

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

.....

Direction des Personnels Enseignants

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

Concours externe

**RAPPORT DE ANDRÉ SCHAAF
PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS
PRÉSIDENT DU JURY**

2007

CENTRE NATIONAL DE DOCUMENTATION PÉDAGOGIQUE

1. PRESENTATION DU CONCOURS

1.1 Le Jury

1.2 Organisation du concours

1.3 Déroulement du concours 2007

1.1 - LE JURY

Liste des membres du Jury (arrêté du 22 décembre 2006)

M. André SCHAAF	Professeur des Universités de classe exceptionnelle / Académie de Strasbourg / Président
M. Gérard BONHOURS	Inspecteur général de l'Éducation nationale / Vice -Président
M. Jean – Marc DEMONT	Professeur de chaire supérieure / Académie de Paris / Vice-président
M. Bernard AUGERE	Professeur de chaire supérieure / Académie de Toulouse.
M. Michèle BEAUDRY	Professeur des Universités 2 ^{ème} classe / Académie de Paris
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
Mme Marie CHARPIN	Maître de Conférences / Académie de Clermont Ferrand
M. Marc CORIO	Maître de Conférences / Académie de Bordeaux
M. Michel CORSINI	Maître de conférences des Universités / Académie de Nice
M. Thierry DARRIBERE	Professeur des Universités 1 ^{ère} classe / Académie de Paris
M. Patrick DE WEVER	Professeur des Universités de classe exceptionnelle / Académie de Paris
Mme Claude FARISON	Professeur agrégée de classe normale / Académie de Lyon
Mme Muriel GARGAUD	Chargée de recherche au CNRS / Académie de Bordeaux
M. François GAUER	Professeur des Universités 2 ^{ème} classe / Académie de Strasbourg
M. Sylvain GLEMIN	Maître de conférences des Universités / Académie de Montpellier
M. Stephane GUELLEC	Professeur agrégé de classe normale / Académie de Versailles
M. Pascal GUILLOTTE	Professeur agrégé de classe normale / Académie de Caen
Mme. Françoise HERDENBERGER	Maître de Conférences des Universités / Académie de Reims
Mme Sylvie HURTREZ-BOUSSES	Maître de Conférences des Universités / Académie de Montpellier
M. Christian JAY-ALLEMAND	Professeur des Universités 2 ^{ème} classe / Académie de Montpellier
M. Johan KRAUSS	Professeur agrégé de classe normale / Académie de Nancy

M. Jean Marc LARDEAUX	Professeur des Universités 1 ^{ère} classe / Académie de Nice
Mme Thierry LAUNAY	Maître de Conférences des Universités / Académie de Paris
M. Philippe LESUR	Professeur de chaire supérieure / Académie de Paris
M. Nicolas MATHEVON	Professeur des Universités 2 ^{ème} classe / Académie de Lyon
M Stéphane MAURY	Maître de Conférences des Universités / Académie d'Orléans
M Bernard MERCIER DE LEPINAY	Chargé de recherche au CNRS / Académie de Nice
M Gilles MERZERAUD	Maître de Conférences des Universités / Académie de Montpellier
M. Guy MONNIAUX	Professeur de chaire supérieure / Académie d'Orléans-Tours
Mme Anne-Hélène MONTSORO-BURQ	Maître de Conférences des Universités / Académie de Paris
Mme Cécile NOIRET	Professeur agrégé de classe normale / Académie de Reims
Mme. Carole PETIT	Maître de Conférences des Universités / Académie de Paris
Mme Laurence POITOU	Professeur agrégé de classe normale / Académie de Rennes
M. Jean- Alain POULIZAC	Professeur agrégé de classe normale / Académie de Rennes
Mme Bénédicte RULLIER	Professeur de chaire supérieure / Académie de Paris
Mme Chrystèle SANLOUP	Maître de Conférences des Universités / Académie de Paris
M. Jean François STEPHAN	Professeur des Universités 1 ^{ère} classe / Académie de Nice
Mme Véronique THOR	Professeur de chaire supérieure / Académie de Paris
M. Hervé TOSTIVINT	Professeur agrégé de classe normale / Académie de Rouen
M. Frédéric TULLY	Maître de Conférences / Académie de Paris
Mme Muriel UMBHAUER	Professeur des Universités 2 ^{ème} classe / Académie de Paris
M. Catherine VARLET- COEFFIER	Professeur de chaire supérieure/ Académie de Caen

Participation aux épreuves et/ou auteurs du rapport

Épreuves écrites :

Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A

Augere Bernard, **Beudry** Michèle, **Darribere** Thierry , **Demont** Jean -Marc, **Hedenberger** Françoise, **Jay-Allemand** Christian, **Launay** Thierry, **Maury** Stéphane, **Montsoro-Burq** Anne-Hélène, **Noiret** Cécile , **Poitou** Laurence, **Poulizac** Jean-Alain, **Tostivint** Hervé, **Umbhauer** Muriel.

Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B

Bonhoure Gérard , **Cariou** François, **Charpin** Marie, **Corio** Marc, **Gauer** François, **Glemin** Sylvain, **Guillotte** Pascal, **Hurtrez** Sylvie, **Krauss** Johan, **Mathevon** Nicolas, **Monniaux** Guy, **Rullier** Bénédicte , **Thor** Véronique, **Tully** Frédéric, **Varlet-Coeffier** Catherine .

Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C.

Benzerara Karim, **Bopp** Laurent, **Corsini** Michel, **De Wever** Patrick, **Farison** Claude, **Gargaud** Muriel, **Guellec** Stéphane, **Lardeaux** Jean-Marc, **Lesur** Philippe , **Mercier de Lepinay** Bernard, **Merzeraud** Gilles, **Petit** Carole , **Sanloup** Chrystèle, **Schaaf** André, **Stephan** Jean-François.

Épreuves orales:

Secteur A : biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire; leur intégration au niveau des organismes.

. **Augere** Bernard, **Beudry** Michèle, **Darribere** Thierry , **Demont** Jean -Marc, **Jay-Allemand** Christian, **Launay** Thierry, **Maury** Stéphane, **Poulizac** Jean-Alain, **Umbhauer** Muriel.

Secteur B : biologie et physiologie des organismes et biologie des populations en rapport avec le milieu de vie.

Bonhoure Gérard , **Cariou** François, **Charpin** Marie, **Corio** Marc, **Gauer** François, **Glemin** Sylvain, **Hurtrez** Sylvie, **Mathevon** Nicolas, **Rullier** Bénédicte , **Thor** Véronique, **Tully** Frédéric .

Secteur C : sciences de la Terre et de l'Univers, interactions entre la biosphère et la planète Terre.

Benzerara Karim, **Bopp** Laurent, **Corsini** Michel, **De Wever** Patrick, **Gargaud** Muriel, **Guellec** Stéphane, **Lardeaux** Jean-Marc, **Lesur** Philippe , **Merzeraud** Gilles , **Sanloup** Chrystèle, **Schaaf** André.

Commentaire d'ensemble et réalisation du rapport :

Schaaf André, **Bonhoure** Gérard et **Demont** Jean- Marc.

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 programme 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](#).

Art. 3. - Les dispositions relatives à la section Sciences de la Vie et de la Terre figurant à l'annexe I de l'arrêté du 12 septembre 1988 susvisé sont remplacées par les dispositions ci-après :

Section Sciences de la Vie - Sciences de la Terre et de l'Univers. Les modalités spécifiques du concours 2007 découlent de l'arrêté publié dans le JO N°153 du 3 juillet 2004.

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.

A. 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).

B. - Epreuves 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 les programmes des connaissances générales ou 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 ou 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).

Ces modalités sont résumées dans le tableau 1

	Durée	Coefficient	Nombre de points
1. Epreuves écrites d'admissibilité			
1.1. Epreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A	5h	2	40
1.2. Epreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B	5h	2	40
1.3. Epreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C	5h	2	40
Total des épreuves écrites			120
2. Epreuves d'admission			
2.1 Epreuves de travaux pratiques			
2.1.1 Epreuve d'option (secteur A, B ou C suivant le choix du candidat)	6h	3	60
2.1.2 Epreuve de contre-option (portant sur le programme général des deux autres secteurs)	4h	2	40
Total des épreuves pratiques			100
2.2 Epreuves orales			
2.2.1 Epreuve d'option (secteur A, B ou C suivant le choix du candidat)	4h + 50 min.+ 30 min.	5	100
2.2.2 Epreuve 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 2007

1.3.1 Le calendrier.

Admissibilité : Epreuves écrites

- lundi 23 avril 2007 : Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A
- mardi 24 avril 2007 : Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B
- mercredi 25 avril 2007 : Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C

Les résultats de l'admissibilité ont été publiés le jeudi 31 mai 2007.

Admission : Épreuves pratiques

- vendredi 15 juin 2007 : réception des candidats et tirage au sort des sujets d'oral.
- samedi 16 juin 2007 : travaux pratiques portant sur le programme de spécialité (secteur A, ou B, ou C)
- dimanche 17 juin 2007 : travaux pratiques portant sur le programme général des deux autres secteurs.

Admission : Épreuves orales

- Du samedi 23 juin au jeudi 12 juillet 2007.

Les résultats de l'admission ont été publiés le jeudi 12 juillet 2007.

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 (Mme Guidon, 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.Verhaeghe, Mr Vergnaud, Mme Guillemoto, Mme Domingues).

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 initiale), de Monsieur Gard (Intendant), de Monsieur Six (Maîtres de conférences en Biologie), de Monsieur Rulle et Monsieur Naquin (Sécurité/Accès), de Madame Garnier (Réservation des salles). Il en fut de même au Lycée Saint-Louis grâce au soutien de Monsieur Lafay (Proviseur de l'établissement), de Monsieur Reynaud (CASU), de Madame Peyroche (Adjoint d'Intendance). Ces épreuves ont pu être réalisées grâce au concours du Professeur Jacques Castanet (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 Madame Monange (Responsable du Service Education) Le bon déroulement de ces épreuves a aussi été rendu possible grâce à l'aide précieuse de personnes étrangères au concours proprement dit, en particulier Monsieur Palaz (Aumonier du lycée Saint Louis). Les microscopes polarisants ont été aimablement prêtés par les établissements Sordalab (Sylvain Morel, Directeur ; Jean Marie Moreau et Pierrick Maury, consultants régionaux).

Les candidats ont pu bénéficier d'un matériel homogène d'électrophorèse grâce à l'aide de divers établissements : le lycée Louis Le Grand (Responsable de laboratoire : Madame Claire Petot), le lycée Henri IV (Responsable de laboratoire : Monsieur Eric Périlleux), le lycée Janson de Sailly (Responsable de laboratoire : Monsieur Patrick Thommen), et le lycée Jean Rostand de Villepinte (Responsable de laboratoire : Mr Lalevée ; Intendante : Mme Robert-Cyrille).

Les épreuves orales se sont déroulées au Lycée Saint Louis (44 boulevard Saint Michel 75006 PARIS) grâce à l'accueil de Monsieur Lafay, Proviseur de l'établissement et au précieux concours de Monsieur Guipont, Proviseur adjoint, de Monsieur Reynaud, CASU, de Madame Peyroche, Adjoint d'Intendance, et de Madame Mallet, Agent chef. Une aide en matériel vidéo 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 Riodin Tama, Mr Lefebvre André, Mr Mallet Patrick, Mr Ardiller Pierre, Mr Moreau Franck. Par ailleurs, un nombre très important d'ouvrages

a été généreusement offert par quelques maisons d'édition et sociétés : De Boeck, Vuibert, l'INRA, la CCGM et la SGF. Le lycée Louis Le Grand (Responsable de laboratoire : Madame Claire Petot), le lycée Henri IV (Responsable de laboratoire : Monsieur Eric Périlleux) et le lycée Arago (Madame le Proviseur Mme Ruben) ont prêté 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.

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, huit personnels du Département d'enseignement de Biologie de l'Université Pierre et Marie Curie (75005 Paris) :

BARBERA Corinne : Adjoint Technique de Laboratoire (AJTL)

BIDART Jean-Marc : Agent Technique de Laboratoire (AGTL)

DAHMANE Mustapha : Technicien de Laboratoire (TL)

GERVI Isabelle : Assistant ingénieur (AI)

HORTAULT Gil Adjoint Technique (ADJT)

REKAB Tahar : Agent Technique de Laboratoire (AGTL)

- pour les travaux pratiques et les épreuves orales, 19 personnels de laboratoires travaillant dans le secteur des Sciences de la Vie et de la Terre de différents lycées, placés sous la responsabilité de Madame **JANVIER** Claudette (Technicienne de Laboratoire de classe exceptionnelle au lycée St-Louis) :

BOYER Rémy : Technicien de Laboratoire (Université Paris 8 - Saint Denis 93526)

CADOS Chantal : Aide Technique de Laboratoire (Lycée Janson de Saily 75016 Paris)

CHAREYRE Sophie : Technicienne de Laboratoire (ENCPB 75013 Paris)

DAHMANE Djamilia : Aide technique de Laboratoire (Lycée Saint Louis 75006 PARIS)

DAVION Jérôme : Technicien de laboratoire (Lycée Janson de Saily 75016 PARIS)

DRANE Michèle, Aide technique de Laboratoire (Lycée Jean Rostand 93420 VILLEPINTE)

DUFOUR Marie-Odile: Technicienne de Laboratoire (Lycée Hoche, 78000 Versailles)

EDOUARD Maria : Aide de Laboratoire (Lycée Arago, 75017 Paris)

FAUCHON René : Aide de Laboratoire (Lycée Emile Loubet– 26000 Valence).

ITOUUDJ Dalila : Aide de laboratoire (Lycée Buffon 75015 Paris)

JOVIC Margarita : Aide de Laboratoire (Lycée d'Arsonval, 94107 St Maur des Fossés)

LANGLOIS Bremcoumar : Aide de laboratoire (Lycée Lavoisier 75005 Paris)

LE BRAS Valérie: Aide Technique de Laboratoire (Lycée J. Rostand, 93420 VillepinTE)

MORIM Isabel : Aide de Laboratoire (Lycée Paul Bert, 75014 Paris)

PALEZIS Corine : Aide Technique de Laboratoire (Lycée Lamartine, 75009 Paris)

SINDE Monique Technicienne de Laboratoire (Lycée Louis le Grand 75005 Paris)

SOUEIX Yves Aide Technique de Laboratoire (Lycée C. Bernard – 75016 PARIS).

TREBEAU Armande , Aide de Laboratoire (Lycée Saint Louis, 75006 Paris)

VERNAY Nicole : Technicienne de Laboratoire de classe supérieure (Lycée Chaptal, 75008 Paris).

Cette équipe 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 St-Louis et UPMC Atrium et UPMC quai St Bernard), en particulier le samedi 16 juin 2007 de 2 séances d'épreuves pratiques consécutives, d'une durée de 6 heures chacune. De plus, elle a assuré dans un délai court (21-22 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 d'Histoire Naturelle (Madame BERAUD, Directrice du département et Monsieur JOLY) et à la participation active de :

BALLOT Laurent : Technicien Jardinier (Muséum d'Histoire Naturelle, 75005 Paris)

DOUINEAU Alain : Technicien Jardinier (Muséum d'Histoire Naturelle, 75005 Paris)

Une partie du matériel (algues unicellulaires,...) a été fournie par Mr YEPREMIAN, Département de cryptogamie du Museum d'histoire naturelle. Le secrétariat du concours a été assuré par Mademoiselle Lydie PEREZ (étudiante en Master de biologie).

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. COMMENTAIRES DU PRÉSIDENT ET DES VICE-PRÉSIDENTS

2.1 Statistiques générales du concours 2007

2.2 Évolution du nombre de postes mis au concours et des inscriptions depuis 1993

2.3 Statistiques portant sur les épreuves écrites

2.4 Statistiques portant sur les épreuves de travaux pratiques

2.5 Statistiques portant sur les épreuves orales d'admission

2.1 Statistiques générales du concours 2007

2.1.1 Des inscriptions aux admissions

	secteur A		secteur B		secteur C		TOTAL
	nombre	% du total	nombre	% du total	nombre	% du total	
candidats inscrits	865	32,00%	1280	47,30%	559	20,70%	2704
candidats présents	418	28,10%	760	51,00%	311	20,90%	1489
candidats admissibles	69	26,60%	144	55,60%	46	17,80%	259
candidats admis	31	29,52%	55	52,38%	19	18,10%	105

Tableau 1 – Des inscriptions aux admissions – concours 2007

La totalité des postes mis au concours (105) a été pourvue.

Comme les années précédentes, les harmonisations (en particulier sur les épreuves écrites) ont visé à respecter les règles de l'équité sans chercher à obtenir une répartition exactement proportionnelle à celle des candidats présents de chaque secteur.

A l'admissibilité, le secteur B apparaît cette année sur-représenté contrairement aux années 2005 et 2006 qui avaient été marquées par une forte réussite des candidats de secteur A. L'oral rééquilibre en partie ce décalage.

	Secteur A	Secteur B	Secteur C	Tous secteurs
Total du 1 ^{er} candidat admissible /120	83,76	73,64	68,86	83,76
Barre d'admissibilité				37,54
Total du premier candidat admis / 400	302,97	245,88	291,25	302,97
Barre d'admission				159,61

Tableau 2 – Totaux des premiers classés et barres

2.1.2 - Répartition par sexe

	femmes			hommes			total		
	présentes	admissibles	% adm/présents	présents	admissibles	%	présents	admissibles	% adm/présents
secteur A	281	51	18,1%	137	18	13,1%	418	69	16,5%
secteur B	538	107	19,9%	222	37	16,7%	760	144	18,9%
secteur C	193	29	15,0%	118	17	14,4%	311	46	14,8%
TOTAL	1012	187	18,5%	477	72	15,1%	1489	259	17,4%

Tableau 3 – Répartition des admissibilités par sexe

Comme les deux années précédentes, on constate que les candidates, déjà deux fois plus nombreuses que les candidats (68 % contre 32 %) réussissent également mieux leurs épreuves d'admissibilité ainsi que les épreuves d'admission puisqu'elles représentent au total un peu plus de 73% des admis.

