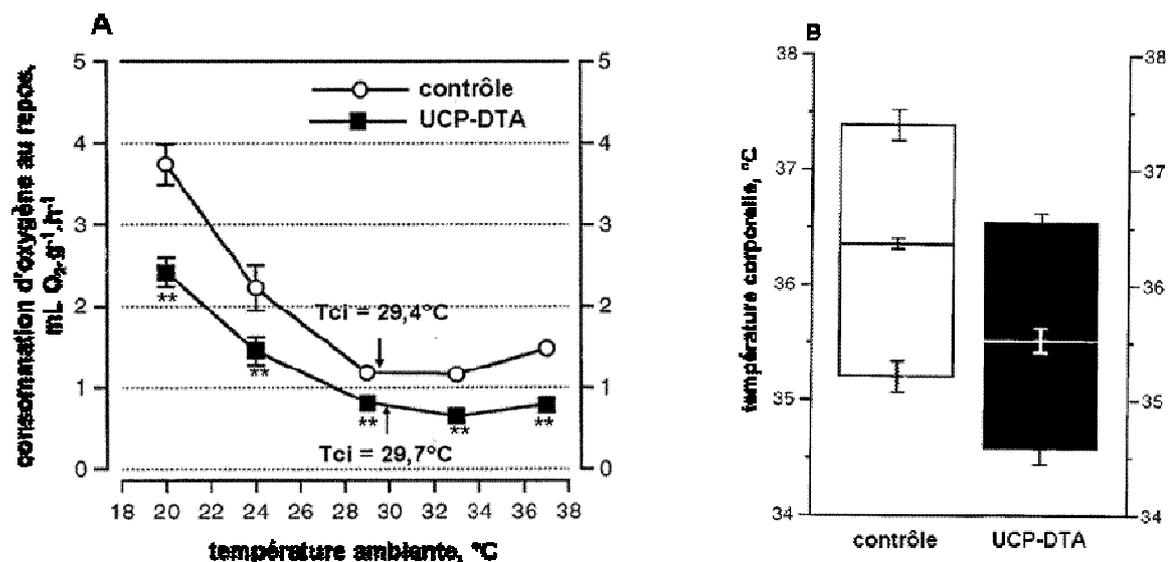


Figure 4H : graphe A : consommation d'oxygène au repos en fonction de la température ambiante pour les souris contrôle et les souris UCP-DTA (moyenne \pm erreur standard, 11 souris contrôles, 8 souris UCP-DTA). Tci : température critique inférieure. **: $P < 0,01$ comparé au groupe contrôle.

graphe B: moyennes des températures corporelles moyennes et extrêmes (basses et hautes) mesurées pendant une semaine chez des souris contrôles et des souris UCP-DTA. Moyenne \pm erreur standard. Toutes les moyennes diffèrent significativement ($P < 0,01$) entre les deux groupes expérimentaux.

IV.C.5. Température corporelle et thermorégulation.

IV.C.5.a. Commentez la figure 4H graphe A. Que représente la température critique inférieure ?

Réponse à la question IV.C.5.a

graphe A : Les souris UCP-DTA présentent une moindre consommation d'oxygène (par unité de masse, cf. réponse à la question IV.C.4..) quelle que soit la température ambiante.

La température critique inférieure est la température ambiante en-dessous de laquelle l'organisme doit augmenter son intensité métabolique pour pouvoir maintenir sa température corporelle constante (grandeur spécifique aux animaux endothermes).

Les températures critiques inférieures des deux groupes d'animaux sont similaires. Il n'y a donc pas de dérive de la zone de neutralité thermique (au alentour de 30°C chez la souris) liée à l'obésité chez les souris UCP-DTA. Les souris des deux groupes augmentent leurs intensités métaboliques à partir d'une même température ambiante (au alentour de 29,5°C).

La pente d'augmentation de l'intensité métabolique avec la baisse de la température ambiante est plus élevée chez les souris contrôles que chez les souris UCP-DTA. Il est donc possible de conclure que la conductance thermique est plus importante chez les souris contrôles.

IV.C.5.b. Commentez la figure 4H graphe B. Qu'apporte le résultat présenté sur le graphe B quant à l'interprétation des résultats présentés sur le graphe A ?

Réponse à la question IV.C.5.b

graphe B : Les souris UCP-DTA sont hypothermiques par rapport aux souris contrôles (aussi bien en température corporelle moyenne qu'en maximum et minimum de température au cours du nyctémère). Cette plus faible température corporelle chez les souris UCP-DTA est à mettre en relation avec la plus faible conductance thermique (cf. IV.C.5.a.) car le gradient thermique étant plus

faible (du fait de la température corporelle plus basse) entre le noyau thermique et l'environnement chez la souris UCP-DTA, les pertes thermiques (conductance thermique) seront plus faibles. De plus, les souris UCP-DTA sont plus adipeuses, ce tissu adipeux supplémentaire peut également permettre l'abaissement de la conductance thermique des souris UCP-DTA par rapport aux souris contrôles (sous réserve que ce tissu adipeux soit au moins en partie situé en position sous-cutanée (localisation anatomique non précisée dans l'étude)),

Partie V - Les nitrates et la dormance chez *Arabidopsis thaliana*

durée conseillée : 1h – barème : 20 /120

Plant, Cell and Environment (2005) **28**, 500–512 **500** - A. Alboresi, C. Gestin, M.-T. Leydecker, M. Bedu, C. Meyer & H.-N. Truong.

La nutrition azotée s'effectue de manière importante par l'absorption racinaire de nitrates. Ceux-ci sont ensuite incorporés dans des acides aminés et d'autres composés azotés grâce à l'action d'enzymes dont la nitrate réductase. Les expériences qui suivent ont pour objectif de montrer que l'ion nitrate intervient aussi comme molécule signal en particulier dans le cas de la dormance des graines chez *Arabidopsis thaliana*.

V.A. Nitrates : nutrition et développement

Chez *Arabidopsis thaliana*, deux gènes, *nia1* et *nia2*, codent la nitrate réductase (NR) et contribuent de manière différentielle à l'activité NR totale. On dispose de trois génotypes d'*Arabidopsis* :

- un génotype sauvage (Col0),
- un génotype simple mutant (G5), muté dans le gène *nia2* ; il conserve 10% de l'activité NR du sauvage,
- un génotype double mutant (G'4-3), muté dans les gènes *nia1* et *nia2* ; il conserve 0,5% de l'activité NR du sauvage.

Ces trois génotypes sont utilisés pour étudier le rôle des nitrates dans le développement ; les expériences (**figure 5A**) sont réalisées sous un régime de jour long (16h de lumière / 8h d'obscurité).

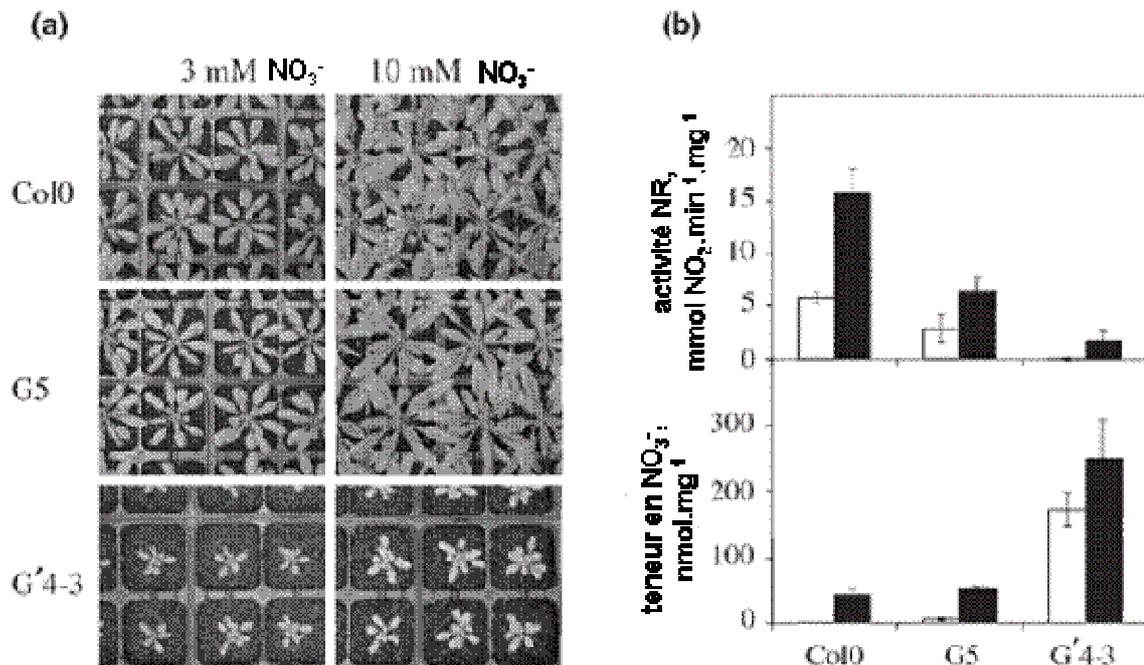
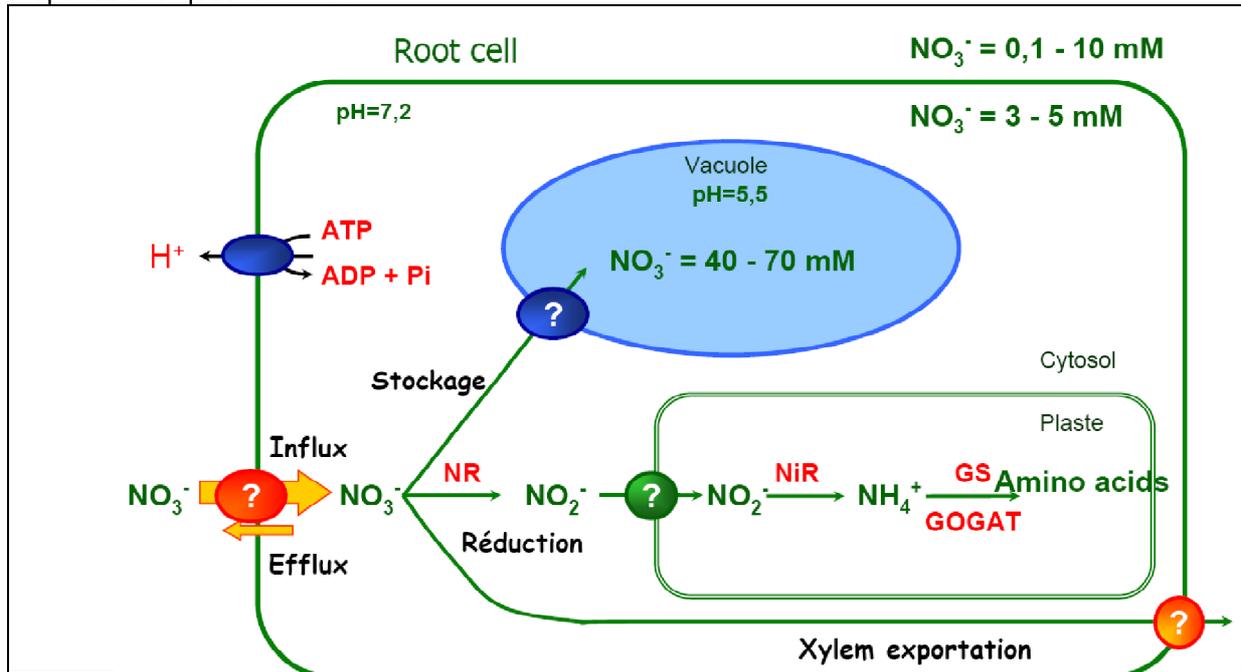


Figure 5A : (a) Observation de plants des trois génotypes (Col0, G5 et G'4-3), cultivés en présence de 3 mM ou de 10 mM NO₃⁻, 30 jours après le semis. (b) Activité NR et teneur en nitrate (au 30ème jour après semis) de feuilles de plants des trois génotypes cultivés pendant 30 jours en présence de 3 mM (barres blanches) ou de 10 mM (barres noires) NO₃⁻.

V.A.1. Sur un schéma de synthèse simple, indiquez comment l'ion nitrate entre dans la cellule racinaire puis expliquez son devenir dans cette cellule, en particulier la voie métabolique menant aux acides aminés.

Réponse à la question V.A.1



V.A.2. Donnez la définition du terme dormance pour les graines

Réponse à la question V.A.2

La dormance est un état physiologique de la graine dû à une incapacité d'origine interne à sortir de la vie ralentie (donc à germer), quelque soit les conditions extérieures.

V.A.3. Comparez le développement des plants et la teneur en nitrate d'après la figure 5A .

Réponse à la question V.A.3

Le développement des plants mutants G5 est similaire au développement des plants sauvages Col0, que ces plants soient cultivés en présence de 3 mM ou de 10 mM de nitrate. Pour ces deux géotypes les feuilles sont plus développées en présence de 10 mM de nitrate, ce qui révèle qu'un faible apport en nitrate limite la croissance de la plante.

Les plants mutants G'4-3 sont plus petits que les deux autres plants quels que soient les régimes en nitrate, une conséquence de leur activité NR très réduite. L'activité NR est conforme à l'origine génétique, par contre la teneur en nitrate est comparable chez Col0 et G5 et très faible alors que élevé chez G'4-3. En conséquence, seuls les plants G'4-3 ont une teneur en nitrate qui varie notablement en fonction de l'apport, alors que chez les deux autres la teneur en nitrate reste toujours faible.

V.A.4. D'après la figure 5A, pourquoi le mutant G'4-3 permet-il d'étudier le rôle des nitrates comme molécule signal ?

Réponse à la question V.A.4

L'utilisation du mutant G'4-3 permet de découpler les rôles du nitrate dans la signalisation et dans la nutrition. En effet, ce mutant est affecté dans sa nutrition en raison d'une assimilation de nitrate très réduite, mais a priori pas dans sa signalisation. Il accumule du nitrate, le rôle de molécule signal de l'ion nitrate peut donc être étudié chez un tel mutant, puisqu'il est possible de faire varier

expérimentalement la concentration de cet ion dans les plants afin d'observer quelles en sont les conséquences physiologiques.

V.A.5. Comparaison des capacités de germination des trois génotypes (figure 5B).

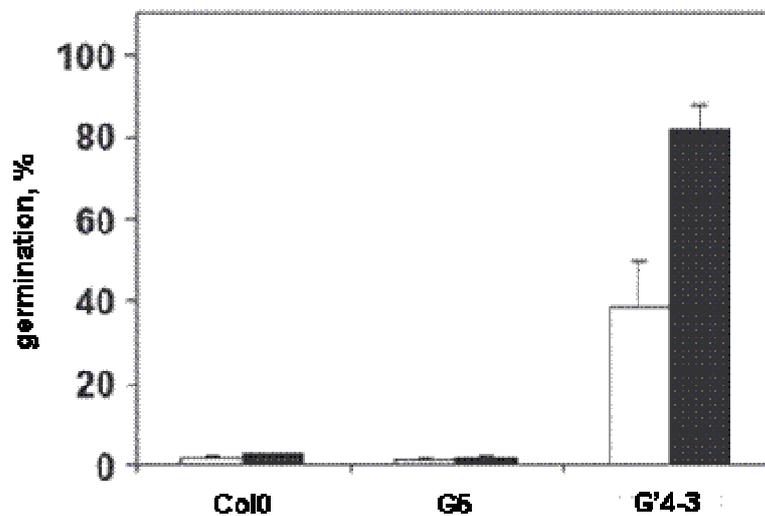


Figure 5B : Germination de graines des trois génotypes issues de plantes mères cultivées en présence de 3 mM (barres blanches) ou de 10 mM (barres noires) NO₃⁻.

Sur des graines obtenues 3 semaines après la pollinisation, on note le nombre de graines germées sept jours après semis par l'émergence de la radicule. La viabilité des graines est identique quelque soit le génotype. **Analysez et interprétez la figure 5B.**

Réponse à la question V.A.5

Les graines G'4-3 germent mieux que les deux autres types de graines, que ces graines soient produites par des plantes mères cultivées en présence de 3 mM ou de 10 mM de nitrate. Comme par ailleurs la viabilité de toutes les graines utilisées lors de ces expériences est comparable, il est possible de déduire que les graines Col0 et G5 sont plus dormantes que les graines G'4-3 produites sous un régime en nitrate identique. Les graines G'4-3 sont moins dormantes quand elles sont produites sous 10 mM de nitrate que sous 3 mM de nitrate. Ceci révèle une corrélation positive entre la dose de nitrate donnée à la plante mère et la capacité à germer des graines produites par cette même plante mère : une dose de nitrate plus élevée (10 mM) entraîne une dormance plus réduite des graines, alors qu'une dose de nitrate plus réduite (3 mM) entraîne la production de graines à dormance plus élevée.

V.B. Nitrates et dormance

V.B.1. Observation des graines.

Les dimensions et les masses des graines issues de plants Col0 et G'4-3 ne présentent pas de différence significative.

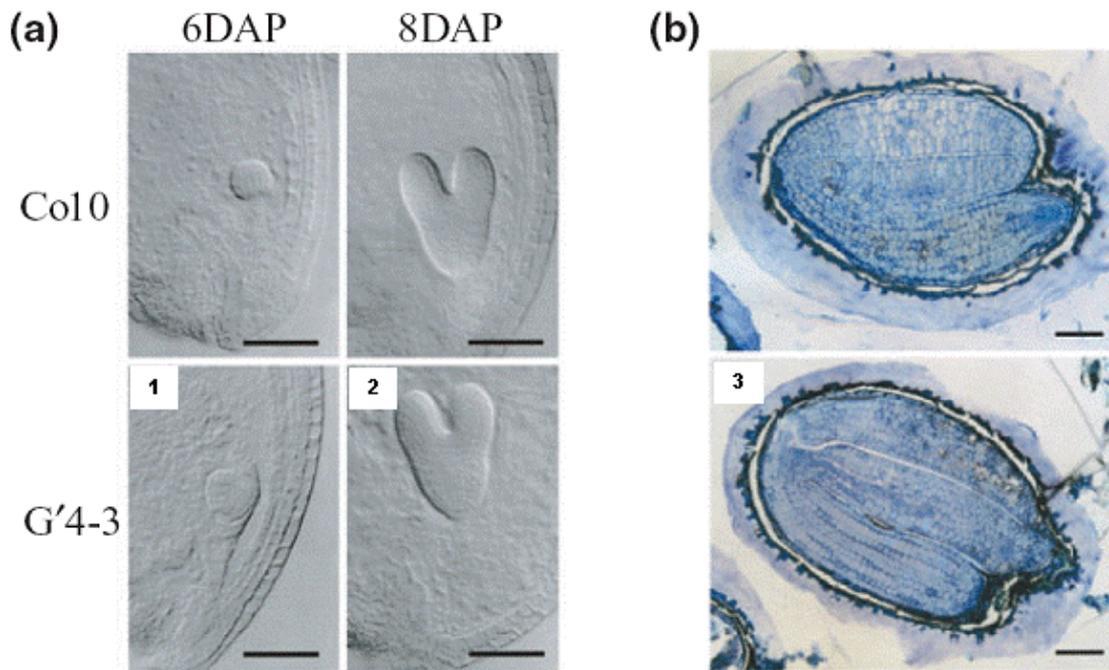


Figure 5C : Images en microscopie interférentielle et en microscopie à fond clair après coloration de l'embryon et de la structure de la paroi des graines.

(a) Graines Col0 et G'4-3 observées en microscopie interférentielle aux 6ème et 8ème jours après pollinisation (DAP). (b) Sections de graines Col0 et G'4-3 matures observées en microscopie à fond clair après coloration au bleu de toluidine. Les graines sont issues de plantes mères cultivées en présence de 10 mM NO_3^- Echelle = 100 μm

V.B.1.a. Réalisez un schéma légendé pour chacun des trois documents : 1, 2 et 3.

Réponse à la question V.B.1.a.

1 : Embryon globulaire et suspenseur ; téguments

2 : embryon cordiforme

3 : cotylédons, MAC, radicule, tégument ; ovule anatrophe à l'origine, graine exalbuminée

V.B.1.b. Quel est l'intérêt de ces observations ?

Réponse à la question V.B.1.b.

Il n'y a aucune différence dans les caractéristiques observables des graines: l'action de NO_3^- ne se situe pas à ce niveau.

V.B.2. Influence de la composition du milieu de germination.

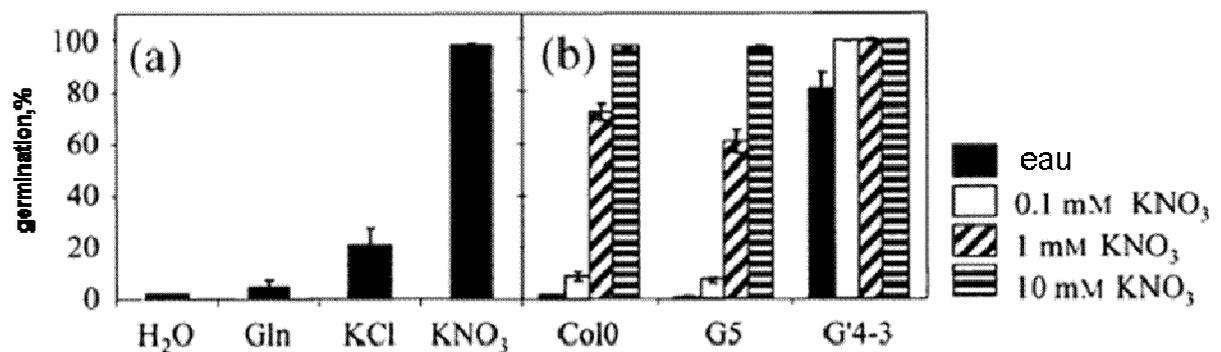


Figure 5D : (a) Germination de graines Col0, issues de plantes mères cultivées en présence de 10 mM NO₃⁻, quantifiée 8 jours après semis sur agarose contenant 5 mM Gln, 10 mM KCl ou 10 mM KNO₃.

(b) Germination de graines des trois génotypes, issues de plantes mères cultivées en présence de 10 mM NO₃⁻, quantifiée 8 jours après semis sur agarose contenant différentes concentrations en nitrate (0-10 mM).

V.B.2.a. Pourquoi l'expérimentateur choisit-il de mettre dans le milieu de germination H₂O, Gln ou KCl?

Réponse à la question V.B.2.a

L'expérience conduite en présence de H₂O sert de témoin négatif, celle conduite en présence de Gln suggère que l'« effet nitrate » n'est pas lié à l'élément N, celle conduite en présence de KCl suggère que l'« effet nitrate » n'est pas simplement osmotique, ni lié au K⁺.

V.B.2.b. Exploitez les résultats de la figure 5Db.

Réponse à la question V.B.2.b

Seul le nitrate stimule nettement la germination des graines Col0 dormantes.

Par ailleurs, le nitrate stimule la germination des graines Col0 et G5 de façon dose dépendante : des pourcentages de germination plus élevés sont observés pour des concentrations exogènes en nitrate plus fortes. Pour les graines G'4-3 seul un petit effet stimulateur du nitrate est observable comme le montre la comparaison de la germination sur agarose + H₂O avec la germination sur agarose + 0,1 mM KNO₃ qui permet l'augmentation du pourcentage de germination de 80% à 100 %. La dormance de ces graines étant déjà faible, il n'y a pas d'augmentation du pourcentage de germination.

V.B.3. Capacités de germination au cours du temps.

Chez *A. thaliana*, le développement des graines s'étale du 8^{ème} au 21^{ème} jour après pollinisation (DAP). Des graines immatures sont isolées au cours de leur développement et on teste leur capacité de germination.

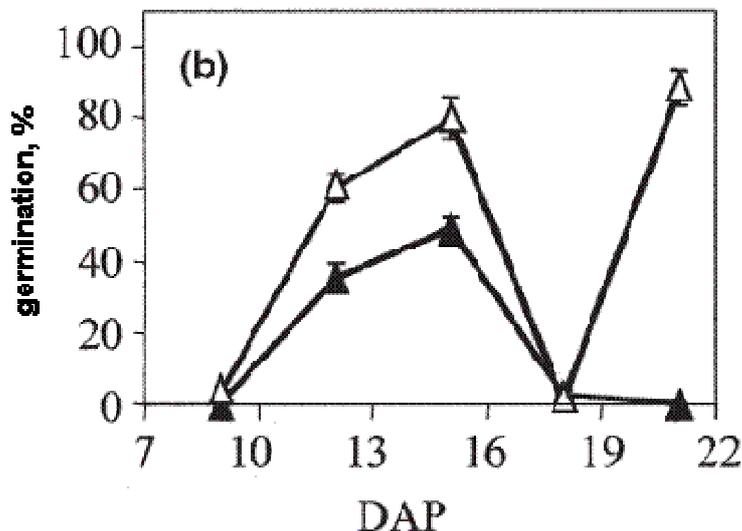


Figure 5E : Germination de graines immatures Col0 issues de plantes mères cultivées en présence de 10 mM NO₃⁻ (triangle noir) ou 50 mM NO₃⁻ (triangle blanc). Les graines, isolées à partir des siliques à différents jours après pollinisation (DAP), sont semées sur agarose. La germination est quantifiée au 13^{ème} jour après semis.

V.B.3.a. Analysez ces résultats et concluez.

Réponse à la question V.B.3.a

Les graines de type sauvage issues de plantes mères cultivées en présence de 10 mM NO₃⁻ germent aux stades précoces du développement de la graine (8-14 DAP) puis, progressivement, ne parviennent plus à germer à mesure que la dormance s'établit (18-22 DAP). Les graines issues de

plantes mères cultivées en présence de 50 mM NO_3^- subissent également l'entrée en dormance comme le démontre la diminution

du pourcentage de germination observée (18-19 DAP). Toutefois, le pourcentage absolu de germination est toujours supérieur à ceux observés pour les graines à 10 mM NO_3^- et au 22ème DAP les graines 50 mM NO_3^- matures ont presque totalement perdu leur dormance (environ 90% de germination). ce que l'on peut interpréter comme un phénomène d'échappement. En conclusion, le nitrate ne semble pas affecter l'entrée en dormance, mais semble plutôt favoriser sa levée dans les graines matures.

V.B.3.b. Proposez une hypothèse expliquant le comportement des graines G'4-3 face à la dormance?
Réponse à la question V.B.3.b.

L'absence de dormance des graines G'4-3 correspondrait au comportement des graines sauvages en présence de 50 mM NO_3^- de la figure 5E. L'accumulation de nitrates pendant la formation de la graine remplaçant le milieu extérieur riche en nitrates de cette expérience.

V.C. Nitrates et facteurs de croissance.

V.C.1. Capacités de germination et facteurs de croissance.

Sur des graines dont la dormance a été levée par stratification, on réalise des tests de germination en présence de différentes concentrations en ABA (acide abscissique) ou en présence de paclobutrazol (PBZ), un inhibiteur de la synthèse de GA (acide gibbérellique).

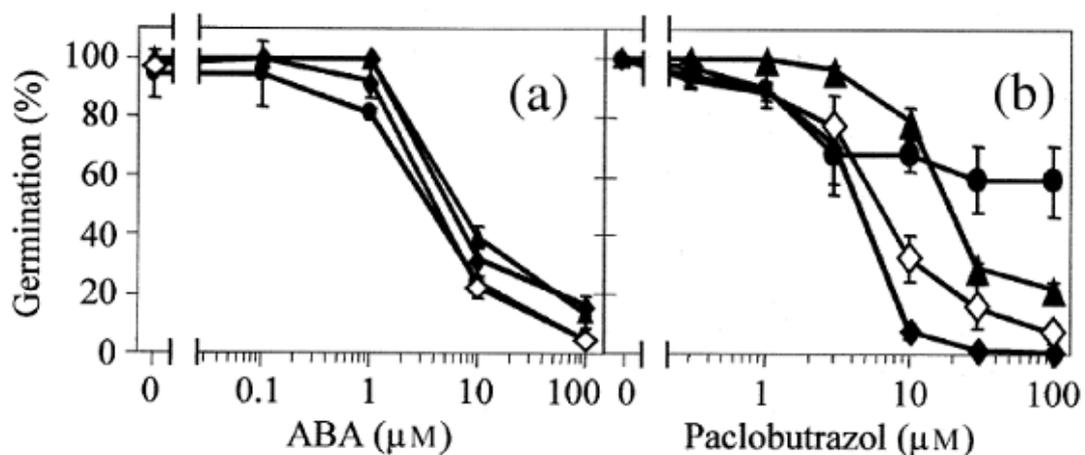


Figure 5F : Sensibilité à ABA (a) et à PBZ (b) de graines Col0 (losange noir et blanc), G'4-3 (triangle noir) et aba1 (rond noir, ce sont des mutants incapables de synthétiser l'ABA). Les graines Col0 sont obtenues à partir de plantes mères cultivées en présence de 10 (losange noir) ou de 50 mM (losange blanc) NO_3^- . Les graines G'4-3 et aba1 sont issues de plantes mères cultivées en présence de 10 mM NO_3^- . Les graines âgées de 2 mois sont semées sur agarose en présence de différentes concentrations en ABA ou en PBZ, puis sont stratifiées. La germination est quantifiée 7 jours après transfert en chambre climatisée à 25°C sous un régime de jour long.

V.C.1.a. En quoi consiste la stratification ?

Réponse à la question V.C.1.a

La stratification consiste en une levée artificielle de dormance des graines placées au froid, en couches successives dans un substrat humide (sable, vermiculite, tourbe).

V.C.1.b. Analysez ces résultats et concluez.

Réponse à la question V.C.1.b

Aucune différence dans la sensibilité de la germination aux effets inhibiteurs de ABA n'est détectable entre les différentes graines, ce qui suggère que l'effet du nitrate sur la dormance des graines

n'implique pas de changement de sensibilité à ABA. Par contre, les graines G'4-3 sont plus résistantes au PBZ que les graines Col0 produites en présence de 10 mM de nitrate, ce qui indique un besoin en GA plus faible pour les graines G'4-3. Les graines Col0 produites en présence de 50 mM de nitrate montrent également une résistance au PBZ, bien que celle-ci soit plus faible que celle observée pour les graines DM. Les mutants *aba* démontrent que sans ABA, GA n'est pas indispensable.

ABA maintient la dormance et GA favorise la germination.

V.C.2. Nitrate et ABA.

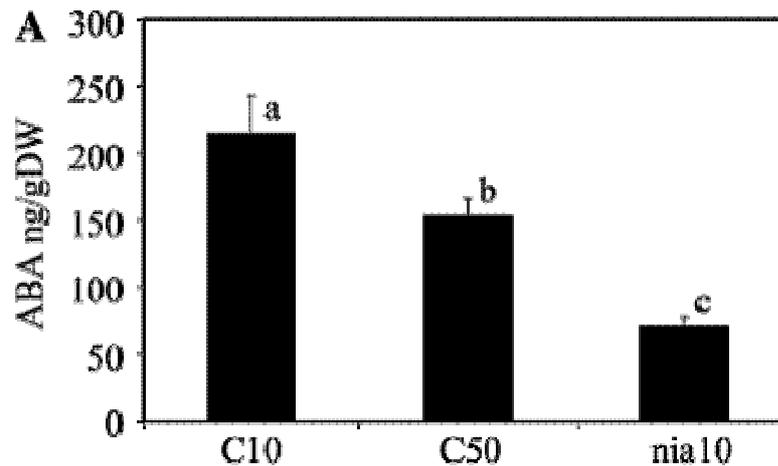


Figure 5G : La teneur en ABA est mesurée sur des graines récemment récoltées. On récolte des graines Col0 issues de plantes mères cultivées en présence de 10 mM NO_3^- (C10), de 50 mM NO_3^- (C50) et des graines G'4-3 issues de plantes mères cultivées en présence de 10 mM NO_3^- (*nia10*). DW : masse sèche. Les colonnes portant des lettres différentes représentent des valeurs significativement différentes.

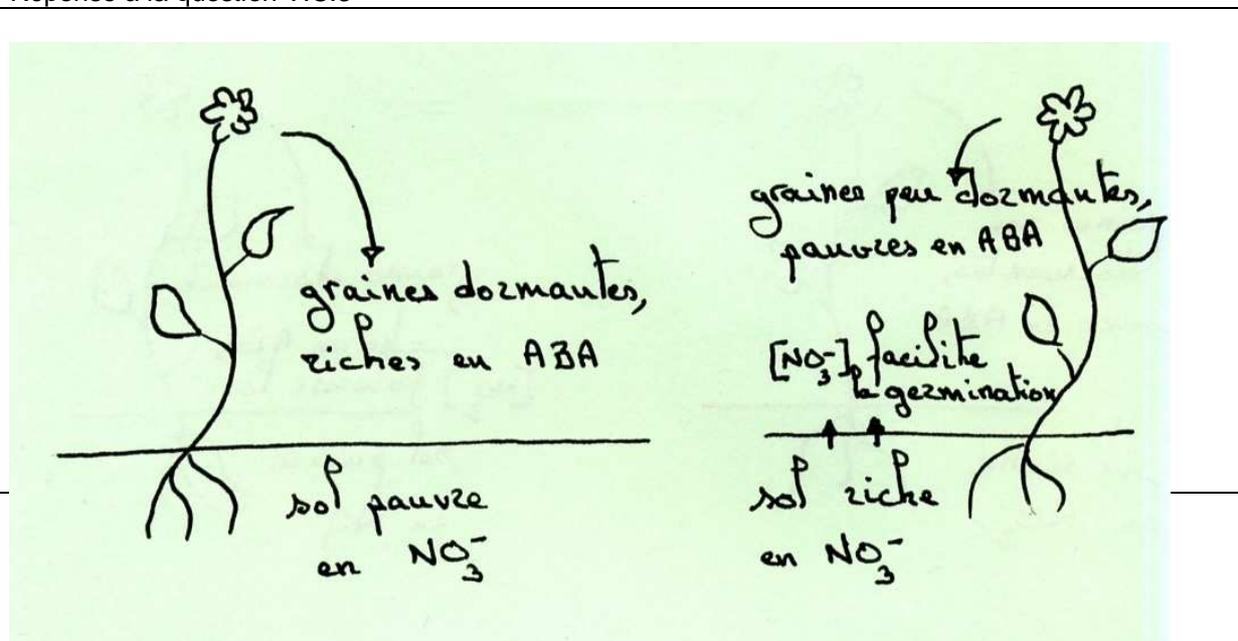
V.C.2. Analysez ces résultats.