2.1.3 - Répartition des candidats en fonction de l'âge

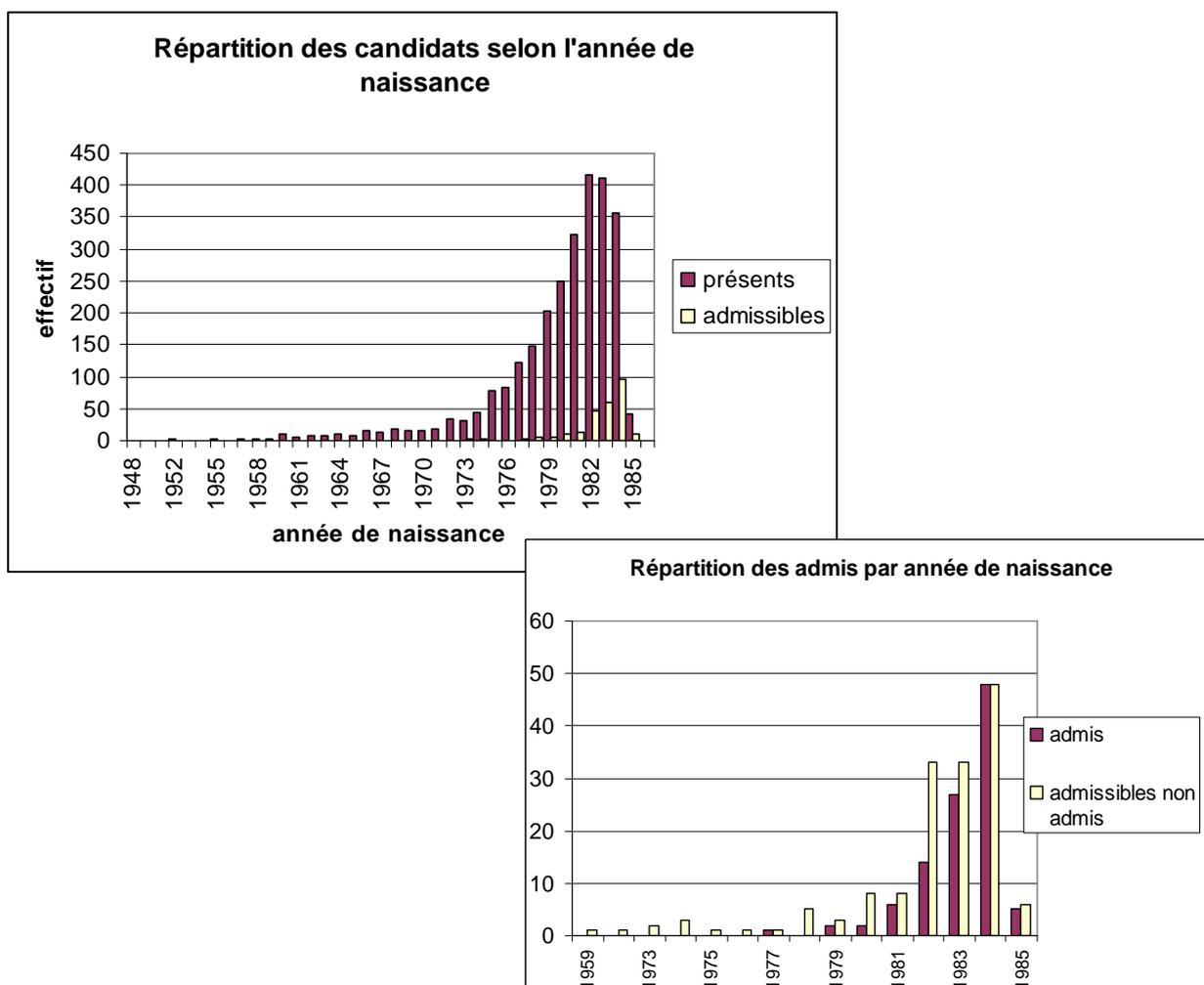


Figure 1 – Répartition en fonction de l'âge

L'âge moyen des candidats présents est de 27ans environ, celui des candidats admissibles d'un peu moins de 25 ans, celui des admis un peu moins de 24 ans. Les reçus ont tous entre 22 et 28 ans.

2.1.4 – Analyse des résultats par profession

Tableau 4 - Répartition par origine professionnelle trié par ordre décroissant des présents

PROFESSIONS	Présents	Admissibles	%
ELEVE.IUFM.DE 1ERE ANNEE	907	82	9,0%
CERTIFIE	532	13	2,4%
ETUDIANT HORS IUFM	415	117	28,2%
SANS EMPLOI	186	3	1,6%
STAGIAIRE IUFM 2E DEGRE COL/LY	164	16	9,8%
ASSISTANT D'EDUCATION	117	3	2,6%
MAITRE AUXILIAIRE	53		
CONTRACTUEL 2ND DEGRE	52		
VACATAIRE DU 2ND DEGRE	39	2	5,1%
PERS ENSEIG TIT FONCT PUBLIQUE	32	4	12,5%
ELEVE D'UNE ENS	30	18	60,0%
SALARIES SECTEUR TERTIAIRE	29		
FORMATEURS DANS SECTEUR PRIVE	20		
CADRES SECT PRIVE CONV COLLECT	17		
STAGIAIRE SITUATION 2E DEGRE	14	1	7,1%
PROFESSEUR ECOLES	11		
ENSEIGNANT DU SUPERIEUR	9		
AG NON TITULAIRE FONCT PUBLIQ	8		
CONTRACT ENSEIGNANT SUPERIEUR	6		
SURVEILLANT D'EXTERNAT	6		
VACATAIRE ENSEIGNANT DU SUP.	6		
MAITRE D'INTERNAT	5		
PERS ENSEIG NON TIT FONCT PUB	5		
PLP	5		
SALARIES SECTEUR INDUSTRIEL	5		
ENSEIG NON TIT ETAB SCOL.ETR	4		
MAIT.OU DOCUMENT.AGREE REM TIT	3		
MAITRE OU DOCUMENT. DELEGUE	3		
PERS FONCTION PUBLIQUE	3		
PROFESSIONS LIBERALES	3		
EMPLOI-JEUNES HORS MEN	2		
EMPLOI-JEUNES MEN	2		
PERS ADM ET TECH MEN	2		
VACATAIRE APPRENTISSAGE (CFA)	2		
ADJOINT D'ENSEIGNEMENT	1		
AIDES EDUCATEURS 2ND DEGRE	1		
CHAIRE SUPERIEURE	1		
CONTRACT MEN ADM OU TECHNIQUE	1		
CONTRACTUEL APPRENTISSAGE(CFA)	1		
INSTITUTEUR SUPPLEANT	1		
PERS FONCT TERRITORIALE	1		

Tableau 5 – Répartition des admis par profession

	admis	admissibles	% d'admis
ASSISTANT D'EDUCATION	0	3	0%
CERTIFIE	5	13	38%
ELEVE D'UNE ENS	16	18	89%
ELEVE.IUFM.DE 1ERE ANNEE	15	82	18%
ETUDIANT HORS IUFM	67	117	57%
PERS ENSEIG TIT FONCT PUBLIQUE	0	4	0%
SANS EMPLOI	0	3	0%
STAGIAIRE IUFM 2E DEGRE COL/LY	1	16	6%
STAGIAIRE SITUATION 2E DEGRE	1	1	100%
VACATAIRE DU 2ND DEGRE	0	2	0%
TOTAL	105	259	41%

Les répartitions par professions et par ages sont bien évidemment étroitement corrélées. On peut estimer qu'environ 80 % des candidats ont préparé spécialement le concours.

2.1.5 - Répartition des résultats par académie

Académie	inscrits	présents	admissibles	% admissibles/présents
AIX-MARSEILLE	126	52	24	46,2%
AMIENS	80	30	1	3,3%
BESANCON	51	23	2	8,7%
BORDEAUX	103	66	22	33,3%
CAEN	54	34	1	2,9%
CLERMONT-FERRAND	49	36	7	19,4%
CORSE	7	1	0	
CRETEIL-PARIS-VERSAIL.	542	295	54	18,3%
DIJON	82	49	7	14,3%
GRENOBLE	124	75	10	13,3%
GUADELOUPE	23	13	1	7,7%
GUYANE	1	0	0	
LA REUNION	53	18	1	5,6%
LILLE	180	93	4	4,3%
LIMOGES	10	2	0	0,0%
LYON	171	119	41	34,5%
MARTINIQUE	10	3	0	
MONTPELLIER	130	73	15	20,5%
NANCY-METZ	88	52	2	3,8%
NANTES	83	47	4	8,5%
NICE	69	30	0	
ORLEANS-TOURS	67	31	7	22,6%
POITIERS	64	27	3	11,1%
REIMS	45	23	1	4,3%
RENNES	158	112	19	17,0%
ROUEN	81	39	10	25,6%
STRASBOURG	102	60	16	26,7%
TOULOUSE	151	86	7	8,1%
	2704	1489	259	

Tableau 6 Résultats des admissibilités par académie

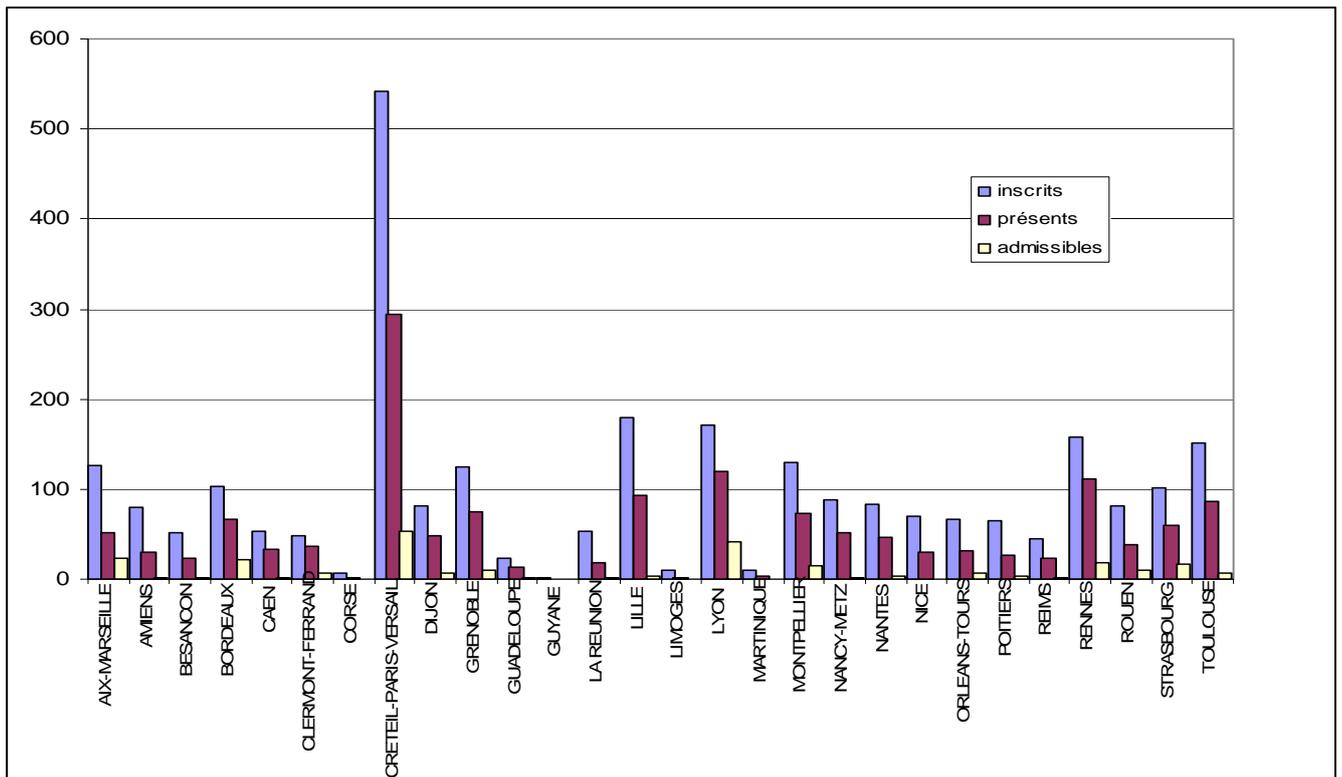


Figure 2 - Répartition globale des candidats par académie (inscrits – présents – admissibles)

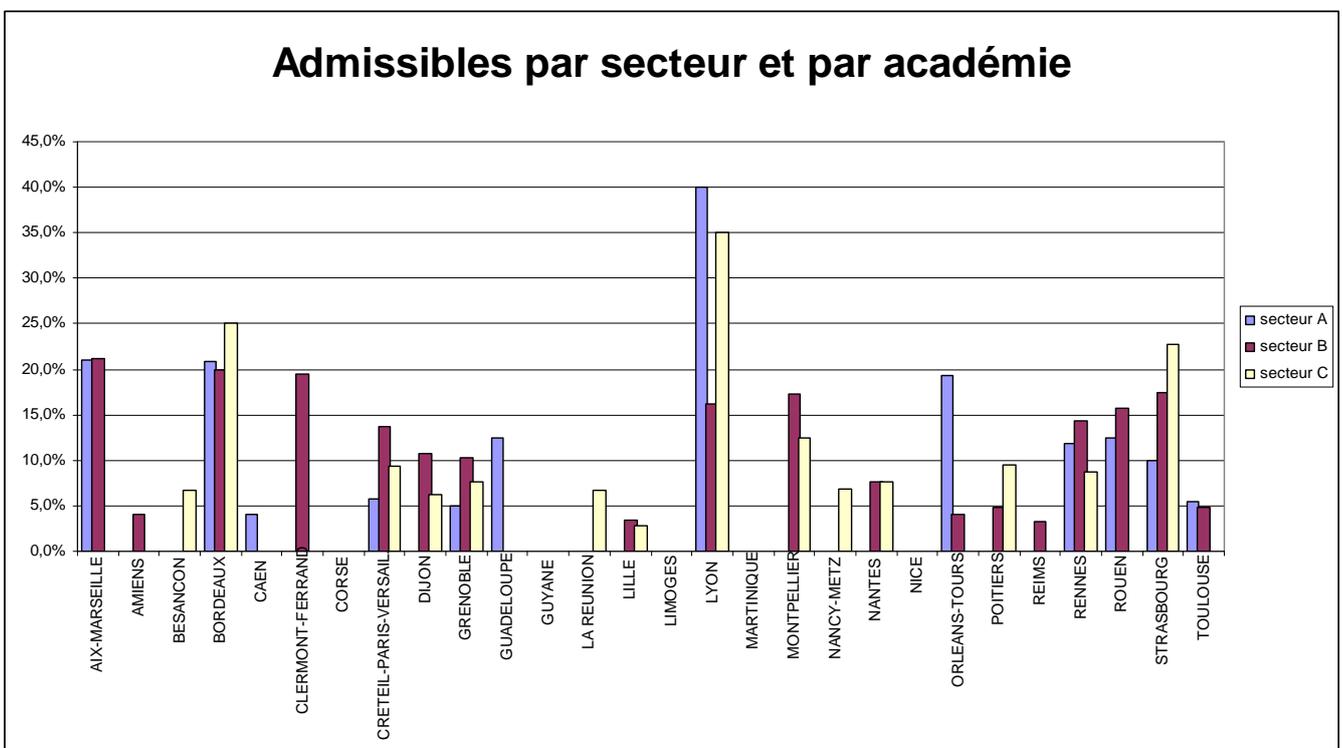


Figure 3 - Répartition des candidats admissibles par académie et par secteur (% par rapport aux présents)

académie	secteur A	secteur B	secteur C
AIX-MARSEILLE	1	3	0
BORDEAUX	4	4	2
CLERMONT-FERRAND	0	3	0
CRETEIL-PARIS-VERSAIL.	5	15	5
DIJON	0	2	0
GRENOBLE	0	4	1
LILLE	0	1	0
LYON	14	9	7
MONTPELLIER	0	8	0
NANCY-METZ	0	0	1
NANTES	0	1	0
ORLEANS-TOURS	2	0	0
REIMS	0	1	0
RENNES	2	3	2
STRASBOURG	2	1	1
TOULOUSE	1	0	0
	31	55	19

Tableau 7 - Répartition des admis par académie

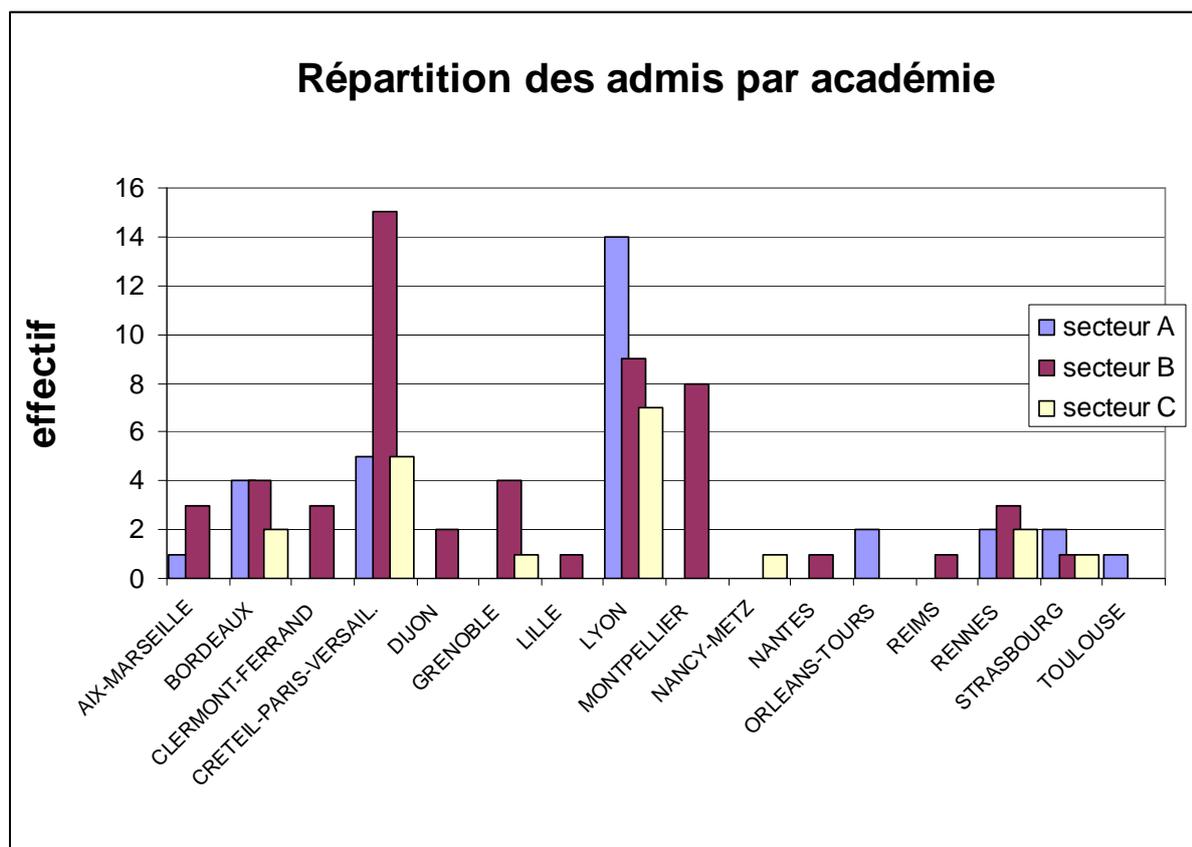


Figure 4 – Répartition des admis par académie

2.2 Évolution des inscriptions et des postes mis au concours depuis 1993

2.2.1 Évolution globale

Année	Nombre de postes mis au concours	Nombre d'inscrits	Présents	Admissibles	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	

Tableau 8 – Évolution des effectifs du concours depuis 1993

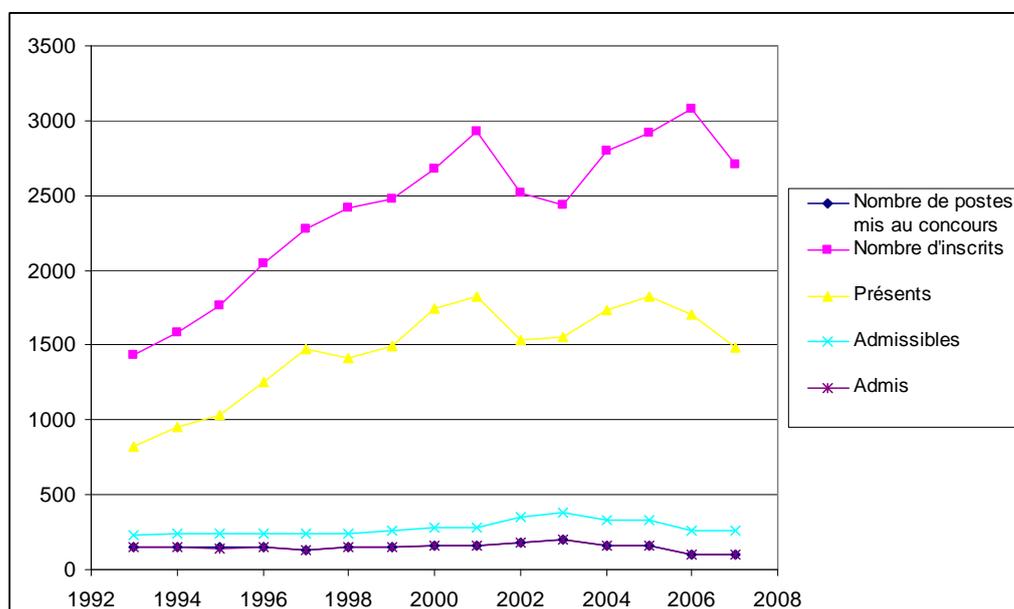


Figure 5 – Évolution des effectifs du concours depuis 1993

2.2.2 – Évolution par secteur

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
	%	34,00%	38,60%	27,40%		31,10%	41,70%	27,20%		29,50%	42,50%	28,00%	
2003	2003	805	1079	556	2440	455	735	363	1553	113	177	88	378
	%	33,00%	44,20%	22,80%		29,30%	47,30%	23,40%		29,90%	46,80%	23,30%	
2004	2004	955	1164	674	2793	517	774	405	1696	101	148	85	334
	%	34,20%	41,70%	24,10%		30,50%	45,60%	23,90%		30,20%	44,30%	25,40%	
2005	2005	991	1261	669	2921	570	916	466	1952	104	158	72	334
	%	33,90%	43,20%	22,90%		29,20%	46,90%	23,90%		31,10%	47,30%	21,60%	
2006	2006	964	1462	649	3075	461	898	348	1707	80	130	47	257
	%	31,30%	47,50%	21,10%		27,00%	52,60%	20,40%		31,10%	50,60%	18,30%	
2007	2007	865	1280	559	2704	418	760	311	1489	69	144	46	259
	%	32,00%	47,30%	20,70%		28,10%	51,00%	20,90%		26,60%	55,60%	17,80%	

Tableau 9 – Évolution de la répartition des inscriptions par secteur

La diminution du nombre d'inscrits (- 371) se répercute sur le nombre de présents aux trois épreuves en proportion tout à fait identique à celle de l'année dernière (à peu près 45% d'abandons). La proportion des candidats de secteur B baisse légèrement (- 1,6%) au profit essentiellement du secteur A (+ 1,1%). L'avenir dira s'il s'agit de l'amorce d'un rééquilibrage logique des choix privilégiant les spécialités des candidats plutôt que les choix tactiques dont il avait été fait mention dans les rapports précédents.

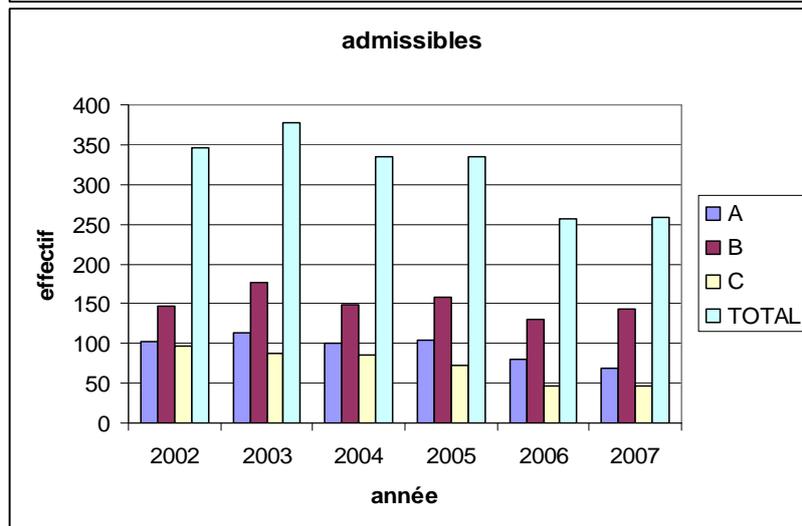
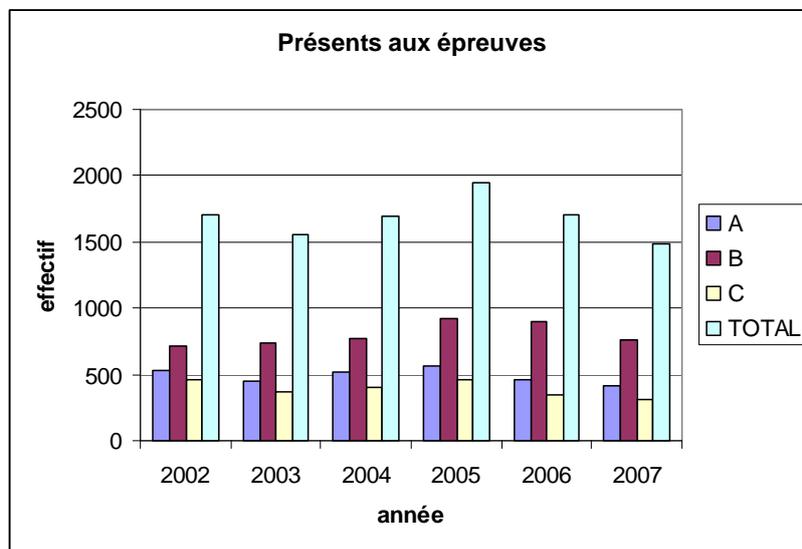
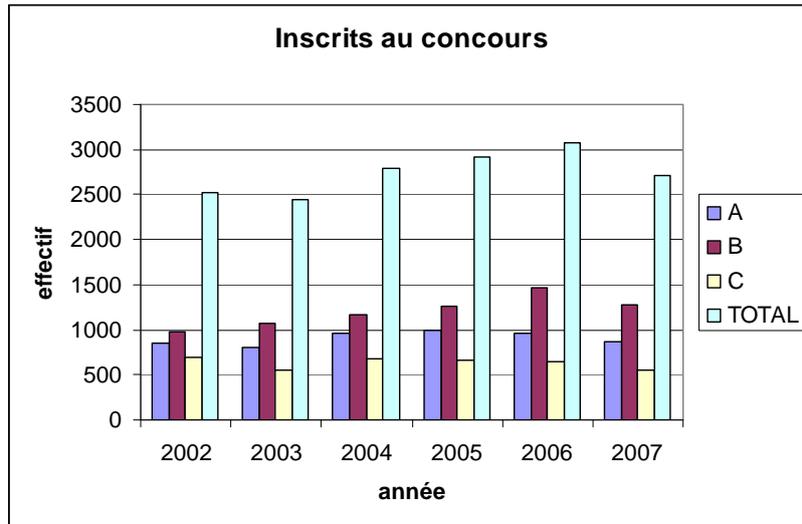


Figure 6 – Évolution des effectifs du concours depuis 2002

2.3 Statistiques portant sur les épreuves écrites

2.3.1 Résultats généraux par épreuve

	Note totale /60	Ecrit A	Ecrit B	Ecrit C
Moyenne	24,32	4,10	4,05	4,02
Médiane	21,37	3,52	3,43	3,41
Ecartype	13,83	2,60	2,78	3,00
3ème quartile	32,31	5,30	5,59	5,74
1er quartile	14,40	2,25	1,99	1,68
Maximum	83,76	16,47	18,45	16,82
Minimum	0,80	0,03	0,04	0,07

Tableau 9 - Statistiques sur les résultats des épreuves écrites – candidats présents

	Note totale /60	Ecrit A	Ecrit B	Ecrit C
moyenne	47,72	7,87	7,90	8,09
écartype	8,90	2,70	2,69	2,97
médiane	45,26	7,63	7,49	7,76
3ème quartile	52,32	9,78	9,37	10,03
1er quartile	40,79	5,96	6,08	5,86
Maximum	83,76	16,47	18,45	16,82
Minimum	37,54	2,15	2,25	0,93

Tableau 10 - Statistiques sur les résultats des épreuves écrites – candidats admissibles

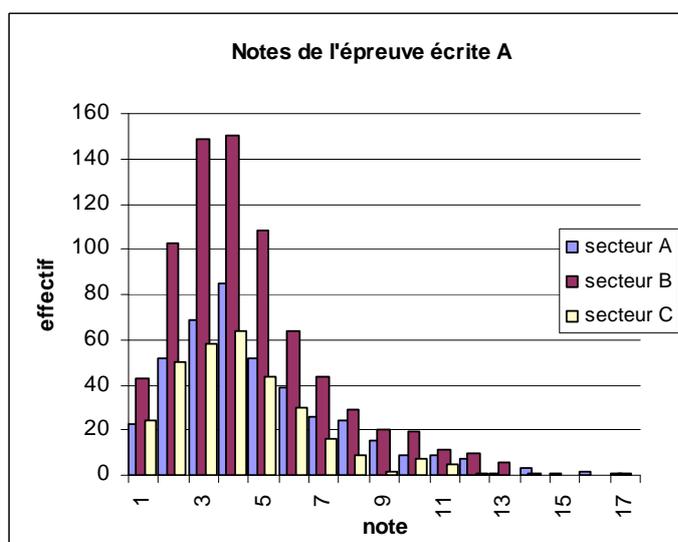
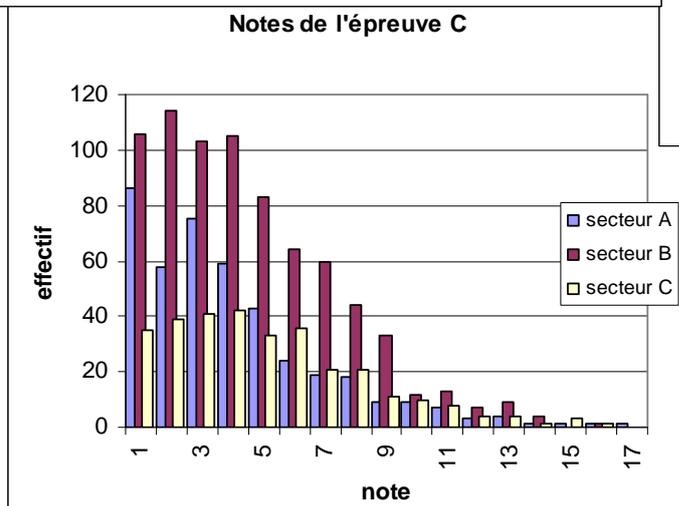
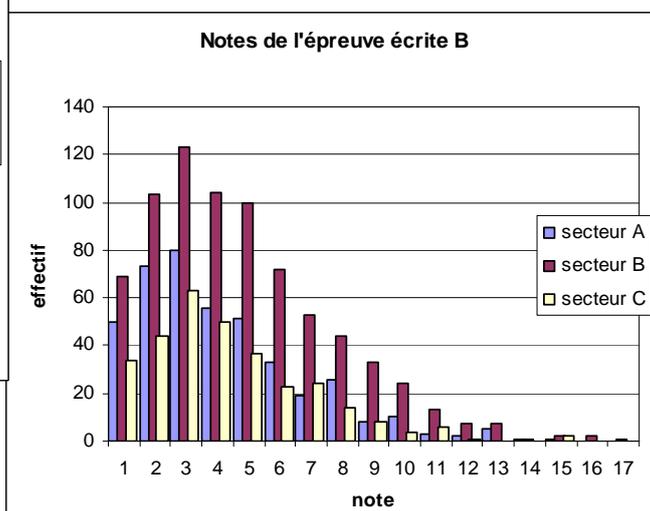


Figure 7 – Répartition des notes des épreuves écrites par secteur d'inscription des candidats



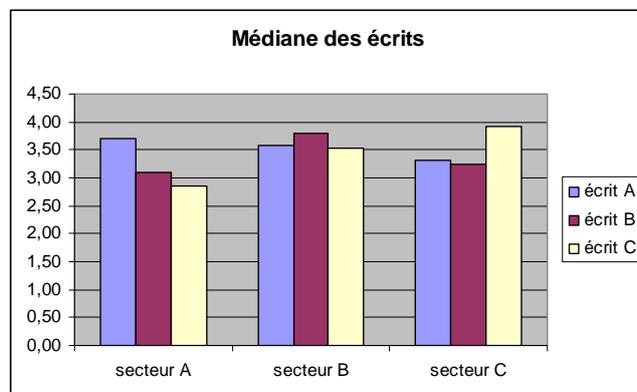
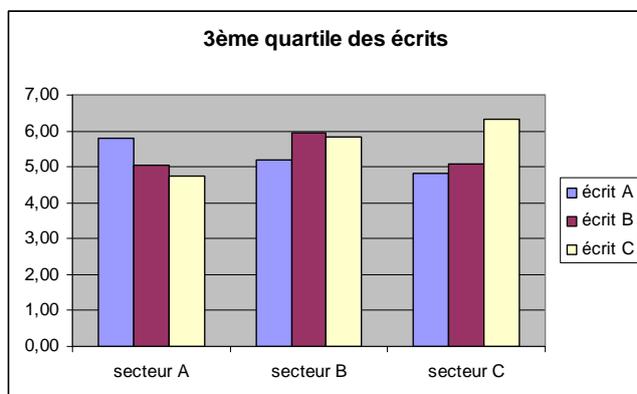
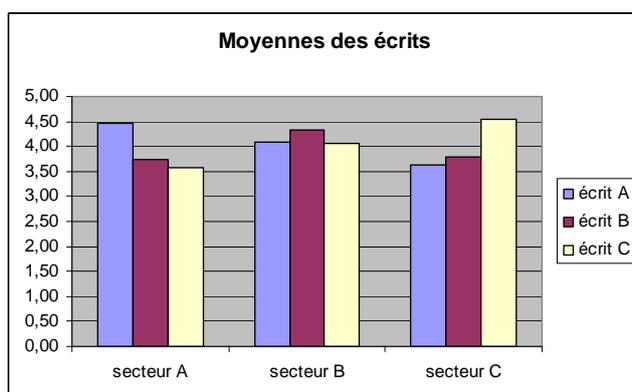
2.3.2 Résultats d'écrit par secteur des candidats

candidats du...	secteur A			secteur B			secteur C		
	écrit A	écrit B	écrit C	écrit A	écrit B	écrit C	écrit A	écrit B	écrit C
moyenne	4,45	3,75	3,56	4,09	4,32	4,05	3,64	3,78	4,53
médiane	3,70	3,11	2,87	3,58	3,79	3,54	3,32	3,24	3,93
écartype	2,88	2,65	2,97	2,56	2,89	2,91	2,22	2,59	3,17
3ème quartile	5,79	5,05	4,75	5,21	5,96	5,84	4,82	5,07	6,33

Tableau 11 - Analyse statistique des épreuves écrites par secteur

Pour chaque épreuve écrite, chaque ligne contient les données statistiques correspondant aux candidats du secteur indiqué.