Réponse à la question V.C.2

Le sauvage contient moins d'ABA quand la plante mère est cultivée en présence de davantage de nitrate. Le mutant contient encore moins d'ABA. IL y a une relation nette et inverse entre la teneur en nitrate de la graine et la teneur en ABA.

V.C.3. Résumez les informations de cet exercice V sous la forme d'un schéma.

Réponse à la question V.C.3



Partie VI- Reconnaissances raisonnées durée conseillée : 30 mn – barème : 15 /120
 Pour chaque échantillon, indiquez la dénomination précise de la structure proposée (le cas échéant) ainsi que la position systématique la plus précise possible.

Ech.	Nature précise de la structure	Données systématiques
1	Capsule déhiscente avec graines	fusain Evonymus europaeus (cultivar) Celastraceae
2	Gousse de Fabacées, arbre avec épines	Robinia pseudo-acacia Fabaceae
3	Samare de Frêne	Fraxinus excelsior Oléaceae
4	Samare d'orme	Ulmus minor Ulmaceae
5	Fruit complexe = pseudo-fruit (type pomme)	Pyracantha Rosaceae
6	Cynnorhodon (pseudo-fruit = fruit complexe)	Rosa canina Rosaceae
7	Drupe	Prunus spinosa Rosaceae
8	Cône femelle de cyprès	Chamaecyparis atlantica Pinophytes Cupressaceae
9	Bourgeons de hêtre	Fagus sylvatica Fagaceae
10	Chatons mâles et femelles	Alnus glutinosa Betulaceae
11	Chatons mâles et femelles	Corylus avellana Betulaceae
12	Akènes plumeux	Clematis vitalba Ranunculaceae
13	Ephippie (œufs d'hiver)	Daphnie Crustacée, Cladocère
14	Hivernant (en France)	Pinson du nord Passeriforme (ordre)
15	Ecorce de cerisier	Prunus sp Rosaceae
16	Hivernant sur le littoral atlantique	Bernache cravant Anseriforme (ordre)
17	Larve oligopode mélolonthoïde, diapause	Hanneton Coléoptère (ordre)
18	Traces de lapins	Mammifères Lagomorphe (ordre)
19	plumage d'hiver	Lagopède Oiseau Galliforme (ordre)
20	Pelage d'hiver	Hermine Mammifère Mustellidé (famille)

6.2.2 Commentaires de l'épreuve de TP de spécialité – TP secteur B

L'épreuve de travaux pratiques du secteur B portait sur l'étude du métabolisme des organismes et plus particulièrement sur la capacité des organismes à en moduler l'intensité. L'objectif était entre autres de caractériser les répercussions de la modulation du métabolisme sur l'énergétique des organismes. Cette épreuve était donc orientée sur la physiologie des organismes, laquelle peut parfaitement être étudiée expérimentalement en classe par le biais de manipulations relativement simples et faisant appel à du matériel largement disponible dans les établissements. Les études documentaires avaient pour objectif de permettre aux candidats de montrer leurs capacités d'analyse et leur capacité à mettre en œuvre une démarche inductive à partir de données expérimentales. Ces études documentaires avaient également pour objectif de confronter les candidats à l'exploitation, la gestion, l'organisation de données expérimentales pouvant être abondantes.

A l'instar des autres années, le défaut le plus fréquemment rencontré est encore l'utilisation par les candidats de leurs connaissances pour exploiter les documents expérimentaux alors que c'est la démarche inverse qui est attendue. Le jury voudrait insister sur la démarche d'exploitation des données scientifiques (qu'elles soient obtenues par le candidat ou qu'elles lui soient fournies). De futurs enseignants de SVT qui auront à démontrer à leurs élèves que l'observation et l'expérimentation sont sources de connaissance se devraient d'être à même d'appliquer cette même logique.

La première partie du sujet avait pour objectif de tester les capacités des candidats à élaborer et mettre en œuvre un protocole expérimental simple et à en exploiter les résultats obtenus. Dans un second temps, des exercices permettaient d'illustrer comment les paramètres mesurés dans la première partie pouvaient être utilisés pour étudier le métabolisme animal. Trop de candidats sont incapables de manipuler correctement une souris qui est pourtant un organisme modèle très classique en biologie. Les unités et les ordres de grandeur sont des notions qui semblent ignorées de beaucoup de candidat (consommation d'oxygène exprimée en %, teneur en oxygène de l'air ambiant de 7%,...). Si la notion de quotient respiratoire est connue de la majorité des candidats, peu sont ceux qui sont capables de lier la valeur du quotient respiratoire à la nature des substrats énergétiques oxydés. Les exercices d'application de la fin de la seconde partie ont été mal réussis par la majorité des candidats.

La seconde partie était très classique puisqu'il s'agissait de la dissection de du système artériel de la souris. Le jury déplore que de trop nombreux candidats semblent incapables de présenter des dissections sous l'eau (propre) et que l'utilisation de la loupe binoculaire soit négligée (le jury attendait que la loupe soit installée avec la mise au point réalisée et le champ centré sur les structures à observer).

Les dessins réalisés ne sont pas toujours accompagnés d'un titre, ou par un titre très vague, d'un grossissement (dont le calcul ne semble pas être une évidence) ou avec des traits de légende se croisant. La encore, le jury déplore que les bases de la réalisation d'un dessin d'observation puissent être aussi négligées par des candidats à l'agrégation qui auront à guider des élèves dans la réalisation de ce même exercice. Le jury souligne cependant la grande qualité des dissections et des dessins réalisés par certains candidats.

Les parties III à V étaient des études de documents et des exercices d'application. Elles ont été diversement réussies par les candidats. Certaines copies laissent à penser que des candidats ne savent pas réaliser une règle de trois ou calculer un pourcentage (partie III).... Globalement ces parties ont été assez mal réussies alors qu'elles ne présentaient a priori pas de difficulté majeure.

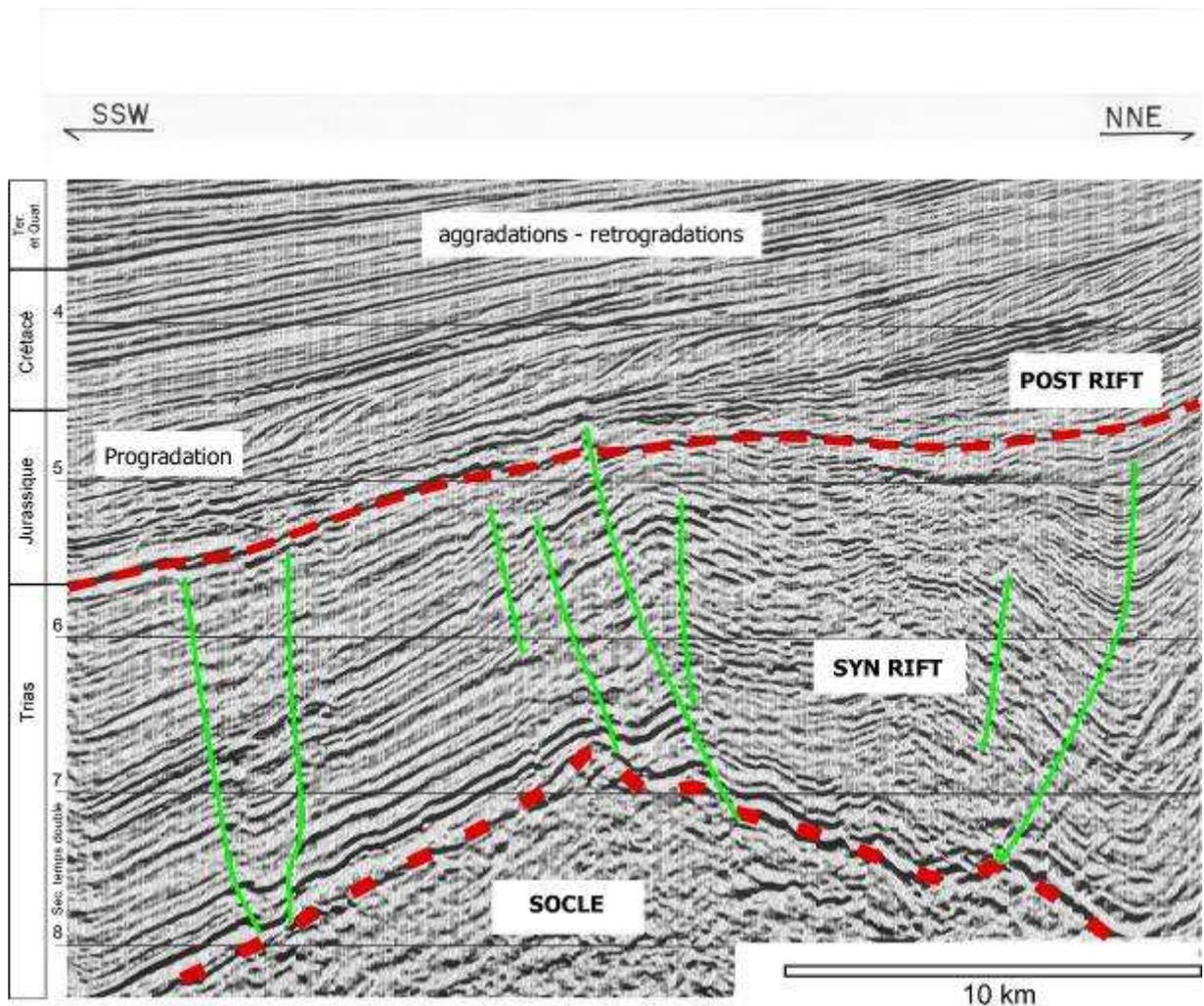
La partie VI était elle aussi classique puisqu'il s'agissait de reconnaissance raisonnée sur des échantillons correspondant à ce qui peut être observé sous nos latitudes en période hivernale. La réussite à cette épreuve est assez faible et la aussi le jury déplore le manque de culture naturaliste des candidats, aucun échantillon ne présentant de difficulté majeure d'identification.

6.3 ÉPREUVES PRATIQUES DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR C

6.3.1 Sujet

Partie I – Le remplissage des bassins sédimentaires - Durée conseillée 1h 30 barème 25 / 100

° Le **document 1** est un enregistrement de sismique réflexion réalisé dans un bassin sédimentaire localisé en Europe.

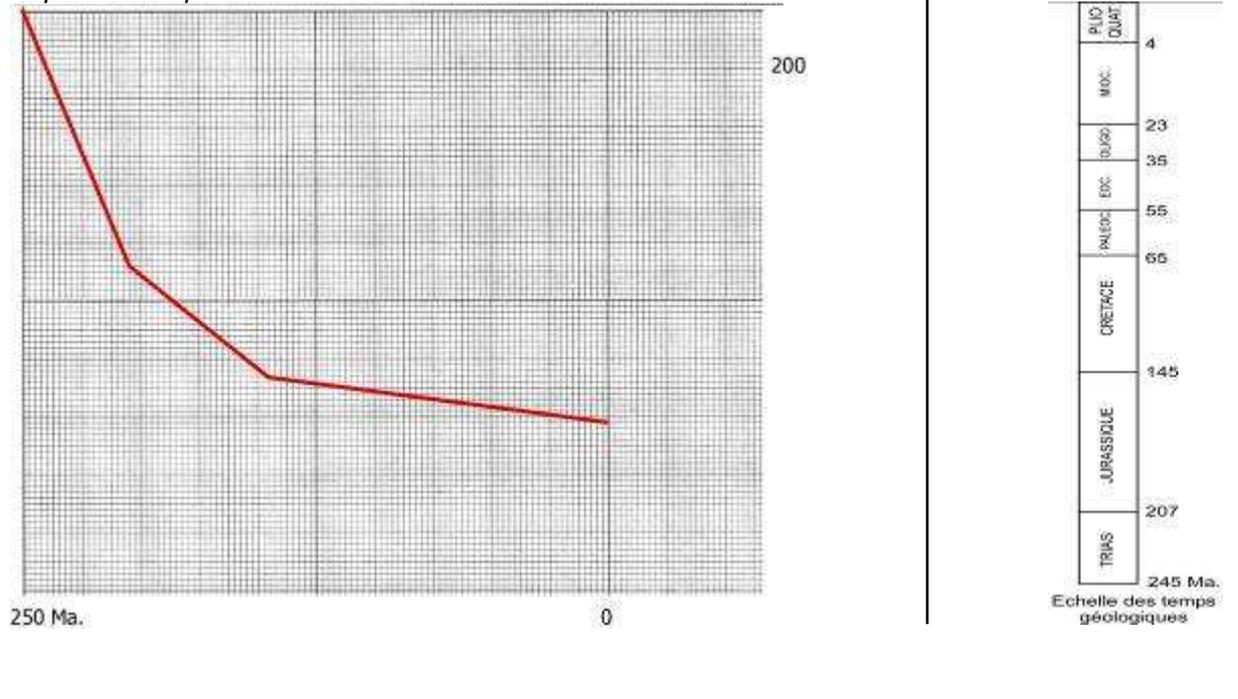


Document 1 : Profil de sismique réflexion réalisé en Europe.

A – Interprétez le profil sismique du Document 1 (structures tectoniques, sédimentaires, architecture des dépôts, etc.). Vous utiliserez le calque fourni pour légender le profil sismique.

B – À l'aide du document 1 et de l'échelle des temps géologiques fournie dans le cadre ci-dessous, construisez une courbe d'enfouissement des dépôts sédimentaires du bassin.

Réponse à la question I – B



C – Expliquez rapidement l'allure de la courbe d'enfouissement que vous avez construite. Qu'en déduisez vous quant à la nature géodynamique du bassin où a été réalisé le profil sismique du document 1 ?

Réponse à la question I – C

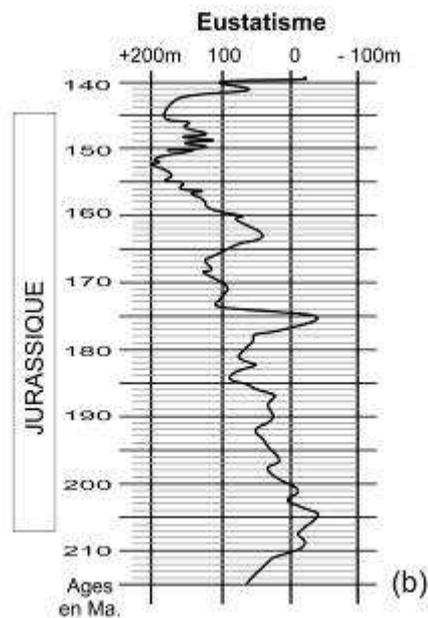
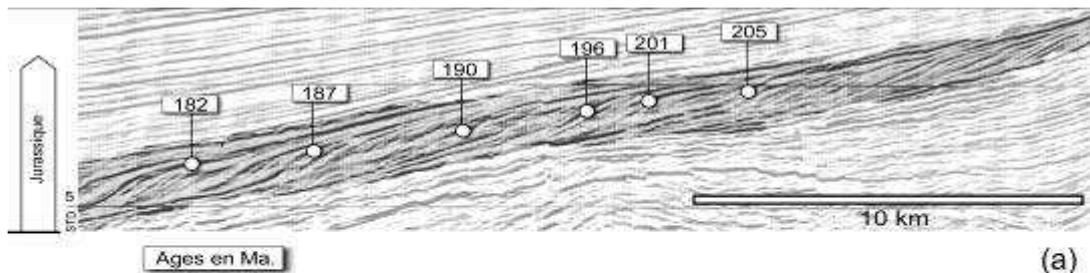
On observe deux parties : au trias la subsidence est rapide puis se ralentit par la suite. C'est la succession d'une subsidence « initiale » et « thermique » caractéristique d'un bassin de rift ou passant par un stade de rifting.

D – Indiquez rapidement quelles corrections vous devriez apporter pour construire une courbe de subsidence totale, puis de subsidence tectonique ?

Réponse à la question I – D

Il faut corriger de la bathymétrie, du poids des sédiments et de l'eau et de la variation eustatique. Cette correction est appelée « backstripping ou décompaction.

°Le **document 2** est un agrandissement d'une partie du profil sismique précédent ainsi qu'un extrait de la courbe eustatique pour le Jurassique. Les chiffres correspondent à la datation de quelques réflecteurs.



Document 2 : (a) Détail du profil sismique (document 1) et âges de quelques réflecteurs, (b) Extrait de la courbe eustatique de Haq et al., (1987).

E – Comment peut-on qualifier la géométrie générale des réflecteurs sismiques du Jurassique (partie plus foncée) observés sur le **document 2a** et que traduit-elle ?

Réponse à la question I – E

Il s'agit d'une progradation généralisée. Elle traduit une régression, c'est à dire l'avancée vers le bassin de la ligne de rivage au cours du temps.

F – Connaissant les principaux paramètres qui agissent sur la sédimentation dans un bassin, et en utilisant les informations apportées par le document 2b

Réponse à la question I – F

Dans un bassin sédimentaire la sédimentation (sa nature et la géométrie des dépôts) est contrôlée par trois paramètres principaux : les apports sédimentaires, l'eustatisme et la subsidence. La géométrie régressive du document 2a se construit dans un contexte général de

montée eustatique. Pour obtenir une régression, malgré une montée eustatique, il faut soit un taux d'apports sédimentaires fort, soit une subsidence qui s'annule et un soulèvement isostatique du substratum. On peut également dire qu'il faut que le flux sédimentaire soit supérieur à l'accommodation (eustatisme + subsidence).

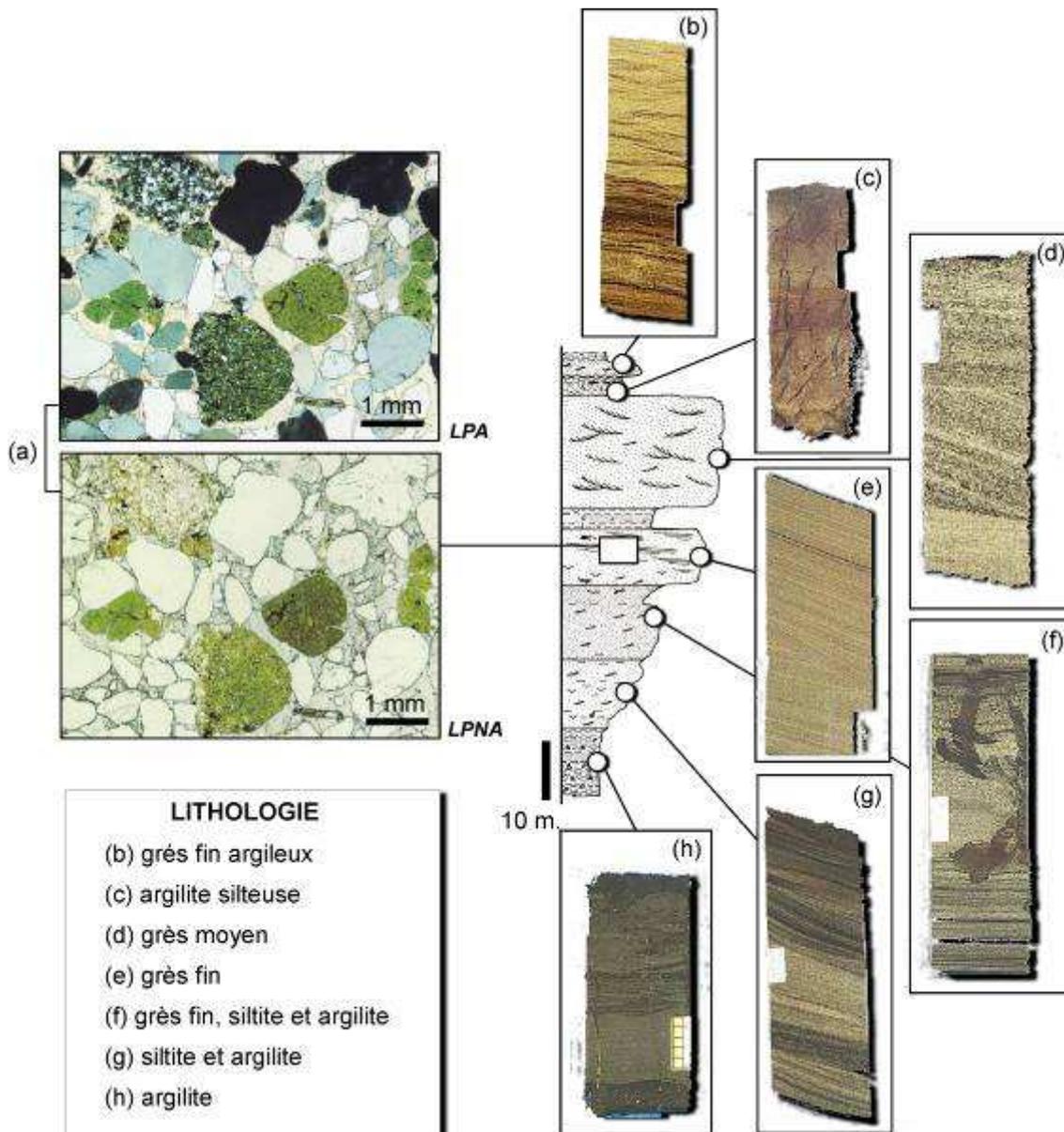
G – Comment définissez-vous les séquences de dépôts dans l'ensemble étudié et quels sont les causes, externes ou internes, que l'on peut invoquer pour expliquer leur origine ?

Réponse à la question I – G

Une séquence de dépôts est un ensemble de sédiments encadré par deux discontinuités de même nature (souvent des surfaces d'érosion) formé lors des variations du niveau de la mer. On y distingue plusieurs types de géométries sédimentaires traduisant la migration de la ligne de rivage en fonction des changements du niveau marin.

Dans le document 2a, on peut définir plusieurs séquences de dépôts encadrés par les réflecteurs les plus marqués qui soulignent des surfaces d'érosions. Il s'agit donc de géométries progradantes comprises entre deux réflecteurs fortement contrastés. On peut également dire que l'ensemble de la progradation est une séquence de dépôt de durée plus grande. On a donc un ou deux ordres de séquences de dépôts dont les durées (> 1 Ma.) suggèrent une origine interne, tectonique (changement de contrainte intra-plaque, de régime de dorsale), ou externe et glacio-eustatique (fonte de calottes temporaires).

° Un forage carotté est effectué là où l'on a réalisé le profil de sismique réflexion représenté dans le document 1. Le **document 3** montre un log sédimentologique déduit de l'étude de carottes (photographies **b** à **h**), provenant du forage. Une lame mince (**a**) a été réalisée dans la carotte (**e**).

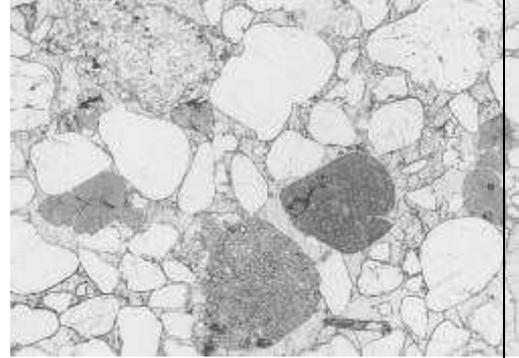


Document 3 : Log sédimentologique déduit de l'analyse des carottes de forage (photographies **b** à **h**) et photographie de lame mince (**a**) en lumière polarisée non analysée (LPNA) et en lumière polarisée analysée (LPA).

A – Analysez la photographie de lame mince (**a**).

Réponse à la question II – A (vous pouvez légender l'illustration en NB)

On observe des quartz roulés, un débris de quartzite (en haut à gauche) et des grains de glauconie (minéral argileux vert).



Reproduction en NB de la lame mince (a)

B – En vous basant sur l'analyse précédente, ainsi que sur l'observation des faciès sédimentaires qui se succèdent en carottes (notés **b** à **h**), déduisez, avec le plus de précision possible, l'environnement sédimentaire qui caractérise la succession de faciès observée en forage.

Réponse à la question II – B

(a) La lame mince montre des grains très arrondis (action de l'eau ou du vent). La glauconie témoigne de conditions marines. Les carottes (b) et (c) montrent des sédiments marrons, des rides de courant (b) et des traces de racines (c). Il s'agit de faciès continentaux de plaine d'inondation et de débordements fluviaux. Dans les carottes (d) et (e) de grès on observe des litages obliques et la lame mince (a) effectuée dans la carottes (e) conduit à interpréter ces structures comme étant marines. Le domaine marin où l'on retrouve du sable et des structures sédimentaires de courant est le littoral proche de la côte. La carotte (f) montre des sédiments brun noir (matière organique) bioturbés (traces irrégulières de terriers). Il s'agit d'un faciès marin franc (le large ou « offshore »). La carotte (g) est sombre (enrichie en matière organique) et montre les litages obliques ondulés suggérant l'action de la houle ou des tempêtes. La carotte (h) est argileuse très riche en matière organique. Cela caractérise le faciès marin le plus profond de la série. La synthèse de ces observations, ainsi que la constatation que la série géologique montre un grano-classement vertical inverse, suggèrent une progradation en environnement marin. C'est une succession deltaïque. Les faciès (b) et (c) caractérisent la « plaine deltaïque » (ou alluviale), les faciès (d) et (e) « le front de delta » et (f) à (h) le « pro-delta ».

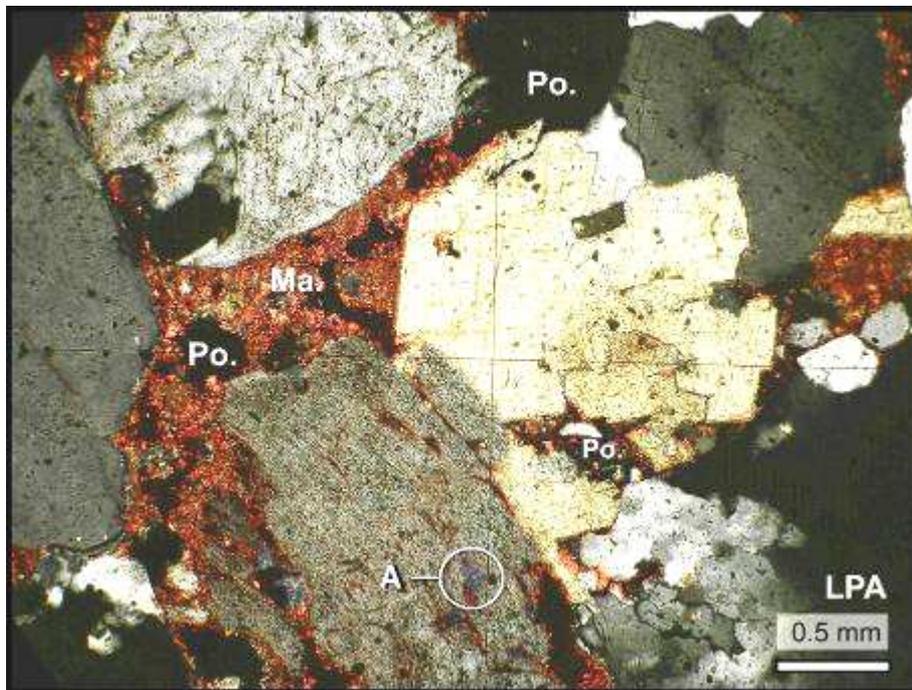
C – A l'aide des informations précédentes, indiquez sur le profil sismique du document 1 (vous pouvez dessiner sur le calque utilisé précédemment), dans quelle zone traversée par le forage peut être observée la succession de faciès du document 3. Justifiez votre réponse.

Réponse à la question II – C

Le forage traverse la progradation du Jurassique.

III – La diagenèse des réservoirs - Durée conseillée 1h 30 barème 25 / 100

° Un autre forage est réalisé à quelques kilomètres du précédent dans le but d'étudier la diagenèse. Des lames minces et des analyses aux rayons X sont réalisées à cet effet (**Document 4 et 5**).

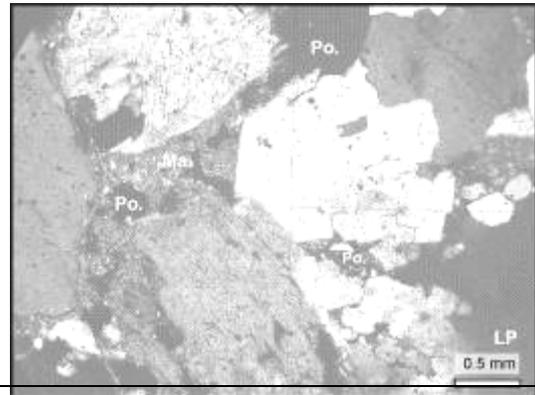


Document 4 : Lame mince d'un grès. La zone entourée (A) a fait l'objet d'analyses en diffractométrie aux rayons X (voir document 5) Po. porosité Ma. Matrice argilo-carbonatée.

A – Déterminez les minéraux visibles sur le document 4.

Réponse à la question III – A

Quartz (gris a inclusions), Feldspaths potassiques (striés et corrodés), carbonate (angle de clivage à 120°; beige doré clair)



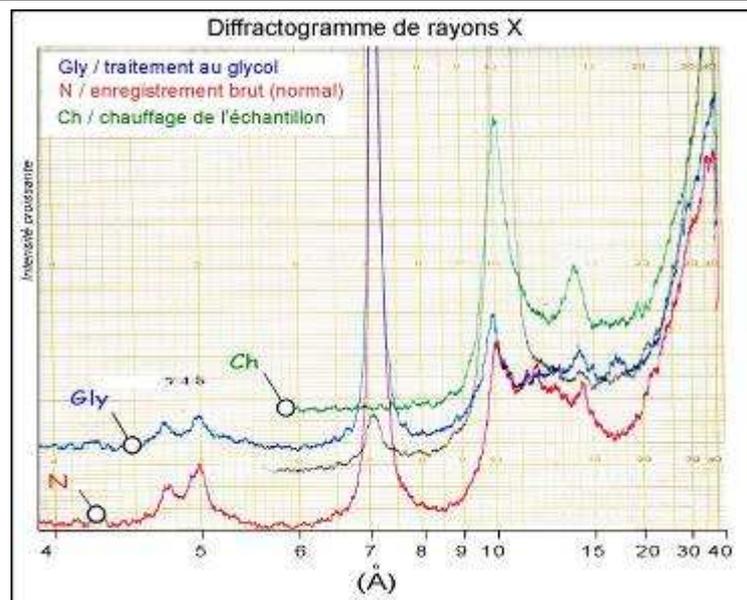
B – Définissez la porosité et la perméabilité d'une roche. Comment pouvez-vous qualifier la porosité visible sur la lame mince du document 4 ?

Réponse à la question III – B

La porosité est le % d'espace « vide » de la roche. La perméabilité est la capacité qu'a la roche à laisser circuler librement un fluide sous l'effet d'un gradient de pression. Elle est exprimée en Darcy ou mD. La loi de darcy : $Q/S = k/\eta \cdot \Delta P/\Delta x$

Avec Q le débit, S la section de l'éprouvette qui pour une éprouvette cylindrique est PR^2 avec R le rayon de l'éprouvette, k la perméabilité, η la viscosité dynamique du fluide et $\Delta P/\Delta x$, le gradient de pression.

La porosité est dite secondaire (résulte de la dissolution de la phase de liaison)



Document 5 : Analyse aux rayons X de la zone notée (A) sur le document 4.

C – Interprétez le diagramme de diffraction aux rayons X du document 5.

Réponse à la question III – C

La position des pics indique la largeur du feuillet argileux : 7A kaolinite, 10 A illite, 14 A au chauffage Chlorite

D – Quelle est la signification et l'intérêt des deux enregistrements (bleu et vert) représentés sur le diffractogramme de rayons X ?

Réponse à la question III – D

Le bleu permet de discriminer les minéraux gonflants (montmorillonites, smectites, etc.). l'enregistrement vert permet de mettre en évidence les minéraux « résistants » à la chaleur comme la chlorite.

E – Établissez à partir des documents 4 et 5 la nature et la chronologie des événements diagénétiques qui se sont succédés dans le grès étudié.

Réponse à la question III – E

Phénomènes diagénétiques : corrosion du quartz et du feldspath, dissolution de la matrice (porosité), cimentation de carbonates dans la porosité et néoformation d'argiles dans la porosité secondaire créée par la dissolution du feldspath.

Chronologie : corrosion du quartz et du feldspath, dissolution de la matrice, cimentation du carbonate, dissolution dans la lumière des pores du carbonate, néoformation d'argiles.

F – Quel type de réaction chimique vous permet de faire un lien entre les documents 4 et 5 ? Écrivez la réaction en précisant les minéraux et les ions impliqués (réactifs ou produits). Les formules chimiques des minéraux ne sont pas attendues.

Réponse à la question III – F

Dans le document 5 l'analyse du remplissage A montre de la kaolinite qui peut résulter de la dégradation du feldspath. La réaction en jeu est une hydrolyse. $Fk + \text{solution d'attaque (eau} + \text{CO}_2) \rightarrow \text{insoluble (Argile - kaolinite)} + \text{ions (K}^+) + \text{H}^+$.

°Au **poste d'observation, l'échantillon n°1** d'âge triasique, provient d'une exploitation à ciel ouvert localisée en bordure du bassin de Lodève (Hérault).

G – Interprétez et réalisez un dessin d'observation légendé de l'échantillon n°1.

Réponse à la question III – G

Dolomite calcaire par endroits à macro-porosité remplie d'hydrocarbures liquide (il ne s'agit pas de bitumes).

H – Quelle est la nature chimique du composé brun - noir présent dans la roche et quelles sont ses conditions de formation ?