Comme en 2005 et en 2006, les candidats inscrits dans une spécialité prennent un léger avantage dans l'épreuve écrite correspondant à leur secteur.



	candidats du		
	secteur A	secteur B	secteur C
moyenne			
écrit A	4,45	4,09	3,64
écrit B	3,75	4,32	3,78
écrit C	3,56	4,05	4,53
médiane			
écrit A	3,70	3,58	3,32
écrit B	3,11	3,79	3,24
écrit C	2,87	3,54	3,93
écartype			
écrit A	2,88	2,56	2,22
écrit B	2,65	2,89	2,59
écrit C	2,97	2,91	3,17
3ème quartile			
écrit A	5,79	5,21	4,82
écrit B	5,05	5,96	5,07
écrit C	4,75	5,84	6,33

Figure 8 – Tableau 12
Résultats des épreuves écrites et secteur d'inscription

2.4 Statistiques portant sur les épreuves de travaux pratiques

2.4.1 Statistiques portant sur les épreuves de travaux pratiques de spécialité

TP de spécialité			
	TP A	TP B	TP C
moyenne	9,47	8,53	9,03
médiane	9,00	8,37	8,25
écartype	3,45	2,04	2,88
3ème quartile	11,75	9,94	11,50
note maxi	16,50	14,28	15,00
note mini	3,50	3,92	3,50

Tableau 13 - Statistiques portant sur les épreuves de travaux pratiques de spécialité

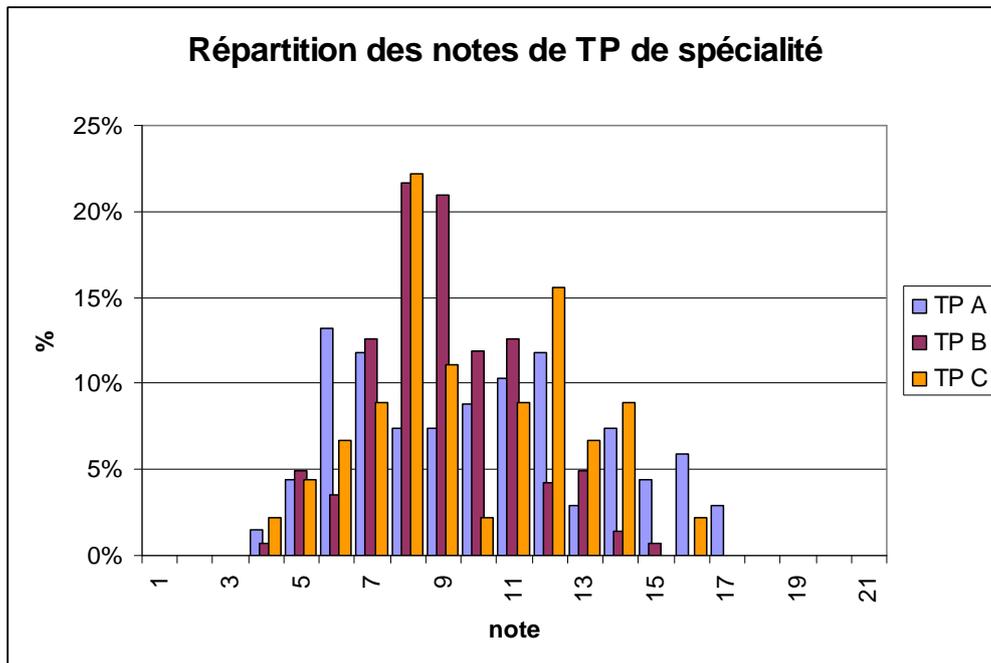


Figure 9 - Répartition des notes des épreuves de travaux pratiques de spécialité

2.4.2 – Statistiques des épreuves de travaux pratiques de contre-option

Contre-option Candidats secteurs	TP de contre-option		
	TP contr. a B + C	TP contr. b A + C	TP contr. c A + B
moyenne	7,63	8,64	8,11
écartype	2,59	2,24	2,70
médiane	7,25	8,65	7,76
premier quartile	6,00	7,15	6,27
troisième quartile	9,50	10,14	9,97
note maxi	16,80	15,15	15,38
note mini	2,00	3,90	2,13

Tableau 14 - Statistiques portant sur les épreuves de travaux pratiques de contre-option

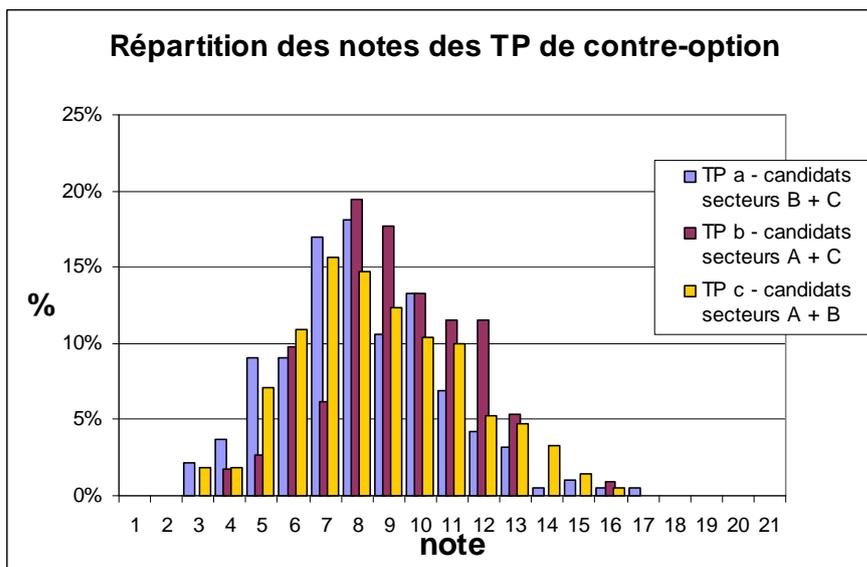


Figure 10 - Répartition des notes des épreuves de travaux pratiques de contre-option

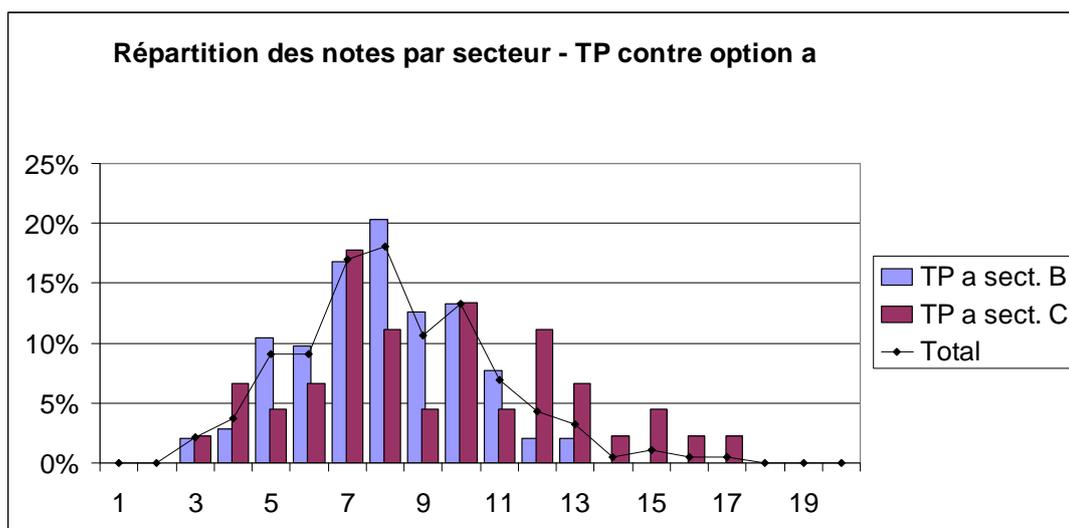


Figure 11 - Répartition des notes de l'épreuve de travaux pratiques de contre-option a

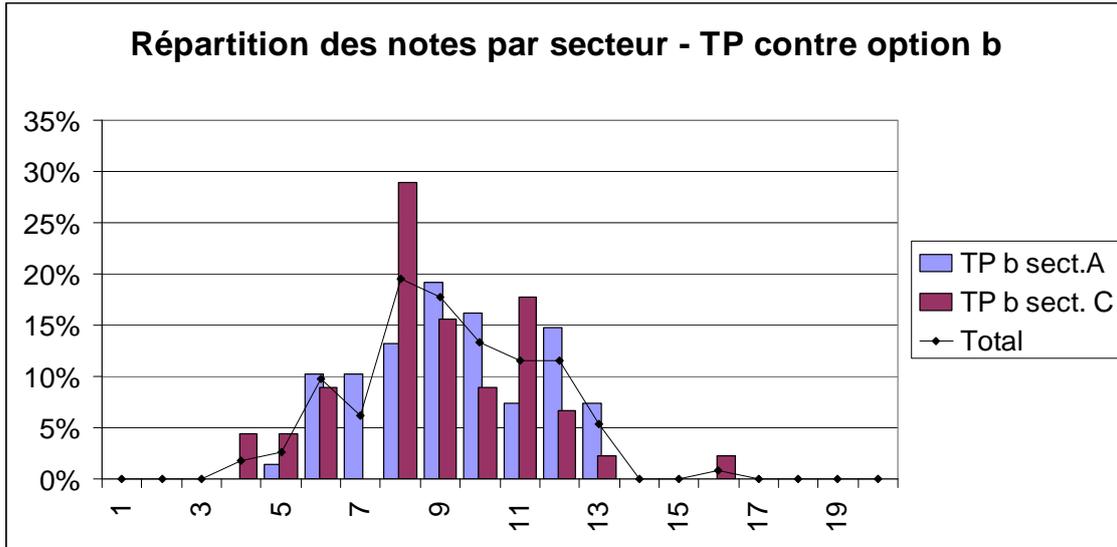


Figure 12 - Répartition des notes de l'épreuve de travaux pratiques de contre-option b

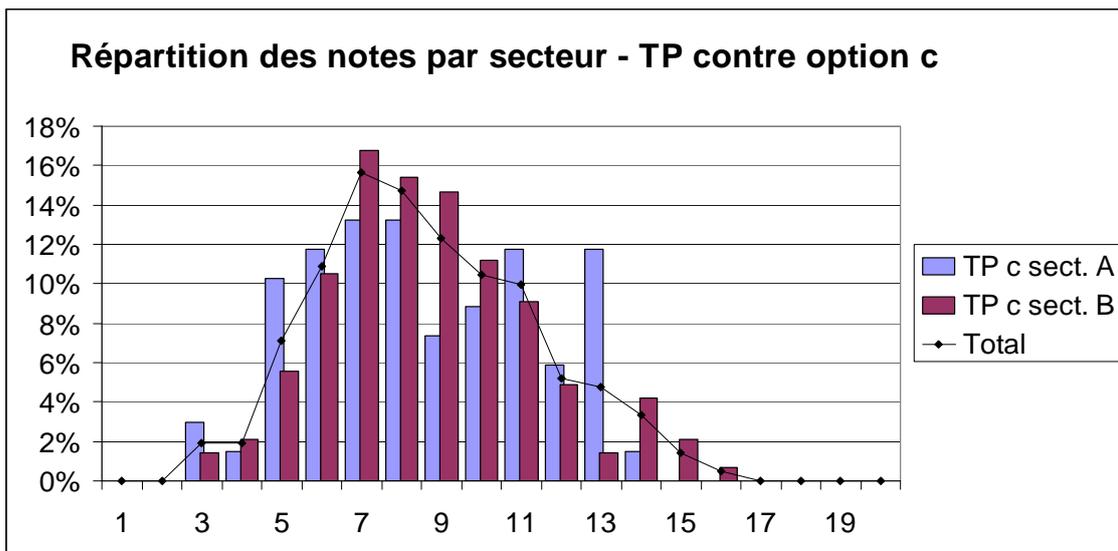


Figure 13 - Répartition des notes de l'épreuve de travaux pratiques de contre-option c

2-5 Statistiques portant sur les épreuves orales d'admission

	spécialité	contre-option
moyenne	7,34	7,22
médiane	6,75	6,25
écartype	3,80	3,70
1er quartile	4,50	4,50
3ème quartile	9,50	9,50
note maxi	19,00	19,00
note mini	0,50	1,75

Tableau 15 - Statistiques portant sur les épreuves orales

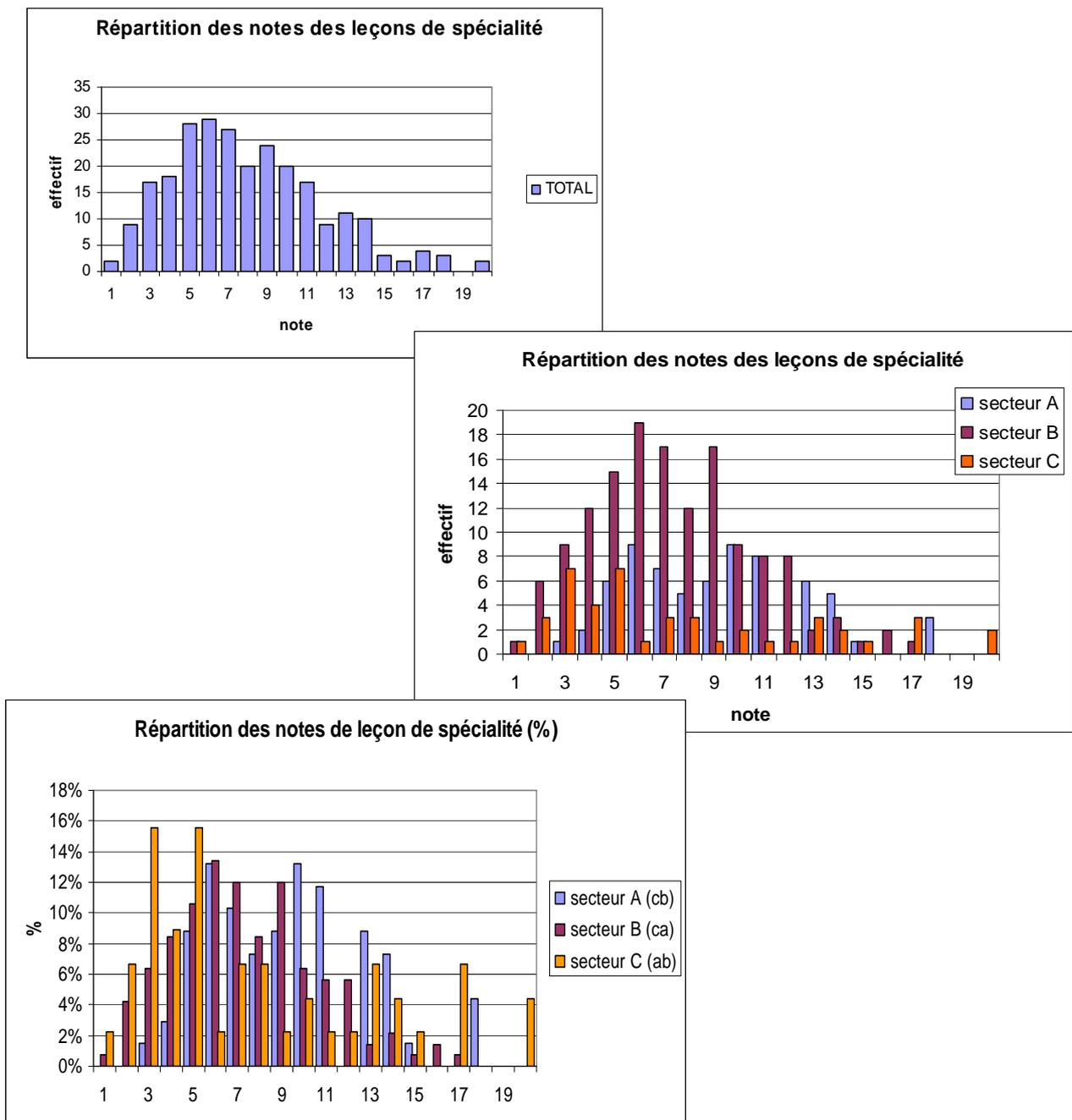


Figure 14 – Résultats des leçons de spécialité

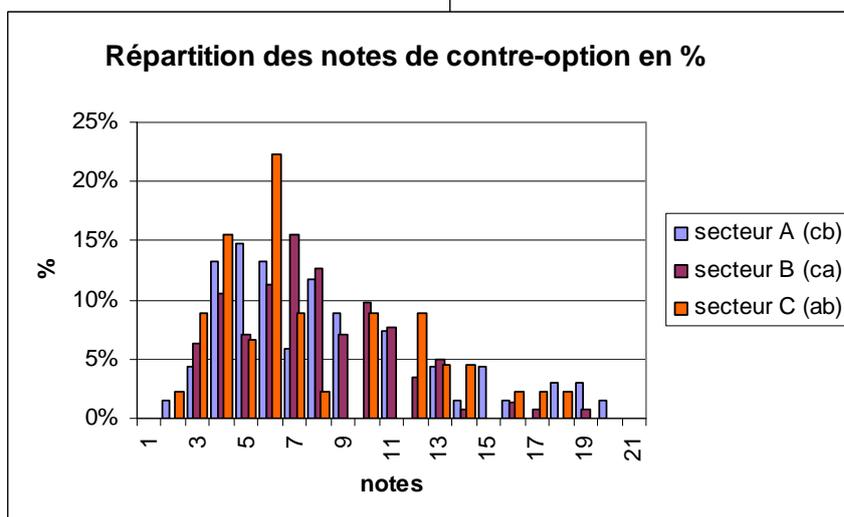
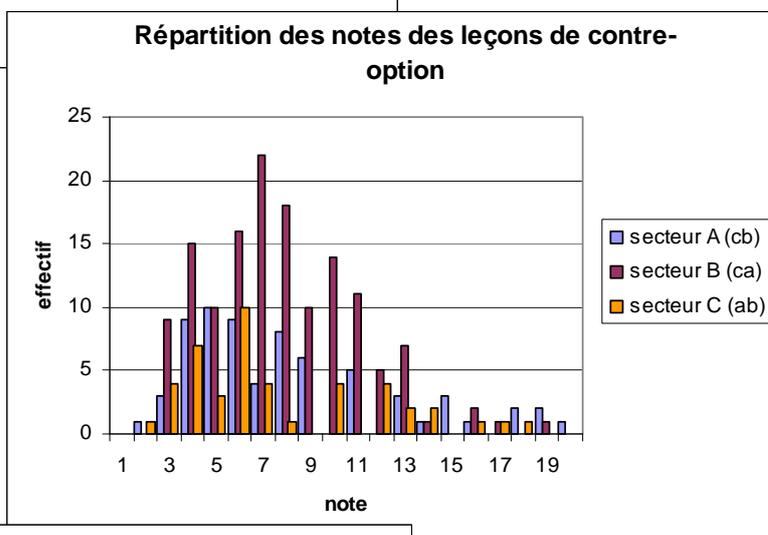
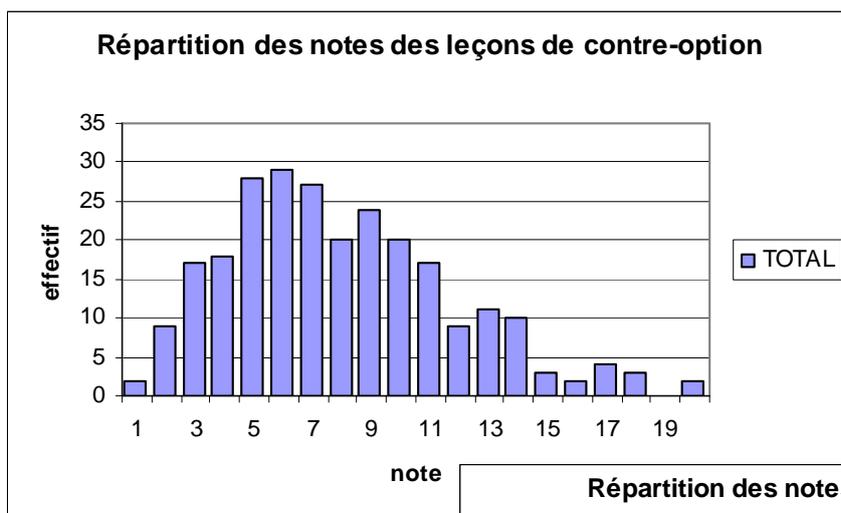


Figure 15 – Résultats des leçons de contre-option

Les leçons « ab » sont passées par les candidats du secteur C, les leçons « ac » et « bc » respectivement par les candidats des secteurs B et A.

3. REGLEMENTATION ET ORGANISATION PRATIQUE

3.1 Textes officiels

3.2 Programme concours 2007

3.3 Modalités et objectifs des épreuves pratiques

3.4 Modalités, objectifs et grilles d'évaluation des épreuves orales

3.5 Programme concours 2008

3.6. Matériels et ouvrages mis à la disposition des candidats pour les épreuves orales

3.1 TEXTES OFFICIELS

Les modalités relatives à la section sciences de la vie–sciences de la Terre et de l'univers de l'agrégation externe sont définies par l'arrêté du 15 juillet 1999 (J.O. N°175 du 31 juillet 1999, page 11467). Les modalités spécifiques du concours 2007 découlent de l'arrêté publié dans le JO N° 3 du 27 avril 2006.

3.2 PROGRAMME CONCOURS 2007

Le programme ci-après concerne les épreuves d'admissibilité et d'admission de la section sciences de la vie - sciences de la Terre et de l'univers dont les modalités sont définies par l'arrêté du 23 juin 2004 (paru dans le JO du 3 juillet 2004) modifiant l'arrêté du 12 septembre 1988 modifié.

Le programme de l'agrégation des sciences de la vie - sciences de la Terre et de l'univers (SV - STU) 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 (M1), 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 (L3), 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 chaque spécialité est renouvelable par tiers chaque année. Ce renouvellement annuel est susceptible d'entraîner des modifications du contenu du programme de connaissances générales. Le programme annexe portant sur des questions scientifiques d'actualité est renouvelé chaque année. 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.

3.3 MODALITES ET OBJECTIFS DES EPREUVES PRATIQUES

Les épreuves pratiques (non publiques) se déroulent sur deux jours, en général à la mi-juin. Le jour précédant les travaux pratiques proprement dits, les candidats sont accueillis sur le lieu des épreuves, sont informés des modalités de déroulement des épreuves d'admission du concours et effectuent le tirage au sort de l'enveloppe contenant les deux sujets des épreuves orales. Pour les travaux pratiques, ils doivent avoir en leur possession une flore, une montre chronomètre, un marqueur indélébile et une trousse à dissection classique comprenant notamment petits et gros ciseaux, pinces fines, aiguille montée, épingles, verres de montre, lames et lamelles histologiques, lames de rasoir... Ces informations apparaissent sur la convocation des candidats. Les calculatrices programmables et les téléphones cellulaires ne sont pas admis. Lors des épreuves pratiques, les candidats sont informés des dates de leurs leçons d'oral.

Les sciences de la vie et les sciences de la Terre et de l'Univers se construisent grâce à la confrontation permanente des idées et des faits. La science construit une représentation du réel, un modèle conceptuel de la nature, qu'elle confronte à des faits d'observation : cette confrontation permet de valider le modèle, ou au contraire, de le réfuter en tout ou partie, ce qui permet alors de le remplacer ou de l'amender. Les faits utilisés pour cette confrontation peuvent être naturels et être l'objet d'une observation immédiate, visibles uniquement grâce à une démarche d'investigation et de mise en évidence, ou même provoqués par un protocole expérimental.

La fonction d'une séance de travaux pratiques est de mettre en œuvre de façon concrète cette confrontation du fait et de l'idée. Ce travail de réfutation/validation est constant dans l'enseignement des sciences de la vie et des sciences de la Terre et de l'Univers. Il demande la mise en œuvre de manifestations variées de l'intelligence du professeur ou de l'élève.

L'intelligence de l'esprit permet la confrontation intellectuelle entre la théorie et le résultat d'observation. Elle peut être mise en œuvre en cours, grâce à l'analyse de résultats d'observation ou d'expérience obtenus par d'autres.

L'intelligence de l'œil permet de passer de la vision à l'observation : il faut savoir voir ce que l'on voit. Cette intelligence, encore utilisable en cours, est néanmoins plus facilement mise en œuvre dans une séance de travaux pratiques. C'est dans ce contexte que l'observateur se trouve placé face à une réalité concrète et complexe dont il faut savoir extraire des informations pertinentes.

L'intelligence de la main permet de soutenir par le geste le travail de raisonnement : il faut savoir dégager et mettre en évidence un élément caché, mettre en œuvre un protocole expérimental, manipuler avec précision un appareillage technique. La précision du geste dépend naturellement de l'objectif intellectuel poursuivi : elle est un complément indispensable.

Les épreuves de travaux pratiques de l'agrégation tentent d'évaluer l'intelligence concrète des candidats : leur capacité à mettre leurs yeux et leurs mains au service d'un raisonnement scientifique. C'est dans cet esprit que les sujets ont été conçus et qu'ils ont été évalués. C'est ce que permet l'évolution de la structure du concours, et, tout particulièrement, l'existence de travaux pratiques d'option d'une durée de 6 heures.

3.4 MODALITES, OBJECTIFS ET GRILLES D'ÉVALUATION DES EPREUVES ORALES

Les épreuves orales d'admission sont publiques et se déroulent tous les jours durant la période des oraux (samedis, dimanches et jours fériés compris) de 9h à 19h. Chaque candidat admissible réalise deux leçons (une leçon dite de spécialité et une leçon de contre option) séparées par un jour de repos (sauf demande particulière et justifiée des candidats, présentée le jour de réception). Pour les candidats admissibles à la fois au CAPES et à l'Agrégation, l'emploi du temps de ce dernier concours a été systématiquement adapté par les membres du bureau des présidences de l'Agrégation et du CAPES de façon à ce que les candidats puissent se présenter dans les meilleures conditions possibles à l'un et à l'autre concours.

Après avoir pris connaissance du sujet de leur leçon, les candidats disposent de 15 minutes de préparation, sans ouvrages, avant d'avoir accès à la bibliothèque. Une fiche, à remplir, leur permet d'obtenir les ouvrages, les documents et les matériels dont ils souhaitent disposer pour préparer et illustrer leur leçon. Aucun matériel d'expérimentation n'est fourni aux candidats au cours des 30 dernières minutes de la préparation; il en est de même pour les documents et les autres matériels au cours des 15 dernières minutes.

Le jury autorise l'utilisation d'un dictionnaire Anglais - Français fourni ou apporté par le candidat. Un dictionnaire français est également disponible. Les caleuses programmables et les téléphones cellulaires ne sont pas autorisés.

3.4.1 Leçon dite de spécialité (leçon portant sur le programme de spécialité)

La leçon de spécialité porte sur le programme de spécialité du secteur disciplinaire (A, B, ou C) choisi par le candidat à l'écrit. Elle vise plusieurs objectifs :

- La validation des connaissances scientifiques, au meilleur niveau, dans l'option choisie par le candidat,
- L'évaluation des aptitudes à conduire logiquement une argumentation explicative dans le cadre d'une problématique scientifique.
- Des supports (tels qu'échantillons et lames minces de roches, cartes, matériels frais, préparations microscopiques, protocoles et résultats d'expériences...) sont fournis en quantité raisonnable au candidat (le nombre de documents est restreint et prévu **pour ne pas nécessiter plus d'une heure d'étude pendant la phase de préparation** de la leçon). Les supports doivent être mis en valeur par le travail du candidat (dessin, expériences, dissection,

préparation microscopique etc.). Du matériel complémentaire est disponible sur demande, le candidat se doit de rechercher des documents (dans les ouvrages disponibles à la bibliothèque) et des supports concrets complémentaires nécessaires à sa démonstration (roches, minéraux, échantillons animaux et/ou végétaux, cartes, diapositives, films, vidéos, CD Roms, logiciels de la bibliothèque numérique, matériels et résultats d'expériences par exemple). Une part conséquente de l'évaluation porte sur cette recherche.

•

Pendant le travail préparatoire à l'exposé, d'une durée de quatre heures, on attend du candidat :

- qu'il structure, sous forme d'un plan, sa présentation qui doit correspondre à la logique du sujet et **non se résumer à un simple commentaire des documents fournis par le jury,**
- qu'il exploite rigoureusement l'ensemble des documents fournis par le jury
- **qu'il réalise des productions personnelles** (telles que : coupes topographiques et géologiques, coupes histologiques, dissections, dessins d'observation, mesures expérimentales, schémas explicatifs...) nécessaires à l'illustration de son exposé,
- qu'il organise des postes de travail en fonction du plan choisi, de la démarche et des raisonnements mis en oeuvre.

Au cours de l'exposé, d'une durée de 50 minutes, le candidat doit obligatoirement exploiter les matériels fournis par le jury et dégager les enseignements des situations documentaires et expérimentales choisies, en suivant une méthode rigoureuse en relation avec la problématique scientifique du sujet. Le jury n'intervient pas pendant cet exposé.

L'entretien qui suit, d'une durée de 30 minutes maximum, s'appuie à la fois sur les documents fournis par le jury et les documents complémentaires demandés par le candidat. Il permet au jury d'évaluer les connaissances spécifiques relatives au sujet proposé, mais également les connaissances générales, ce qui peut conduire le jury à déborder le cadre strict du sujet.

L'évaluation porte sur :

- le domaine cognitif : connaissances relevées au cours de l'exposé et de l'entretien,
- le domaine méthodologique : choix des documents complémentaires, qualité de l'exploitation des documents, valeur et rigueur de l'argumentation, savoir-faire technique, productions concrètes et expérimentales, interprétations, traces finales des activités dans les postes de travail.

La grille d'évaluation utilisée lors de la session 2007 était la suivante :

- plan, structure, démarche et créativité : /15
- exploitation du matériel fourni : /15
- choix et exploitation du matériel complémentaire : /15
- connaissances liées au sujet de la leçon et au programme spécifique : /15
- connaissances liées au programme général du secteur disciplinaire choisi : /10

- communication : qualités pédagogiques et relationnelles : /10

TOTAL : 80 points

3.4.2 Leçon de contre option (leçon portant sur le programme général)

Les cadres scientifiques des leçons de contre option sont complémentaires de celui de l'option choisie par le candidat pour sa leçon de démonstration. Ainsi :

- il s'agit obligatoirement d'une leçon portant sur le programme général du secteur C pour les candidats inscrits dans les secteurs A et B ;
- il s'agit d'une leçon portant sur les programmes généraux des secteurs A ou B (ou mixte) pour les candidats inscrits dans le secteur C

L'exposé, d'une durée de 40 minutes, doit être réalisé en utilisant un langage scientifiquement et grammaticalement correct. Il comporte :

- la formulation des problèmes scientifiques liés au sujet proposé,
- la présentation d'une démarche rigoureuse fondée sur des données concrètes d'observation et d'expérience, ce qui suppose un effort du candidat vis-à-vis de la recherche et de l'utilisation de supports pédagogiques adaptés (dispositifs expérimentaux, matériel vivant, échantillons, cartes, diapositives, transparents, films...).
- l'exposé des connaissances se fera dans le cadre des programmes généraux des contre - options du candidat.

Le jury n'intervient pas pendant l'exposé.

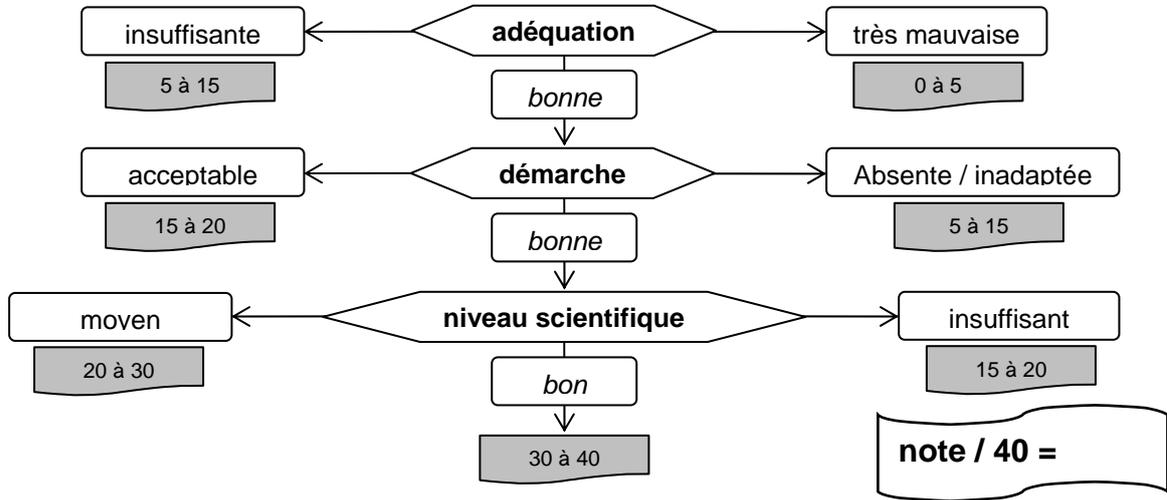
L'entretien qui suit, d'une durée de 30 minutes maximum, permet la vérification de la maîtrise des connaissances et de la méthodologie scientifique en rapport avec le sujet de la leçon. Le jury étend ensuite son interrogation à l'ensemble du programme général des deux contre-options.

L'évaluation porte sur :

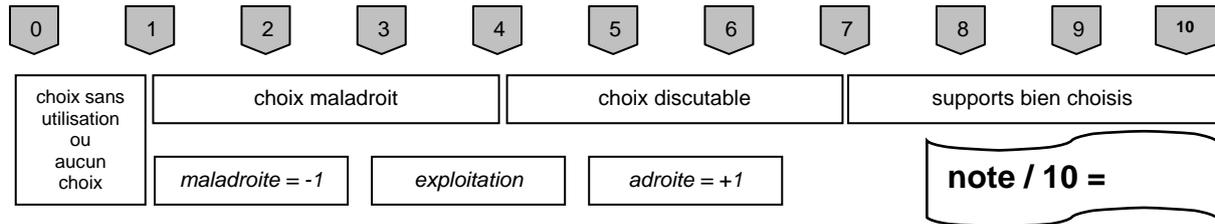
- le domaine cognitif : connaissances relevées au cours de l'exposé et de l'entretien,
- le domaine méthodologique : qualité et rigueur de la démarche mise en oeuvre, tenue du tableau, transfert des connaissances,
- l'aptitude au transfert des connaissances dans une classe et les qualités relationnelles du candidat.

Une nouvelle grille d'évaluation a été utilisée lors de la session 2007

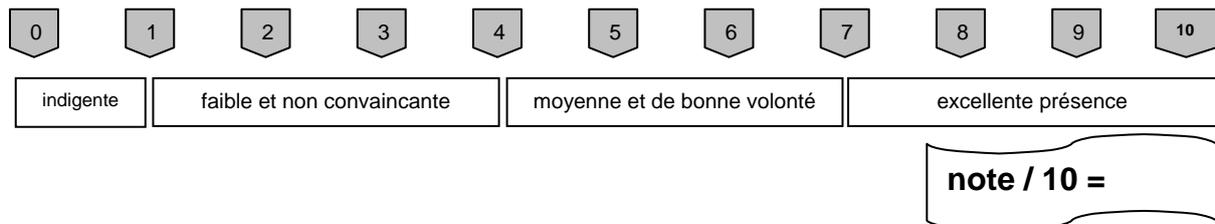
Contenu scientifique de la leçon



Matériel et/ou illustration



Communication



Connaissances dans la deuxième contre-option

note / 20 =

	Total / 80 =
	Note finale / 20 =

3.5. PROGRAMME CONCOURS 2008

(publié dans le BO n° 3 du 17 mai 2007)

Programme de spécialité pour la session 2008

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 conceptuelles, méthodologiques et techniques.