Réponse à la question III – H

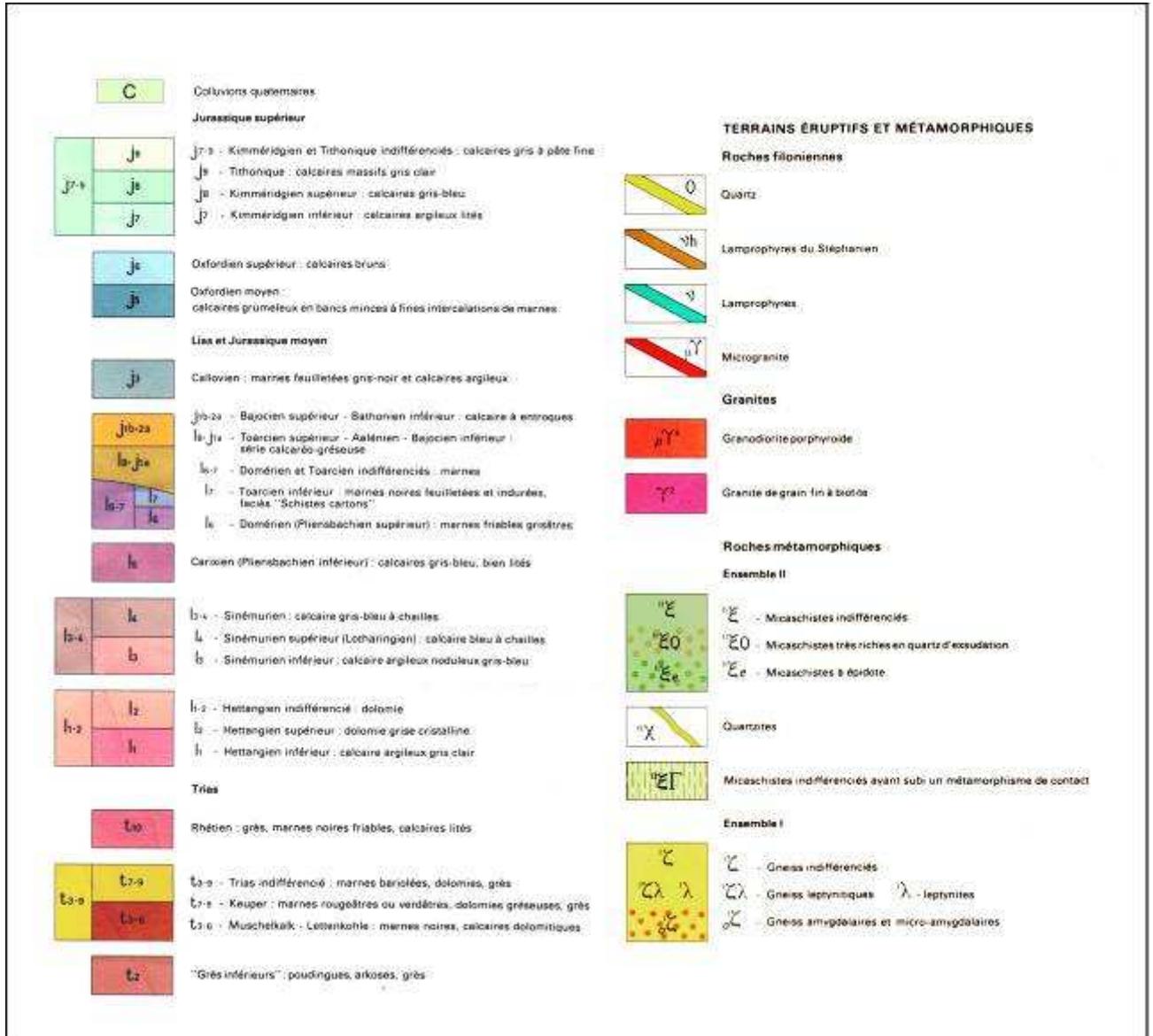
Il s'agit d'hydrocarbure liquide, du "pétrole brut". Il se forme au cours de la diagenèse par élévation de température au cours du temps après que de la matière organique aie été piégée et soustraite à l'oxydation. La maturation thermique de la matière organique produit du kérogène qui peut évoluer en bitumes, hydrocarbures gaz ... Le pétrole trouvé ici indique qu'il a subi une migration et s'est retrouvé piégé dans une roche réservoir (macroporosité).

I – La roche observée est elle une roche mère où une roche réservoir ? Justifiez votre réponse.

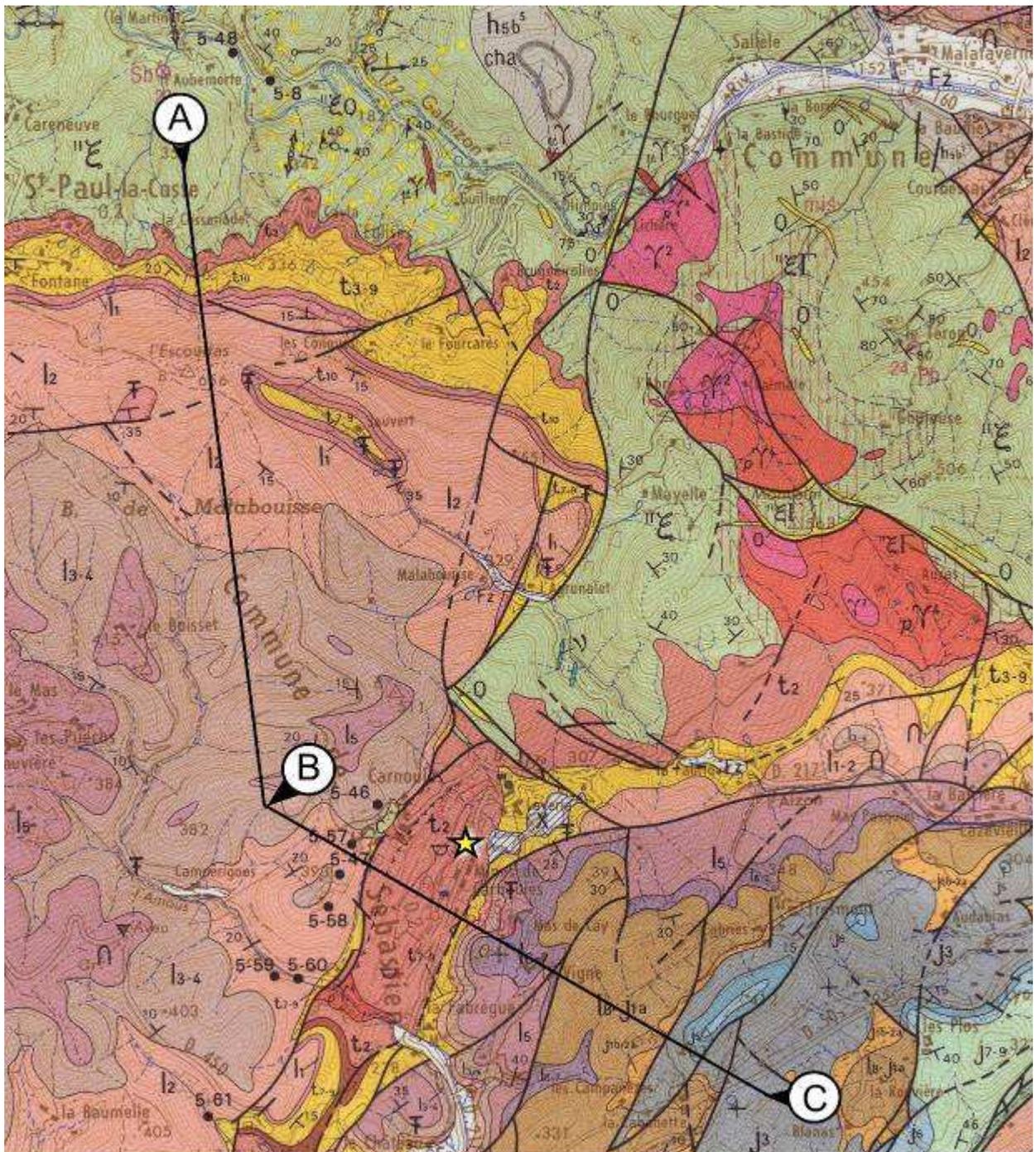
Réponse à la question III – I

C'est une roche réservoir (poreuse et perméable). Une roche mère est imperméable.

IV – Les ressources minérales dans les bassins - *Durée conseillée 2h 30 barème 40 / 100*



Légende de l'extrait de carte géologique d'Ales au 1/50000 du document 6a.



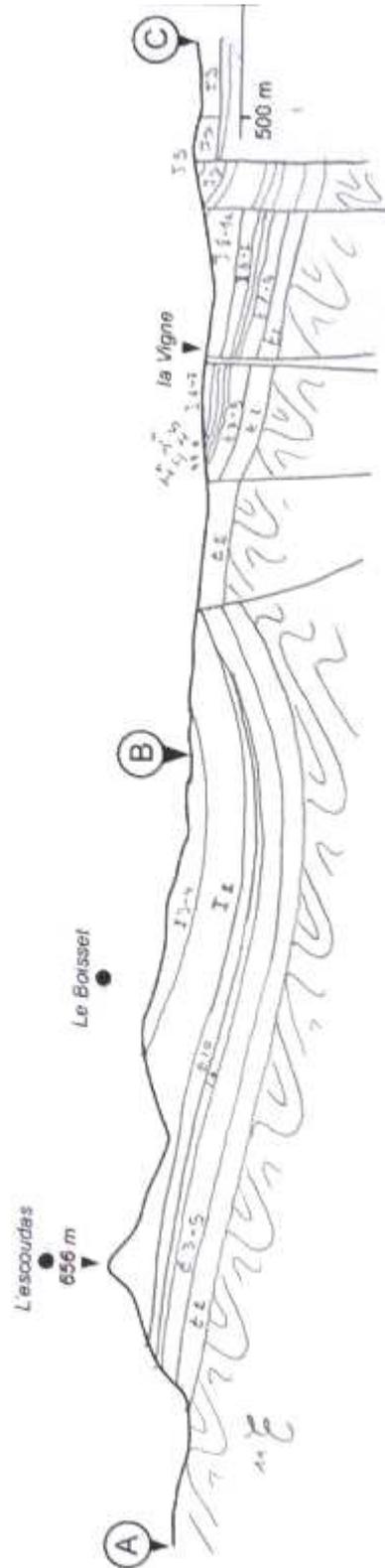
★ Exploitation de Pb/Zn photographée dans le document 7

→
Fossé d'Alès

Carrière photographée dans le document 7

Document 6a : Extrait de la carte géologique au 1 / 50 000 d'Alès (légende fournie).

A – Réalisez la coupe géologique indiquée sur le document 6a.



Coupe à main levée provenant d'une copie.

Document 6b : Profil topographique le long de la coupe A - C du document 6a.

Réponse à la question IV – A

B – Comment pouvez-vous interpréter la structure géologique de la zone comprise entre les points (B) et (C) de la coupe matérialisée sur l'extrait de la carte d'Alès ?

Réponse à la question IV – B

Il s'agit de blocs basculés affectant les terrains du trias au crétacé. On peut supposer qu'ils sont en relation avec le fossé d'Ales.

C – Quels évènements géodynamiques, tectoniques, sédimentaires, etc., pouvez vous illustrer grâce à l'extrait de carte géologique fournie et à la coupe que vous venez de réaliser.

Réponse à la question IV – C

Evènements sédimentaires : transgression marine et transition entre un environnement continental à côtier au Trias à un milieu marin au Jurassique et au Crétacé.

Evènements tectoniques : discordance du Trias sur le socle, plissement de la couverture sédimentaire et failles normales limitant des blocs basculés (au sud)

Evènements géodynamiques : On peut mettre en évidence deux évènements : l'évolution tardi-hercynienne et le remplissage sédimentaire au Trias de bassins Permians et la distension oligocène (fossé d'Ales) qui se traduit par la formation d'un fossé d'effondrement dont on a un témoin de la marge au sud de la carte (blocs basculés).

° Le **document 7** est une analyse chimique d'une roche endogène contenant 30, 60 et 10 % des minéraux n°1, 2 et 3. La roche analysée affleure sur l'extrait de carte géologique du document 6a.

Si	O	H	Fe	Mg	Al	F	K	Na	
28	16	1	56	24	27	38	39	23	masse molaire g/mol.
43,2	56,8	0	0	0	0	0	0	0	Minéral n°1
13,4	29,2	0,3	25,2	11,3	4,3	11,1	5,2	0	Minéral n°2
32,7	49,8	0	0	0	10,2	0	0	8,97	Minéral n°3

(a)

As	2.97	Cr	146	Gd	4.14	Mo	1.21	Sb	<1.d.	Tm	0.312
Ba	903	Cs	18.4	Ge	1.83	Nb	16.6	Sm	5.64	U	13.3
Be	6.82	Cu	<1.d.	Hf	4.77	Nd	29.6	Sn	14.5	V	30.8
Bi	1.13	Dy	3.62	Ho	0.682	Ni	13.2	Sr	325	W	1.32
Cd	0.12	Er	1.99	In	<1.d.	Pb	56.3	Ta	2.74	Y	21.3
Ce	67.5	Eu	1.21	La	35.4	Pr	7.46	Tb	0.635	Yb	2.18
Co	5.12	Ga	18.8	Lu	0.335	Rb	283	Th	27.0	Zn	43.6
										Zr	156

ICPMS
µg/g (ppm)

(b)

Document 7 : (a) Composition chimique d'une roche endogène et (b) analyse des éléments traces de la roche au spectromètre de masse (ICPMS).

D – A partir du document 7a déterminez les formules chimiques des minéraux présents dans la roche et en déduire le nom de la roche. A quelle formation géologique indiquée sur la carte d'Ales cette roche peut elle appartenir ?

Réponse à la question IV – D

Minéral A : Quartz SiO_2

Minéral B : Biotite - $(Si_3 Al O_{10}) (OH F)_2 (Mg Fe)_3 K$

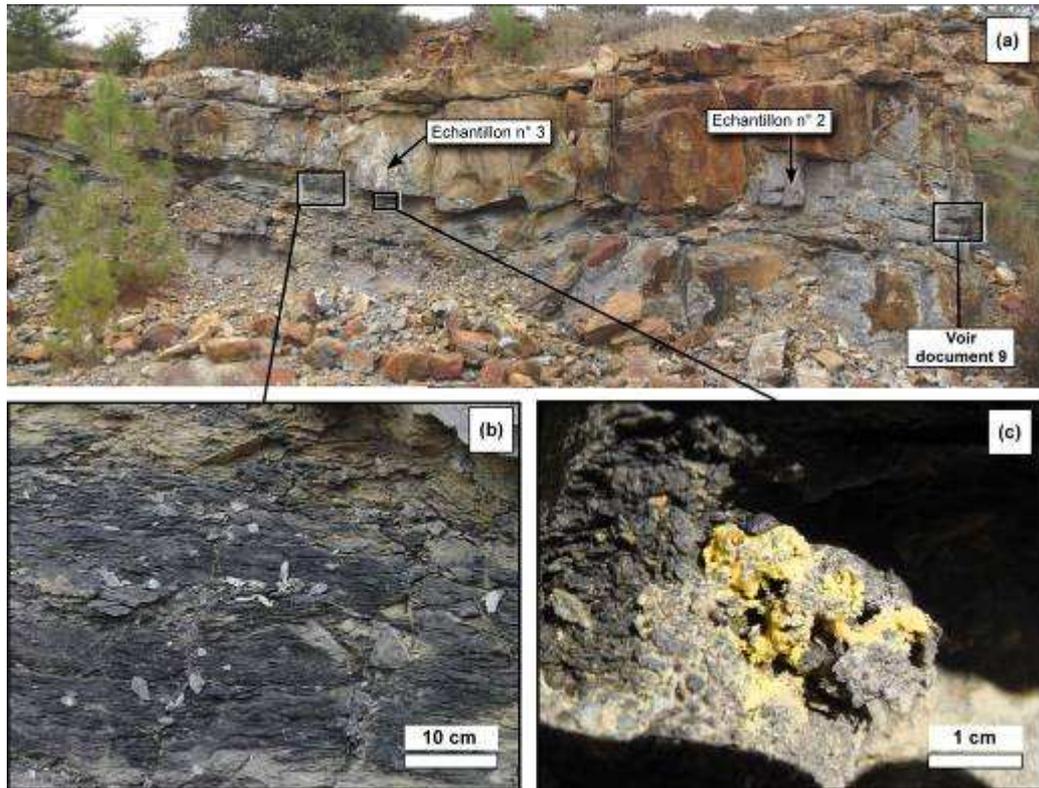
Mineral C : Albite - $Na Al Si_3 O_8$

L'échantillon provient du « granite de grain fin à biotite »

Si	O	H	Fe	Mg	Al	F	K	Na
1,54	3,55							
0,434	1							
1	2							
quartz					SiO ₂			
Si	O	H	Fe	Mg	Al	F	K	Na
0,47	1,82	0,3	0,45	0,47	0,159	0,29	0,13	0
2,956	11,45	1,9	2,8	3,0	1,0	1,8	0,8	0,0
3	12	2	3	3	1	2	1	
biotite					Si ₃ AlO ₁₀ (OH F) ₂ (Mg Fe) ₃ K			
Si	O	H	Fe	Mg	Al	F	K	Na
1,2	3,1				0,4			0,4
3,1	8,4	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,1
3	8				1			1
albite					Na Al Si ₃ O ₈			

Stœchiométrie - Valeurs calculées

°On se propose maintenant d'étudier la géologie d'une carrière ouverte dans un gisement de Plomb / Zinc. La carrière est localisée sur le document 6a et un panorama photographique complété de quelques photographies de détails sont fournies dans **les documents 8 et 9**.



Document 8 : Panorama de la carrière étudiée et photographies de détail. Les échantillons n°2 et 3 sont ceux du poste d'observation.



Document 9 : Photographie de détail du banc dont proviennent les échantillons n°2 et 3

E – Interprétez les structures sédimentaires visibles sur la photographie **du document 9**.

Réponse à la question IV – D

Il s'agit de méga-rides 3D de courant d'origine fluviale

°Au **poste d'observation** vous trouverez les **échantillons n°2 et 3** qui sont repérés sur le document 8.

F – Interprétez les deux roches n°2 et 3 :

- Pour la roche n°2, Réalisez un dessin d'observation, donner le nom de la roche et indiquez d'où peut provenir le sédiment qui la compose. Vous préciserez enfin, quels peuvent être le ou les constituants qui donnent la couleur grise au ciment de cette roche.

- Pour la roche n°3, vous devrez déterminer de quel minéral il s'agit, préciser sa constitution chimique et indiquer l'origine possible des éléments chimiques qui le composent.

Réponse à la question IV – F

Roche n°2

Conglomérat à quartz feldspaths (orthoses), ciment siliceux et riche en sulfures de plomb (ciment gris) traces de barytine en surface.

Dessin d'observation

Suite de la réponse à la question IV – F

Roche n°3

Barytine en crête reconnaissable par sa densité élevée.

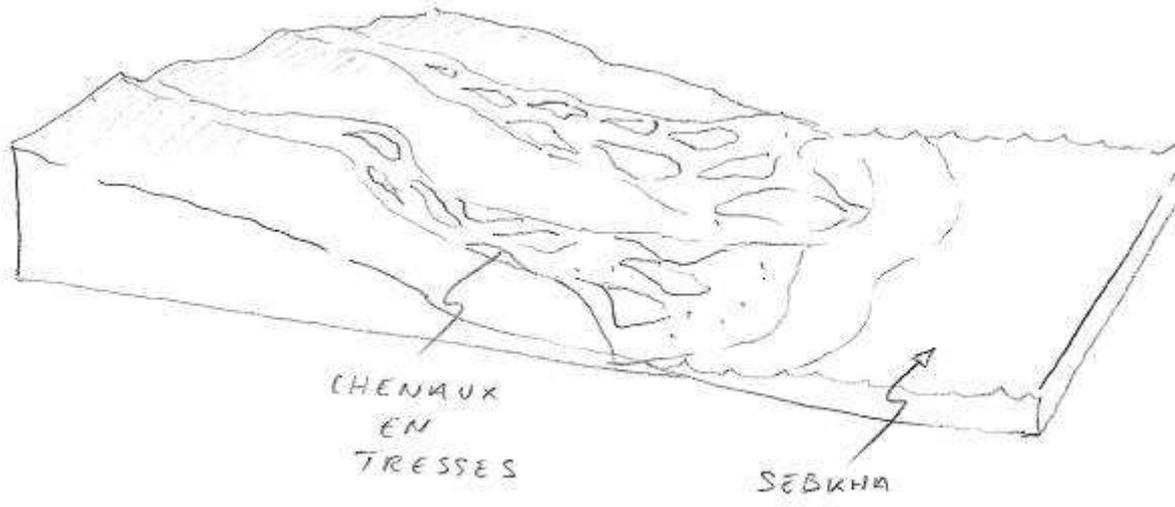
Dessin d'observation

G – En vous basant sur le travail précédent, proposez un schéma paléogéographique annoté, représentant l'environnement sédimentaire déduit du panorama du document 8 a, des photographies de détail (document 8 b et c) et des échantillons n°2 et 3 que vous avez étudiés. Vous préciserez les conditions physico-chimiques qui régnaient au moment du dépôt.

Réponse à la question IV – G

Milieus de sebkha, sursalé (concentration en So_4 , Ba, Si., etc.) dans lequel débouchent des rivières en tresse (grès grossier conglomératique, matériel sédimentaire immature, rides 3D indiquant un courant fort).

Le milieu est réducteur (concentration en matière organique, Plomb, Zinc etc..).



H – En vous aidant de l'ensemble des documents de la question IV et de vos observations et déductions précédentes, proposez une explication quant à l'origine du gisement de Plomb / Zinc et des minéralisations associées (celles que vous avez eu l'occasion de rencontrer dans les exercices proposés). Vous préciserez, sur quels documents où échantillons reposent vos différents arguments.

Réponse à la question IV – H

- La source des éléments chimiques est le granite avoisinant (Pb, Ba, Zn, Ag, etc.) (Document 6a). C'est le lessivage des massifs granitiques et le transport par les rivières en tresses (Document 7a) qui est à l'origine de la concentration en ces éléments. Ils se retrouvent dans un gisement sous forme de sulfate BaSO_4 (barytine), sulfure PbS , ZnS (Echantillons au poste d'observation n°2).

- Il y a également du soufre et de la matière organique (Photographie 8b et c) ce qui indique un milieu marin particulièrement réducteur. L'origine des sulfates, qui vont se combiner au baryum, est à rechercher dans une eau de mer sur salée (sebkhas). L'origine du sulfure vient de la matière organique qui réduit les sulfates marins en sulfures à l'interface eau-sédiment. Ils peuvent précipiter avec le fer (pyrite) le plomb, le zinc, etc.

6.3.2 Commentaire du jury

L'épreuve de TP - C de cette année devait amener le candidat, par l'analyse de documents très variés, à une réflexion concernant la géologie des bassins sédimentaires à différentes échelles. Il s'agissait de partir de l'échelle sismique et de réfléchir à la manière dont un bassin se remplit (impact des variations du niveau marin, de la tectonique, etc.) puis comment en son sein peuvent se caractériser d'un point de vue sédimentologique des réservoirs sédimentaires. On passe ensuite à une étude de la diagenèse de ces réservoirs. Enfin la dernière partie est consacrée à une autre caractéristique des bassins : la présence de ressources minérales. Il s'agissait donc ici de faire le lien entre un contexte géologique régional et des accumulations minérales, mais aussi de comprendre la migration et le piégeage dans certains types d'environnements sédimentaires, des ions libérés par l'altération chimique des roches endogènes.

Le sujet a été relativement bien traité dans l'ensemble. Les exercices concernant la caractérisation et le fonctionnement d'un bassin sédimentaire ont été bien traités malgré des choses surprenantes, comme le dessin de courbes "inversées" pour représenter l'enfouissement des sédiments (départ du bas et non du haut du papier millimétré) ...

La partie géologie de réservoir a été plus décevante, les candidats n'étant manifestement pas habitués à interpréter des figures sédimentaires, même basiques, à partir de photographies. La diagenèse a été assez mal traitée, et notamment la chronologie des événements diagénétiques.

Enfin la partie portant sur les ressources minérales a également été assez inégalement et parfois maladroitement traitée. La coupe géologique est souvent de bonne qualité. En revanche, très peu de candidats ont su reconnaître dans les échantillons proposés la barytine (minéral pourtant très classique et aisément identifiable par sa densité) et peu ont su décrire complètement l'autre échantillon (conglomérat).

La synthèse demandée à la fin a également été décevante par manque de connaissance manifeste concernant la formation de gisement minéral, associé à l'altération d'un socle hercynien.

6.4 ÉPREUVES PRATIQUES DE CONTRE – OPTION SECTEUR A

6.4.1 Sujet

L'utilisation du vivant et les biotechnologies : la production de bioéthanol

Ce document contient 13 pages de texte et de figures.

Partie I - Observation et détermination systématique des microorganismes impliqués

pa

ge 2

durée conseillée : 15 minutes – barème : 10 /100

Partie II - Etude expérimentale d'une activité enzymatique

pa

ge 4

durée conseillée : 20 minutes – barème : 15 /100

Partie III - Etude expérimentale de la croissance de populations en présence d'éthanol

pa

ge 6

durée conseillée : 45 minutes – barème : 40 /100

Partie IV - Analyse du gène de l'invertase

pa

ge 10

durée conseillée : 40 minutes – barème : 35 /100

Attention ! L'accès au spectrophotomètre vous sera possible pendant une durée limitée, qui vous sera précisée par les surveillants de salle. Il vous appartient de vous organiser dans la préparation de vos manipulations, afin de profiter au mieux de cet appareil lorsqu'il sera mis à votre disposition.

Les réponses aux questions figureront dans les cadres réservés à cet effet. N'oubliez pas d'appeler les correcteurs pour vérifier préparations, dessins et résultats lorsque cela est demandé.

**AVANT DE RENDRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN
INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DE CHACUNE
DES FEUILLES.**

Au-delà des utilisations traditionnelles des microorganismes pour la production de substances utiles à l'Homme, plusieurs voies de recherches se sont ouvertes ces dernières années dans des domaines industriels innovants. Il en est ainsi de la production de carburants tels que le « bio-éthanol » à partir de certaines productions végétales. L'une d'entre elles, bien adaptée aux conditions environnementales de grandes régions agricoles françaises, est celle de la betterave sucrière, dont le parenchyme de réserve est riche en saccharose. L'enjeu consiste à permettre la production importante d'éthanol par l'action de microorganismes sur ce diholoside.

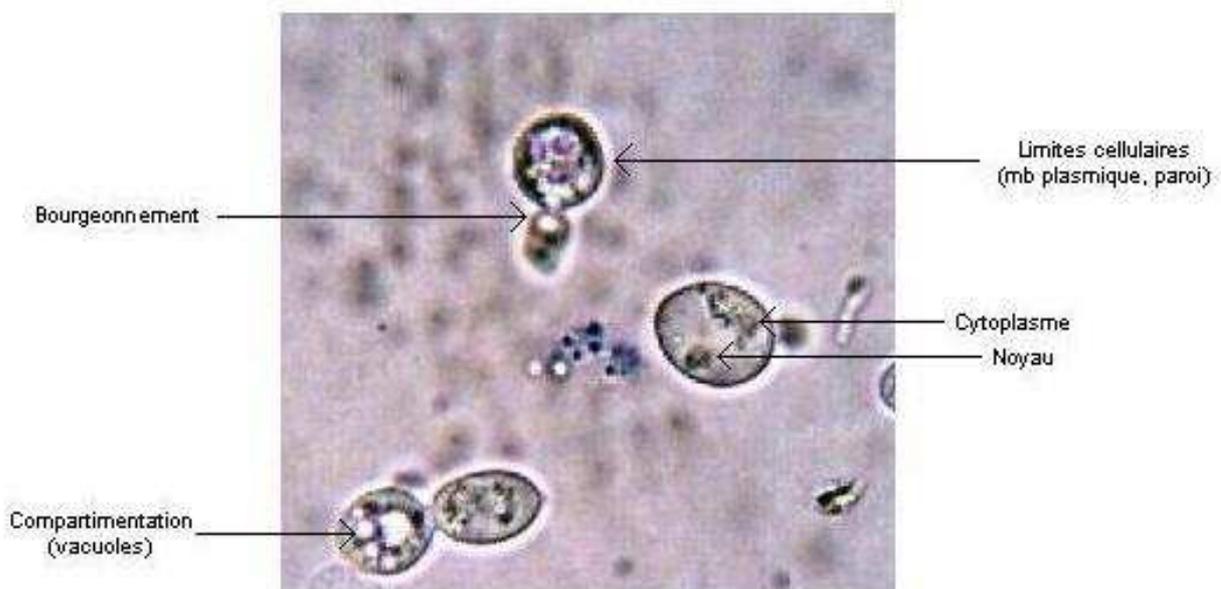
Partie I : Les microorganismes impliqués

durée conseillée : 15 minutes – barème : 10 /100

Dans un premier temps, nous nous intéresserons aux microorganismes utilisés pour cette production. Vous disposez, sur votre paillasse, d'un Erlenmeyer, noté S⁺, contenant une suspension de ces microorganismes à la concentration de 1 g.L⁻¹. A l'aide d'une pipette Pasteur, prélevez et déposez sur une lame une petite goutte de la suspension, en ayant pris soin d'homogénéiser préalablement la suspension. Ajoutez au dépôt la même quantité de Bleu Coton. Couvrez d'une lamelle et observez au microscope.

I - A Réalisez ci-dessous un dessin d'observation légendé des microorganismes visibles à l'objectif x100 (vous disposez d'huile à immersion sur votre paillasse).

Réponse à la question I-A



[Observation de levures en bourgeonnement \(coloration au Bleu Coton, grossissement x100\)](#)

Vous devez appeler un correcteur dès que votre dessin est réalisé et laisser votre préparation en place sur la platine du microscope.

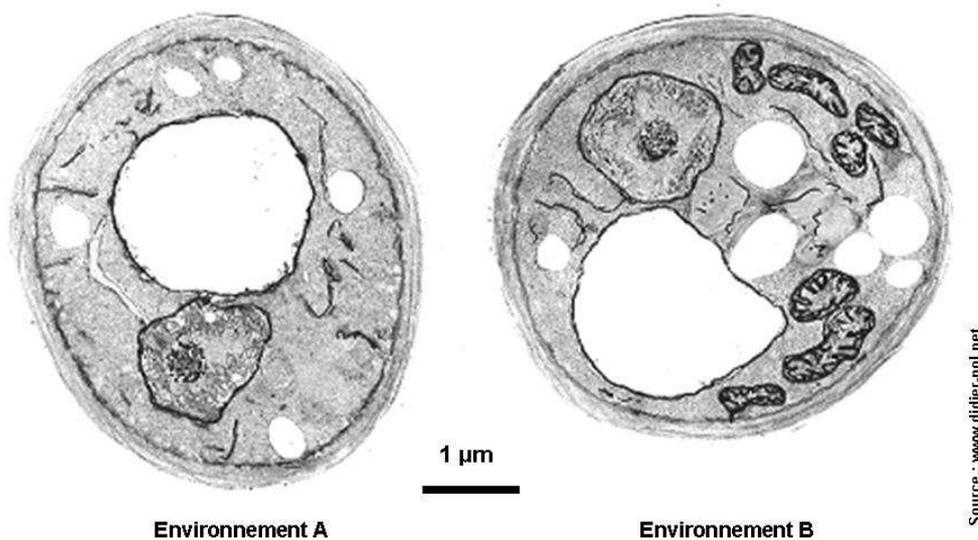
I - B En vous appuyant exclusivement sur des caractères que vous aurez observés, dessinés et légendés, donnez la position systématique de ces microorganismes. Vous préciserez sur quel(s) caractère(s) s'appuient vos réponses.

Réponse à la question I-B

Noyaux bien individualisés ou compartimentation visible => Eucaryotes

Cellules isolées, avec paroi, vacuoles et figures de bourgeonnement => levures

I - C Des observations en microscopie électronique à transmission, du type de celles visibles ci-dessous, révèlent que, selon l'environnement, certains organites de ces microorganismes présentent un aspect bien différent.



I - C - 1 De quels organites s'agit-il et sur quels critères observables est-il possible de les identifier ?
Réponse à la question I-C-1

Mitochondries

Organites à enveloppe avec invagination de la membrane interne (crêtes)

I - C - 2 Quelles conditions de vie influencent l'état de ces organites et pourquoi ?
Réponse à la question I-C-2

Développées en aérobiose et apparemment absentes (en fait atrophiées) en anaérobiose

=> Activité des mitochondries liée à la respiration

Partie II : Étude expérimentale d'une activité enzymatique

durée conseillée : 20 minutes – barème : 15 /100

Une condition déterminante de la réalisation de cette production d'éthanol est la capacité, pour les souches de microorganismes sélectionnées, d'hydrolyser le saccharose en oses métabolisables.

Cette deuxième partie de votre travail va consister à étudier cette propriété d'hydrolyse chez deux souches de ces microorganismes. L'une d'elles est la souche S⁺ utilisée pour l'observation dans la partie I, l'autre est une souche que nous nommerons « S⁻ ».

II - A Notez, ci-dessous, la réaction d'hydrolyse du saccharose en oses catalysée par l'enzyme appelée communément invertase (aucune formule chimique n'est attendue).

Réponse à la question II-A

Saccharose + eau ⇌ glucose + fructose

II - B Vous allez, selon le protocole ci-dessous, tester l'activité d'un filtrat acellulaire obtenu à partir de la suspension de la souche S⁺.

Vous disposez d'un tube à essai contenant 1mL de solution de saccharose à 1% dans un tampon acétate à pH 5. Vous inscrirez sur l'étiquette votre numéro de place afin de le reconnaître, parmi les autres, dans le bain thermostaté mis à disposition dans la salle.