Cette démarche thématique permet d'approfondir 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 nucléo-cytoplasmiques
- 3 - Interactions cellules eucaryotes-microorganismes (virus inclus)
- 4 - Interactions cellules eucaryotes-contraintes abiotiques (thermiques, osmotiques, hydriques)
- 5 - Interactions au sein du système immunitaire humain
- 6 - Interactions cellulaires au cours du développement animal

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).

- 7 - La transgénèse : exemples choisis chez les végétaux et les mammifères, montrant les applications agronomiques et thérapeutiques.
- 8 - Ingénieries cellulaires et tissulaires, cellules souches embryonnaires et adultes
- 9 - Apport de la génomique aux pathologies humaines (soin, dépistage, marqueurs, cancers,...)
- 10 - Génomique et amélioration végétale.

Signalisations et différenciations cellulaires.

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

- 11 - Détermination et différenciation des cellules
- 12 - Réplication de l'ADN : mécanisme et contrôles
- 13 - Mutations et cancers
- 14 - Ca²⁺ et signalisations cellulaires
- 15 - Les modifications post-traductionnelles : phosphorylations, glycosylations et ubiquitination

Secteur B : biologie et physiologie des organismes 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 - Les interactions entre les plantes et leurs symbiotes

Plans d'organisation et phylogénie

- 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 - Origine et évolution des organites semiautonomes : les mitochondries, les hydrogénosomes (en relation avec la physiologie de certains organismes anaérobies), et les plastes résultant d'endosymbioses primaires, secondaires ou d'ordre supérieur. Intérêt pour comprendre l'acquisition de fonctions nouvelles et la classification phylogénétique des grands groupes d'algues

10 - Construction des arbres phylogénétiques : méthodes de maximum de vraisemblance, notion de bootstrap et problèmes (enracinement, variations des taux d'évolution)

Écologie et évolution

11 - La sélection sexuelle : compétition entre mâles, choix par les femelles ; modalités, variations, conséquences pour les populations et théories explicatives

12 - Coévolution hôtes-parasites : course aux armements, évolution de la virulence, évolution vers le mutualisme

13 - La succession écologique : rôle de la compétition, de la dispersion et des perturbations

14 - Les comportements reproducteurs et leurs variations chez les animaux : formation et stabilité des couples, soins aux jeunes, compétition entre jeunes

15 - La vie en groupe : états pluricellulaires, organismes coloniaux, groupes sociaux. Aspects fonctionnels, écologiques et évolutifs.

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 (modifié ci-dessus) 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 - Chaleur interne et externe : mesure des flux et mécanismes de transfert

6 - La Terre primitive : origine des enveloppes et de la vie

7 - La variabilité climatique naturelle et anthropique du Quaternaire

8 - Crises et renouvellement de la biosphère

9 - Réservoirs et flux de carbone dans le système Terre

10 - Les marqueurs de la déformation et du métamorphisme hercyniens en Europe

11 - Les gîtes métallifères associés à la convergence des plaques

12 - Le Bassin d'Aquitaine : structure, histoire et ressources associées

13 - Les provinces magmatiques géantes

14 - La sismicité dans le système Alpes-Méditerranée

15 - Les grands bassins salifères : formations, évolutions tectoniques et ressources associées

Programme annexe de questions scientifiques d'actualité 2008

1 - Molécules xénobiotiques et santé

2 - Comprendre les pandémies pour mieux les gérer. On s'appuiera sur l'étude de quelques exemples (paludisme, grippe ou SIDA, peste)

3 - Stockage et gestion des déchets radioactifs

3.6 MATERIELS ET OUVRAGES MIS À LA DISPOSITIONS DES CANDIDATS

Lors des épreuves orales d'admission, les candidats disposent, dans chaque salle, d'un matériel audiovisuel classique (rétroprojecteur, projecteur de diapositives, magnétoscope et téléviseur, dispositif de vidéo - microscopie) et des listes des diapositives, des transparents, et des cassettes vidéo et CD Roms disponible. Chaque candidat dispose également d'un poste informatique équipé de la bibliothèque numérique mise à la liste.

Par ailleurs, selon les sujets des leçons, chaque candidat peut disposer de microscopes, de loupes binoculaires, de diapositives, de vidéogrammes, de transparents et du matériel nécessaire à la réalisation d'expériences, éventuellement assistées par ordinateur.

À la demande des candidats, des éléments sont à leur disposition, en particulier :

- en sciences de la Terre et de l'Univers : la majeure partie des cartes géologiques au 1/50 000, de nombreuses cartes spécifiques (éditions UNESCO, CCGM, Universités diverses,...), des échantillons de roches, des lames minces, des diapositives, des logiciels,...
- en biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire: des préparations microscopiques, des photographies de microscopie électronique, divers kits de biologie cellulaire et d'immunologie, des microorganismes (levures, chlorelles,...), des diapositives, des logiciels,...
- en biologie et physiologie des organismes: des échantillons frais de plantes, fournis par le Muséum National d'Histoire Naturelle, du matériel vivant, des échantillons de collection, des préparations microscopiques d'histologie animale et végétale, des diapositives, des logiciels ...

LISTE DES OUVRAGES, DES CARTES ET DES LOGICIELS DISPONIBLES POUR LES ÉPREUVES ORALES D'ADMISSION DE LA SESSION 2007

Liste des ouvrages

SCIENCES DE LA VIE

1 - Revues et ouvrages généraux

La Recherche (1987-2007).

Pour la Science (1987-2007). *Belin éd.*

Médecine et Sciences (1993-2007).

Encyclopedia Universalis (volumes 1998, CD-Rom 2006). *Encyclopedia Universalis.*

Encyclopédie médicale de la famille (1991). *Larousse éd.*

Berthet J. (2006). – Dictionnaire de biologie. *De Boeck éd.*

Bresnick S. D. (2004). – Biologie. *De Boeck éd.*

Campbell N. A. & Reece J. B. (2004). - Biologie. *De Boeck éd.*

Forêt R. (2006) Dico de Bio. *De Boeck éd.*

Dorosz Ph. (1993). - Constantes biologiques et repères médicaux. *Maloine éd.*

Fages D. & coll. (1991). - Biologie Géologie (T.P.A.O). *Fiches Nathan.*

Lascombes G. (1968). - Manuel de travaux pratiques : Physiologie animale et végétale. *Hachette éd.*

Mc Murry J. Begley T. (2006) – Chimie organique des processus biologiques . *De Boeck éd.*

Mazliak P. (2002). - Les fondements de la biologie : Le XIX siècle de Darwin, Pasteur et Claude Bernard. *Vuibert éd.*

Mazliak P. (2001). - La biologie du XX siècle Les grandes avancées de Pasteur aux neurosciences. *Vuibert éd.*

Péré J.-P. (1994). - La microscopie. *Nathan éd.*

Perrier R. , Auffret van der Kemp T. & Zonszain F. (1997). - Expériences faciles et moins faciles en sciences biologiques. *Doin éd.*

Pol D. (1996). - Travaux pratiques de biologie des levures. *Ellipses éd*

Pol D. (1994). - Travaux pratiques de biologie. *Bordas éd.*

Purves W. K. & coll. (2000). - Le monde du vivant. *Flammarion éd.*

Raven, Johnson, Losos, Singer, (2007) – Biologie. *De Boeck éd.*

Van Gansen P. & Alexandre H. (1997). - Biologie générale. *Masson éd.*

2 - Biochimie. Biologie moléculaire. Biologie et Physiologie cellulaires

Alberts B. & coll. (2004). - Biologie moléculaire de la cellule. *Flammarion Médecine-Sciences éd.*

Audigié Cl., Dupont G. & Zonszain F. (1999). - Principes des méthodes d'analyse biochimique, tomes 1 & 2. *Doin éd*

Audigié Cl. & Zonszain F. - (2003). - Biochimie structurale. *Doin éd*

Audigié Cl. & Zonszain F. - (2003). - Biochimie métabolique. *Doin éd.*

Bassaglia Y - (2001). - Biologie cellulaire. *Maloine éd.*

Bernard J.-J. (2002). - Bioénergétique cellulaire. *Ellipses éd.*

Branden C. & Tooze R. (1997). - Introduction à la structure des protéines. *De Boeck éd.*

Bruneton J. (1987). - Eléments de Phytochimie et de Pharmacologie. *Lavoisier Tec & Doc éd.*

- Buchanan B. B., Gruissem W. & Jones R. L. (2001). - Biochemistry and molecular biology of plants. *American Society of Plants Physiologists*.
- Clos J. & Coupé M. (2002). - Biologie des organismes 1 : Intégrité, identité et pérennité des organismes animaux et végétaux face aux contraintes abiotiques. *Ellipses éd.*
- Clos J., Coupé M. & Muller Y. (2002). - Biologie des organismes 2 : Les rythmes biologiques chez les animaux et les végétaux. *Ellipses éd.*
- Clos J., Coumant M. & Muller Y. (2003). - Biologie cellulaire et moléculaire 1 : Cycle, différenciation et mort cellulaire chez les animaux et les végétaux. *Ellipses éd.*
- Combarous Y. (2004). - Communications et signalisations cellulaires. *Lavoisier Tec & Doc éd.*
- Cooper G. (1999). - La cellule. *De Boeck Université éd.*
- Collectif (Soc. Bot. Fr.) (1988). - Biologie moléculaire végétale : bilan et perspectives. *Bulletin de la Société botanique Française, T 135*.
- Cross P. C. & Mercer K.L. (1995). - Ultrastructures cellulaire et tissulaire (atlas d'illustrations). *De Boeck Université éd*
- Darnell J., Lodish H. & Baltimore D. (1995). - Biologie moléculaire de la cellule. *De Boeck Université éd.*
- Garret R. H. & Grisham C. M. (2000). - Biochimie. *De Boeck Université éd.*
- Gavrilovic M. & coll. (1996). - Manipulations d'analyse biochimique. *Doin éd.*
- Guignard J. L. (1996). - Biochimie végétale. *Dunod éd.*
- Granner D.K. & Murray R. K. (2003). - Biochimie de Harper. *De Boeck éd / Les presses Universitaires de Laval*.
- Hennen G. (1996). - Biochimie humaine. *De Boeck Université éd.*
- Kaplan J.-C. & Delpech M. (1994). - Biologie moléculaire et médecine. *Flammarion Médecine-Science éd.*
- Karp G. (2004). - Biologie cellulaire et moléculaire. *De Boeck éd.*
- Landry Y. & Gies J.-P. (1990). - Pharmacologie moléculaire. *McGraw-Hill éd.*
- Landry Y. & Gies J.-P. (2003). - Pharmacologie : des cibles vers l'indication thérapeutique. *Dunod éd.*
- Larpent J. & Champiat D. (1994). - Bio-chimiluminescence. *Masson éd.*
- Lehninger A. L. & coll. (1994). - Principes de Biochimie. *Flammarion Médecine-Science éd.*
- Lodish, Berk, Matsudaira, Kaiser, Krieger, Scott, Zipursky, Darnell. (2005). - Biologie moléculaire de la cellule. *De Boeck Université éd.*
- Martin Jr. D. W., Mayes P. A. & Rodwell V. W. (1989). - Précis de Biochimie de Harper. *Eska éd / Presses Universitaires de Laval*.
- Moussard Ch (2005) – Biologie moléculaire- Biochimie des communications cellulaires. *De Boeck éd.*
- Moussard Ch (2006) – Biochimie structurale et métabolique. *De Boeck éd.*
- Pelmont J. (1995). - Enzymes : Catalyseurs du monde vivant. *Presses Universitaires de Grenoble*
- Rawn J. D. (1990). - Traité de biochimie. *Belin éd.*
- Robert D. & Vian B. (1998). - Eléments de biologie cellulaire. *Doin éd.*
- Robert D. & Roland J.-C. (1998). - Organisation cellulaire. *Doin éd.*
- Robert D. & Roland J.-C. (1998). - Organisation végétative. *Doin éd.*
- Shechter E. (1993). - Biochimie et biophysique des membranes. Aspects structuraux et fonctionnels. *Masson éd.*
- Stryer L., Berg J. M. & Tymoczko J. L (2003). - Biochimie. *Flammarion Médecine-Sciences éd.*
- Swynghedauw B. (1994). - Biologie moléculaire : Principes et méthodes. *Nathan Université éd*
- Tagu D. & Moussard Ch. (2003). - Principes des techniques de biologie moléculaire. *INRA éd.*
- Thuriaux P. (2004). - Les organismes modèles : la levure. *Belin éd.*
- Voet D & Voet J. G. (2005). - Biochimie. *De Boeck Université éd.*

Weil J. H. & coll. (2001). - Biochimie générale. *Dunod éd.*

Weinman S. & Méhul P. (2000). - Biochimie : structure et fonctions des protéines. *Dunod éd.*

3 - Génétique et évolution

Allano L. & Clamens A. (2000). - L'évolution, des faits aux mécanismes. *Ellipses éd.*

Bernot A. (2001). - Analyse de Génomes, Transcriptomes et Protéomes. *Dunod éd.*

Bernot A. (1996). - L'analyse des génomes. *Nathan éd.*

Brondex F. (1999). - Evolution : synthèse des faits et théorie. *Dunod éd.*

Boyd & Silk (2004) – L'aventure humaine- Des molécules à la culture. *De Boeck éd.*

Claviller L, Hervieu F. & Letodé O. (2001). - Gènes de résistance aux antibiotiques et plantes transgéniques. *INRA éd.*

Collectif (Soc. Bot. Fr.) (1979). - Information génétique et polymorphisme végétal. *Bulletin de la Société botanique Française, T 120.*

Darlu P. & Tassy P. (1993). - Reconstruction phylogénétique : concepts et méthodes. *Masson éd.*

David P. & Samadi S. (2000). - La théorie de l'évolution. *Flammarion éd.*

De Bonis L. (1991). - Evolution et extinction dans le règne animal. *Masson éd.*

Dorléans P. (2003). - Il était une fois l'évolution. *Ellipses éd.*

Franche C. & Duhoux E. (2001). - La transgénèse végétale. *Elsevier éd.*

Feingold J. & Serre J.-L. (1993). - Génétique humaine : de la transmission des caractères à l'analyse de l'ADN. *Dossiers documentaires INSERM / Nathan éd.*

Gibson G. & Muse S. V. (2004). - Précis de génomique. *De Boeck éd.*

Griffiths & coll. (2001). - Analyse génétique moderne. *De Boeck éd.*

Griffiths, Wessler, Lewontin, Gelbart, Suzuki & Miller (2006) Introduction à l'analyse génétique. *De Boeck Université éd.*

Hartl D. (1994). - Génétique des populations. *Flammarion Médecine-Sciences éd.*

Hartl D. & Jones E. W. (2003). - Génétique : les grands principes. *Dunod éd.*

Harry M. (2001). - Génétique moléculaire et évolutive. *Maloine éd.*

Houbedine L.-M. (2001). - Transgénèse animale et clonage. *Dunod éd.*

Jacquard A. (1994). - Structures génétiques des populations. *Masson éd.*

Judd, Campbell, Kellog, Stevens (2002) – Botanique systématique. Une perspective phylogénétique *De Boeck éd.*

Lecointre G. et Le Guyader H. (2001). - Classification Phylogénétique du vivant. *Belin éd.* Collectif sous la direction de Lecointre G. (2004). - Comprendre et enseigner la classification du vivant. *Belin éd.*

Le Guyader H. (1998). - L'évolution. *Belin / Pour la Science éd.*

Lewin B. (2001). - Gènes. *Flammarion Médecine-Sciences éd.*

Luchetta Ph. & coll. (2004). - Evolution moléculaire. *Dunod éd.*

Maynard-Smith J. & Szathmari E. (2000). - Les origines de la vie : De la naissance de la vie à l'origine du langage. *Dunod éd.*

Panthier J.-J., Montagutelli X. & Guenet J.-L. (2003). - Les organismes modèles : Génétique de la souris. *Belin éd.*

Pasternack J. Génétique moléculaire moderne - Une introduction aux mécanismes de maladies héréditaires (2003) . *De Boeck éd.*

Pouteau S. (2007) – Génétiquement indéterminé ; Le vivant auto-organisé. *Quae éd.*

Primerose S., Twyman R. & Old B. (2004). - Principes de génie génétique. *De Boeck Université éd.*

Ridley (1997). - L'évolution. *Blackwell / De Boeck Université éd.*

- Rossignol J.-L. (1996). - Abrégé de génétique. *Masson éd.*
- Rossignol J.-L. & coll. (2000). - Génétique : Gènes et génomes. *Dunod éd.*
- Serre J.-L. (1997). - Génétique des populations. *Nathan Université éd.*
- Solignac M. & coll. (1995). - Génétique et évolution, Tome 1 : Les variations, les gènes dans les populations. *Hermann éd.*
- Solignac M. & coll. (1995). - Génétique et évolution, Tome 2 : L'espèce, l'évolution moléculaire. *Hermann éd.*
- Watson J. D. & coll. - Biologie moléculaire du gène. *Inter Editions.*