- Placez ce tube sous le dispositif de filtration fourni, puis, à l'aide d'une pipette, versez délicatement dans le filtre environ 5 mL de la suspension contenue dans l'Erlenmeyer étiqueté S⁺.
- Lorsque vous aurez récupéré environ 1 mL de filtrat, qui se sera ainsi ajouté au millilitre de saccharose à 1% présent dans le tube à essai, retirez ce dernier de sous le filtre et remplacez-le par un pot en plastique pour ne pas salir la potence.
- Placez le tube deux minutes dans le bain thermostaté, pré-réglé sur 37°C, mis à votre disposition dans la salle (s'adresser éventuellement à un surveillant de l'épreuve) puis récupérez votre tube.

Appelez un correcteur, avant de réaliser, en sa présence, la dernière étape de ce travail décrite ci-dessous.

- Pour tester l'apparition de glucose dans la solution, vous devez verser un peu du contenu de votre tube à essai dans un verre de montre, y tremper quelques instants une bandelette de test, attendre 10 secondes précisément avant de lire le résultat grâce à l'échelle de teintes fournie avec la bandelette.

Attention, le résultat obtenu ne sera validé que si le test est réalisé en présence du correcteur.

Faites constater au correcteur le résultat obtenu et reportez-le ci-dessous.

Réponse à la question II-B

Présence de glucose

II - C Un filtrat acellulaire, obtenu cette fois à partir de la souche S⁻, a été testé selon le même protocole. Par ailleurs, le résidu de filtration a été broyé en présence de tampon et le surnageant a été testé. Une expérience identique a été réalisée avec un résidu de filtration issu de la souche S⁺. Tous ces résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

II - C - 1 Complétez le tableau ci-dessous avec votre propre résultat et justifiez l'apparition de glucose dans certains tubes.

Souches	Présence de glucose dans le broyat	Présence de glucose dans le filtrat
S ⁻	+	-
S ⁺	+	+

Réponse à la question II-C-1

L'invertase produite par le microorganisme a hydrolysé le saccharose contenu dans la solution.

II - C - 2 Interprétez la différence de résultats entre les souches S⁻ et S⁺.

Réponse à la question II-C-2

Les deux souches produisent l'invertase, mais, contrairement à la souche S⁺, la souche S⁻ ne la sécrète pas.

II - D Proposez deux hypothèses concernant la mutation à l'origine du phénotype de la souche S⁻.

Réponse à la question II-D

Mutation d'un gène dont dépend le système membranaire d'exportation de l'invertase

Mutation du gène de l'invertase au niveau de la séquence signal la destinant à l'exportation.

II - E Quels contrôles aurait-il fallu effectuer au cours de ces expériences ?

Réponse à la question II-E

Vérification de l'absence de glucose dans les différents milieux avant leur mise en contact (filtrat, broyat, solution de saccharose).

Partie III : Etude expérimentale de la croissance de populations en présence d'éthanol

durée conseillée : 45 minutes – barème : 40 /100

Un problème auquel on se trouve confronté, lorsque l'on cherche à produire de fortes quantités d'éthanol par l'action de microorganismes est la relative toxicité de ce produit pour ces êtres vivants. Il est donc nécessaire de sélectionner les souches les plus résistantes à l'accumulation de ce produit de leur métabolisme.

On souhaite ainsi tester une souche nommée «R⁻». Il s'agit d'une souche présentant, par rapport à la souche sauvage R⁺, une mutation du gène du cytochrome b, celui-ci n'étant alors pas synthétisé.

III - A - 1 Rappelez la localisation cellulaire privilégiée du cytochrome b.

Réponse à la question III-A-1

Constituant de la chaîne d'oxydo-réduction insérée dans la membrane interne des mitochondries.

III - A - 2 Dès lors, quelle voie métabolique sera non fonctionnelle chez cette souche R⁻ ?

Réponse à la question III-A-2

La respiration mitochondriale.

Les souches R⁺ et R⁻, ont été mises en culture simultanément en conditions identiques, à savoir en anaérobiose et dans une solution de glucose contenant de l'éthanol à 5%. La concentration initiale des suspensions était de 0,1g.L⁻¹ de microorganismes. Après 24 heures, la concentration finale dans les deux milieux a été évaluée par turbidimétrie. Les résultats d'absorbance obtenus à 660 nm sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Souches	R ⁺	R ⁻
Densité optique (ou absorbance)	0,138	0,178

Les manipulations que vous allez mettre en œuvre maintenant auront pour objectif de déduire de ces résultats les vitesses de croissance des deux souches dans ces conditions de culture.

III - B La méthode de turbidimétrie s'appuie sur la loi de Beer-Lambert. Rappelez cette loi et les conditions dans lesquelles elle s'applique.

Réponse à la question III-B

D.O. = kC

avec D.O. densité optique et C concentration en particules

Cette loi ne s'applique (k = constante) que si les particules sont de petite taille et leur concentration faible.

III - C Pour convertir en concentrations massiques de microorganismes dans le milieu, les mesures spectrophotométriques obtenues, il est nécessaire de procéder à l'établissement d'une droite-étalon. A partir de la suspension à 1g.L^{-1} contenue dans l'Erlenmeyer noté S⁺ (déjà utilisé dans la partie I), dont vous aurez préalablement homogénéisé le contenu par agitation, réalisez une gamme-étalon en procédant, dans les tubes à essais fournis, aux dilutions suivantes : 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64. Un liquide physiologique (NaCl à 0,9%) et des pipettes de verre graduées sont à votre disposition pour réaliser ces dilutions. Il faut disposer d'au moins 3 mL de chaque dilution pour le remplissage de la cuve de spectrophotométrie.

III - C - 1 Indiquez brièvement la procédure utilisée pour la réalisation des dilutions.

Réponse à la question III-C-1

Prélever x mL ($x > 2,5$ mL) dans la solution-mère.

Les verser dans un premier tube et ajouter autant de liquide physiologique.

Homogénéiser la suspension et en prélever la même quantité (x mL) pour le tube suivant.

Procéder de même pour toutes les dilutions

III - C - 2 Vous utiliserez une seule cuve pour l'ensemble des mesures de densité optique de la gamme-étalon. Précisez dans quel ordre vous comptez effectuer ces mesures et pourquoi.

Réponse à la question III-C-2

Mesures effectuées de la concentration de la plus faible à la plus élevée.

Les traces laissées dans la cuve par la suspension précédente, moins concentrée, n'influenceront pas significativement la mesure suivante.

- Avec vos tubes à essais constituant la gamme-étalon, rejoignez le spectrophotomètre mis à disposition dans la salle, vérifiez son réglage sur 660 nm.
- Réglez le « zéro » à l'aide d'une cuve de spectrophotométrie remplie de liquide physiologique.
- Procédez à la mesure de densité optique de chaque dilution, à l'aide de l'autre cuve mise à votre disposition. Vous n'omettez pas d'homogénéiser la suspension contenue dans chaque tube à essai avant d'en verser le contenu dans la cuve.

III - C - 3 Notez vos résultats dans le tableau ci-dessous.

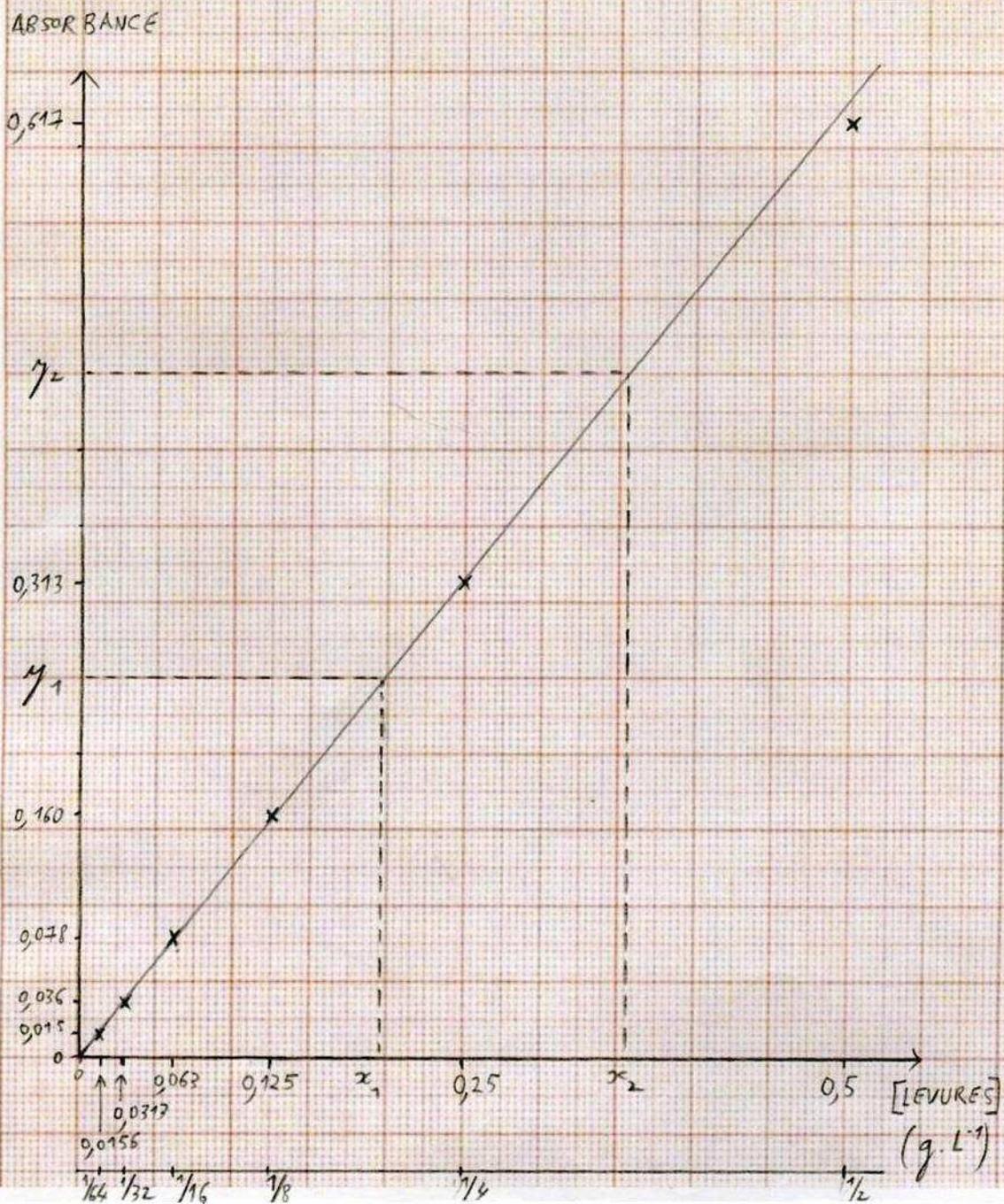
Réponse à la question III-C-3

Dilution	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64
D.O.	0,617	0,313	0,160	0,078	0,036	0,015

III - C - 4 A l'aide de la feuille de papier millimétré ci-dessous, établissez une représentation judicieuse permettant une détermination graphique du facteur de conversion de la loi de Beer-Lambert.

Réponse à la question III-C4

ABSORBANCE DE SUSPENSIONS DE LEVURES
EN FONCTION DE LEUR CONCENTRATION MASSIQUE



III - C - 5 Indiquez ci-dessous la valeur obtenue pour ce facteur de conversion.

Réponse à la question III-C-5

$$D.O. = 1,2393C$$

III - C - 6 Utilisez cette valeur pour exprimer en concentration massique les résultats des cultures de souches R⁺ et R⁻.

Réponse à la question III-C-6 :

Souche	R ⁺	R ⁻
Concentration massique	$0,138 \times k$ $\approx 0,138 \times 1,2393 = 0,171 \text{ g/L}$	$0,178 \times k$ $\approx 0,178 \times 1,2393 = 0,221 \text{ g/L}$

III - D Afin de calculer la vitesse de croissance des deux souches dans le milieu avec éthanol, il est nécessaire de convertir la concentration massique en concentration cellulaire. Vous allez donc réaliser un comptage sur une lame de numération mise à votre disposition sur votre paillasse et accompagnée de sa notice d'utilisation. Vous effectuerez ce comptage toujours à partir de la suspension à 1g.L⁻¹ contenue dans l'Erlenmeyer noté S⁺. Comme pour les prélèvements précédents, une homogénéisation préalable de la suspension est indispensable.

III - D - 1 Indiquez ci-dessous la valeur de concentration cellulaire correspondant à une concentration massique de 1g.L⁻¹.

Réponse à la question III-D-1

$$n \cdot 10^9 \text{ cellules.L}^{-1} \quad (\text{entre } 1 \cdot 10^9 \text{ et } 20 \cdot 10^9 \text{ cellules.L}^{-1})$$

III - D - 2 Déduisez-en la vitesse de multiplication des deux souches R⁺ et R⁻ dans le milieu avec éthanol. On rappelle que 24 heures se sont écoulées entre la mise en culture à 0,1g.L⁻¹ de chacune des deux souches et la mesure de densité optique, dont le résultat est donné en page 6.

Réponse à la question III-D-2 :

Souche	R ⁺	R ⁻
Vitesse de croissance (en cellules.L ⁻¹ .h ⁻¹)	$= (k \times 0,138 - 0,1) \times n \cdot 10^9 / 24$ $\approx 30 \cdot 10^6 \text{ cellules}$	$= (k \times 0,178 - 0,1) \times n \cdot 10^9 / 24$ $\approx 50 \cdot 10^6 \text{ cellules}$

III - E A la fin de cette étude, quels caractères, à la fois du point de vue de l'activité de l'invertase (S⁺ ou S⁻) et de la tolérance à l'éthanol (R⁺ ou R⁻), vous apparaissent les plus performants en vue de la production de bioéthanol ?

Réponse à la question III-E

Caractère S⁺ pour l'invertase et R⁻ pour la tolérance à l'éthanol.

Partie IV : Analyse comparée du gène de l'invertase des souches S⁺ et S⁻

durée conseillée 40 minutes – barème : 35 /100

On souhaite comparer l'état du gène de l'invertase des souches sauvage S⁺ et mutante S⁻ étudiées dans la partie II. On utilise pour cela la technique de PCR que l'on applique à des extraits bruts de cellules préalablement traitées par un détergent puis portées à ébullition.

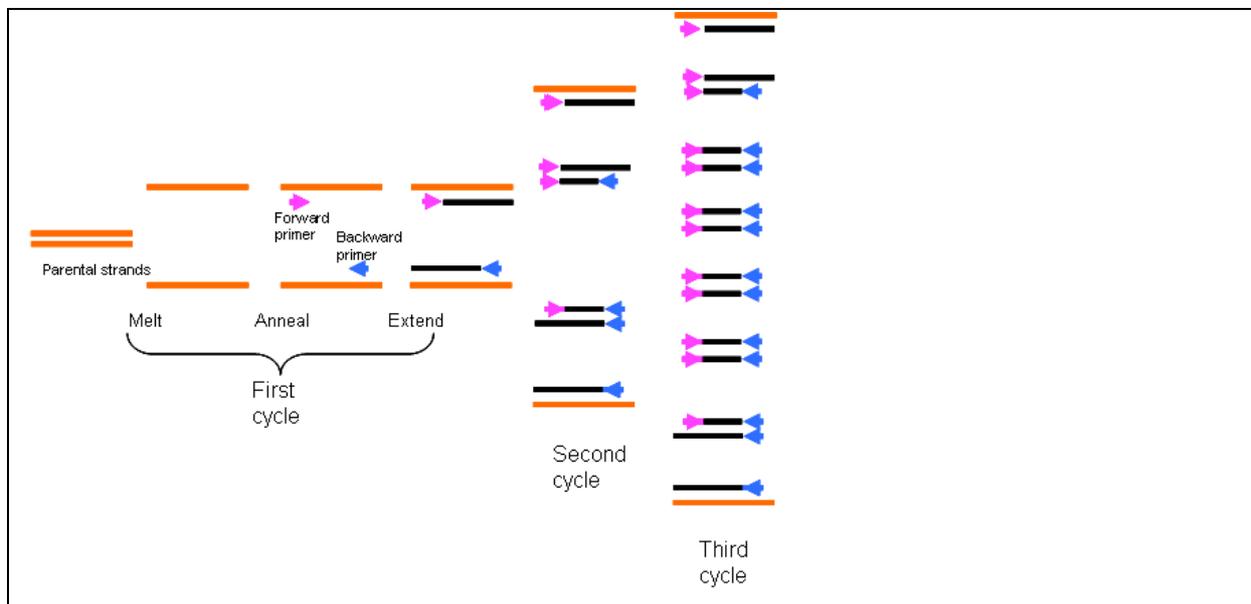
IV - A Précisez la signification du sigle PCR, ainsi que sa traduction française la plus appropriée.

Réponse à la question IV-A

Polymerase chain reaction = Amplification en chaîne par polymérisation

IV - B Expliquez à l'aide de schémas le principe de cette technique en vous limitant à une succession de 3 cycles.

Réponse à la question IV-B



IV - C Indiquez le nom des différentes étapes d'une PCR, ainsi que la température approximative à laquelle chacune d'elles est classiquement réalisée.

Réponse à la question IV-C

n cycles (en général une trentaine) constitués chacun des étapes suivantes :

Dénaturation : entre 90 et 95°C en général

Hybridation : entre 50 et 60 °C en général (température dépendant principalement de la taille et de la composition en bases des amorces)

Elongation : 72°C

IV - D Indiquez la nature des différents réactifs utilisés pour réaliser une PCR.

Réponse à la question IV-D

Matrice d'ADN, ici l'ADN génomique (chromosomes et mitochondries)

Nucléotides libres

2 amorces, sens et antisens

ADN polymérase thermostable (ex. Taq polymérase)

Tampon contenant notamment du Mg^{2+}

IV - E La figure 1 (voir ci-dessous) représente la séquence codante complète de la version sauvage du gène de l'invertase. On nomme [A-F] la région de 1599 paires de bases délimitée par les deux résidus représentés en rouge et encadrés. On souhaite amplifier cette séquence par PCR.

```
A TGCTTTTGCAAGCTTTCCTTTTCCTTTTGGCTGGTTTTGCAGCCAAAATATCTGCATCA
ATGACAAACGAAACTAGCGATAGACCTTTGGTCCACTTCACACCCAACAAGGGCTGGATG
AATGACCCAAATGGGTTGTGGTACGATGAAAAAGATGCCAAATGGCATCTGTACTTTCAA
TACAACCCAAATGACACCGTATGGGGTACGCCATTGTTTTGGGGCCATGCTACTTCCGAT
GATTTGACTAATTGGGAAGATCAACCCATTGCTATCGCTCCAAGCGTAACGATTCAGGT
GCTTTCCTCTGGCTCCATGGTGGTTGATTACAACAACACGAGTGGGTTTTTCAATGATACT
ATTGATCCAAGACAAAGATGCGTTGCGATTTGGACTTATAACACTCCTGAAAGTGAAGAG
CAATACATTAGCTATTCTCTTGATGGTGGTTACACTTTTACTGAATACCAAAGAACCCT
GTTTTAGCTGCCAACTCCACTCAATTCAGAGATCCAAAGGTGTTCTGGTATGAACCTTCT
CAAAAATGGATTATGACGGCTGCCAAATCACAAGACTACAAAATTGAAATTTACTCCTCT
GATGACTTGAAGTCCTGGAAGCTAGAATCTGCATTTGCCAATGAAGGTTTTCTTAGGCTAC
CAATACGAATGTCCAGGTTTGATTGAAGTCCCAACTGAGCAAGATCCTTCCAAATCTTAT
TGGGTCAATGTTTTATTTCTATCAACCCAGGTGCACCTGCTGGCGGTTCTTCAACCAATAT
TTTGTGGATCCTTCAATGGTACTCATTTTGAAGCGTTTGACAATCAATCTAGAGTGGTA
GATTTTGGTAAGGACTACTATGCCTTGCAAACCTTTCTTCAACACTGACCCAACCTACGGT
TCAGCATTAGGTATTGCCTGGGCTTCAAACCTGGGAGTACAGTGCCTTTGTCCCAACTAAC
CCATGGAGATCATCCATGTCTTTGGTCCGCAAGTTTTCTTTGAACACTGAATATCAAGCT
AATCCAGAGACTGAATTGATCAATTTGAAAGCCGAACCAATATTGAACATTAGTAATGCT
GGTCCCTGGTCTCGTTTTGCTACTAACAACAACCTCTAACTAAGGCCAATTCTTACAATGTC
GATTTGAGCAACTCGACTGGTACCCTAGAGTTTGAGTTGGTTTACGCTGTTAACACCACA
CAAACCATATCCAAATCCGTCTTTGCCGACTTATCACTTTGGTTCAAGGGTTTAGAAGAT
CCTGAAGAATATTTGAGAATGGGTTTTGAAGTCAGTGCCTTCTTCTTCTTTTTGGACCGT
GGTAACTCTAAGGTCAAGTTTGTCAAGGAGAACCATATTTACAAAACAGAATGTCTGTC
AACAACCAACCATTTCAAGTCTGAGAACGACCTAAGTTACTATAAAGTGTACGGCCTACTG
GATCAAAACATCTTGGAAATTGACTTCAACGATGGAGATGTGGTTTTCTACAAATACCTAC
TTCATGACCACCGTAACGCTCTAGGATCTGTGAACATGACCACTGGTGTGATAAATTTG
TTCTACATTGACAAGTTCCAAGTAAGGGAAGTAAAATA G
```

Figure 1

IV - E - 1 Précisez la séquence des amorces à utiliser pour réaliser la PCR de la région [A-F]. On fixera la taille de ces amorces à 18 nucléotides. Leurs séquences seront présentées selon la règle conventionnelle, à savoir l'extrémité 5' à gauche et l'extrémité 3' à droite ; toute autre présentation sera considérée comme nulle.

Réponse à la question IV-E-1 :

Amorce sens : 5' ATGCTTTTGCAAGCTTTC 3'

Amorce antisens : 5' CTATTTTACTTCCCTTAG 3'

L'amplification par PCR du segment [A-F] est réalisée sur les souches S⁺ et S⁻.

A l'aide de nouvelles amorces on souhaite amplifier des segments plus petits, de taille à peu près équivalente, dont la position relative est indiquée sur la figure 2 (voir ci-dessous) : [A-B], [B-C], [C-D], [D-E], [E-F].



Figure 2

La visualisation des produits d'amplification est réalisée sur un gel d'agarose à 1%.

L'ensemble des résultats obtenus est reporté sur la figure 3 (page suivante), en bleu pour S⁺ et en rouge pour S⁻.

IV - E - 2 Montrez en quoi les résultats de la figure 3 permettent d'expliquer le phénotype de la souche mutée S⁻ constaté dans la partie II.

Réponse à la question IV-E-2 :

L'amplification du segment [A-B] révèle que la région codant la partie N-terminale de l'invertase de la souche S⁻ est partiellement délétée.

On peut penser que c'est l'absence de cette région qui explique le défaut de sécrétion de l'invertase de cette souche, puisque la partie N-terminale des protéines sécrétées est connue pour contenir un peptide signal.

IV - E - 3 Expliquez pourquoi l'amplification du fragment [A-F] ne montre pas de différence détectable entre la souche sauvage et la souche mutée.

Réponse à la question IV-E-3

Le gel n'est pas assez résolutif pour discriminer des fragments de grande taille ne différant que de quelques dizaines de paires de bases comme c'est le cas pour [A-F] entre la souche sauvage et la souche mutée, alors qu'il l'est sans problème pour des fragments plus petits comme [A-B].

Cette différence s'explique par le fait que la relation entre la taille d'un fragment et la distance qu'il parcourt sur le gel n'est pas linéaire mais logarithmique.

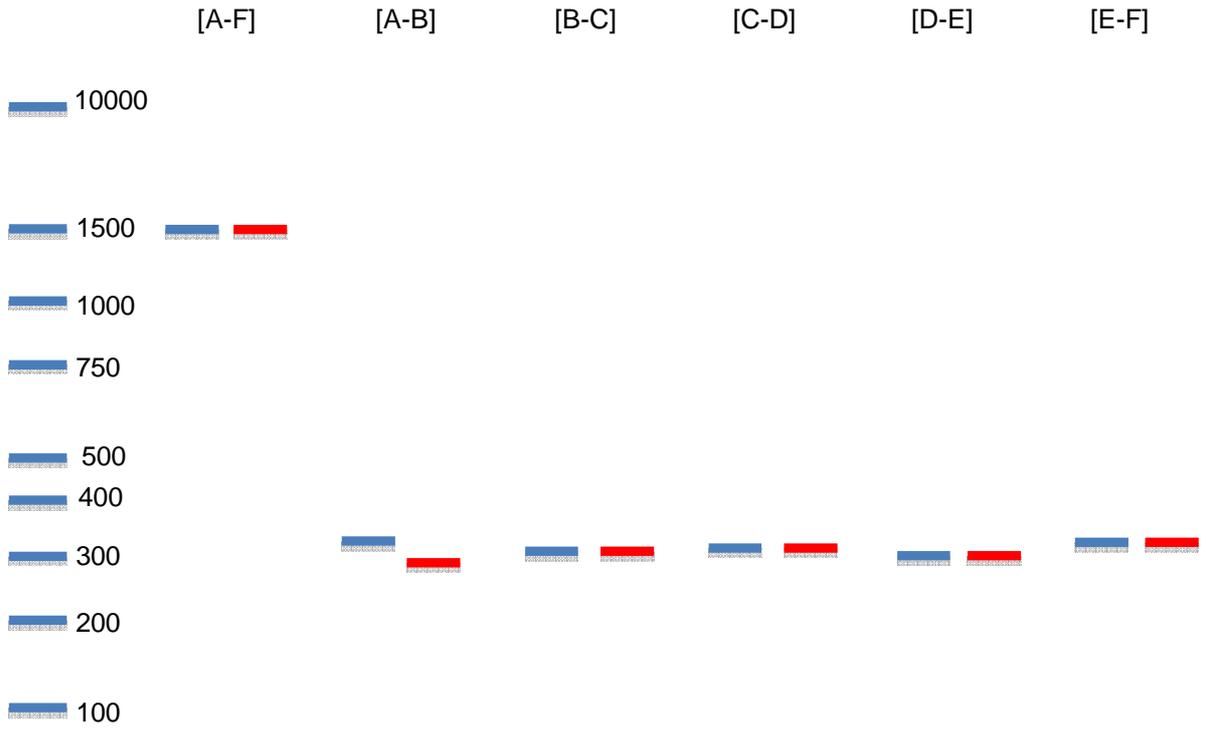


Figure 3

6.4.2 Commentaire du jury

Le TP « a » intitulé « *La production de bio-éthanol* » comprenait quatre parties dont les trois premières étaient basées, comme l'année précédente, sur des expériences réalisables par des élèves de lycée. La dernière partie, consistait en l'étude d'une méthode devenue un outil de routine du chercheur en biologie moléculaire : la PCR. De nombreux résultats obtenus par cette technique, couplée à l'électrophorèse, sont maintenant proposés dans la littérature. Ces principes ne peuvent donc plus être ignorés d'un enseignant.

Les examinateurs ont constaté un certain nombre de points qu'il convient d'améliorer afin de mieux réussir ce type d'épreuve :

Observations faites durant les séances de travaux pratiques

- De nombreux candidats ne maîtrisaient pas parfaitement les fonctionnalités d'un microscope. Ce point était pourtant déjà mentionné dans le précédent rapport. En particulier, il n'est souvent pas fait un bon usage du condenseur, dont le réglage est pourtant indispensable à la mise en évidence de structures observables à fort grossissement. Il en est de même de la correcte utilisation de l'huile à immersion mise à disposition.
- Lors de certaines manipulations, la validité des résultats dépendait d'un strict respect des règles d'utilisation des pipettes, des cuves à spectrophotométrie, de la verrerie en général. Ces règles ne semblaient pas familières à certains candidats et d'autres paraissaient les ignorer. Dans le cadre de cette épreuve, ce manque de rigueur et de soin était automatiquement sanctionné par l'imprécision des valeurs de spectrophotométrie obtenues.

Observations liées aux réponses apportées par les candidats

- Il est entendu qu'un dessin demandé suite à la réalisation d'un montage microscopique doit présenter une bonne adéquation avec l'observation de ce dernier et ne pas s'apparenter à un schéma théorique préalablement appris.
- Le jury veut croire que la confusion fréquemment rencontrée entre les termes « organites » et « organismes » ne s'explique que par un manque d'attention à l'énoncé des questions.
- La mise en œuvre de protocoles ne doit jamais prendre le pas sur la compréhension et l'appropriation des objectifs fixés. La deuxième partie, centrée sur l'étude de l'invertase, était à cet égard discriminante. Seuls les candidats qui avaient compris que la manipulation demandée s'inscrivait dans une démarche plus large mettant en évidence les conditions d'activités de l'enzyme ont pu interpréter correctement les résultats et proposer des hypothèses explicatives.
- La réalisation d'une représentation graphique, à partir de données expérimentales comme demandée ici, exige un minimum de rigueur, entre autre dans le choix des échelles. Un nombre important de copies proposait une échelle non linéaire des dilutions (équidistance entre 1/8 et 1/4 et entre 1/4 et 1/2, par exemple), voire une échelle inversée (1/64 supérieur à 1/32, par exemple). La courbe ainsi obtenue contredisait pourtant l'affirmation préalable d'une relation linéaire entre absorbance et concentration en levures.
- Lors des calculs de concentration massique et cellulaire et de vitesse de croissance, la maîtrise des unités et des ordres de grandeurs s'est avérée très variable selon les candidats.
- Le principe général de la PCR est connu de la majorité des candidats mais les détails de sa mise en œuvre sont ignorés d'une bonne partie d'entre eux. La détermination d'un jeu d'amorces s'est révélé être un exercice particulièrement discriminant. Seule une poignée de candidats l'a réussi parfaitement. Curieusement, c'est la détermination de la séquence de l'amorce « sens » qui a posé le plus de problèmes. D'une manière générale, les erreurs commises traduisent une compréhension incomplète et superficielle de la technique.
- La lecture de l'électrophorégramme n'a pas posé de problème majeur, dans la mesure où presque tous les candidats ont bien identifié une délétion d'une partie du gène de l'invertase. En revanche, la quasi totalité d'entre eux en a déduit une perte d'activité de l'enzyme, ce qui était évidemment en contradiction totale avec les données expérimentales de la partie II. L'incohérence de ces réponses montre que les candidats n'ont pas su faire le lien entre les différentes parties, ce qui est particulièrement regrettable.

Conclusion

Les notes obtenues à cette épreuve sont assez discriminantes, particulièrement pour les exercices basés sur des capacités manipulatoires basiques. Ceci doit convaincre les futurs candidats de l'intérêt qu'il y a à investir, lors de leur préparation, dans la maîtrise de telles méthodes et

techniques expérimentales simples, d'autant qu'elles peuvent aisément être mise en œuvre par l'enseignant dans son établissement scolaire.

Le jury félicite les candidats, dont les qualités de méthodes leur ont permis d'aborder avec succès l'ensemble des aspects du sujet. Les meilleures prestations révélaient chez leurs auteurs une cohérence entre des capacités manipulatoires et la maîtrise des notions théoriques qui sous-tendaient les activités pratiques proposées.

6.5 ÉPREUVES PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DE SECTEUR B

6.5.1 Sujet

Quelques aspects de la limitation des pertes en eau
chez les êtres vivants

Les différentes parties du sujet sont indépendantes. Certaines d'entre elles comprennent des manipulations et il vous faudra donc organiser votre temps de travail en conséquence. La dernière partie IV de reconnaissance d'échantillons ou de documents photographiques se fera selon une rotation coordonnée par les membres du jury.

Partie I : Adaptations foliaires vis-à-vis de la limitation des pertes en eau

page 2

durée conseillée : 40 minutes

barème : 7 / 20

Partie II : Approche physiologique et génétique de la régulation de l'ouverture stomatique chez l'arabette des dames, *Arabidopsis thaliana*

page 6

durée conseillée : 40 minutes

barème : 6 / 20

Partie III : Concilier économie d'eau et respiration aérienne : quelques réponses adaptatives chez les insectes

page 15

durée conseillée : 30 minutes

barème : 5 / 20

Partie IV : Quelques autres espèces capables de limiter leurs pertes en eau (reconnaissance raisonnée d'échantillons ou de documents photographiques)

page 18

durée imposée : 10 minutes

barème : 2 / 20

Répondre directement sur les feuilles du sujet, dans les espaces prévus à cet effet.

AVANT DE RENDRE 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 : Adaptations foliaires vis-à-vis de la limitation des pertes en eau

durée conseillée : 40 minutes

barème : 7 / 20

Dans cette première partie; on se propose d'étudier quelques caractéristiques foliaires, à l'échelle histologique et anatomique, qui permettent de comprendre que certaines espèces végétales puissent limiter leur évapotranspiration. L'olivier d'Europe, *Olea europaea*, (échantillon n° 1 dans la première boîte de Petri) et le pin sylvestre, *Pinus sylvestris*, (échantillon n°2) seront les supports biologiques de cette étude.

I – A : étude de la feuille de l'olivier, *Olea europaea*

I – A – 1 Effectuez un montage entre lame et lamelle de chacun des deux épidermes de cette feuille. Réalisez et légendez un dessin d'observation des structures visibles pour le montage de l'épiderme inférieur.

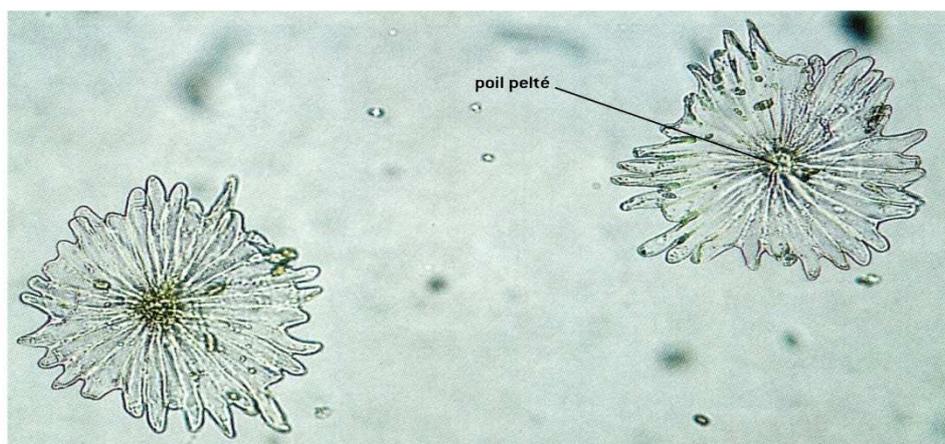
Faites appel à un examinateur pour l'évaluation de vos deux montages lorsque votre dessin sera terminé.

Réponse à la question I - A - 1

Épiderme supérieur : présence d'une cuticule épaisse, vernissée – pas de stomates
poils filamenteux cellulosiques longs et fins (selon le génotype)

Épiderme inférieur : présence d'une cuticule peu épaisse – nombreux stomates (mais il existe des zones sans stomates)

présence de poils pluricellulaires peltés (en parasol), qui ont tendance à recouvrir les stomates et aussi, selon les génotypes, de poils filamenteux cellulosiques longs et fins



Poils de la feuille d'olivier d'Europe (*Olea europaea* L., famille *Oleaceae*). x 100 [80] ; x 200 [240]. Ce sont des poils pluricellulaires dont la forme ressemble à celle d'un bouclier, d'où leur appellation de poils *peltés*. Ils s'insèrent dans l'épiderme par un court pédoncule situé au centre du « bouclier ».

Écailles d'une feuille d'olivier
Les écailles en forme de parapluies qui recouvrent la feuille de l'olivier sont ici grossies 560 fois au microscope électronique à balayage et colorisées. C'est en partie grâce à ces écailles que les oliviers poussent dans des conditions semi-arides que les autres arbres ne supporteraient pas. Elles gardent l'air humide près de la surface de la feuille et ralentissent la perte en eau. La feuille contient des pores appelés « stomates » (on en voit un en haut à gauche), qui lui permettent de respirer.



Ecailles épidermiques
et stomates de l'olivier,
Olea europaea

(MEB x 560)

I – A – 2 À partir de vos analyses des deux épidermes, dégagez une conclusion faisant ressortir les caractéristiques des feuilles de l'olivier qui permettent de comprendre partiellement la tendance xérophile de cette espèce.

Réponse à la question I – A - 2

Les principales caractéristiques observables en liaison avec l'économie d'eau chez l'olivier d'Europe sont donc les suivantes :

La surface foliaire individuelle reste modérée.

L'épiderme supérieur possède une cuticule cireuse (cutine + cires) épaisse. Il n'y a pas de stomates. Des poils tecteurs longs et fins contribuent à limiter les pertes d'eau (NB poils peltés possibles mais peu nombreux, selon les génotypes).

L'épiderme inférieur présente une cuticule moyenne et des stomates assez nombreux. Mais des poils peltés pluricellulaires très abondants (et aussi des poils celluloseux longs et fins) recouvrent la majorité de ces stomates, ce qui limite fortement la déperdition d'eau, mécaniquement et par maintien d'une micro-atmosphère plus humide au niveau de cet épiderme inférieur.

I – B : les feuilles du pin sylvestre, *Pinus sylvestris*

Le pin sylvestre est une espèce à spectre écologique très large, capable de résister à des conditions thermiques et même hydriques très variées. Mais, en particulier, il peut se développer ou résister dans des conditions de sécheresse plus ou moins prononcées, ce qui fera l'objet de cette étude à l'échelle foliaire.

À partir de l'échantillon n°2 fourni en boîte de Petri, vous réaliserez une coupe anatomique, préparée et colorée selon la technique classique de la double coloration au carmin – vert d'iode.

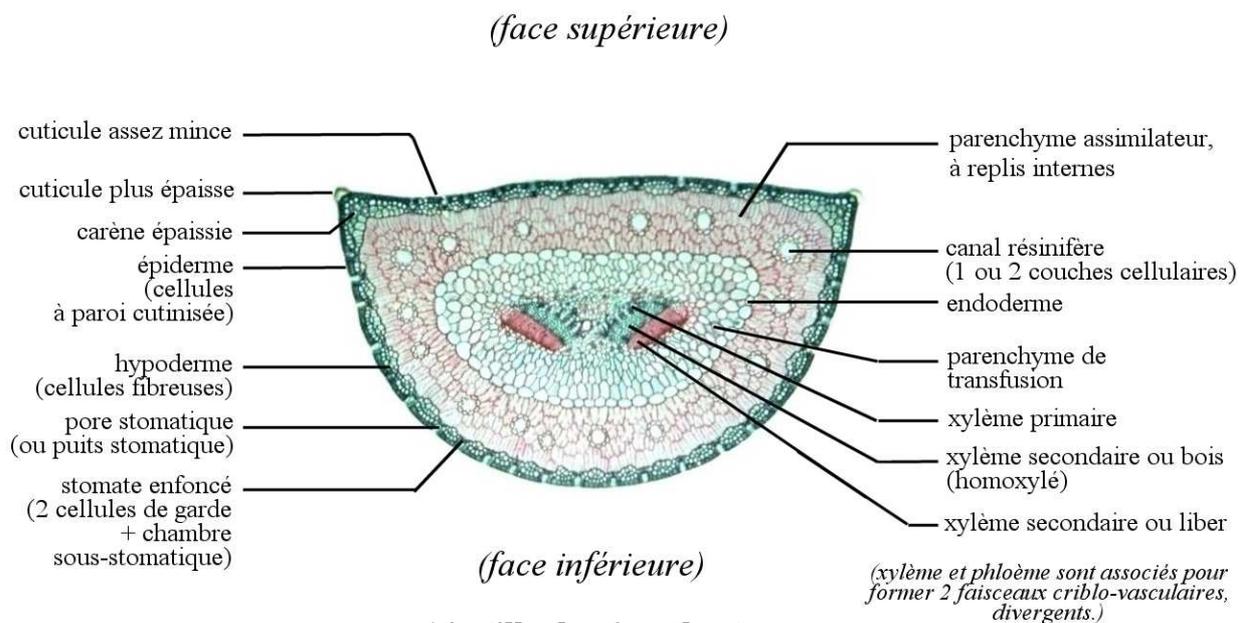
Le protocole vous est rappelé ci-dessous :

- coupes dans un microplaine (petit panier grillagé), lui-même dans un verre de montre avec de l'eau de Javel : 10 à 15 minutes.
- rinçage à l'eau distillée.
- transfert dans de l'eau acétique à 1/100 pendant 3 minutes.
- double coloration au carmin / vert d'iode pendant 5 minutes.
- rinçage à l'eau distillée.
- montage entre lame et lamelle.

II – B – 1 D'après cette coupe microscopique, vous représenterez la structure étudiée sous forme d'un schéma anatomique titré et légendé, en utilisant les figurés conventionnels d'histo-anatomie végétale

Appelez un examinateur qui contrôlera votre montage et votre représentation graphique.

Réponse à la question I – B - 1



Aiguille de pin sylvestre,
Pinus sylvestris,
(coupe transversale,
double coloration au carmin - vert d'iode)

NB : 1) le phloème primaire est présent mais il est souvent difficile à observer.

2) un cambium libéro-ligneux est présent au sein de chaque faisceau criblo-vasculaire. Il n'est observable qu'au fort grossissement du microscope.

3) des cellules « albumineuses » sont situées à la périphérie de chacun des massifs phloémiens.

RAPPEL : CODIFICATION DES TISSUS POUR LES SCHEMAS D'ENSEMBLE

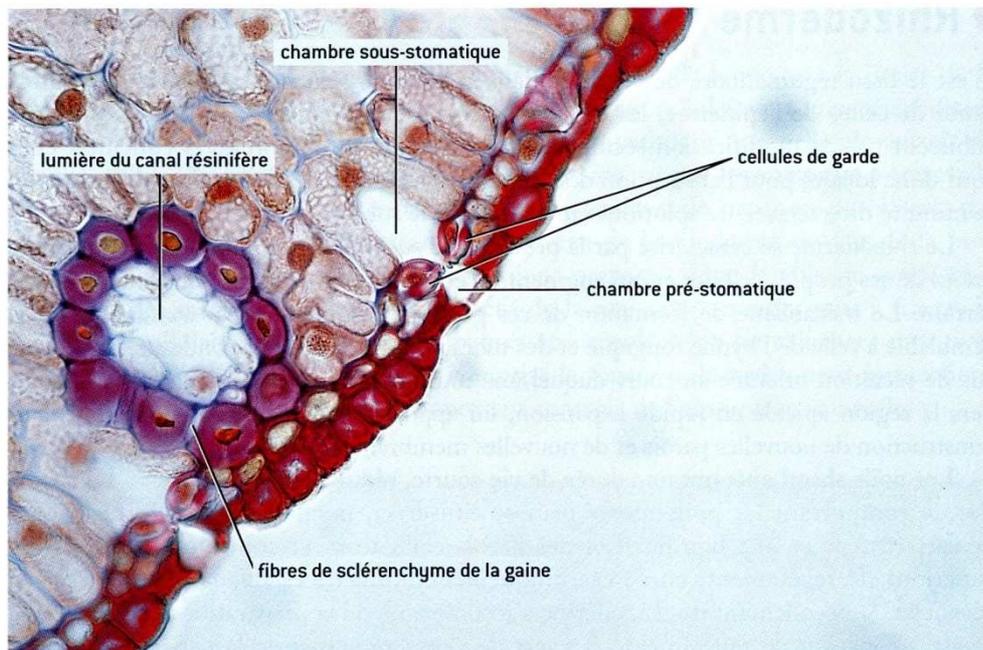
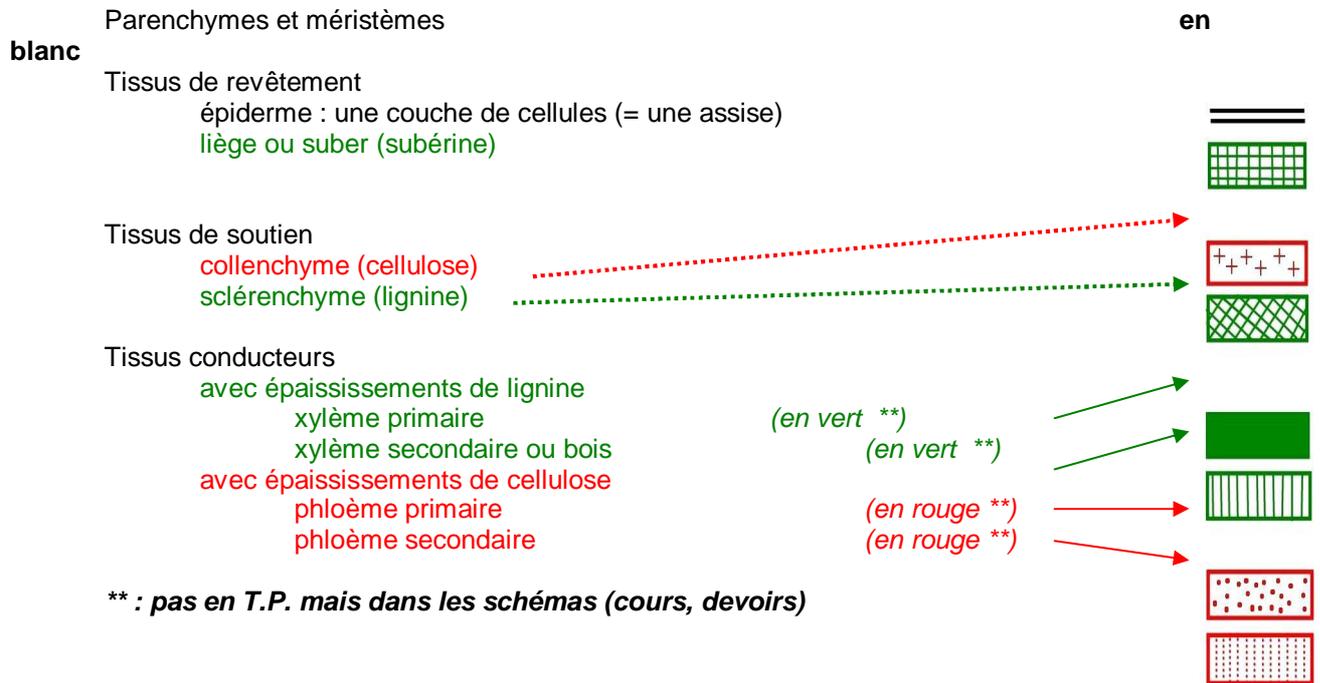


FIG. 109 Stomates dans une aiguille de pin (*Pinus* L., famille *Pinaceae*). Coupe transversale : x 400 [380]. Dans les feuilles des conifères, les cellules épidermiques ont des parois très épaisses et parfois lignifiées. Les stomates sont enfoncés : les petites cellules de garde se trouvent en dessous du plan de l'épiderme, au fond d'une cavité en entonnoir, la *chambre pré-stomatique*, qui se remplit de matériel cireux visible uniquement dans les préparations fraîches. La *chambre sous-stomatique*, quant à elle, constitue un grand espace intercellulaire qui communique avec le complexe formé par les autres espaces entre les cellules sous-épidermiques.

Feuille équifaciale

La structure foliaire où chaque face est semblable, que ce soit d'un point de vue macro- ou microscopique, est dite de type *équifaciale* ou *isobilatérale*.

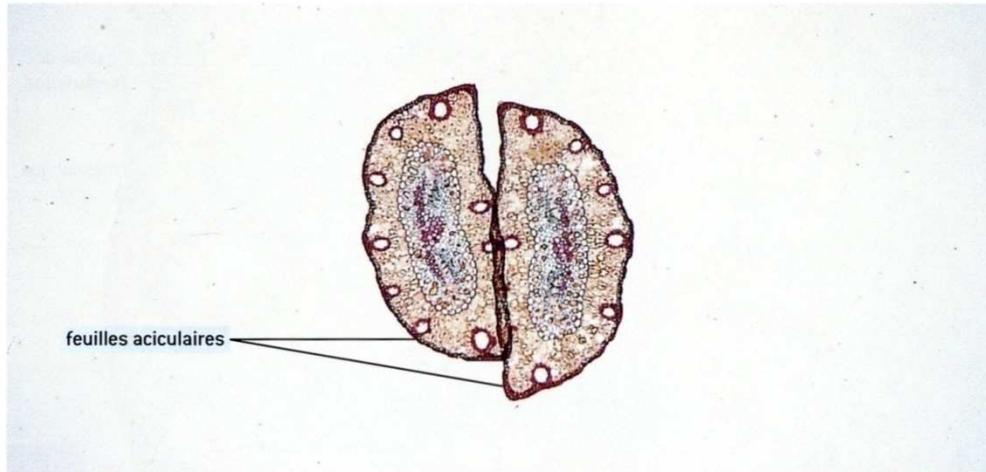


FIG. 276 Aiguilles de pin (*Pinus* L., famille *Pinaceae*). Coupe transversale : x 25 [20]. La conformation même du limbe foliaire, extrêmement réduit [aciculaire, comme chez beaucoup d'autres conifères], constitue une adaptation xéromorphe : elle se prête à une transpiration lente comme est lent le flux d'eau dans le bois auquel elle est liée.

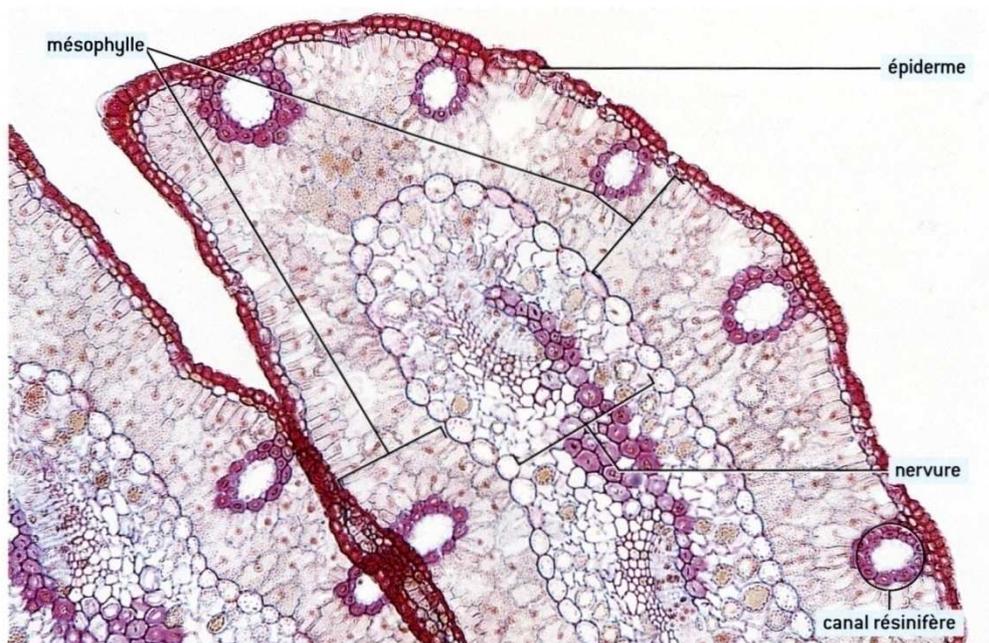


FIG. 277 Aiguille de pin (*Pinus* L., famille *Pinaceae*). Coupe transversale : x 100 [80]. Le mésophylle est homogène, sans distinction entre le palissadique et le lacuneux : on l'appelle *plissé*, car les parois cellulaires ont des épaissements localisés qui sont à moitié fissurés et semblables à des plis. Il n'y a qu'une nervure comme chez tous les conifères (feuilles uninervurées) entourée d'une strate endodermique : elle comprend deux faisceaux collatéraux immergés dans un tissu parenchymateux très efficace en matière de conduction (parenchyme de transfusion).

Nom :

Prénom :

salle n°:

I – B – 2 En relation avec l'économie d'eau chez cette espèce, dégagez à partir de votre observation précédente une conclusion faisant ressortir les caractères adaptatifs de ces feuilles de pin sylvestre en indiquant précisément les conséquences sur l'évapotranspiration foliaire.

Réponse à la question I – B - 2

On peut faire ressortir les éléments suivants, pour ce qui concerne l'économie d'eau :

Les feuilles sont en forme d'aiguille allongée (feuille aciculaire), à limbe individuel de surface réduite. De plus elles sont souvent accolées selon le mode équifacial ou isobilatéral, les 2 faces étant identiques au point de vue organisation.

La cuticule est plus ou moins épaisse, selon l'âge des aiguilles notamment, mais elle comporte les 2 sous-couches caractéristiques : la sous-couche périphérique est riche en céroïdes (cires) très hydrophobes et elle limite fortement les pertes par évaporation cuticulaire. La sous-couche interne, au contact de l'épiderme, est riche en cutine et renforce cette hydrophobicité de la cuticule.

L'épiderme est limité à une assise de cellules à parois très épaisses cutinisées et subérifiées, et même lignifiées pour les aiguilles les plus âgées.

Il est doublé par un hypoderme (une à trois couches cellulaires selon les zones) dont les cellules ont aussi des parois épaisses subérifiées : cet hypoderme contribue au soutien mais aussi à la limitation des pertes en eau.

Les stomates ne sont pas rares mais leurs cellules de garde sont au fond d'une petite cavité épidermique appelée pore stomatique ou puits stomatique ou chambre pré-stomatique. Ce pore stomatique est rempli de cire, ce qui n'est visible que sur une préparation récente d'aiguille. Bien évidemment cette localisation profonde et la cire qui remplit chaque pore stomatique contribuent à réduire les pertes par transpiration stomatique, quand bien même les cellules de garde seraient ouvertes.

**Partie II : Approche physiologique et génétique de la régulation
de l'ouverture stomatique chez l'arabette des dames, *Arabidopsis thaliana***

durée conseillée : 40 minutes

barème : 6 / 20

La régulation de l'ouverture stomatique est un des processus fondamentaux qui permettent aux plantes de contrôler et, par là même, de limiter leurs pertes en eau par transpiration en cas de déficit hydrique dans leur milieu. Cette deuxième partie est organisée sous forme d'un exercice portant sur quelques aspects physiologiques et génétiques intervenant dans le degré d'ouverture des stomates chez l'arabette des dames, *Arabidopsis thaliana*, espèce de référence bien connue dorénavant. La protéine OST1 des cellules de garde de l'ostiole est reconnue comme un agent majeur intervenant dans cette régulation de l'ouverture stomatique et cette étude vise à préciser le rôle de cette protéine, en corrélation avec l'effet d'une phytohormone, l'acide abscissique ou ABA.

*D'après la thèse de doctorat de M. Ch. Belin, intitulée « Structure et fonctions de la protéine kinase OST1 dans la cellule de garde d'*Arabidopsis thaliana* », 2006, Université de Paris XI Orsay.*

II – A : Comparaison des pertes en eau et du fonctionnement stomatique de deux mutants avec le type sauvage, selon différents procédés expérimentaux

Différentes méthodes et techniques ont été utilisées pour cette étude : comparaison de mutants *ost1-1* et *ost 1-2* par rapport au génotype sauvage Ler d'*Arabidopsis thaliana*, thermographie infrarouge et quantification de la transpiration foliaire à partir des images numériques ainsi obtenues, mesure du degré d'ouverture de l'ostiole stomatique par porométrie, différents traitements des jeunes plantes par de l'acide abscissique (ABA) ou non, à la lumière ou à l'obscurité, dans une atmosphère normale ou appauvrie en CO₂...

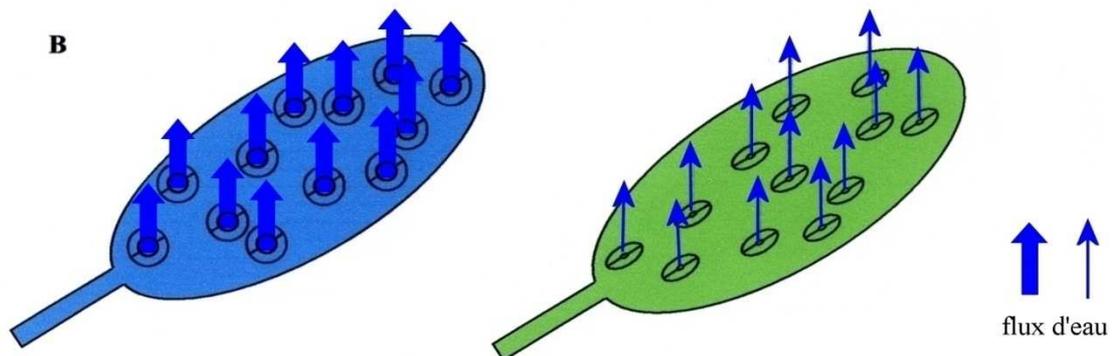
La figure 1 de la page suivante est un document multiple qui vous résume en A le principe physique général de la thermographie infrarouge en fonction de la température des objets analysés, température qui dépend fortement de la vaporisation ou non de l'eau à la surface de cet objet. L'application plus spécifique de ce principe général aux surfaces foliaires est explicitée dans les parties B et C de cette figure 1, avec notamment le repérage des phénotypes végétaux selon l'ouverture ou non des stomates.

La figure 2, également sous forme d'un document multiple, rassemble les principaux résultats expérimentaux de cette étude, qui feront l'objet des questions suivantes.

- A**
- ✓ La transformation de l'eau liquide en vapeur consomme de l'énergie
 ⇒ La transpiration abaisse la température foliaire
 - ✓ L'émission maximale d'un corps noir est fonction de la température :

$$\lambda_{\max(\text{nm})} = 3,6 \cdot 10^6 / (T_{(^\circ\text{C})} + 273)$$
 ⇒ à 25°C : $\lambda_{\max} = 12 \mu\text{m}$ (rayonnement IR)
 - ✓ L'intensité du rayonnement IR est fonction de la température (E) :

$$E = 2\varepsilon\sigma (T_{(^\circ\text{C})} + 273)^4$$



températures foliaires en fausses couleurs (se reporter à l'échelle du document C)

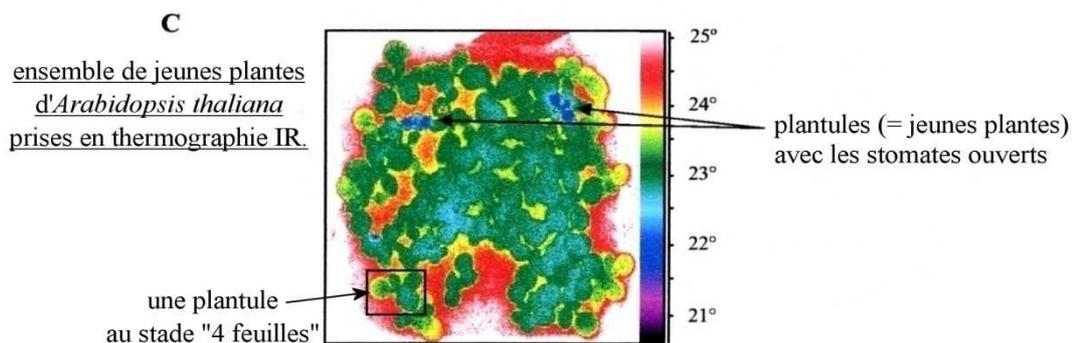


Figure 1 : Principe de la thermographie infrarouge et application aux feuilles

A. Les 3 principes qui régissent la thermographie infrarouge (IR). $T_{(^\circ\text{C})}$: température en °C; λ_{\max} : longueur d'onde d'émission maximale; ε : émissivité; σ : constante de Stephan-Boltzmann.

B. Principe du crible de phénotypes selon que les stomates soient ouverts ou fermés et conséquences sur la température foliaire.

C. Exemple de photo IR de plantules d'*Arabidopsis* ayant subi 4 jours de sécheresse (fausses couleurs avec échelle en °C).

(NB le terme *plantule* est à prendre ici au sens de très jeune plante)

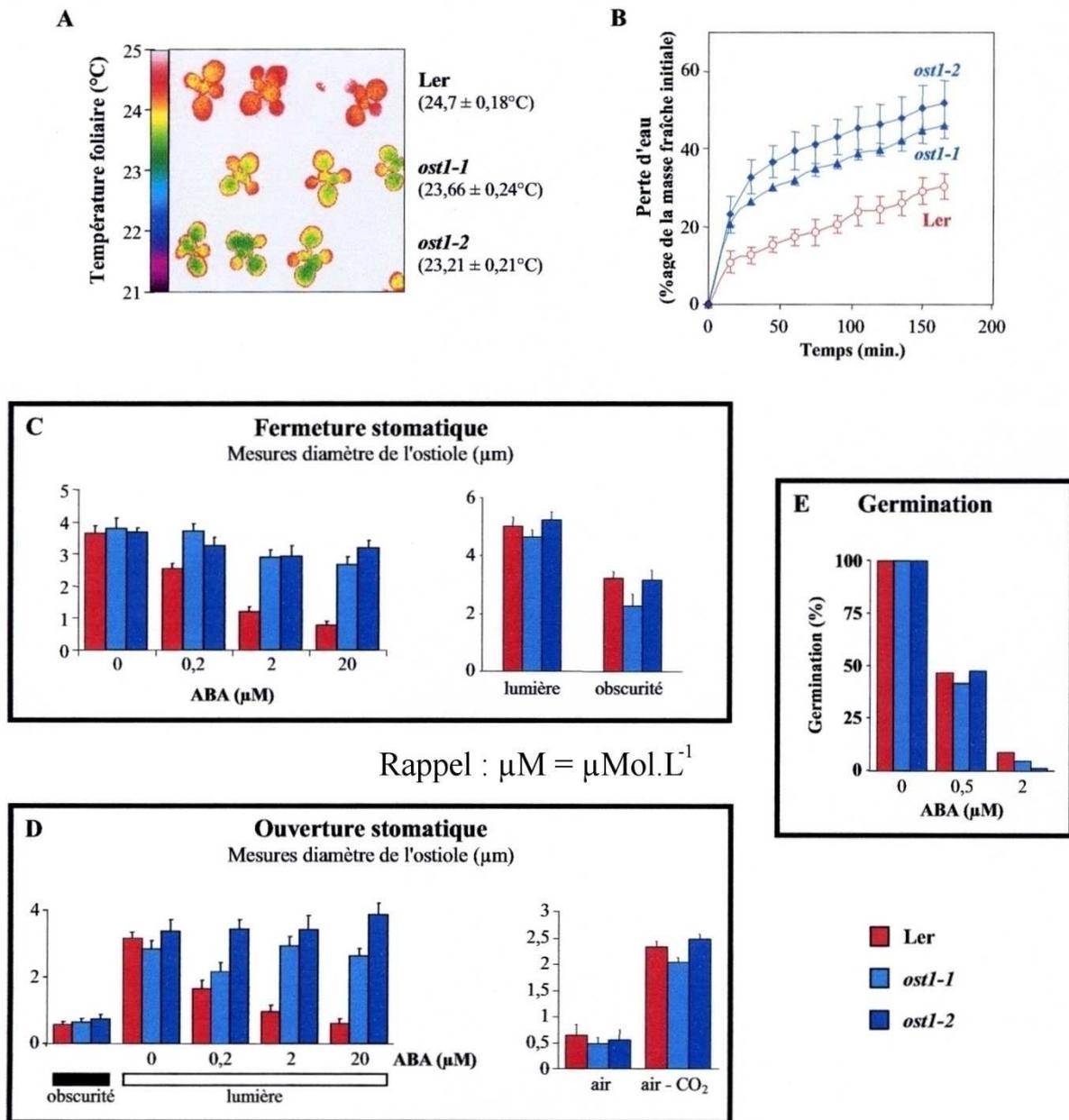


Figure 2 : Phénotypes des mutants *ost1-1* et *ost1-2*, comparés au sauvage Ler

- A. Photo de thermographie infrarouge du sauvage (Ler) et des deux allèles mutants *ost1-1* et *ost1-2*. Echelle en fausses couleurs.
- B. Phénotype de perte d'eau au cours du temps de feuilles détachées du sauvage (Ler) et des deux mutants.
- C. Phénotype de fermeture stomatique en réponse à l'ABA (gauche) et à l'obscurité (droite).
- D. Phénotype d'ouverture stomatique en réponse à la lumière en absence ou en présence d'ABA (gauche) et à l'appauvrissement de l'air en CO_2 (droite).
- E. Phénotype de germination en réponse à l'ABA.

II – A – 1 Analyse des pertes en eau par thermographie infrarouge

Une première expérience consiste à comparer les pertes d'eau à la surface foliaire pour le type sauvage Ler et pour les deux mutants *ost1-1* et *ost1-2* par thermographie infrarouge, à un instant donné (figure 2 – A) et aussi au cours du temps (figure 2 – B).

Analysez ces deux documents. Que pouvez-vous en conclure sur les pertes en eau chez *Arabidopsis thaliana* ? Qu'apporte l'étude des deux mutants ?

Réponse à la question II – A - 1

Les images de thermographie infrarouge permettent de conclure que les 2 mutants *ost1-1* et *ost1-2* ont une température de surface foliaire globalement plus faible : on peut donc penser que leurs pertes en eau sont supérieures à celles du génotype sauvage Ler

Le graphique de la figure 2 – B confirme cette hypothèse : les pertes en eau croissent rapidement pour les 3 génotypes pendant les premières minutes mais l'augmentation est plus forte chez le mutant *ost1-1* et encore plus chez le mutant *ost1-2*. Ensuite, à partir de 15 minutes environ, le niveau d'augmentation des pertes est similaire, la perte totale restant beaucoup plus marquée chez les 2 mutants.

Il existe donc bien un mécanisme de régulation des pertes hydriques, mécanisme très efficace chez le type sauvage Ler. Les deux mutants étudiés présentent un déficit au moins partiel quant à cette régulation des pertes hydriques. Il s'agit vraisemblablement de deux mutations différentes car le niveau de ces pertes est plus marqué chez *ost1-2*.

II – A – 2 Acide abscissique et fermeture des stomates

Sur la figure 2-C, la concentration en acide abscissique ou ABA est exprimée en μM c'est-à-dire en $\mu\text{Mol.L}^{-1}$. Les résultats obtenus avec l'acide abscissique sont comparés avec l'effet de la lumière ou de l'obscurité sur les stomates.

Que pouvez-vous déduire de l'analyse de ce document ?

Réponse à la question II – A - 2

Le passage de la lumière à l'obscurité provoque une fermeture partielle des stomates et inversement. Il n'y a pas de différences significatives entre les 3 génotypes. Il ne s'agit donc pas d'une impossibilité de fermeture des stomates chez les mutants mais d'un déficit de réaction vis-à-vis de l'ABA.

La concentration croissante en ABA conduit à une fermeture de plus en plus prononcée de l'ostiole stomatique chez Ler. Par contre, les 2 mutants *ost1-1* et *ost1-2* ne réagissent pas à l'ABA, quelles que soient les concentrations utilisées : leurs stomates restent ouverts. Il n'y a pas de différences significatives entre les 2 mutants dans ce contexte.

II – A – 3 Ouverture stomatique en réponse à l'éclairement, en fonction de la concentration en acide abscissique et selon que l'air est appauvri ou non en CO₂

Cette expérimentation a conduit aux résultats résumés dans la figure 2 –D.

Analysez puis interprétez ces données. Quelles hypothèses peut-on avancer en ce qui concerne la protéine OST1, en fonction des analyses et interprétations portant sur les deux mutants *ost1-1* et *ost1-2* ?

Réponse à la question II – A - 3

Une composition normale de l'air ou bien un air appauvri en CO₂ conduisent aux mêmes réponses des 3 génotypes étudiés. L'appauvrissement en CO₂ conduit bien à une ouverture de stomates mais la protéine OST1 n'est pas impliquée dans ce contexte de réponse stomatique en fonction de la teneur atmosphérique en CO₂.