4 - Immunologie, Microbiologie, Virologie

- Abbas A.K. & Lichtman A.H. (2005). - Les bases de l'immunologie fondamentale et clinique. *Elsevier éd.*
- Cassuto J.-P., Pesce A. & Quaranta J.-F. (1993). - Que-sais-je? : Le Sida. *Presses Universitaires de France éd.*
- Collectif (Pour la Science) (1987). - Les virus : de la grippe au Sida. *Belin / Pour La Science éd.*
- Collectif (Pour la Science) (1995). - Les maladies émergentes. *Belin / Pour la Science éd.*
- Cornuet P. (1987). - Eléments de virologie végétale. *INRA éd.*
- Daëron M. & coll. (1996). - Le système immunitaire. *Dossiers documentaires INSERM / Nathan éd.*
- Espinosa E. & Chillet P. (2006). - Immunologie. *Ellipses éd.*
- Girard M. & coll. (1989). - Virologie moléculaire. *Doin éd.*
- Goldsby R.A., Kindt T.J. & Osborne B.A. (2001). - Le cours de Janis Kuby avec questions de revision. *Dunod éd.*
- Janeway , Travers , Welport, Schlomchik (2003). - Immunobiologie. *De Boeck Université éd.*
- Larpent J.-P. & Larpent-Gourgaud M. (1985). - Eléments de Microbiologie. *Hermann éd.*
- Larpent-Gourgaud M. & Sanglier J.-J. (1992). - Biotechnologies. *Doin éd.*
- Leclerc H. & coll. (1983). - Microbiologie générale. *Doin éd.*
- Meyer A., Deiana J. & Leclerc H. (1988). - Cours de Microbiologie générale. *Doin éd.*
- Prescott L., Harley, Klein (2003). - Microbiologie. *De Boeck éd*
- Regnault J.-P. (1990). - Microbiologie générale. *Vigot éd.*
- Revillard J.-P. (2001). - Immunologie. *De Boeck Université éd*
- Roitt I. (1990). - Immunologie. *Pradel éd.*
- Siboulet A. & Coulaud J.-P. (1990). - Maladies sexuellement transmissibles. *Masson éd.*
- Terzian H. (1998). - Les Virus : De la structure aux pathologies. *Diderot éd.*

5 - Anatomie, Histologie, Cytologie

- Bowes B. G. (1998). - Atlas en couleur, structure des plantes. *INRA éd.*
- Collectif (Soc. Bot. Fr.) (1981). - Développements récents de la cytologie ultrastructurale végétale. *Bulletin de la Société botanique Française.*
- De Vos L. & Van Gansen P. (1980). - (1980). - Atlas d'Embryologie des Vertébrés. *Masson éd.*
- Elias H., Pauly J. E. & Burns E. R. (1984). - Histologie et micro-anatomie du corps humain. *Piccin-Padov éd.*
- Heusser S. & Dupuy H.G. (2001). - Atlas de biologie animale 1 : Les grands plans d'organisation. *Dunod éd.*
- Heusser S. & Dupuy H.G. (2000). - Atlas de biologie animale 2 : Les grandes fonctions. *Dunod éd.*
- Kahle W. & coll. (1990). - Anatomie 3 : système nerveux. *Flammarion Médecine-Sciences éd.*
- Kessel R. G. & Kardon R. M. (1979). - Tissues and organs : a text-atlas of scanning electron microscopy. *Freemann éd.*

- Kierszenbaum (2006) – Histologie et biologie cellulaire- Une introduction à l'anatomie pathologique *De Boeck éd.*
- Secchi J. & Lecaque D. (1981). - Atlas histologie. *Maloine éd.*
- Sobotta & Hammersen F. (1980). - Histology : A Color Atlas of Cytology. Histology and Microscopic Anatomy. *Urban & Schwarzenberg éd.*
- Wheather P.R., Young B. & Heath J.M. (2001). - Histologie fonctionnelle. *De Boeck éd.*

6 - Reproduction, Embryologie, Développement

- Bally-Cuif L. (1995). - Les gènes du développement. *Nathan éd.*
- Beaumont A. & coll. (1994). – Développement. *Dunod éd.*
- Boué A. (1989). - Médecine prénatale. Biologie clinique du fœtus. *Flammarion Médecine-Science éd.*
- Brien P. (1966). - Biologie de la reproduction animale. Blastogenèse. *Masson éd.*
- Clos Y., Coumans M. & Coupé M. (2001). - Biologie des organismes. *Ellipses éd.*
- Cochard L. R. (2003). - Atlas d'embryologie humaine de Netter. *Masson éd.*
- Darribere T. (2002). - Introduction à la biologie du développement. *Belin éd.*
- Darribere T. (2003). - Le développement d'un mammifère : la souris. *Belin éd.*
- Denis-Pouxviel C. & Richard D. (1996). - La reproduction humaine. *Nathan éd.*
- Ferre F. & coll. (1995). - Transmettre la vie à l'aube du XXI ème siècle. *Dossiers documentaires INSERM / Nathan éd.*
- Franquinet R. & Foucrier J. (2003). - Atlas d'Embryologie descriptive. *Dunod éd.*
- Gilbert F. (2004). - Biologie du développement. *De Boeck Université éd.*
- Hourdry J. & Beaumont A. (1985). - Les métamorphoses des Amphibiens. *Masson éd.*
- Hourdry J. & coll. (1995). - Métamorphoses animales. *Hermann éd.*
- Hourdry J & coll. (1998). - Biologie du développement. Morphogenèse animale. Unité et diversité des métazoaires. *Ellipses éd.*
- Johnson M. H. & Everitt B. J. (2002). – Reproduction. *De Boeck éd.*
- Larsen W. J. (2003). - Embryologie humaine. *De Boeck éd.*
- Le Moigne A. & Foucrier J. (2001). - Biologie du développement. *Dunod éd.*
- Martial. (2002). - L'embryon chez l'homme et l'animal. *INRA / INSERM éd.*
- Moore K.L. (1989). - ELeMents d'embryologie humaine. *Vigot éd.*
- Poirier J., Cohen I. & Bandet S. (1980). - Embryologie humaine. *Maloine éd.*
- Pourquoi O. (1995). - La construction du système nerveux. Biologie du développement. *Nathan éd.*
- Pourquoi O. (2002). - Biologie du développement. *Hermann éd.*
- Rabineau D. (1989). - Précis d'embryologie humaine. *Ellipses éd.*
- Salgeiro E. & Reiss A. (2002). - Biologie de la reproduction sexuée. *Belin éd.*
- Signoret J. & Collenot A. (1991). - L'organisme en développement 1. Des gamètes à l'embryon. *Hermann éd.*
- Slack J. M. W. (2004). - Biologie du développement. *De Boeck éd.*
- Thibault C. & Levasseur M.-C. (2001). - La reproduction chez les Mammifères et l'Homme. *Ellipses / INRA éd.*
- Wolpert L. (2000). - Biologie du développement, les grands principes. *Dunod éd.*

7 - Physiologie animale et humaine

- Ambid L., Larrouy D. & Richard D. (1994). - La thermorégulation. *Nathan éd.*
- Beaumont A. & coll. (2000). - Osmorégulation et excrétion. *Belin éd.*
- Beaumont A. & coll. (2004). - Biologie et physiologie animale. *Dunod éd.*
- Boisseau N., Poortmans Jacques R. (2006) - Biochimie des activités physiques. *De Boeck éd.*
- Callas A. & coll. (1997). - Précis de physiologie. *Doin éd.*
- Calvino B. (2003). - Introduction à la physiologie – Cybernétique et régulation. *Belin éd.*
- Charpentier A. (1996). - Sang et cellules sanguines. *Nathan éd.*
- Chevalet P. & Richard D. (1994). - La notion de régulation en physiologie. *Nathan Université éd.*
- Collectif (Pour la Science). (1990). - Ces hormones qui nous gouvernent. *Belin éd.*
- Collectif (Pour la Science). (1988). - Le Cerveau. *Belin éd.*
- D'Alche E. P. (1999). - Comprendre la physiologie cardiovasculaire. *Flammarion Médecine-Science éd.*
- Desjeux J.-F. & Hercberg S. (1996). - La nutrition humaine. *Dossiers documentaires / INSERM Nathan éd.*
- Dupin H. (1982). - Apports nutritionnels conseillés pour la population française. *Lavoisier Tech & Doc éd.*
- Dupouy J.-P. (1992). - Hormones et grandes fonctions T I & II. *Ellipses éd.*
- Eckert R. & coll. (1995). - Animal Physiology. *Freeman éd.*
- Eckert R. & coll. (1999). - Physiologie animale (version traduite). *De Boeck éd.*
- Flandrois R. & Monod H. (1995). - Physiologie du sport. *Masson éd.*
- Génétiêt B. (1989). - Hématologie. *Lavoisier Tec & Doc éd.*
- Gilles R. & al (2006) – Physiologie animale. *De Boeck éd.*
- Hammond C. & Tritsch D. (1990). - Neurobiologie. *Doin éd.*
- Houdas Y. (1990). - Physiologie cardio-vasculaire. *Vigot éd.*
- Jones D., Round J. & De Haan A. (2005). - Physiologie du muscle squelettique : de la structure au mouvement. *Elsevier éd.*
- Kandel E. R. & Schwartz J. H. (2000). - Principle of neural science. *Elsevier éd.*
- Katch F.I., Katch V.L., Mc Ardle W.D. (2007) – Exercise physiology. *Lippincott Williams & Wilkins*
- Leroux J.-P. & coll. (1994). - Le métabolisme énergétique chez l'Homme. *Dossiers documentaires / INSERM Nathan éd.*
- Marieb E. N. (1999). - Anatomie et physiologie humaines. *De Boeck Universités éd.*
- Meyer Ph. (1983). - Physiologie humaine. *Flammarion Médecine-Science éd.*
- Pellet M.V. (1977). - Physiologie humaine I. Milieu intérieur compartiments liquidiens. *SIMEP éd.*
- Pellet M.V. (1977). - Physiologie humaine II. Le rein. *SIMEP éd.*
- Pilardeau P. (1995). - Biochimie et nutrition des activités physiques et sportives. Le métabolisme énergétique. *Masson éd.*
- Purves, Augustine, Fitzpatrick , Hall, Lamantia, Mc Namara, William. (2005). - Neurosciences. *De Boeck éd.*
- Richard D. & coll. (1997). - Physiologie des animaux Tomes I & II. *Nathan Université éd.*
- Richard D. & Orsal D. (1994). - Neurophysiologie T1. Physiologie cellulaire et systèmes sensoriels. *Nathan éd.*
- Richard D. & Orsal D. (1994). - Neurophysiologie T2. Motricité et grandes fonctions du système nerveux central. *Nathan éd.*
- Rieutord. (1999). - Physiologie animale, Tome 1 : les cellules dans l'organisme. *Masson éd.*
- Rieutord. (1999). - Physiologie animale, Tome 2 : les grandes fonctions. *Masson éd.*
- Schmidt- Nielsen K. (1998). - Physiologie animale. Adaptation et milieux de vie. *Dunod éd.*

- Sebahoun G. (2003). - Hématologie clinique et biologique. *Arnette éd.*
- Silbernag & Despopoulos. (1997). - Atlas de physiologie. *Flammarion Médecine-Science éd.*
- Swynghedauw B. & Beaufile Ph. (1995). - Le cœur : fonctionnement, dysfonctionnement & traitements. *Dossiers documentaires INSERM / Nathan éd.*
- Tanzarella S. (2006). - Perception et communication chez les animaux. *De Boeck éd.*
- Tritsch D. & coll. (1998). - Physiologie du neurone. *Doin éd.*
- Valet Ph. & Richard D. (1994). - Le calcium dans l'organisme. *Nathan éd.*
- Valet Ph. & coll. (1996). - Muscles et motricité. *Nathan éd.*
- Vander A. J. & coll. (1996). - Physiologie humaine. *McGraw-Hill éd.*

8 - Zoologie, Biologie animale

- Beaumont A. & Cassier P. (1973). - Biologie animale. Des Protozoaires aux Métazoaires épithélioneuriens, tome 1 & 2. *Dunod éd.*
- Beaumont A. & Cassier P. (1972). - Biologie animale. Les Cordés. Anatomie comparée des Vertébrés. *Dunod éd.*
- Boissin J. & Canguilhem B. (1998). - Les rythmes du vivant. *Nathan éd.*
- Chapron C. (1999). - Principes de Zoologie. *Dunod éd.*
- Collectif (INRA). (1980). - La pisciculture en étang. *INRA éd.*
- Collectif (Pour la Science). (1981). - Les sociétés animales. *Belin / Pour la Science éd.*
- Collectif (Pour la Science). (1988). - L'adaptation. *Belin / Pour la Science éd.*
- De Puytorac P., Grain J. & Mignot J.-P. (1987). - Précis de Protistologie. *Boubée éd.*
- Ehrardt J.-P. & Seguin G. (1978). - Le plancton composition écologie pollution. *Gauthier-Villars éd.*
- Golvan Y.J. (1978). - Eléments de Parasitologie médicale. *Flammarion Médecine-Science éd.*
- Gould J. L. & Grant-Gould C. (1993). - Les Abeilles. *Belin / Pour la Science éd.*
- Grasse P. P. & coll. (1961). - Précis de Sciences biologiques. Zoologie I. Invertébrés. *Masson éd.*
- Grasse P. P. & coll. (1965). - Précis de Sciences biologiques. Zoologie II. Vertébrés. *Masson éd.*
- Le Louarn H. & Quere J. P. (2003). - Les rongeurs de France : Faunistique et biologie. *INRA éd.*
- Meglitsch P.-A. (1973). - Zoologie des Invertébrés. I. Protistes et Métazoaires primitifs. *Doin éd.*
- Meglitsch P.-A. (1974). - Zoologie des Invertébrés. II. Des Vers aux Arthropodes. *Doin éd.*
- Meglitsch P.-A. (1975). - Zoologie des Invertébrés III. Arthropodes Mandibulés et Deutérostomiens. *Doin éd.*
- Renous S. (1994). - Locomotion. *Dunod éd.*
- Turquier Y. (1990). - L'organisme dans son milieu. 1. Les fonctions de nutrition. *Doin éd.*
- Turquier Y. (1994). - L'organisme dans son milieu 2. L'organisme en équilibre avec son milieu. *Doin éd.*

9 - Ecologie, Ethologie, Biogéographie

- Angelier E. (2002). - Introduction à l'écologie : Des écosystèmes naturels aux écosystèmes humains. *Lavoisier Tec & Doc éd.*
- Aron S. & Passera L. (2000). - Les sociétés animales : Evolution de la coopération et organisation sociale. *De Boeck Université éd.*
- Bachelier G. (1979). - La faune des sols, son écologie et son action. *Orstom (IRD) éd.*
- Baize D. (2004). - Petit lexique de pédologie. *INRA éd.*
- Baize D. & Jabio B. (1995). - Guide pour la description de sols. *INRA éd.*

- Baize D. & Tercé M. (2002). - Les éléments traces métalliques dans les sols : approches fonctionnelles et spatiales. *INRA éd.*
- Barbault R. (1981). - Ecologie des populations et des peuplements. *Masson éd.*
- Barbault R. (1992). - Ecologie des peuplements: structure et dynamique de la biodiversité. *Masson éd.*
- Barbault R. (1995). - Ecologie générale, structure et fonctionnement de la biosphère. *Masson éd.*
- Barriuso E. (2003). - Estimation des risques environnementaux des pesticides. *INRA éd.*
- Blondel J. (1995). - Biogéographie : approche écologique et évolutive. *Dunod éd.*
- Bougis P. (1974). - Ecologie du plancton marin. I. Le phytoplancton. *Masson & Cie éd.*
- Bougis P. (1974). - Ecologie du plancton marin. II. Le zooplancton. *Masson & Cie éd.*
- Bournerias M. (1979). - Guide des groupements végétaux de la région parisienne. *Sedes éd.*
- Bournerias M. & Bock C. & Arnal G. (2002). - Les groupements végétaux de la région parisienne. *Belin éd.*
- Campan R. & Scapini F. (2002). - Ethologie : Approche systématique du comportement. *De Boeck Université éd.*
- Cassier P. (2002). - Rythmes biologiques et rythmes astronomiques. *Ellipse éd.*
- Collectif (Pour la Science). (1995). - Les maladies émergentes. *Belin / Pour la Science éd.*
- Collectif (Soc. Bot. du Centre-Ouest). (1980). - La vie dans les dunes du Centre-Ouest, flore et faune. *Bulletin de la Société botanique du Centre-Ouest.*
- Crubezy E., Braga J. & Larrouy G. (2002). - Anthropobiologie. *Masson éd.*
- Dajoz R. (1974). - Dynamique des populations. *Masson éd.*
- Dajoz R. (2000). - Précis d'écologie. *Dunod éd.*
- Davet P. (1996). - Vie microbienne du sol et production végétale. *INRA éd.*
- De Cormis L. & Bonte J. (1981). - Les effets du dioxyde de soufre sur les végétaux supérieurs. *Masson éd.*
- Delpech R. & coll. (1986). - Typologie des stations forestières. *IDF éd.*
- Deruelle S. & Lallement R. (1983). - Les lichens témoins de la pollution. *Vuibert éd.*
- Duchaufour Ph. (1993). - Abrégé de Pédologie. *Masson éd.*
- Durrieu G. (1993). - Ecologie des Champignons. *Masson éd.*
- Ecologistes de l'Euzière. (2004). - Le feu dans la nature : mythes et réalité. *Les écologistes de l'Euzière éd.*
- Ecologistes de l'Euzière & Martin P. (1997). - La nature méditerranéenne en France. *Delachaux & Niestlé éd.*
- Ecologistes de l'Euzière. (1998). - En quête d'insectes. Ecolodoc n°2. *Les écologistes de l'Euzière éd.*
- Ecologistes de l'Euzière. (1998). - A la rencontre des plantes. Ecolodoc n°4. *Les écologistes de l'Euzière éd.*
- Ecologistes de l'Euzière. (2002). - Goûtez la géologie. Ecolodoc n°6. *Les écologistes de l'Euzière éd.*
- Faure Cl. & coll. (2003). - Ecologie : approche scientifique et pratique. *Lavoisier Tec & Doc éd.*
- Fischesser B. (1970). - La vie de la forêt. *Horizons de France éd.*
- Fontan J. (2003). - Les pollutions de l'air : Les connaître pour les combattre. *Vuibert éd.*
- Frontier S. & coll. (1993). - Structures et fonction des écosystèmes. *Masson éd.*
- Giraldeau L. A., Cezilly F. & Danchin E. (2005). - Ecologie comportementale : cours et questions de réflexion. *Dunod éd.*
- Gobat J. M., Aragno M. & Matthey W. (1998). - Le sol vivant, bases de pédologie, biologie des sols. *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes éd.*
- Godron M. (1993). - Ecologie de la végétation terrestre. *Masson éd.*
- Henry C. (2001). - Biologie des populations animales et végétales. *Dunod éd.*
- Lacoste A. & Salanon R. (1969). - Eléments de biogéographie. *Nathan éd.*
- Lepoivre P. (2003). - Phytopathologie. *De Boeck & Presses agronomiques de Gembloux éd.*