Le passage de l'obscurité à la lumière provoque bien l'ouverture des stomates pour les 3 génotypes mais, à la lumière, l'augmentation de la concentration en ABA conduit à une fermeture de plus en plus importante des stomates seulement pour le type sauvage Ler, alors que les 2 mutants ne présentent pas de réponse ou très peu. Par rapport au mutant *ost1-1*, le mutant *ost1-2* a un déficit plus marqué de régulation de la fermeture stomatique, ce que l'on peut corrélérer avec son niveau plus intense de pertes hydriques (cf. figure 2 – B). Donc la protéine OST1 est bien impliquée ici dans le mécanisme de fermeture des stomates déclenché par l'ABA. Les 2 mutants n'ont pas de protéine OST1 fonctionnelle ou du moins pas totalement efficace.

D'où les hypothèses suivantes :

1) la protéine OST1 pourrait être un récepteur de l'ABA présent dans les cellules de garde stomatiques.

2) cette protéine OST1 pourrait intervenir en tant que relais dans la chaîne de transduction, suite à la fixation de l'ABA sur son récepteur (ou l'un de ses récepteurs). Elle pourrait contrôler une des étapes conduisant finalement à la fermeture plus ou moins prononcée des stomates, ce qui limiterait ainsi les pertes en eau.

Les deux mutations *ost1-1* et *ost1-2*, bien que différentes, sont du même type et correspondent à une perte de fonction pour la protéine OST1.

II – A – 4 Acide abscissique et germination des graines d'*Arabidopsis thaliana*.

On essaye maintenant de comprendre la place de la protéine OST dans la chaîne d'événements liés à la réception de l'acide abscissique par ses cellules-cibles. Pour cela, et bien qu'il n'y ait pas de corrélation directe avec les pertes en eau stomatiques, on étudie l'influence de l'ABA sur la germination des graines d'*Arabidopsis thaliana* pour les 3 génotypes testés.

Après analyse de la figure 2 – E, que pouvez-vous déduire sur la protéine OST à partir de la comparaison des résultats obtenus pour les 3 génotypes ? Cela vous permet-il de trancher parmi les hypothèses émises à la question précédente ?

Réponse à la question II – A - 4

L'étude des pourcentages de germination obtenus montre que les 2 mutants *ost1-1* et *ost1-2* ont le même niveau de réponse que Ler, à savoir une inhibition croissante de la germination quand la concentration en ABA augmente (ce qui est un effet bien connu de l'ABA dans le maintien des différents états de vie ralentie des semences).

Donc ces 2 mutants ne sont pas déficients en ce qui concerne ce récepteur de l'ABA et la voie de transduction conduisant à cette inhibition des semences d'*Arabidopsis thaliana*. On ne peut affirmer qu'il s'agit du même récepteur à l'ABA que celui des cellules de garde mais la protéine OST1 n'intervient pas dans l'inhibition de germination et son action semble spécifique des cellules de garde des stomates. Vraisemblablement cette protéine OST1 n'est pas un récepteur de l'ABA mais un relais de transduction dans ces cellules stomatiques.

II – B : Place de la protéine OST1 dans la voie de signalisation de l'ABA

On sait que la fermeture des stomates fait intervenir dans la chaîne de transduction des « espèces réactives de l'oxygène » (en anglais *ROS reactive oxygen species*), qui correspondent à différentes molécules dont la principale dans le contexte étudié est le peroxyde d'hydrogène H₂O₂. Une des questions qui se pose est la place de cette action de H₂O₂ par rapport à celles de l'acide abscissique et de la protéine OST1. Les résultats de cette étude sont rassemblés dans la figure 3.

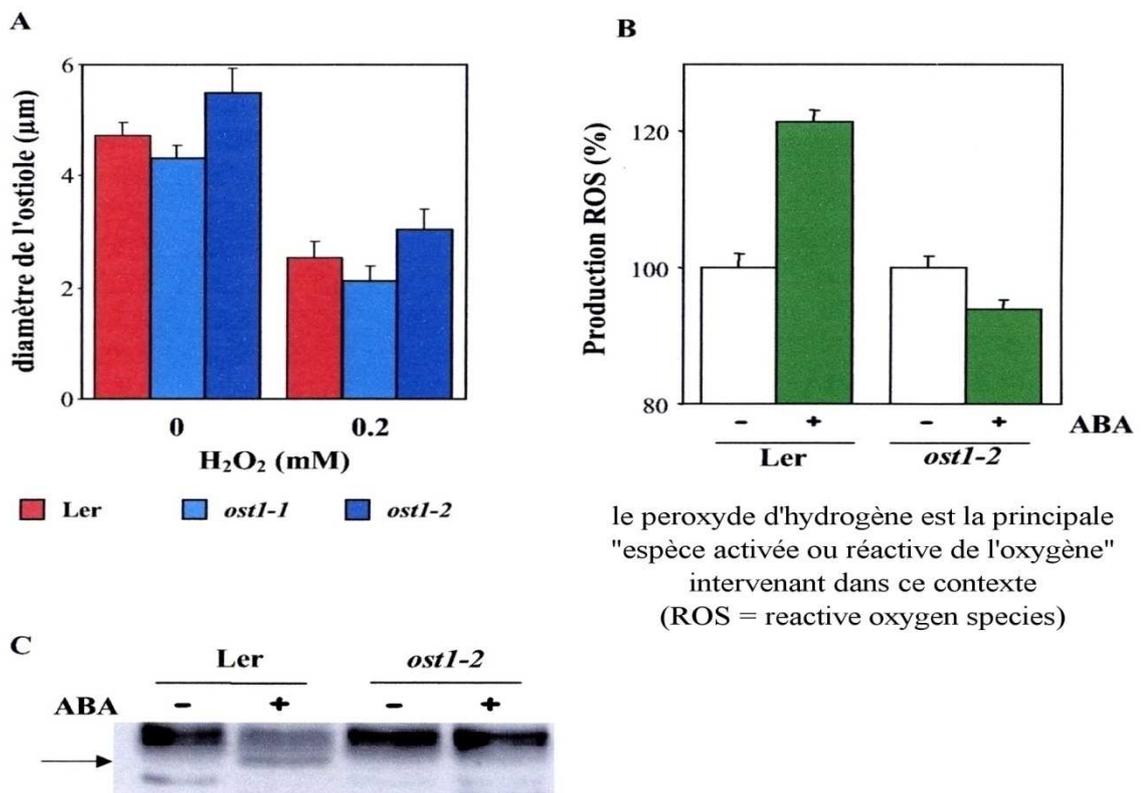


Figure 3 : Place de la protéine OST1 dans la voie de signalisation de l'ABA

- A.** Diamètre de l'ostiole stomatique en réponse à H₂O₂ chez le sauvage (Ler) et les deux mutants *ost1-1* et *ost1-2*
- B.** Production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) en réponse à l'ABA chez le sauvage (Ler) et le mutant *ost1-2*
- C.** Activité de OST1 en réponse à l'ABA chez le sauvage (Ler) et le mutant *ost1-2* (activité kinase en gel sur histone - la flèche indique la bande de 42 kDa correspondant à OST1)

II – B – 1 Influence de H₂O₂ sur le fonctionnement stomatique.

On veut mesurer l'influence de H₂O₂ en fonction des concentrations indiquées (mM = mMol.L⁻¹).

Que pouvez-vous déduire de l'analyse de la figure 3 – A quant à l'effet du peroxyde d'hydrogène H₂O₂ sur le fonctionnement stomatique ?

Réponse à la question II – B - 1

Le peroxyde d'hydrogène H₂O₂, à une concentration de 0,2 mM, déclenche la fermeture partielle de l'ostiole, aussi bien pour le type sauvage Ler que pour les 2 mutants. Donc ces derniers sont capables de fermer leurs stomates si ce peroxyde d'hydrogène est présent en quantité suffisante dans les cellules de garde. Selon toute vraisemblance, ce n'est pas la fin de la chaîne de contrôle de la fermeture des stomates qui est concernée par les 2 mutations OST1.

II – B – 2 Acide abscissique, production d'espèces réactives de l'oxygène et conséquences.

On étudie le niveau de production des « espèces réactives de l'oxygène », dont H₂O₂ forme la molécule principale, en fonction de l'utilisation ou non d'acide abscissique. Les résultats correspondent à la figure 3 – B.

Que peut-on en déduire, quant à l'intervention de la protéine OST1 normale dans la voie de signalisation conduisant à la fermeture stomatique ? Comment caractériser de ce point de vue la mutation *ost1-2* ?

Réponse à la question II – B - 2

On n'étudie ici que le mutant *ost1-2*, en comparaison avec le type Ler. On constate que le génotype Ler est capable d'augmenter de 20% sa production « d'espèces réactives de l'oxygène » (ROS), notamment d'H₂O₂, sous l'influence de l'ABA. Le mutant *ost1-2* n'est pas capable de modifier cette quantité de ROS : ce mutant est donc caractérisé par une protéine OST1 absente ou déficiente et la conséquence est une incapacité à produire plus de ROS en présence d'ABA. Ainsi les stomates ne peuvent pas se fermer dans ce contexte physiologique.

La protéine OST1 est donc bien un intermédiaire dans la voie de transduction de l'ABA conduisant à la fermeture des stomates, intermédiaire qui permet normalement une production accrue « d'espèces réactives de l'oxygène » ou ROS.

II – B – 3 En guise de conclusion...

Analysez et interprétez la figure 3 – C (page 12). À partir de l'ensemble des données fournies, de vos analyses et de vos déductions, proposez un modèle explicitant le rôle de cette protéine OST1 dans la chaîne de transduction de l'acide abscissique ABA vis-à-vis du fonctionnement des stomates chez *Arabidopsis thaliana*.

Donnez votre interprétation de la figure 3 - C et le modèle fonctionnel, que vous proposerez sous forme d'un schéma-bilan commenté.

Réponse à la question II – B - 3

La figure 3 – C permet de constater que la protéine OST1, qui a une masse moléculaire de 42 kDa, n'est présente que chez le génotype sauvage Ler, et seulement si celui-ci est soumis à l'influence de l'ABA sur ces cellules de garde. Le mutant *ost1-2* ne présente pas cette protéine, qu'il y ait ou non de l'ABA.

Donc l'induction du gène OST1 est sous la dépendance, directe ou indirecte, de l'ABA et la protéine OST1 ainsi synthétisée contrôle une des étapes permettant la fermeture des stomates, en cas de déficit hydrique : c'est en effet dans ce contexte que des espèces comme *Arabidopsis thaliana* produisent de l'acide abscissique ABA qui permet la fermeture au moins partielle des stomates, par l'intermédiaire de la protéine OST1. La conséquence en est, bien évidemment, une limitation des pertes hydriques.

Principales étapes de cette action de l'acide abscissique sur les cellules de garde :

1) fixation de l'ABA sur un récepteur des cellules de garde



2) induction du gène OST1 : transcription puis traduction conduisant à la protéine OST1



3) augmentation de la production « d'espèces réactives de l'oxygène », en particulier le peroxyde d'hydrogène



4) fermeture plus ou moins prononcée des stomates, limitant ainsi plus ou moins les pertes en eau.

**Partie III : Concilier économie d'eau et respiration aérienne :
quelques réponses adaptatives chez les insectes**

durée conseillée : 30 minutes

barème : 5 / 20

Les insectes possèdent un tégument dont la cuticule permet de limiter efficacement les pertes en eau. Cependant les échanges gazeux respiratoires sont évidemment indispensables. On se propose de prendre en compte dans cette 3^e partie quelques particularités biologiques adaptatives des insectes qui leur permettent de concilier ces deux aspects physiologiques.

III – A : Etude des structures permettant la ventilation respiratoire chez le criquet

Vous disposez dans la 3^e boîte de Petri d'un criquet.

III – A – 1 Analyse des structures permettant la respiration

Étudiez l'appareil respiratoire de ce criquet. Vous mettrez en évidence par une dissection les différents éléments constitutifs de cet appareil, en utilisant des étiquettes numérotées dont vous indiquerez la signification dans la grille ci-dessous.

Vous ferez appel à un examinateur pour l'évaluation de cette étude.

<i>Réponse à la question III –A - 1</i>	
<i>numéro de l'étiquette</i>	<i>structure légendée</i>
1	Stigmate respiratoire (2 x 10) - 2 paires thoraciques et 8 abdominales
2	
3	Atrium
4	Dispositif d'occlusion
5	Tronc trachéen principal
6	Trachée
7	Ténidie
	Trachéole étoilée (et cellule trachéolaire)

III – A – 2 Observation microscopique d'un segment de l'appareil respiratoire

Réalisez un montage microscopique d'un segment de cet appareil respiratoire.

Faites appel à un examinateur pour évaluer votre montage.

III – A – 3 Etude d'un orifice respiratoire thoracique

Observez de façon détaillée un des orifices respiratoires thoraciques et repérez *in situ* les structures qui sont en relation avec l'économie d'eau.

Appelez un examinateur pour évaluer votre présentation.

Dégagez en conclusion les caractéristiques qui contribuent à une meilleure économie d'eau chez le criquet.

Réponse à la question III – A - 3

Le tégument comprend une cuticule dont l'épicuticule, externe, présente sous le cément une couche lipidique hydrophobe. Les polyphénols et la cuticuline sous-jacente contribuent également à limiter les pertes hydriques.

Des pertes en eau peuvent avoir lieu au niveau des stigmates respiratoires (10 paires) mais le dispositif d'occlusion en arrière de l'atrium limite ce phénomène.

Certains stigmates, thoraciques notamment, sont limités et protégés par des expansions cuticulaires, qu'on peut qualifier de valves, qui restreignent l'ouverture de ces stigmates.

III – B : Périodicité des phénomènes de flux gazeux

La figure 4 de la page suivante représente des mesures de flux hydrique et de flux de dioxyde de carbone CO₂ au cours du temps chez une future reine ailée de fourmi moissonneuse, *Messor sp.*

Analysez ce document. Que pouvez-vous en déduire sur les adaptations physiologiques chez cet insecte et quelles corrélations pouvez-vous en dégager quant aux adaptations pour la respiration et l'équilibre hydrique de cette espèce ?

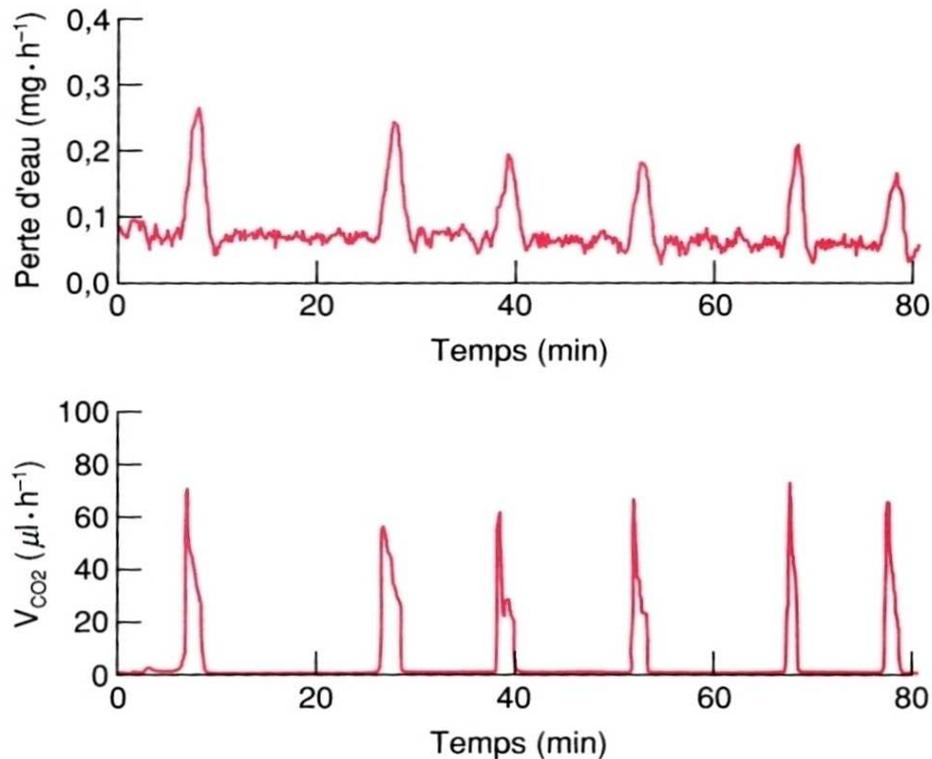


Figure 4 : Perte en eau et volume de CO₂ rejeté chez la fourmi moissonneuse (forme ailée - future reine)

in Eckert et al. – Physiologie animale – mécanismes et adaptations – éditions De Boeck, 1999, page 550

Réponse à la question III – B

On constate qu'il y a toujours une très légère perte d'eau, de l'ordre de 0,08 mg.h⁻¹. C'est lié à une déshydratation à travers l'épiderme et sa cuticule, qui laissent malgré tout passer un peu d'eau, et aussi par les orifices naturels de cette fourmi moissonneuse.

Cette perte d'eau augmente nettement, jusqu'à 0,20 à 0,25 mg.h⁻¹, mais de façon ponctuelle avec un rythme qui n'est pas d'une régularité parfaite, dont la période est en moyenne de 17 min.

La corrélation de ces pertes ponctuelles avec l'émission de CO₂ est excellente et correspond à l'ouverture des stigmates respiratoires qui permettent ainsi le rejet du dioxyde de carbone.

Mais cette ouverture est d'une part peu fréquente, toutes les 15 à 20 minutes, et d'autre part très brève. Donc les échanges respiratoires globaux ont lieu lors de cette ouverture mais les pertes en eau restent très limitées.

Partie IV : Quelques autres espèces capables de limiter leurs pertes en eau (reconnaissance raisonnée d'échantillons ou de documents photographiques)

durée conseillée : 10 minutes

barème : 2 / 20

Remplissez le tableau ci-dessous :

Numéro	Identification	Caractéristiques physiologiques en rapport avec l'économie d'eau
1 échantillon	<i>Ammophila arenaria</i> – oyat = gourbet Poaceae = graminées	évapotranspiration réduite : feuilles allongées, étroites – cellules bulliformes
2 échantillon	<i>Sedum album</i> – orpin blanc Crassulaceae	métabolisme CAM - stockage d'eau
3 échantillon ou photo	<i>Buthus occitanus</i> – scorpion jaune du Languedoc - Scorpionidés	éthologie tégument avec cuticule hydrophobe
4 photo	<i>Nerium oleander</i> – laurier-rose Apocynaceae	cuticule foliaire épaisse cryptes stomatiques pilifères
5 échantillon	<i>Hedera helix</i> – lierre rampant (= grim pant) Araliaceae	épiderme sup. : aucun stomate – cuticule très épaisse – épiderme inférieur plaqué sur le support
6 photo	<i>Helix pomatia</i> – escargot de Bourgogne Gastéropodes - Hélicidés	rétraction dans la coquille et épiphragme muqueux
7 échantillon	<i>Sempervivum tectorum</i> – jubarbe des toits Crassulaceae	stockage d'eau dans les feuilles et métabolisme CAM
8 photo	<i>Camelus dromedarius</i> – dromadaire Camélidés	hydratation tissulaire importante, faible évaporation, thermorégulation performante, production d'eau métabolique

6.5.2 Commentaire

Cette épreuve de contre-option b du secteur B destinée aux candidats des secteurs A et C avait pour thème général la limitation des pertes en eau chez les êtres vivants. Il s'agissait bien sûr d'appréhender à travers ces études quelques aspects concrets de ce sujet.

L'épreuve de TP b comportait quatre parties, deux d'entre elles (les parties I et III) nécessitant des manipulations pratiques afin que les études demandées puissent aboutir à des conclusions pertinentes. En fonction des protocoles à respecter, il était donc important que les candidats s'organisent dans leur préparation et utilisent les temps morts pour avancer dans la partie III, constituée d'un exercice de physiologie végétale associé à une analyse génétique dans le cadre de la réponse stomatique en cas de stress hydrique, sous la dépendance d'une kinase, la protéine OST1.

Un grand nombre de candidats a mal géré le temps de travail, d'où une partie III consacrée au criquet globalement sacrifiée.

La quatrième partie correspondait à des reconnaissances d'échantillons ou de photographies, sur une durée imposée de 10 minutes, mais toujours en relation avec les économies d'eau.

Cette partie du rapport vise à dégager les principaux éléments que le jury souhaitait retrouver dans les prestations pratiques, évaluées immédiatement en salle d'épreuve, et les compte-rendus et conclusions associés que chaque candidat des secteurs concernés devait remettre en fin de séance. Le contenu scientifique lui-même ne sera que peu mentionné dans ce rapport, puisque le corrigé de l'épreuve figure dans les pages suivantes, avec les réponses attendues dans les cadres correspondants.

Partie I - Adaptations foliaires vis-à-vis de la limitation des pertes en eau

Il s'agissait d'une approche concrète pour dégager des adaptations à l'échelle histologique et anatomique sur deux espèces, l'olivier d'Europe et le pin sylvestre.

Pour la feuille d'olivier, il était demandé d'effectuer deux montages d'épiderme, un pour l'épiderme supérieur, l'autre pour l'épiderme inférieur. Les gestes techniques de montage d'épiderme ne sont pas spécialement délicats et ont pourtant donné lieu à des préparations difficilement interprétables. Malgré cela, certaines préparations très propres ont obtenu la note maximale. Les candidats ayant dessiné l'épiderme supérieur, ou une coupe de feuille au lieu de représenter ce qui était effectivement demandé (l'épiderme inférieur), ont perdu du temps et n'ont gagné aucun bonus.

Dans les préparations de mauvaise qualité, la recherche désespérée de stomates sur la face inférieure de la feuille d'olivier a conduit de trop nombreux candidats à les « voir » au centre de la rosette des poils peltés. Il est plus inquiétant de constater que certains candidats ayant des gestes techniques très bons, avec des stomates très visibles sur leur préparation, ont aussi « vu » des stomates au centre des poils peltés !

Coupe transversale dans l'aiguille de pin sylvestre

Un nombre trop important de candidats n'a pas eu le temps de faire ou d'exploiter la coupe, faute d'organisation ou de planification du travail technique. Si une manipulation présente des temps de latence (en l'occurrence les bains dans l'eau de Javel), il semble important de débiter le plus tôt possible et d'intercaler un autre travail pendant les temps d'attente. La qualité des coupes était très hétérogène, avec comme chaque année des coupes exceptionnelles et d'autres de piètre qualité (biseautéées, très épaisses au point de ne rien distinguer du fait d'un mauvais vidage et donc d'une mauvaise coloration).

La pertinence de l'observation révélée par l'adéquation des dessins avec la réalité ou encore la précision de la représentation sont de très mauvaise qualité pour la grande majorité des candidats comprenant une partie de ceux qui avaient pourtant réalisé des coupes magnifiques. La représentation utilisant les figurés conventionnels n'est généralement pas maîtrisée. Quand elle est présente, l'échelle est trop peu souvent matérialisée sous la forme d'une petite règle avec une dimension standard, et trop souvent avec le grossissement qui ne prend pas en compte le différentiel entre l'observation et le dessin. Trop de candidats réinvestissent une succession théorique xylème primaire, secondaire, cambium, phloème secondaire, phloème primaire au lieu de préciser les cellules effectivement observées. De la même manière beaucoup inventent un parenchyme lacuneux sans l'avoir observé mais en plaquant le modèle théorique d'une feuille de dicotylédone. Le manque d'observation a conduit de nombreuses copies à orienter leurs coupes à l'envers, inversant les faces abaxiale et adaxiale par rapport au positionnement du xylème et du phloème.

Commentaire sur les adaptations de l'aiguille de pin

Le commentaire est trop souvent l'occasion de répéter les observations de la coupe ou alors de s'égarer sur des considérations théoriques. Le commentaire représente une opportunité de relier les observations aux contraintes du milieu, ce que trop peu de candidats ont réalisé.

Partie II - Approche physiologique et génétique de la régulation de l'ouverture stomatique chez *Arabidopsis thaliana*

Cette deuxième partie avait comme objectif principal de vérifier les aptitudes des candidats à analyser avec précision et rigueur des données expérimentales, à en dégager des conclusions d'abord partielles, conduisant à différentes hypothèses, puis, au fur et à mesure de l'apport de nouvelles données expérimentales, d'effectuer un tri parmi ces hypothèses et de tendre progressivement vers une compréhension globale de la place de la protéine OST1 dans la chaîne de transduction liée à la fixation de l'acide abscissique (ABA) sur les cellules de garde stomatiques en cas de stress hydrique.

Il était fort possible, et même recommandé, d'utiliser les temps morts liés à la réalisation de coupes histologiques de la partie I pour commencer cette partie II.

Cet exercice de réflexion à partir de données expérimentales s'est révélé discriminant de plusieurs façons :

Premièrement, il a été négligé par un nombre notable de candidats, surtout du secteur C d'ailleurs : étude extrêmement rapide et non rigoureuse des documents, sans analyse véritable, conclusions plus que squelettiques lorsqu'elles sont présentes, tendance à la paraphrase en décrivant les courbes ou histogrammes sans réellement les analyser finement et encore moins les interpréter. Cela conduit dans ces cas de figure à des notes faibles ou très faibles sur l'exercice. On peut estimer à 20 % ce premier groupe de candidats.

Un deuxième ensemble de candidats, répartis sur les deux secteurs A et C, ont étudié avec plus de pertinence les documents proposés, ayant à cœur de dégager l'essentiel à partir des résultats expérimentaux. Mais leur prestation s'arrête là et il n'y a pas, ou pas assez, de tentative de proposer des explications à la fois physiologiques et génétiques pour aboutir à une conclusion complète, analytique et fonctionnelle. Les notes ainsi obtenues sont évidemment meilleures, sans pouvoir prétendre au maximum des points dévolus à l'exercice. Cela représente une forte majorité d'environ 60 % des candidats.

Enfin, un troisième groupe, correspondant aux 20 % des candidats restants, majoritairement du secteur A mais avec quelques très belles prestations en secteur C, se caractérise par des résultats de bonne, voire de très bonne, qualité : analyses précises et pertinentes des données conduisant à une construction méthodique de l'exercice par adjonction progressive des découvertes jusqu'à la synthèse finale résumant dans le schéma-bilan tout ce qu'on pouvait découvrir à propos de cette chaîne de transduction. Il n'était pas question de considérer que toute la voie de signalisation de l'ABA puisse être ainsi reconstituée mais l'exercice proposé permettait justement de garder le recul nécessaire et d'indiquer ainsi les limites des découvertes réalisées.

Partie III - Concilier économie d'eau et respiration aérienne : quelques réponses adaptatives chez les insectes

L'essentiel des activités proposées dans cette partie avait comme support biologique le criquet. Il s'agissait dans un premier temps d'effectuer une dissection partielle latérale au niveau de la zone thoracique de façon à mettre en évidence les stigmates respiratoires, l'atrium avec le dispositif d'occlusion, les troncs trachéens puis les différents niveaux de trachées. Dans un deuxième temps, une étude plus détaillée était demandée, avec observation plus précise d'un segment de l'appareil trachéen au microscope (ramifications, ténidies...) et d'un stigmate respiratoire thoracique muni de ses deux valves.

C'est finalement l'exercice qui a été le moins réussi, avec un assez grand nombre de candidats (15%) qui n'ont pas abordé du tout cette partie III. Par ailleurs, quand bien même l'étude a été réalisée, cela reste souvent très partiel, avec des présentations de piètre qualité surtout pour la dissection partielle demandée. Le montage en préparation microscopique d'un segment de trachée était de meilleure qualité avec une notation sur cet item quasiment toujours au-dessus de la moyenne mais seulement 30 % des candidats l'ont réalisé. Ce pourcentage correspond également à la dernière sous-partie, avec un niveau de résultats similaire.

Donc le bilan reste assez décevant, alors que les dissections et montages demandés pouvaient être réalisés et exploités assez rapidement. Là encore, c'est le plus souvent lié à une mauvaise gestion du temps de l'épreuve, beaucoup de candidats ayant consacré trop de temps aux autres parties, aux dépens de cette partie III.

Partie IV – Reconnaissance raisonnée d'échantillons et adaptations aux limitations des pertes en eau

Cet exercice se déroulait sur un temps imposé maximal de 10 minutes par candidat, selon une rotation gérée par le jury dans chaque salle de TP. A partir d'échantillons ou de photographies, les candidats devaient renseigner une grille en indiquant pour chacune des huit espèces proposées son identification (nom commun ou vernaculaire, nom scientifique, taxon d'appartenance) et les caractéristiques adaptatives de chacune de ces espèces en rapport avec l'économie d'eau, en élargissant un peu la thématique initiale (limitation des pertes en eau et stockage éventuel). Le nom scientifique était attendu pour les végétaux car les candidats avaient tous accès à une flore mais n'était pas attendu systématiquement pour les animaux : par exemple, un candidat qui a indiqué scorpion jaune mais sans oublier d'indiquer ses adaptations pour limiter la déperdition d'eau a eu le maximum des points sur l'item, quand bien même il n'a pas donné son nom scientifique *Buthus occitanus*.

6.6 ÉPREUVES PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DE SECTEUR C

6.6.1 Sujet

Géosciences en Hérault

Ce document contient 15 pages numérotées de 1 à 15.

L'épreuve comprend quatre parties :

- **Partie I - Étude de deux paysages du Lodévois** page 2
durée conseillée : 40 mn, dont 15 mn conseillées pour l'étude des échantillons - barème : 6 /20
- **Partie II - Étude d'un extrait de la carte géologique de Lodève au 1/50 000** page 7
durée conseillée : 20 mn - barème : 4 /20
- **Partie III - Étude d'un extrait de la carte géologique de Montpellier au 1/250 000** page 10
durée conseillée : 20 mn - barème : 4 /20
- **Partie IV - Datation radiochronologique de concentrations uranifères du bassin de Lodève** page 12
durée conseillée : 40 mn - barème : 6 /20

Répondez directement sur les feuilles dans les espaces prévus à cet effet.

Même en cas de non réponse, vous devez rendre la totalité de vos feuilles en indiquant vos nom, prénom et numéro de salle en tête de chaque partie.

**AVANT DE RENDRE 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.**

Le territoire du département de l'Hérault fait partie du Languedoc. Il est situé à l'extrémité méridionale du Massif Central, limité à l'ouest par les Corbières, à l'est par la Camargue et au sud par le golfe du Lion.

Partie I - Étude de deux paysages du Lodévois

durée conseillée : 40 mn, dont 15 mn conseillées pour l'étude des échantillons - barème : 6

/20

On vous demande d'identifier et d'interpréter les éléments géologiques de deux paysages du Lodévois, présentés à l'aide de deux photographies et des échantillons de roches prélevés sur ces deux sites.

I - A Étude du paysage n°1



Figure 1

I - A -1 – Réalisez un croquis légendé de ce paysage dans le cadre ci-dessous.

Réponse à la question I-A-1

I - A -2 – Déterminez, en la justifiant, la nature des roches 1, 2 et 3 dont les sites de prélèvement ont été indiqués sur la figure 1.

Réponse à la question I-A-2

On estime que l'épaisseur des couches formées par la roche 1 est voisine de 2 000m. Les clichés des figures 2 et 3 présentent des figures observables sur de nombreuses surfaces des couches de cette formation.



Figure 2



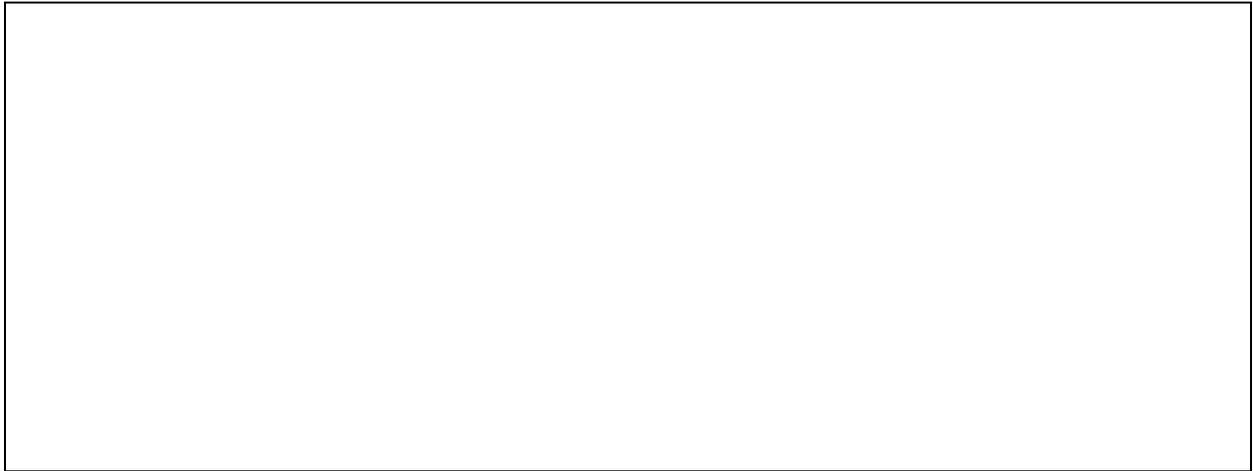
Figure 3

I - A - 3 – Après avoir rappelé le principe utilisé pour reconstituer un paléo-milieu de sédimentation, discutez l'environnement de dépôt des roches 1.

Réponse à la question I-A-3

I - A - 4 – En vous fondant sur l'analyse du paysage de la figure 1 et des 3 roches fournies, indiquez dans le cadre ci-dessous la succession des événements géologiques ayant affecté ce secteur.

Réponse à la question I-A-4



I – B Étude du paysage n°2

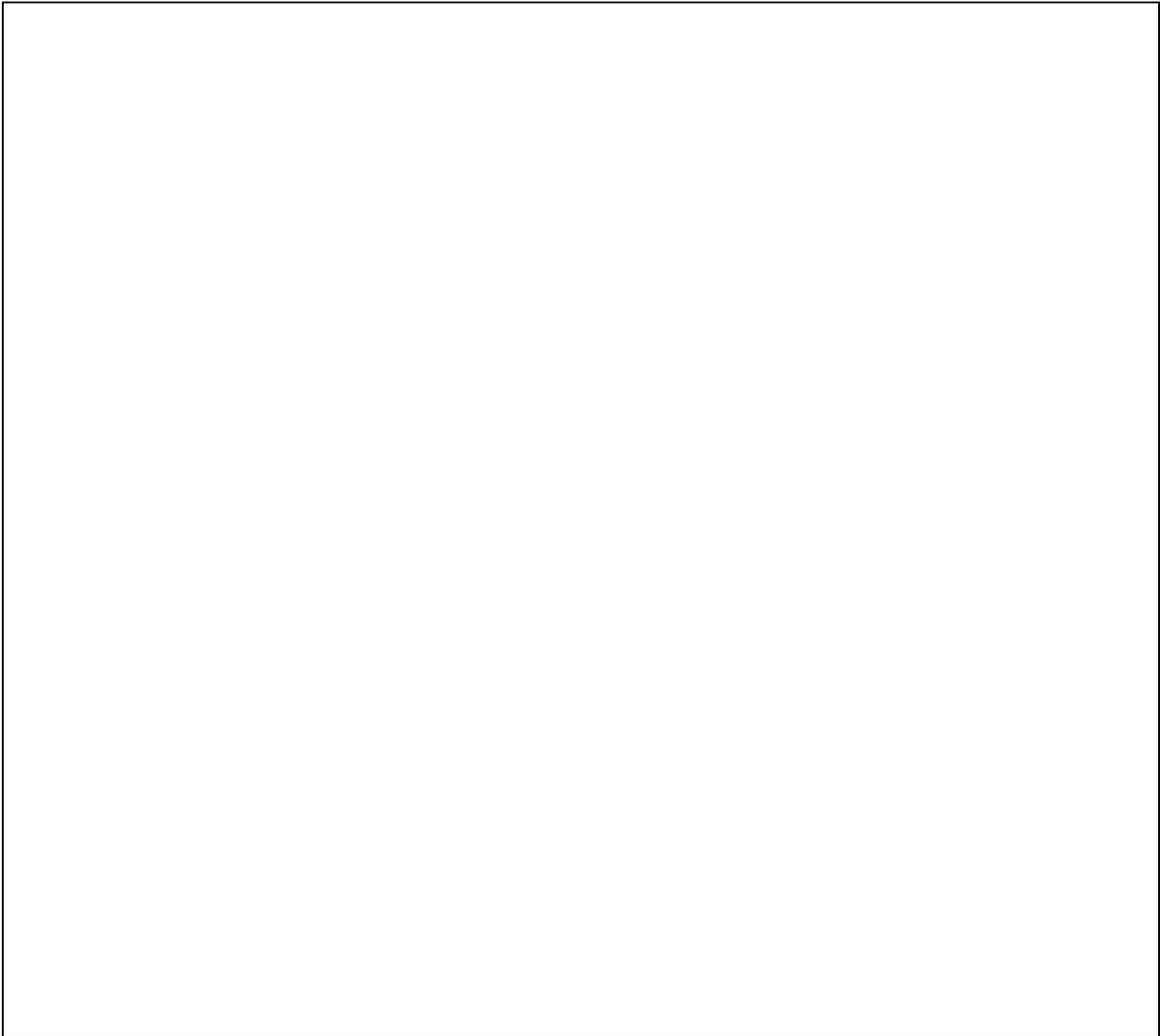


Figure 4

En vous fondant sur les analyses du paysage de la figure 4 et de l'échantillon 4, ramassé dans ce secteur, expliquez dans le cadre suivant les caractéristiques géologiques de ce paysage.

Réponse à la question I-B





Partie II - Étude d'un extrait de la carte géologique de Lodève au 1/50 000
durée conseillée : 20 mn - barème : 4 /20

La figure 5 est un extrait de la carte géologique de Lodève au 1/50 000, agrandi au 1/25 000.

Un extrait simplifié de la légende de cette carte est fourni dans la figure 6.

II - A – Réalisez la coupe géologique A-B en utilisant le profil topographique fourni dans la figure 7.

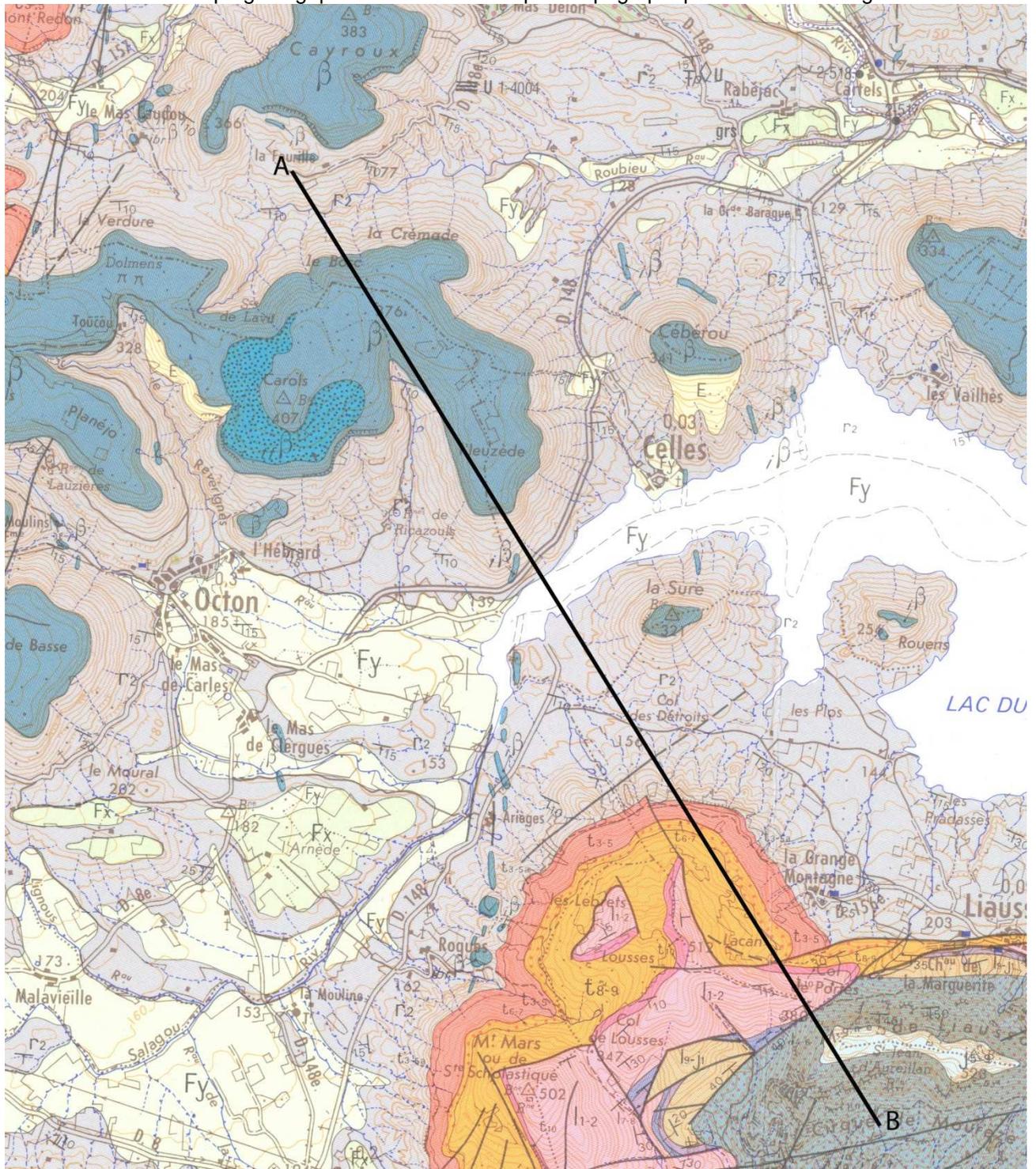


Figure 5

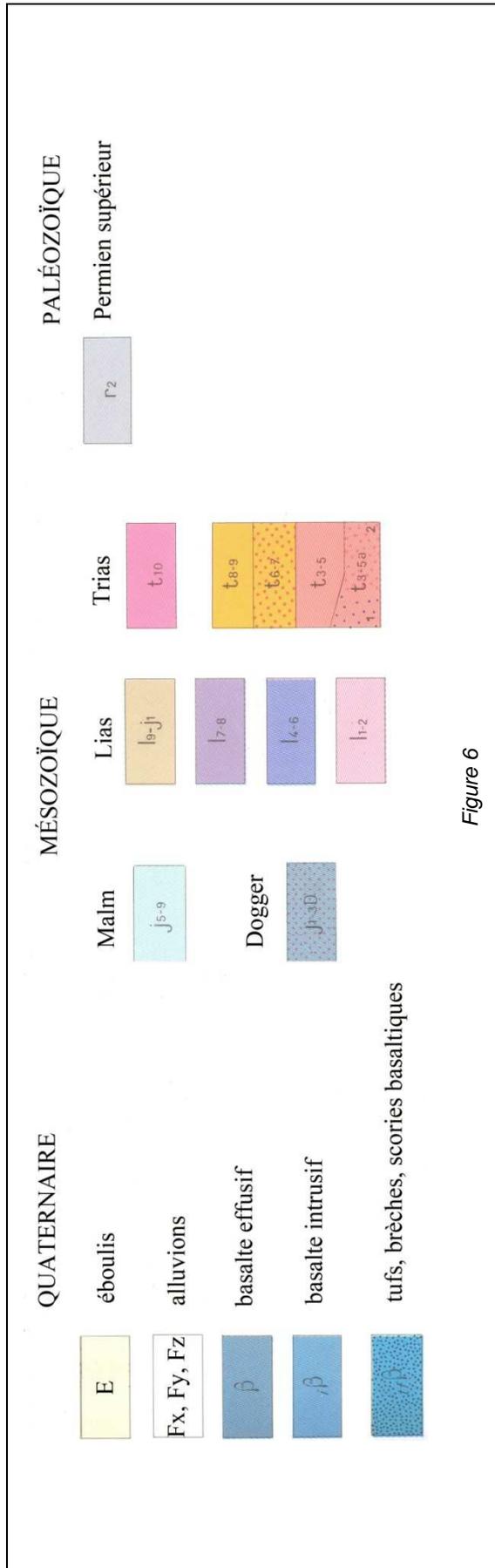


Figure 6

Réponse à la question II.A.

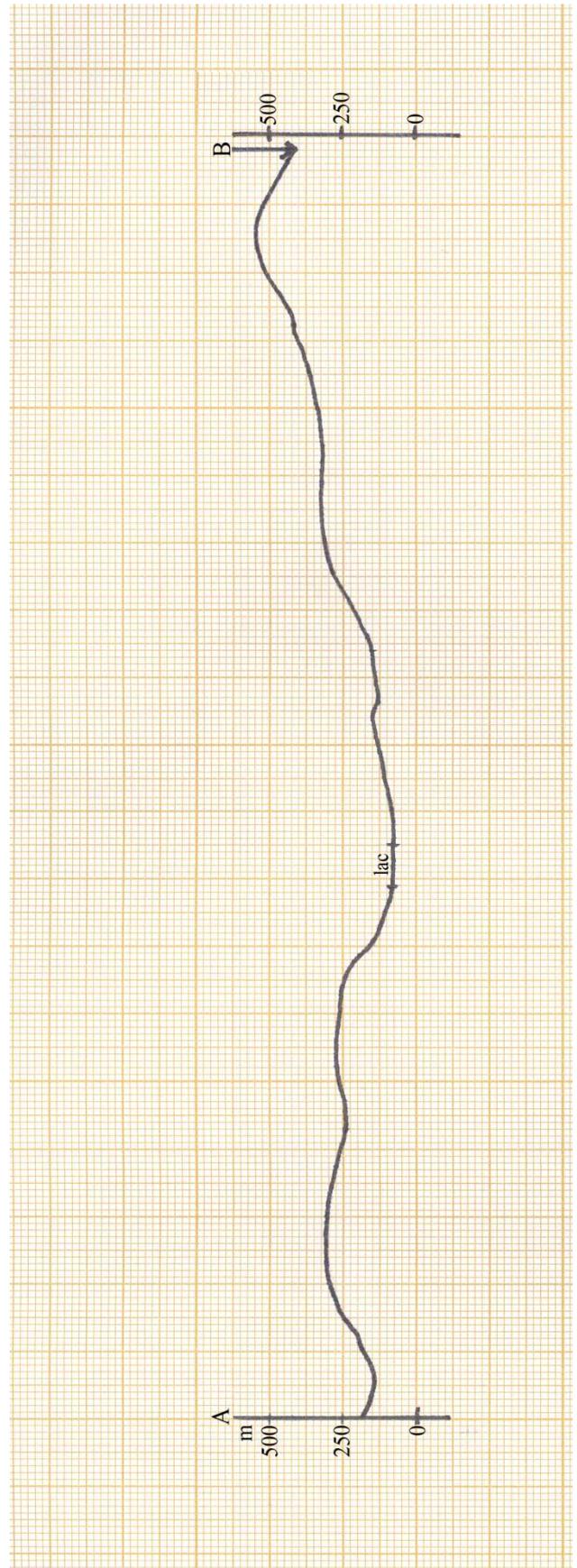


Figure 7

II - B – À partir de l'analyse de l'extrait de carte de la figure 5 et de la coupe que vous avez réalisée, présentez les grandes étapes de l'histoire géologique de ce secteur.

Réponse à la question II-B

Bilan des parties I et II

Le paysage n°1 que vous avez étudié dans la partie I est situé à quelques kilomètres à l'ouest de l'extrait de carte analysé dans la partie II.

II -C – Proposez un scénario rendant compte de la morphologie actuelle de ce secteur.

Réponse à la question II-C

Partie III - Étude d'un extrait de la carte géologique de Montpellier au 1/250 000
durée conseillée : 20 mn - barème : 4 /20

La figure 8 est un extrait de la carte géologique de Montpellier au 1/250 000, situé au nord-est du secteur étudié dans les deux premières parties.

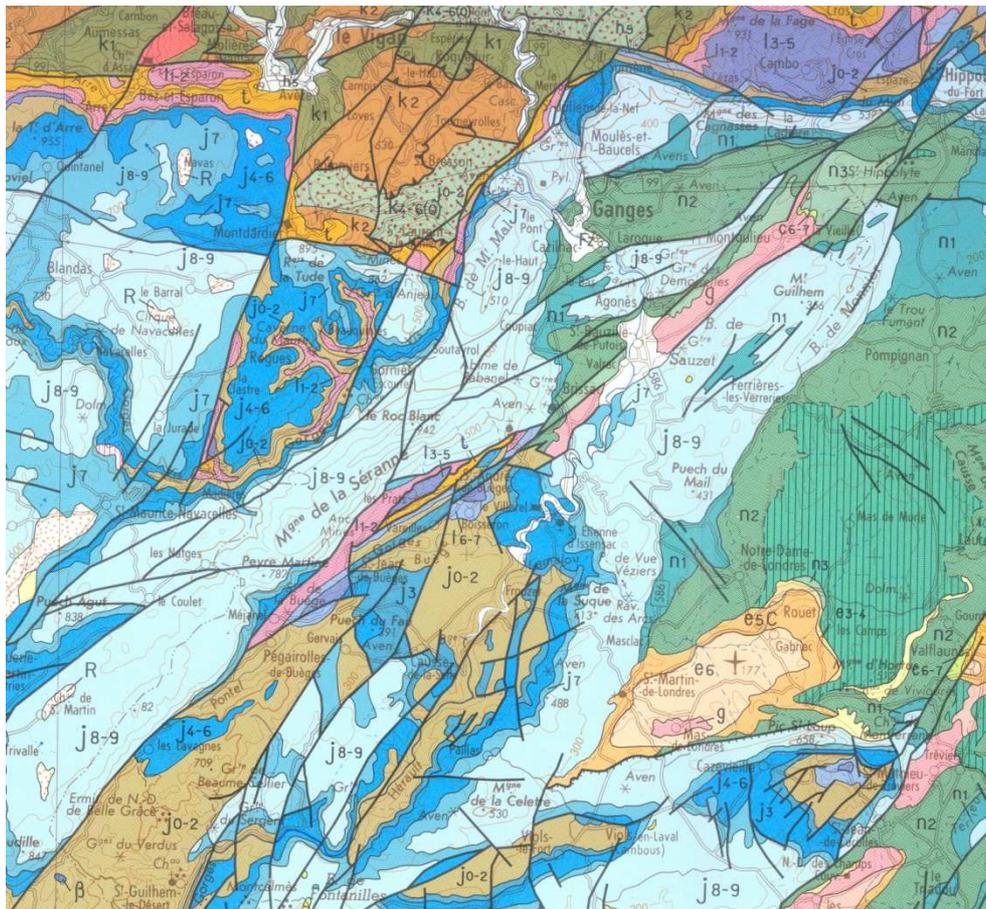


Figure 8

R : dépôts résiduels - g : Oligocène – e : Éocène – c : Crétacé supérieur – n : Crétacé inférieur
 j : Jurassique supérieur et moyen - l : Jurassique inférieur – t : Trias – k : Cambrien

III - A – Réalisez, sur le papier calque fourni, un schéma structural de cet extrait de carte. Vous collerez ce document dans le cadre ci-dessous.

Réponse à la question III-A

III - B – Utilisez les caractéristiques structurales que vous avez fait apparaître sur le schéma structural pour présenter les grandes étapes de l'histoire géologique post-Paléozoïque de l'Hérault.

Réponse à la question III-B

Partie IV - Datation radiochronologique de concentrations uranifères du bassin de Lodève

durée conseillée : 40 mn - barème : 6 /20

Des gisements d'uranium ont été exploités dans les formations permienes du bassin de Lodève.

Les minéralisations se présentent sous différentes géométries dont :

- des minéralisations stratiformes ;
- des minéralisations concentrées le long de fissures le plus souvent associées à des failles.

On a cherché à déterminer l'âge de mise en place des minéralisations remplissant les fissures en appliquant la méthode radiochronologique Rb-Sr sur des minéraux argileux associés.

IV - A – Ecrivez l'équation fondamentale de la désintégration radioactive $\frac{dP}{dt} = f(P)$ où P est la concentration de l'élément radioactif ou élément père. Vous noterez λ la constante de désintégration radioactive.

Réponse à la question IV-A

IV - B – À partir de l'équation précédente, établissez la relation suivante où F est la concentration de l'élément fils :

$$F = F_0 + P(e^{\lambda t} - 1)$$

Réponse à la question IV-B

IV - C – Expliquez en le justifiant le principe de la méthode dite isochrone utilisée pour réaliser une datation par la méthode Rb-Sr.

Réponse à la question IV-C

Le **tableau 9** présente les résultats d'analyses effectuées sur 15 échantillons de minéraux argileux associés aux minéralisations uranifères fissurales dans le gisement du mas Lavayre, qui a été le principal gisement exploité.

Échantillon	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Rb (ppm)	Sr (ppm)
1	1,1781	0,720589	16,61	40,85
2	1,8839	0,729892	21,81	33,64
3	0,4828	0,724177	5,96	35,76
4	0,7160	0,720866	13,07	52,90
5	3,5101	0,727860	55,40	45,76
6	3,1993	0,721698	70,84	64,15
7	5,3527	0,72516	33,67	18,24
8	7,8859	0,731465	21,02	7,72
9	3,9676	0,726748	61,37	44,84
10	12,398	0,749658	135,2	31,67
11	8,7362	0,742367	143,8	47,77
12	2,1075	0,723545	2,25	3,08
13	7,7099	0,759147	7,56	2,85
14	5,9482	0,730078	9,44	4,60
15	2,111	0,757795	0,28	0,39

Tableau 9

IV - D – À partir des données du tableau 9, construisez sur la feuille de papier graphique fourni, le diagramme isochrone correspondant.

IV - E – Quelle difficulté rencontrez-vous pour exploiter ce diagramme ? Proposez une ou des hypothèses explicatives.

Réponse à la question IV-E

IV - F – On peut tracer deux alignements différents dans ce diagramme isochrone, dont un est nettement mieux contraint que l'autre. Tracez ces deux alignements sur votre graphique, puis utilisez l'alignement le mieux contraint pour évaluer un âge de formation de ces minéraux argileux.

λ constante de désintégration radioactive du $^{87}\text{Rb} = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$

Réponse à la question IV-F

IV - G – En vous fondant sur l'âge que vous venez d'évaluer, quel événement tectonique ayant affecté une autre région du sud de la France pourrait avoir joué un rôle dans la mise en place des minéralisations uranifères remplissant les fractures ?

Réponse à la question IV-G

6.6.2 Commentaires

L'épreuve de TPC était basée sur une étude régionale : une partie du Languedoc située dans le département de l'Hérault. L'idée sous-jacente à la conception du sujet était de tester les aptitudes des candidats à analyser et exploiter des objets géologiques à différentes échelles : paysages et roches, cartes géologiques et à en rendre compte par l'intermédiaire de textes, d'un croquis, d'une coupe géologique et d'un schéma structural.

Au cours de l'épreuve, les candidats étaient invités à reconstituer les grandes étapes de l'histoire géologique post-Paléozoïque de ce secteur.

Le sujet comprenait quatre parties :

- La première partie portait sur une analyse de deux paysages du Lodévois à mettre en relation avec quatre roches prélevées sur place et dont la détermination devait être réalisée.
- La seconde partie était basée sur un extrait de la carte géologique de Lodève au 1/50 000^e avec réalisation d'une coupe géologique. On demandait, en s'appuyant sur les deux premières parties, de proposer un scénario expliquant la morphologie actuelle.
- La troisième partie demandait la réalisation d'un schéma structural à partir d'un extrait de la carte géologique de Montpellier au 1/250 000^e.
- La quatrième partie nécessitait d'expliquer et d'appliquer la méthode radiochronologique ⁸⁷Rb - ⁸⁷Sr : il s'agissait de dater des minéraux argileux pour approcher indirectement l'âge de mise en place de minéralisations uranifères concentrées le long de fissures dans les terrains permien du bassin de Lodève.

Les résultats se sont révélés très hétérogènes : de bonnes copies, mais aussi des copies faibles, trop souvent incomplètes (une, voire deux parties non traitées).

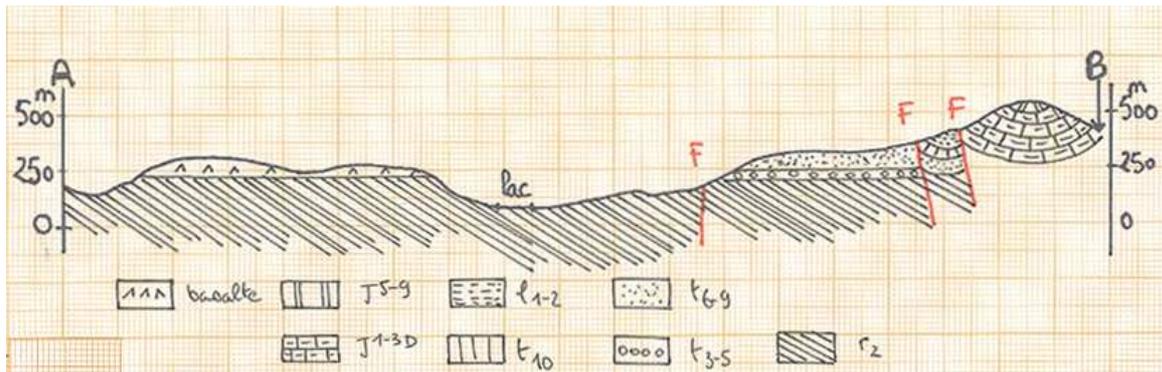
Il paraît utile de rappeler que les connaissances pour traiter ce sujet sont présentées dans le programme de connaissances générales de sciences de la Terre et de l'Univers, en particulier au début de ce programme, et doivent être maîtrisées par les candidats.

Les principales remarques sont les suivantes :

- Les réponses doivent être précises, rigoureuses et concises. Lire l'ensemble du sujet au début de l'épreuve est toujours utile pour bien comprendre la problématique d'ensemble, les exercices proposés et mieux cibler les réponses aux différentes questions.
- Les illustrations demandées doivent être réalisées avec soin : certes l'exactitude scientifique est prépondérante dans l'évaluation, mais celle-ci prend aussi en compte la qualité de la présentation.

Les principales difficultés rencontrées sont les suivantes :

- Dans la première partie, l'analyse du paysage n°1 devait conduire à la mise en évidence d'une discordance, qui n'a pas toujours été reconnue. L'analyse du paysage n°2 devait être conduite en relation avec un échantillon collecté dans le secteur : une roche meuble de la classe granulométrique des arénites. De trop nombreux candidats ont pensé étudier un sable quartzueux alors qu'un test de dureté réalisé avec les lames de verre fournies témoignait de l'absence de quartz.
- Dans la seconde partie, la coupe géologique devait montrer : le caractère tabulaire des basaltes, le caractère horizontal des terrains du Trias, un pendage des terrains r₂ globalement vers le sud et avec une valeur de 10 à 20°, des failles subverticales et un pli synclinal au niveau des terrains jurassiques situés au sud. La coupe qui a été utilisée lors de la correction est fournie ci-dessous à titre indicatif. En ce qui concerne un scénario explicatif de la mise en place de la morphologie du Lodévois, trop de candidats ont seulement répété leur réponse aux questions précédentes au lieu de se baser sur l'inversion de relief révélé par la position topographique des basaltes quaternaires.



Coupe géologique A-B réalisée à partir de l'extrait de la carte géologique de Lodève II-A

- De nombreux candidats semblent ignorer qu'un schéma structural doit présenter les grands ensembles de terrains regroupés par âge et les principaux éléments structuraux : failles dont on précise le type quand la détermination est réalisable, plis dont il faut indiquer les axes, discordances. Le schéma structural qui a été utilisé lors de la correction est fourni ci-dessous à titre indicatif.

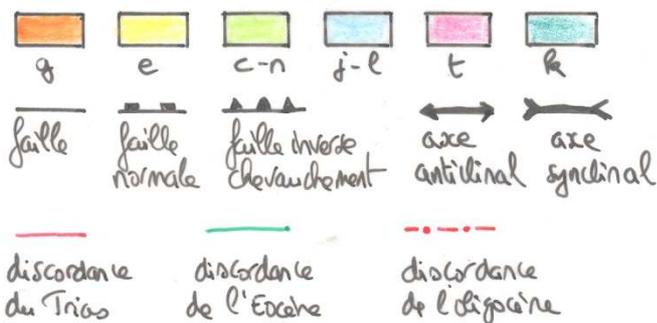
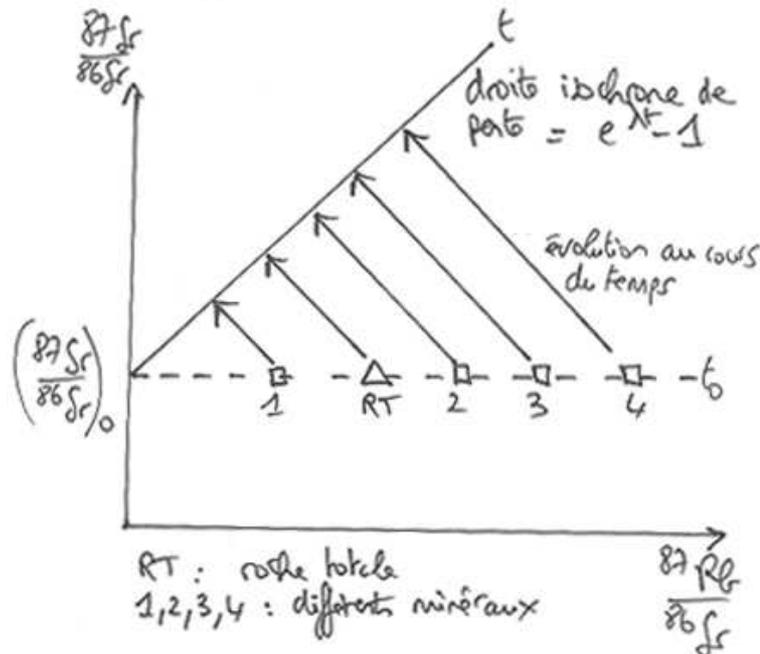


Schéma structural réalisé à partir de l'extrait de la carte géologique de Montpellier III-A

- La méthode radiochronologique $^{87}\text{Rb} - ^{87}\text{Sr}$ est insuffisamment connue. L'équation $^{87}\text{Rb} = ^{87}\text{Sr}_0 + ^{87}\text{Rb} (e^{\lambda t} - 1)$ comprend deux inconnues : t qui est l'âge cherché et $^{87}\text{Sr}_0$. Faire appel à des rapports isotopiques, impliquant l'isotope ^{86}Sr qui est ni radioactif, ni radiogénique, ne supprime pas une inconnue. On pouvait expliquer le principe de la méthode dite isochrone en deux temps :

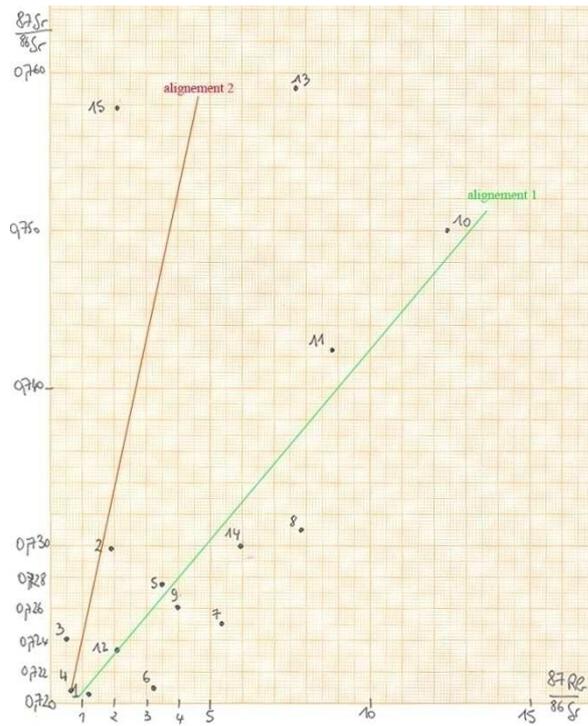
1. Soit une roche formée au temps initial 0 et contenant des différents minéraux co-génétiques. Du fait du fractionnement chimique, la roche totale et les différents minéraux ont des rapports $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$ différents, mais on peut, en s'appuyant sur une hypothèse d'homogénéisation isotopique, réaliste pour des isotopes lourds, penser que roche et minéraux avaient initialement le même rapport $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$. Dans un diagramme $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = f(^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr})$, les points correspondants sont donc alignés sur une droite horizontale dont l'intersection avec l'axe des ordonnées est le rapport $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$. Au cours du temps, par suite de la désintégration radioactive $d^{87}\text{Rb}/dt = -d^{87}\text{Sr}/dt$, et si le système est clos, les points représentatifs de la roche et de ses minéraux évoluent sur des droites de pente -1 mais restent alignés sur une droite de pente égale à $e^{\lambda t} - 1$ et dont l'intersection avec l'axe des ordonnées est le rapport $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$: cette droite est appelée *droite isochrone*.



Graphique explicatif du principe de la méthode radiochronologique $^{87}\text{Rb} - ^{87}\text{Sr}$

2. On déduit du raisonnement précédent une méthode de résolution : dans un diagramme $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = f(^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr})$, si on observe un alignement des points représentatifs des rapports isotopiques mesurés dans des échantillons supposés co-génétiques, ce qui constitue un test fondamental de l'application de la méthode, on peut à la fois déterminer l'âge de la roche et le rapport $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$.

L'application de cette méthode à l'exemple fourni posait une difficulté sous la forme d'une absence d'alignement simple des points représentatifs des données.



Graphique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ // $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$

Les candidats devaient se laisser guider par le questionnaire pour utiliser l'alignement le mieux contraint : l'alignement 1 sur le graphique ci-dessus et discuter la nature de l'évènement tectonique daté d'environ 170 ± 10 millions d'années qui aurait pu jouer un rôle dans la mise en place de ces minéralisations uranifères remplissant des fractures.

6.ÉPREUVES ORALES

6.7 ÉPREUVES DE SPÉCIALITÉ

6.7.1 Commentaires généraux commun à toutes les options

L'épreuve orale, dite de spécialité, est exigeante et souvent redoutée. Elle recouvre les thèmes de l'option choisie par le candidat. Les champs disciplinaires concernés sont donc ceux qui doivent permettre au candidat de montrer sa valeur scientifique et ses aptitudes pédagogiques pour énoncer clairement des notions de haut niveau. Il est fondamental que la leçon s'enracine autour d'une problématique clairement énoncée et se développe autour d'un raisonnement qui utilisera le matériel, les connaissances et les données collectées dans les ouvrages comme des arguments - des outils - au service d'une démarche.

Le sujet renvoie le plus souvent à des thèmes classiques connus de la majorité des candidats ; parfois il aborde un/des thème(s) à priori plus délicats à cerner, et pour lesquels les candidats estiment leurs connaissances initiales plus limitées. Paradoxalement, les candidats ont souvent moins de difficultés à traiter des leçons jugées à priori ardues que des leçons plus classiques. Leurs connaissances initiales ne pouvant servir de refuge, ils sont alors forcés de rentrer dans une démarche de raisonnement. Ce constat oblige à répéter qu'il est indispensable de prendre du recul pour construire sa leçon : il faut qu'elle soit un exposé personnel mettant en avant les qualités scientifiques et pédagogiques du candidat, et non pas ses seules capacités mnésiques. 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. Ces leçons conduisent le plus souvent à un échec à cette épreuve, alors que les entretiens révèlent que dans bon nombre de cas que les candidats avaient la capacité de mener leurs leçons autrement.

Accompagnant le titre de la leçon, des documents imposés en nombre restreint sont fournis par le jury. Ils doivent, bien sûr, être exploités au cours de l'exposé mais également aidés le candidat à mieux cerner le sujet, ou à l'orienter vers quelques aspects spécifiques mais essentiels du sujet. Une analyse rigoureuse des documents devrait donc aider le candidat à définir, au moins partiellement, la problématique de sa leçon. La disponibilité des ouvrages et des ressources bibliographiques est inégale en fonction des sujets proposés. Ceci est une raison supplémentaire pour soigner l'analyse des documents imposés, en extraire les informations pertinentes et formuler explicitement des hypothèses et/ou conclusions, trop souvent absentes. En revanche, les documents ne couvrent en général pas tous les aspects du sujet. L'intégralité de l'exposé ne peut donc pas être construite qu'autour des seuls thèmes que les documents permettent d'aborder. Il revient donc au candidat de compléter l'illustration de sa leçon par du matériel et/ou expérimentations complémentaires. Le matériel demandé doit être exploité avec la même rigueur que le matériel imposé. Ces étapes sont très clairement prises en compte dans l'évaluation de la leçon par le jury. Ainsi, les candidats doivent essayer d'appuyer et illustrer leurs propos à partir d'observations argumentées sur du matériel biologique ou géologique. Les observations sur du matériel sont trop rares. L'observation directe d'un objet plutôt que sa présentation sous forme d'image doit être privilégiée. Prendre l'initiative de sortir, 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 réel 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...). Il rappelle que les sciences naturelles basent leur démarche sur l'analyse du réel. Il se montre donc sévère quand un candidat délaisse le matériel frais ou interprète le réel à la lumière d'une idée théorique au lieu du contraire.

Au cours de la leçon, la démarche scientifique doit s'appuyer sur une analyse rigoureuse des objets et expériences proposés par le jury et/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 un prétexte pour exposer des généralisations et des modèles théoriques copiés dans des ouvrages, et donc écrit dans un autre contexte que celui de la leçon. Trop souvent aussi, la présentation de la théorie précède l'exploitation des documents, ce qui est contraire à la démarche scientifique. La conclusion doit mettre en valeur ces idées-clés et déboucher sur une généralisation et/ou une nouvelle question. Il n'est pas nécessaire de paraphraser (oralement et/ou sous forme de schéma ou tableau bilan) tout ce qui a été dit auparavant. 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, pourquoi il délaissera volontairement certains aspects. C'est la rigueur de la démarche qui justifiera la validité de ses choix.

La leçon est suivie d'un entretien qui, dans un premier temps, a pour but de faire réfléchir le candidat sur l'exposé qu'il vient de produire, pour l'aider à découvrir d'éventuelles omissions, imprécisions ou erreurs, et l'inviter à les corriger. Il sert également à évaluer l'aptitude du candidat à raisonner et à exploiter ses connaissances en temps réel. L'interrogation est ensuite ouverte aux autres domaines de la spécialité, sous des formes très variables, qui visent à évaluer les connaissances du candidat dans le secteur de spécialité, sa culture générale en rapport avec le domaine de spécialité ainsi que ses aptitudes à construire un raisonnement logique. Il est à noter que l'entretien peut porter sur des parties du programme spécifique.

6.7.2 Liste des leçons de spécialité de la session 2010

6.7.2.1 Leçons d'option du secteur A

Adhérence et migration cellulaire
Détermination et différenciation du sexe chez les mammifères
L'utilisation de la transgénèse pour l'étude des pathologies humaines
La cellule et l'eau
La gastrulation des amphibiens: bases moléculaires et mécanismes cellulaires.
La méiose et ses conséquences
La métamorphose des amphibiens: aspects cellulaires et moléculaires
La mitochondrie des cellules animales
La pression artérielle, une variable régulée
La production de mouvement par les cellules
La régulation de la glycémie chez l'Homme
La réponse immune à anticorps
La spermatogenèse chez les Mammifères
La thérapie cellulaire : méthodes et applications
La thérapie génique : attentes et difficultés
L'activité cardiaque
L'activité enzymatique
L'adhérence cellulaire
Le complexe hypothalamo-hypophysaire
Le glucose dans l'organisme humain
Le renouvellement tissulaire
Le rôle du calcium dans les cellules musculaires
le transfert d'information génétique chez les bactéries
Les bases cellulaires du fonctionnement cardiaque
Les canaux membranaires
Les cellules excitables
Les cellules souches dans l'organisme humain
Les chromosomes sexuels
Les diabètes sucrés
Les fonctions de l'hémoglobine humaine
Les hormones: de leur synthèse à leur dégradation
Les interactions cellulaires dans le cadre de la réponse immunitaire

Les levures : des organismes modèles en génétique
Les méristèmes des Angiospermes
Les mutations
Les outils du génie génétique
Les potentiels d'action
Les réserves énergétiques chez les Mammifères
Les risques de propagation des transgènes dans l'environnement
Les rôles de l'auxine dans la croissance des Angiospermes
Les structures protéiques et leur importance dans la physiologie cellulaire
Les types trophiques à l'échelle cellulaire
Mécanismes de formation des tumeurs
Pigments photosynthétiques et photosystèmes
Principes et apports du séquençage des génomes
Rôles des gibbérellines et des brassinostéroïdes chez les Angiospermes
Rôles et mécanismes d'actions de l'éthylène chez les Angiospermes

6.7.2.2 Leçons d'option du secteur B

Anthropisation des milieux et gestion des populations animales
Autofécondation, allofécondation
Autotrophie et hétérotrophie au carbone chez les végétaux
Bases neurophysiologiques de la perception de l'environnement chez les animaux
Biologie et physiologie des végétaux des milieux secs
Biologie, écologie et évolution des Mammifères
Choix du partenaire et sélection sexuelle chez les Vertébrés
Classifications traditionnelles & classifications évolutives
Comportement territorial
De l'induction florale à la fleur chez les angiospermes
Dépense énergétique, composition corporelle et obésité dans l'espèce humaine
Endothermie et ectothermie chez les Vertébrés
Espèces et spéciation
Importance du complexe hypothalamo-hypophysaire dans la physiologie des Mammifères
L'activité cardiaque chez l'Homme
L'autotrophie pour l'azote chez les Angiospermes
La circulation de l'eau dans la plante
La digestion, l'absorption et le transport des lipides dans l'organisme humain
La diversité des algues
La diversité des modes de vie des champignons
La fonction ovarienne chez les Mammifères
La gamétogenèse chez les Mammifères
La lumière et les végétaux (on ne traitera pas des mécanismes de la photosynthèse)
La métamorphose : transition écologique
La photosynthèse de type C3 et la nutrition carbonée chez les Angiospermes
La prédation
La recherche de la nourriture chez les animaux

La reproduction asexuée chez les végétaux : modalités et conséquences écologiques
La respiration pulmonaire chez les Vertébrés
La sélection sexuelle
La sève xylémienne et sa circulation
La variabilité intra-spécifique et son maintien
La vie de la feuille
La vie en groupe : avantages et inconvénients
La vie fixée chez les métazoaires
Le bilan hydrique chez les animaux terrestres
Le carrefour duodénal
Le chant des oiseaux : mécanismes neurophysiologiques et importance biologique
Le choix de l'habitat chez les animaux
Le passage de la mauvaise saison (hiver) chez les phanérophytes
Le rein : organe de l'équilibre hydrominéral (chez les Mammifères)
Le rôle des micro-organismes dans le cycle de l'azote
Le sexe chez les animaux
L'écholocation chez les chauve-souris
L'écosystème forestier
Les animaux et la mauvaise saison
Les appendices des Arthropodes
les besoins alimentaires de l'Homme
Les biocycles des parasites
Les espèces et leur distribution spatiale
Les innovations dans la lignée verte en liaison avec la colonisation du milieu aérien
Les interactions entre les végétaux chlorophylliens et les champignons
Les mécanismes photosynthétiques de type C4 et CAM et leur intérêt écologique
Les méristèmes
Les perturbations et la dynamique des écosystèmes
Les phylogénies et leurs utilisations
Les relations gamétophyte - sporophyte chez les embryophytes
Les relations insectes - végétaux
Les relations interspécifiques et la structure des communautés
Les réponses de l'organisme humain à l'exercice physique
Les réserves des végétaux
Les rythmes biologiques chez les organismes chlorophylliens
Les squelettes des animaux
Les stomates : interface avec l'environnement
Les successions écologiques
Les végétaux et l'altitude
L'homme et la biodiversité
Mise en place du comportement chez les animaux
Organisation sociale chez les Hyménoptères
Organisation sociale chez les Vertébrés
Parasitisme et mutualisme
Phéromones et vie sociale chez les Insectes

Polarités et symétries chez les Métazoaires
Pollen et pollinisation
Soins aux jeunes et conflits intra-familiaux (conflit parent-jeune, compétition entre les jeunes, parasitisme)
Structure et fonctions de la racine
Systèmes d'appariement chez les Mammifères et les Oiseaux
Transferts de matière et d'énergie dans les écosystèmes
Un modèle de boucle de régulation : la thermorégulation chez les Mammifères
Unité et diversité des Annélides
Unité et diversité des Arthropodes
Unité et diversité des Mollusques

6.7.2.3 Leçons d'option du secteur C

Cinématique actuelle en Méditerranée
Différents types de bassins sédimentaires d'après l'analyse de la carte géologique au millionième
Données paléontologiques et évolution
Dynamique de la chaîne alpine
Dynamique de la Terre interne
Géodynamique de la Méditerranée
Gîtes métallifères en contexte de convergence
La différenciation de la Terre
La diversité des roches magmatiques
La dynamique des éruptions volcaniques
La lithosphère
La lithosphère continentale
La lithosphère océanique
La mesure du temps en géologie
La notion d'anomalie en géophysique
La sismicité de la France dans son cadre géologique
La subduction océanique
La Terre au précambrien
La variabilité climatique naturelle au Cénozoïque
Le couplage océan atmosphère
Le manteau
Le noyau
Le système solaire
Le volcanisme cénozoïque en France métropolitaine
L'enregistrement sédimentaire des variations du niveau marin
Les énergies fossiles
Les facteurs de contrôle de la sédimentation
Les glaciations
Les grands séismes dans leurs contextes géologiques
Les informations apportées par les minéraux sur leurs conditions de formation
Les marges continentales de la France métropolitaine
Les météorites

Les méthodes d'étude du manteau et du noyau terrestre
Les mouvements verticaux de la lithosphère
Les plateformes carbonatées
Les transferts de matière du continent à l'océan
Les variations du CO₂ dans l'atmosphère terrestre : mise en évidence, causes et conséquences
Métamorphisme et déformation des roches à différentes échelles
Métamorphisme et géodynamique
Nature et structure de la lithosphère continentale à partir de la carte géologique de la France au millionième
Originalité de la Terre dans le système solaire
Origine et évolution des Hominidés
Origine et évolution des magmas basaltiques
Origine et genèse des granites
Panaches, points chauds et volcanisme associé
Rôle de la tectonique des plaques sur le climat
Rôle de la vie dans la formation des roches
Subduction et collision
Transferts thermiques et mouvements de grande échelle dans les enveloppes du globe
Variation de la biodiversité au cours du temps
Vitesse des processus géologiques

6.7.3 Commentaire particulier concernant les leçons d'option B

La leçon doit s'enraciner autour d'une problématique clairement énoncée dans l'introduction et se développer autour d'un raisonnement -une progression logique d'arguments articulés- qui utilise le matériel (celui proposé par le jury et celui demandé par le candidat), les connaissances du candidat et les données collectées dans les ouvrages comme des arguments –des outils- au service d'une démarche. Il est donc primordial que le candidat analyse rigoureusement les termes du titre de la leçon afin de dégager une problématique scientifique. Certains exposés se limitent à une juxtaposition d'idées glanées dans les ouvrages, sans qu'aucun fil directeur n'apparaisse, alors que l'entretien révèle que le candidat avait hélas les connaissances nécessaires pour élaborer un exposé logique. Afin de pouvoir les utiliser à bon escient et de manière efficace le jour J, il est fortement conseillé aux candidats de connaître les ouvrages, revues et média (y compris les vidéos) proposés dans la liste du concours, et de ne pas se limiter aux ouvrages « généralistes » comme le « Campbell », trop souvent utilisé.

Une démarche scientifique rigoureuse est attendue sur tous les sujets, y compris ceux qui touchent de près les activités humaines et font l'objet de débats dans les médias, tels la biodiversité, les OGM, l'exploitation des ressources, les variations du climat, etc. A ce niveau de recrutement, les candidats ne peuvent se contenter de descriptions journalistiques, mais doivent s'appuyer sur des arguments scientifiques concrets afin de construire un raisonnement. Certaines leçons, en particulier celles concernant le comportement animal, sont encore abordées avec une vision naïve argumentée à l'aide d'un vocabulaire et d'un point de vue superficiels, finalistes, voire anthropomorphiques et en utilisant des modèles et hypothèses théoriques soutenus à posteriori par des faits évidemment ad hoc. Un modèle ne saurait se substituer à des données concrètes : une démarche expérimentale testant des hypothèses élaborées à partir d'observations doit être constamment privilégiée. Une éventuelle formalisation théorique ne saurait venir qu'ensuite. Malgré ces réserves, le jury tient à souligner que le niveau des candidats dans le domaine de la biologie du comportement animal s'est amélioré de façon très significative. La vision de l'évolution et des mécanismes évolutifs se révèle encore trop souvent superficielle voire caricaturale, même si des progrès sensibles en la matière ont également été remarqués au cours de cette session.

La dimension pédagogique de la leçon est certaine : au-delà des qualités scientifiques du candidat, le jury cherche à savoir s'il est capable de se montrer un orateur au service de son message. Le jury a

apprécié l'attitude de la majorité des candidats, leur gestion du temps en général correcte, leur relative aisance à l'oral qui permet à la plupart d'entre eux de conserver une certaine distance vis-à-vis de leurs notes, et en général, leur assez bonne utilisation du tableau et des autres supports. Le jury rappelle qu'il prête une attention toute particulière à la tenue du tableau, à la qualité des transparents produits par le candidat, à l'utilisation et au bon réglage des appareils d'observation (mise au point, luminosité, grossissement, etc), à la pertinence des termes employés, la précision des exemples et à la richesse et la qualité de l'expression orale et écrite (orthographe et grammaire). Le jury a parfois relevé des « tics de langage » qui nuisent à la fluidité de l'exposé.

Les candidats doivent appuyer et illustrer leurs propos à partir d'observations argumentées sur du matériel biologique. Au cours de leur exposé, ils doivent exploiter sérieusement le matériel imposé ou demandé, et ne pas se contenter d'en faire une présentation rapide et superficielle. Le jury souligne l'importance de l'observation et de la démarche expérimentale et invite les candidats à manipuler avec soin pendant la leçon (dissections, EXAO, calculs, etc), de façon à bien relier les notions exposées à des objets concrets. Les observations sur du matériel frais sont encore trop rares ou maladroitement mises en oeuvre. L'observation directe d'une coupe microscopique plutôt que sa présentation sous forme d'image doit être privilégiée. Prendre l'initiative de sortir, 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 réel et l'observation du concret. Le jury déplore que de nombreux candidats préfèrent des schémas théoriques (souvent approximatifs) à du matériel frais (coupes, dissections, montage). Il rappelle que les sciences naturelles basent leur démarche sur l'analyse du réel. Il se montre donc sévère quand un candidat délaisse le matériel frais ou interprète le réel à la lumière d'une idée théorique au lieu du contraire. Présenter une seiche dans une cuvette sans la disséquer, demander une lame histologique de feuille d'élodée quand le candidat dispose d'élodée vivante est inacceptable, tout autant que de représenter un schéma théorique de cyanobactéries comme illustration d'une culture ne contenant que des algues vertes !

Comme chaque année, le jury a été frappé par la difficulté qu'éprouvent de nombreux candidats à exploiter des principes physiques, chimiques et biochimiques de base, indispensables à la compréhension au premier ordre des phénomènes biologiques abordés. Cette méconnaissance s'accompagne également de difficultés à manier les outils mathématiques les plus élémentaires. Par exemple, trop peu de candidats savent calculer une fréquence, une pression, formaliser un concept de base comme l'oxydo-réduction, ou utiliser des lois élémentaires de la thermodynamique. Le jury tient également à rappeler que des notions d'histoire des sciences font partie du programme et qu'elles sont utiles à la maîtrise de la démarche scientifique. Par ailleurs, la rigueur ne peut être respectée que si les ordres de grandeurs des objets observés en sciences de la vie et de la terre, ainsi que les unités de mesure sont maîtrisés par le candidat.

Enfin, le jury souligne des lacunes importantes dans des domaines pourtant incontournables. D'abord celui des neurosciences. Il n'est pas admissible que des candidats soient incapables de décrire l'organisation générale du cerveau humain et ses grands principes fonctionnels (comme par exemple celui du traitement des informations sensorielles). Les termes de « cortex », « thalamus », « corps calleux » n'évoquent que rarement des éléments précis. L'an prochain, le jury compte développer les interrogations dans ce domaine au regard de l'importance que celui-ci a pris en biologie. Un autre domaine négligé des candidats est celui de la biologie de la conservation. Un professeur des SV-STU doit faire preuve d'un minimum de connaissances en la matière étant donné son impact sociétal. Enfin, les candidats à l'Agrégation des SV-STU doivent avoir reçu une solide formation naturaliste. Il est pour le moins étonnant qu'aucun candidat ou presque ne sache reconnaître une hirondelle ; c'est encore plus étonnant lorsqu'un candidat affirme n'en avoir jamais vu voler ! L'an prochain, le jury compte renforcer l'évaluation des connaissances naturalistes des candidats, en particulier celles concernant les espèces les plus courantes de la faune et de la flore de France.

6.7.4 Commentaire particulier concernant les leçons d'option C

La leçon de spécialité C est proposée sous la forme d'un titre accompagné de documents et/ou matériel fournis par le jury. Après 4 heures de préparation, le candidat présente sa leçon pendant 50 minutes. La leçon est ensuite suivie d'un entretien d'une trentaine de minutes qui, dans un premier temps, revient sur le sujet de la leçon, avant d'aborder d'autres thèmes portant sur l'ensemble du secteur C.

Plusieurs écueils, rencontrés par les candidats au cours de la leçon C, ont été notés par le jury. Dans l'organisation de la leçon, le manque d'une problématique claire, posée en introduction, ne permet

que rarement la construction d'une leçon suivant un fil directeur bien identifié. Les candidats se contentent trop souvent d'un empilement de résultats, données ou modèles, sans hiérarchie claire.

De même, dans l'enchaînement des différents éléments de la leçon, les candidats ne proposent que trop rarement une approche qui prendrait en compte d'abord des observations pour proposer ensuite une explication argumentée des phénomènes observés.

Les documents proposés par le jury pour la leçon sont en nombre assez limité (de l'ordre de 3 à 5). Ils ne couvrent pas l'ensemble des thématiques abordées au cours de la leçon et doivent donc être accompagnés de matériaux, données et illustrations supplémentaires. Les documents proposés sont souvent des transparents rapportant des données géophysiques ou géochimiques, des résultats d'expériences ; ils peuvent aussi être des cartes géologiques, des échantillons de roches, des lames minces, des photos d'affleurement... Le candidat doit les présenter au jury, les interpréter et les replacer dans le contexte de la leçon pour argumenter sa démonstration. L'exercice de présentation et d'exploitation des documents permet ainsi d'évaluer conjointement les capacités d'analyse scientifique et les qualités pédagogiques.

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 en question, et en tirer rapidement les résultats principaux. Beaucoup de candidats omettent de donner des indications essentielles (origine des données, axes du graphique, ...) pour la compréhension du document. D'autres passent trop de temps à relire toutes les légendes et à essayer de retrouver leurs conclusions. Certains documents sont construits à partir de plusieurs figures, observations ou résultats, sur un ou plusieurs transparents : il est alors attendu des candidats qu'ils mettent en relation ces différentes données / figures pour parvenir à une conclusion.

Les candidats doivent compléter ces documents fournis en rajoutant des faits scientifiques et/ou matériel leur permettant d'argumenter certains aspects de la leçon. L'exploitation à bon escient de ce « matériel » choisi par le candidat lui-même est jugée très positivement, car elle permet au jury d'apprécier sa créativité. Le jury regrette que la contribution du candidat, en terme d'illustration supplémentaire, se résume trop souvent à des transparents de schémas.

Au cours du premier entretien, le jury revient sur certaines des points abordés au cours de la leçon pour obtenir des précisions et des explications. Des aspects non abordés pendant la leçon, mais dans la thématique de la leçon, peuvent aussi être discutés.

Dans la deuxième partie de l'entretien, sur d'autres thèmes du secteur C, les questions portent sur différents points du programme général. Le jury s'étonne souvent du peu d'éléments que nombre de candidats peuvent fournir quand on les interroge sur des questions scientifiques largement discutées ; comme par exemple sur les ressources énergétiques. Au cours de l'entretien, les candidats peuvent être également amenés à raisonner sur des observations, résultats dont ils n'ont aucune connaissance préalable.

6.8 ÉPREUVES DE CONTRE-OPTION

6.8.1 L'épreuve orale 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).

6.8.1.1 Le déroulement de l'épreuve

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. 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, éventuellement un ou plusieurs montages expérimentaux. A l'issue des 4 heures de préparation, le candidat expose pendant 40 minutes devant une commission de 4 personnes.

Dès la fin de l'exposé, l'interrogation a lieu en trois temps. Un premier échange de 5 minutes, conduit par le concepteur du sujet, porte sur le contenu de la leçon. Une deuxième interrogation de 10 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 10 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 pas. L'objectif de ce questionnement est de s'assurer que le candidat a acquis une bonne compréhension globale des différents aspects du sujet proposé.

La deuxième interrogation s'écarte de l'exposé et explore d'autres domaines du secteur. L'interrogateur s'efforce généralement de prendre appui sur un ou plusieurs points présentés dans la leçon pour élargir son questionnement. 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 (électronographie, résultat d'expérience, photographie) 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.

Le questionnement dans les deux contre-options est aussi l'occasion d'aborder les questions d'actualité, qui ne sont pas forcément les mêmes d'une année sur l'autre. Cela permet au jury de s'assurer que le candidat est informé de grandes problématiques de société liées au secteur considéré.

L'oral de contre-option est donc une épreuve qui nécessite une concentration permanente, une bonne réactivité et de solides connaissances générales en lien avec les problématiques sociétales actuelles liées aux Sciences de la Vie et de la Terre, qualités appréciées chez un futur enseignant.

6.8.1.2 Constats et conseils

Le jury a assisté à quelques leçons dogmatiques, très théoriques et sans démarche démonstrative. Ce type d'exposé, qui ne constitue heureusement pas la majorité, doit être proscrit. Les connaissances actuelles en sciences de Vie, de la Terre et de l'Univers reposent sur des faits d'observation, des relevés de mesures, des expériences. Il est donc important que le futur enseignant

intègre cette démarche dans la conception de ses leçons. Ainsi, des expériences, des montages ou des manipulations, mêmes 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. Par exemple, dans le secteur A, un sujet qui traite de la communication hormonale doit certes décrire les mécanismes moléculaires de l'action hormonale mais aussi s'intéresser à la problématique de cette communication: quel est le messenger ? Quel est le message ? Comment ce message est-il codé ? En quoi cette communication permet-elle un fonctionnement intégré des cellules de l'organisme ?

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.

6.8.1.3 Quelques particularités propres à chaque secteur

Secteur A

Dans le secteur A, le jury constate parfois que les schémas réalisés au tableau ne sont pas assez figuratifs. Les schémas fonctionnels peuvent être réalisés sous formes de « boîtes » reliées entre elles par des flèches dont la direction et le sens explicitent un type de relation donné. Cependant, il est bien que ces représentations s'appuient, autant que faire se peut, sur une réalité morphologique, anatomique ou histologique.

D'autre part, certains exposés sont trop souvent dogmatiques ou théoriques et ne prennent pas assez appui sur le réel. Les candidats donnent le sentiment que « la réalité doit ressembler aux ouvrages ! ». Lors du second entretien, qui prend souvent appui sur un document, les candidats mettent toujours un certain temps avant « d'entrer » dans le sujet. Il est important de rester attentif, de garder sa lucidité face aux questions afin de révéler à la fois ses connaissances mais aussi sa capacité de raisonnement.

Le jury a toutefois assisté à de bonnes leçons, présentées de façon dynamique, construites de façon méthodique en s'appuyant sur des montages, des expériences ou des coupes.

Secteur B

Malgré une hétérogénéité réelle, de nombreux candidats présentent des leçons de bon niveau scientifique, bien illustrées et basées sur une démarche démonstrative. Cependant une constante persiste: l'absence d'utilisation de matériel frais ou de petits montages utilisant du matériel frais. Quand des dissections sont réalisées, elles sont le plus souvent réalisées à sec et ne sont absolument pas démonstratives. Le jury insiste sur la nécessité de baser ses constats quand cela est possible sur des expériences et manipulations simples utilisant du matériel frais! De futurs professeurs de biologie ne sauraient se contenter de montrer des schémas de livres ou de simplement illustrer leurs cours de photographies.

D'une manière générale les candidats témoignent d'une bonne réactivité au cours des entretiens dans la contre-option b. Leur culture naturaliste est correcte, les bases de la physiologie des organismes et les adaptations aux milieux de vie sont maîtrisées et pour certains les concepts en écologie et évolution sont connus et relativement compris. Par contre, les apports de Darwin, la construction de la théorie de l'Evolution ainsi que les bases du fonctionnement des écosystèmes sont en général peu maîtrisés.

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.

Comme dans toute discipline naturaliste, le jury est sensible à une démarche fondée sur l'observation et l'analyse d'objets réels en priorité. Nous regrettons malheureusement fréquemment l'absence d'échantillons, de cartes ou de photographies présentées en accompagnement. Il est dommage également d'utiliser des transparents « artificiels » lorsque les données sont facilement accessibles avec des documents « bruts ». Par exemple, il est plus judicieux d'utiliser la carte UNESCO des fonds océaniques plutôt qu'un transparent de cartographie des anomalies magnétiques. De même, trop peu de candidats s'appuient sur la carte de France au millionième, pourtant utilisable avec la majorité des leçons posées. Les échantillons de roches sont trop souvent montrés du bout du doigt, sans analyse approfondie. 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.

Pour compléter les illustrations, les candidats ont la possibilité de demander des images numériques, fournies par les préparateurs, qu'un vidéoprojecteur peut retransmettre à tout le jury.

En fin de leçon, il est très judicieux de laisser au tableau un schéma bilan, construit si possible au fur et à mesure de l'exposé.

La conclusion sert enfin, non pas à lister à nouveau les parties du sujet, mais à prendre du recul sur ce qui a été fait, et proposer un prolongement en guise d'ouverture.

6.8.2 Listes des leçons de contre-option de la session 2010

6.8.2.1 Leçons de sciences de la Terre et de l'Univers (candidats des secteurs A et B)

Accumulation sédimentaire et géodynamique

Aléa et risque sismique

Cadre géodynamique et évolution des bassins sédimentaires

Cadre géodynamique et évolution des bassins sédimentaires

Chaîne andine et chaîne alpine

Chronologie absolue : principes et applications

Chronologie relative : principes et applications

Cinématique des plaques lithosphériques

Circulations atmosphérique et océanique

Comportement rhéologique des matériaux géologiques et structures associées

Crise Crétacé-Tertiaire: faits géologiques et discussions

Croûte océanique et croûte continentale

Déformation ductile et déformation cassante

Du plancton à la roche

Du plancton à la roche

Energie solaire et bilan énergétique de la Terre

Erosion et altération des continents

Evolution de la biosphère et coupure des temps géologiques

Evolution de la biosphère et coupure des temps géologiques

Exploitation et protection des ressources en eau

Extension cénozoïque en France métropolitaine

Formation des enveloppes terrestres

Formation et évolution d'une chaîne de collision

Genèse et évolution des magmas

Géologie de l'Europe à partir de supports cartographiques au choix du candidat
Géologie de l'océan Atlantique
Géologie de l'océan Pacifique
Glaciers et sédiments associés
Gravimétrie et structure du globe à différentes échelles
Importance de la convection en géodynamique interne et externe
Influence de la lithologie et du climat sur le modelé des paysages
La biosphère au Paléozoïque
La biostratigraphie
La collision continentale
La collision continentale à partir de l'exemple de l'Himalaya
La collision continentale à partir de l'exemple des Alpes
La croûte océanique : structure et mise en place
La déformation cassante
La différenciation magmatique
La formation des Alpes
La fusion partielle de la croûte continentale
La genèse des magmas dans leur contexte géodynamique
La lithosphère : propriétés thermiques et mécaniques
La lithosphère continentale
La lithosphère océanique
La mobilité verticale de la lithosphère
La Pangée
La reconstitution des paléoenvironnements continentaux
La reconstitution des paléoenvironnements marins
La reconstitution d'un paléoenvironnement au choix du candidat
La rythmicité dans les processus sédimentaires
La rythmicité dans les processus sédimentaires
La sédimentation biogène
La sédimentation chimique
La sédimentation en domaine océanique
La sédimentation sur les marges passives
La Terre au Précambrien
La Terre comparée aux autres planètes telluriques
Le champ magnétique terrestre : origine et évolution
Le cycle externe de l'eau
Le cycle externe de l'eau
Le magmatisme d'origine mantellique
Le magmatisme lié à la formation et à l'évolution des chaînes de montagnes
Le métamorphisme : marqueur géodynamique
Le métamorphisme lié à la formation des Alpes
Le paléomagnétisme : marqueur de la géodynamique océanique et continentale
Le relief de la Terre
Le volcanisme dans les DOM et sa signification géodynamique
Le volcanisme tertiaire et quaternaire en France métropolitaine

L'échelle des temps géologiques
L'énergie solaire reçue par la Terre : devenir et effets
L'érosion des continents et la sédimentation terrigène
Les basaltes
Les bassins sédimentaires observés sur la carte de France au millionième dans leur cadre géodynamique
Les bioconstructions carbonatées
Les courants océaniques
Les crises biologiques dans l'histoire de la Terre
Les cycles du carbone
Les différents types de marges continentales
Les dorsales océaniques
Les dynamismes éruptifs
Les échanges océan - atmosphère
Les enregistrements des paléoclimats
Les glaciations
Les grandes accumulations sédimentaires détritiques
Les grandes étapes de la formation du système solaire
Les grandes lignes de l'histoire géologique des Pyrénées à partir de cartes géologiques au choix du candidat
Les grandes lignes de l'histoire géologique du Bassin Parisien à partir de cartes géologiques au choix du candidat
Les grandes lignes de l'histoire géologique du Massif Armoricaïn à partir de cartes géologiques au choix du candidat
Les grandes lignes de l'histoire géologique du Massif Central à partir de cartes géologiques au choix du candidat
Les grandes lignes de l'histoire géologique du Massif Central paléozoïque à partir de cartes géologiques au choix du candidat
Les grands cycles orogéniques à partir de la carte de France au millionième
Les granitoïdes
Les marges actives
Les marges continentales de la France métropolitaine
Les marges passives
Les marqueurs de la cinématique des plaques à différentes échelles de temps
Les marqueurs géologiques et géochimiques des glaciations
Les métamorphismes liés au cycle alpin en France
Les météorites
Les modifications anthropiques des enveloppes externes
Les nappes d'eau souterraines : ressources en eau, sources d'énergie
Les ophiolites
Les planètes du système solaire
Les ressources énergétiques du sous-sol
Les ressources énergétiques fossiles
Les rifts continentaux
Les séries magmatiques
Les structures géologiques en zone de convergence
Les variations climatiques à différentes échelles de temps
Les variations du niveau marin
L'estimation des conditions de pression et de température dans les roches métamorphiques

L'expansion océanique
L'expansion océanique
Mobilité horizontale des continents au cours du Phanérozoïque
Mobilité horizontale et verticale de la lithosphère océanique
Originalité de la Terre dans le système solaire
Origine et évolution des Hominidés
Paléomagnétisme et cinématique lithosphérique
Récifs et sédimentation péri-récifale
Réservoirs, flux et processus impliqués dans le cycle de l'eau
Rifting et ouverture océanique
Rôle de la vie dans la genèse des roches
Sismologie et structure du globe
Structure et composition de la Terre
Transferts de matières du continent à l'océan
Utilisation biostratigraphique et paléoécologique des fossiles
Utilisation des microfossiles en géologie
Utilisation des roches dans la construction

6.8.2.2 Leçons de biologie (candidats du secteur C)

Escherichia coli : un organisme modèle en biologie moléculaire
Excrétion et milieu de vie
La biodiversité
La cellule et l'eau
La circulation sanguine chez les Mammifères
La classification phylogénétique du vivant
La communication animale
La communication hormonale dans l'espèce humaine
La dépense énergétique chez l'Homme
La méiose et ses conséquences
La nutrition azotée des végétaux
La nutrition carbonée des autotrophes
La perception de l'environnement par les animaux
La reproduction chez les embryophytes
La reproduction monoparentale
La vie dans la zone intertidale
La vie fixée chez les animaux
La vie sociale chez les hyménoptères
La vision dans l'espèce humaine
L'adaptation des embryophytes au milieu aérien
L'ATP
Le brassage génétique chez les procaryotes
Le développement post-embryonnaire ds angiospermes
Le devenir des aliments : de l'ingestion à la prise en charge par le sang
Le flux hydrique chez les Angiospermes

Le fonctionnement du néphron dans l'espèce humaine
Le passage de la mauvaise saison chez les animaux
Les animaux et le froid
Les bases de la réplication de l'information génétique
Les cellules cancéreuses.
Les cellules excitables
Les compartiments cellulaires
Les défenses immunitaires chez les mammifères
Les formes d'énergie dans les cellules
Les interactions plantes - champignons
Les levures
Les mutations
Les pigments des végétaux
Les réserves chez les angiospermes
Les rôles biologiques des lipides
Les surfaces d'échanges chez les végétaux terrestres
L'hématie: une cellule hyperdifférenciée
L'organisation de la cellule végétale
Mitochondries et chloroplastes
Mitose et méïose
Obtention et utilisations des plantes transgéniques
Qu'est-ce qu'un fruit?
Qu'est-ce qu'un virus ?
Recherche de nourriture et prise alimentaire chez les Insectes
Réponses de l'organisme humain à l'exercice musculaire
Stratégies et comportement reproducteurs chez les Vertébrés