- Levêque Ch. & Monoulou J.-C. (2001). - La biodiversité : dynamique biologique et conservation. *Dunod éd.*
- Lodé T. (2001). - Les stratégies de reproduction des animaux. *Dunod éd.*
- MacFarland D. (2001). - Le comportement animal : Psychobiologie, éthologie et évolution. *De Boeck Université éd.*
- Mathey W. & coll. (1984). - Manuel pratique d'écologie. *Payot éd.*
- Meunier F. (2005). - Domestiquer l'effet de serre : Energies et développement durable. *Dunod éd.*
- Ozenda P. (1986). - La cartographie écologique et ses applications. *Masson éd.*
- Ozenda P. (1995). - Les végétaux dans la biosphère. *Doin éd.*
- Pesson P. & coll. (1980). - Actualités d'écologie forestière (Sol, flore, faune). *Gauthier-Villars éd.*
- Pesson P. & coll. (1974). - Ecologie forestière. La forêt : son climat, son sol, ses arbres, sa faune. *Gauthier-Villars éd.*
- Pesson P. & coll. (1980). - La pollution des eaux continentales. *Gauthier-Villars éd.*
- Pietrasanta Y. & Bondon D. (1994). - Le lagunage écologique. *Economica éd.*
- Ramade F. (1979). - Ecotoxicologie. *Masson éd.*
- Ramade F. (1987). - Les catastrophes écologiques. *McGraw-Hill éd.*
- Ramade F. (1989). - Eléments d'écologie : Ecologie appliquée. *McGraw-Hill éd.*
- Ramade F. (1984). - Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale. *McGraw-Hill éd.*
- Ricklefs R. & Miller G. L. (2005). - Ecologie. *De Boeck éd.*
- Thomas F., Renaud F. & Guegan J.-F. (2005). - Parasitism et ecosystem. *Oxford University Press éd.*

10 - Biologie et Physiologie végétales

- André J.-P. (2002). - Organisation vasculaire des Angiospermes. *INRA éd.*
- Bournerias M. & Bock C. (1993). - Le génie végétal. *Nathan éd.*
- Camefort H. (1984). - Morphologie des végétaux vasculaires, cytologie, anatomie, adaptations. *Doin éd.*
- Camefort H. (1997). - Reproduction et biologie des végétaux supérieurs. *Doin éd.*
- Camefort H. & Boué H. (1969). - Reproduction et biologie des principaux groupes végétaux : Les Cormophytes ou Archégionates. *Doin éd.*
- Chadefaud M. (1960). - Traité de Botanique systématique. I. Les végétaux non vasculaires, cryptogamie. *Masson éd.*
- Chadefaud M. & Emberger L. (1960). - Traité de Botanique systématique. II. Les végétaux vasculaires. *Masson éd.*
- Champagnol F. (1984). - Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture générale. *F. Champagnol Saint-Gely-du-Fesc éd.*
- Chaussat R. & Le Deunff Y. (1975). - La germination des semences. *Gauthier-Villars éd.*
- Chaussat R. & coll. (1980). - La multiplication végétative des plantes supérieures. *Gauthier-Villars éd.*
- Christmann C. (1960). - Le parasitisme chez les plantes. *Armand Colin éd.*
- Collectif (Soc. Bot. Fr.). (1978). - Aspects physiologiques de l'halophilie et de la résistance aux sels. *Bulletin de la Société botanique Française, T 125.*
- Collectif (Soc. Bot. Fr.). (1979). - Les relations hôtes parasites. *Bulletin de la Société botanique Française, T 126.*
- Collectif (Soc. Bot. Fr.). (1980). - Cécidologie et morphogénèse pathologique. *Bulletin de la Société botanique Française, T 127.*
- Collectif (Soc. Bot. Fr.). (1987). - Données actuelles sur les tissus conducteurs. *Bulletin de la Société botanique Française, T 134.*

- Collectif (Soc. Bot. Fr.). (1996). - Biologie et conservation du pollen : aspects fondamentaux et appliqués. *Bulletin de la Société botanique Française, T 143.*
- Collectif (Soc. Bot. Fr.). (1996). - Les plantes actinorhiziennes. *Bulletin de la Société botanique Française, T 143.*
- Collectif (CNRS). (1979). - La physiologie de la floraison. *CNRS éd.*
- Côme D. (1992). - Les végétaux et le froid. *Hermann éd.*
- De Reviers B. (2003). - Biologie et phylogénie des algues, tomes 1 & 2. *Belin éd.*
- Dommergues Y., Duhoux E. & Diem H. G. (1999). - Les arbres fixateurs d'azote. *IRD éd.*
- Doré C. et al (2006) – Histoire et amélioration de 50 plantes cultivées. Coll Savoir faire *INRA éd.*
- Duhoux E. & Nicole M. (2004). - Associations et interactions chez les plantes. *Dunod éd.*
- Farineau J. & Morot-Gaudry J.F. (2006) La photosynthèse, processus physiques, moléculaires et physiologiques. Coll Synthèses. *Inra éd.*
- Gorenflot R. & Guern M. (1990). - Organisation et biologie des Thallophytes. *Doin éd.*
- Gallais A. & Ricroch A. (2007) – Plantes transgéniques : faits et enjeux Coll Synthèses. *De Boeck éd.*
- Grignon C. (1989). - Les transports chez les végétaux. APBG n°1. *APBG éd.*
- Hartmann Cl. (1992). - La sénescence des végétaux. *Hermann éd.*
- Heller R. & coll. (1998). - Physiologie végétale, Abrégé Tome 1 : Nutrition. *Masson éd.*
- Heller R. & coll. (2000). - Physiologie végétale, Abrégé Tome 2 : Développement. *Masson éd.*
- Hopkins W. G. (2003). - Physiologie végétale. *De Boeck éd.*
- Kahn A. (1996). - Les plantes transgéniques en agriculture. *John Libbey Eurotext éd.*
- Laberche J. C. (1999). - Biologie végétale. *Dunod éd.*
- Larcher W. (2003) – Physiological plant ecology. *Springer éd.*
- Laval-Martin D. & Mazliak P. (1995). - Physiologie végétale, I. Nutrition. *Hermann éd.*
- Mazliak P. (1982). - Physiologie végétale. II. Croissance et développement. *Hermann éd.*
- Meyer S., Reeb C. & Bosdeveix R. (2004). - Botanique : biologie et physiologie végétale. *Maloine éd.*
- Monties B. & coll. (1980). - Les Polymères végétaux. *Gauthier-Villars éd.*
- Morot –Gaudry J.F. & Briat J.F. (2004) – La génomique en biologie végétale. *INRA éd.*
- Moyse A. & coll. (1997). - Processus de la production primaire végétale. *Gauthier-Villars éd.*
- Nultsch W. (1998). - Botanique générale. *De Boeck Université éd.*
- Pesson P. & Louveaux J. (1984). - Pollinisation et productions végétales. *INRA éd.*
- Prat R. (1993). - L'expérimentation en physiologie végétale. *Hermann éd.*
- Raven P. H., Evert R. F. & Eichhorn S. E. (2007). - Biologie végétale *De Boeck Université éd.*
- Richter G. (1993). - Métabolisme des végétaux. Physiologie et biochimie. *Presses Polytechniques et Universitaires Romandes éd.*
- Robert D. & Roland J.-C. (1990). - Biologie végétale. I. Organisation cellulaire, caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. *Doin éd.*
- Robert D. & Catesson A. M. (2000). - Biologie végétale. II. Organisation végétative. *Doin éd.*
- Robert D. & coll. (2000). - Biologie végétale. III. Reproduction. *Doin éd.*
- Roland J. -C. & Vian B. (2000). - Atlas de biologie végétale, tomes 1 & 2. *Dunod éd.*
- Rolland S. C. & Szöllösi A. (2001). - Atlas de biologie cellulaire. *Dunod éd.*
- Selosse M.-A. (1996). - Les cyanobactéries, d'étonnants procaryotes autotrophes. *Biologie-Géologie n°3 (p481-530). APBG éd.*
- Selosse M.-A. (2000). - La symbiose. Structures et fonctions, rôles écologiques et évolutifs. *Vuibert éd.*

- Selosse M. A. (2000). - Les algues de la zone intertidale et leur zonation : des idées reçues aux données écologiques. *APBG Bull. trim. 4/ 2000* (p773-802). *APBG éd.*
- Semal J. & coll. (1989). - Traité de Pathologie végétale. *Presses Académiques de Gembloux éd.*
- Stengel P. & Gelin S. (1998). - Sol, interface fragile. *INRA éd.*
- Speranza A. et Calzoni G. L. (2005). - Atlas de la structure des plantes : Guide de l'anatomie microscopique des plantes vasculaires en 285 photos. *Belin éd.*
- Srivastava L. M. (2003). - Plant growth and development. *Academic Press éd.*
- Taiz L. & Zeiger E. (1998). - Plant physiology. *Sinauer associates, Inc., Publishers.*
- Tcherkez G. (2001). - Evolution de l'architecture florale des angiospermes. *Dunod éd.*
- Thomas F., Guegan J.F. & Renaud F (2007) - Ecologie et évolution des systèmes parasites *De Boeck éd.*
- Tourte Y. (2002). - Génie génétique et biotechnologies : concepts, méthodes et applications agronomiques. *Dunod éd.*
- Tourte Y. & coll. (2005). - Le monde des végétaux : organisation , physiologie et génomique. *Dunod éd.*
- Zryd J. P. (1988). - Cultures de cellules, tissus et organes végétaux. *Presses Polytechniques Romandes éd.*

11 - Agriculture, Sylviculture

- Collectif (Soc. Bot. Fr.). (1986). - La domestication chez les végétaux. *Bulletin de la Société botanique Française, T 133.*
- Domergues Y. & Mangenot F. (1970). - Ecologie microbienne du sol. *Masson éd.*
- Grisvard P. & Chaudun V. (1987). - Le bon jardinier, tomes I & II. *Flammarion éd.*
- Harlan J. R. (1987). - Les plantes cultivées et l'Homme. *Presses Universitaires Françaises éd.*
- Johnson H. (1982). - Le livre international de la Forêt. *Nathan éd.*
- Philipps R. (1981). - Les Arbres. *Solar éd.*
- Pitra M. & Foury Cl. (2003). - Histoires de légumes. *INRA éd.*
- Collectif sous la direction de Scriban R. (1993). - Biotechnologie. *Lavoisier Tec & Doc éd.*
- Soltner D. (1990). - Phytotechnie générale. Les bases de la production végétale, I : Le sol. *Sciences et Techniques Agricoles éd.*
- Soltner D. (1992). - Phytotechnie générale. Les bases de la production végétale, II : Le climat : météorologie, pédologie, bioclimatologie. *Sciences et Technique Agricoles éd.*
- Soltner D. (1990). - Phytotechnie spéciale, Les grandes productions végétales. Céréales, plantes sarclées, prairies. *Sciences et Technique Agricoles éd.*
- Viennot-Bourgin G. (1949). - Champignons parasites des plantes cultivées, tomes I & II. *Masson éd.*

12 - Morphologie, Anatomie, Systématique

- Bourelly P. (1966). - Les Algues d'eau douce, I. Algues vertes. *Boubée & Cie éd.*
- Bourelly P. (1968). - Les Algues d'eau douce II. Algues jaunes et brunes. *Boubée & Cie éd.*
- Bourelly P. (1968). - Les Algues d'eau douce III. Algues bleues et rouges. *Boubée & Cie éd.*
- Collectif (Soc. Fr. d'Orchidophilie) sous la direction de Bournerias M. & Prat D. (2005). - Les orchidées de France, Belgique et Luxembourg. *Parthénope éd.*
- Bracegirdle B. & Miles P. H. (1985). - An Atlas of Plant Structure, Vol. 1 & 2. *Heinemann Educ .Books London.*
- Collectif (Soc. Bot. Fr.). (1986). - Progrès récents en Lichénologie. *Bulletin de la Société botanique Française, T 133.*
- Collectif (Soc. Bot. Fr.). (1989). - Potentialités biologiques des Cyanobactéries. *Bulletin de la Société botanique Française, T 136.*

- Gausсен H. & Leroy J.-F. (1982). - Précis de Botanique, II. Végétaux supérieurs. *Masson éd.*
- Gayral P. (1975). - Les Algues. *Doin éd.*
- Gillet M. (1980). - Les Graminées fourragères. *Gauthier-Villars éd.*
- Guignard J.-L. (1986). - Abrégé de Botanique. *Masson éd.*
- Ozenda P. (2000). - Les végétaux : Organisation et diversité biologique. *Dunod éd.*
- Roland J. C. & Roland F. (2001). - Atlas de Biologie végétale, II. Organisation des plantes à fleurs. *Dunod éd.*
- Roland J. C. & Vian B. (2004). - Biologie végétale. I. Organisation des plantes sans fleurs. *Dunod éd.*
- Vallade J. (2002). - Structure et développement de la plante. Morphogenèse et biologie de la reproduction des Angiospermes. *Dunod éd.*
- Judds W. S & coll. (2001). - Précis de systématique. *De Boeck Université éd.*

13- Flores, Illustrations

- Bonnier G. (1934). - Grande Flore complète (12 vol, manquent 5 et 9). *Belin éd.*
- Bonnier G. & De Layens G. (1986). - Flore complète portative de la France, de la Suisse et de la Belgique. *Belin éd.*
- Claustres G. & Lemoine C. (1980). - La végétation des côtes Manche-Atlantique. *Ouest-France éd.*
- Claustres G. & Lemoine C. (1985). - Connaître et reconnaître la flore et la végétation des montagnes. *Ouest-France éd.*
- Coste H. (l'abbé). (1937). - Flore descriptive et illustrée de la France, de la Corse et des contrées limitrophes, tomes 1 à 3. *Librairie des Sciences et des Arts éd*
- Debazac E. F. (1964). - Manuel des Conifères. *Ecole Nationale des Eaux et Forêts éd.*
- Douin M. (non daté). - Nouvelle flore des Mousses et des Hépatiques. *Librairie Générale Enseignement éd.*
- Edlin H. & Nimmo M. (1964). - Les arbres. *Bordas éd.*
- Favarger Cl. & Robert P.-A. (1956). - Flore et végétation des Alpes, Tomes I & 2. *Delachaux et Niestlé éd.*
- Fournier P. (1977). - Les quatre flores de France. *Lechevalier éd.*
- Guittonneau G.-G. & Huon A. (1983). - Connaître et reconnaître la flore et la végétation, méditerranéennes. *Ouest-France éd.*
- Krausel R. & coll. (non daté). - Flore d'Europe, I. Plantes herbacées et sous-arbrisseaux. *SLF éd.*
- Krausel R. & coll. (non daté). - Flore d'Europe, II. Arbrisseaux, arbustes et arbres. *SLF éd.*
- Lemoine C. & Claustres G. (1981). - Les fleurs des eaux et des marais. *Ouest-France éd.*
- Philipps R. (1982). - Les arbres. *Solar éd.*
- Poelt J. & Jahn H. (non daté). - Champignons d'Europe. *Payot éd.*
- Prelli R. (1992). - Guide des fougères et plantes alliées. *Lechevalier éd.*
- Rameau J. C. (?). - Flore forestière française, I. Plaines & collines.
- Rol R. & coll. (1962). - Flore des arbres, I. Plaines et collines. *Flammarion éd.*
- Rol R. & coll. (1963). - Flore des arbres, II. Montagnes. *Flammarion éd.*
- Rol R. & coll. (1968). - Flore des arbres, III. Région méditerranéenne. *Flammarion éd.*
- Rol R. & coll. (1962). - Flore des arbres, IV. Essences introduites. *Flammarion éd.*
- Van Haluwyn C. & Lerond M. (1993). - Guide des Lichens. *Lechevalier éd.*

SCIENCES DE LA TERRE

1 - Ouvrages généraux

- Bal Y. & coll. (1966). - Notion de chimie pour biologistes et géologues. *Hachette éd.*
- Brahic A. & coll. (2006). - Sciences de la Terre et de l'Univers. *Vuibert éd.*
- Caron J.-M. & coll. (1995). - Comprendre et enseigner la planète Terre. *Ophrys GAP éd.*
- Cazenave A. & Massonnet D. (2004). - La Terre vue de l'espace. *Belin / Pour la Science éd.*
- CGMW / UNESCO (2001). - Carte Géologique du monde à 1/25 000 000. *CGMW / UNESCO.*
- Collectif (APBG). (1989). - Terre 88. APBG Biologie - Géologie n° 2. *APBG éd.*
- Collectif (CNRS). (1990). - La Terre : De l'observation à la modélisation. Le Courrier du CNRS n° 76. *CNRS éd.*
- Collectif (SGF). (1984). - Des océans aux continents. (Colloque du centenaire de l'ENS de Saint-Cloud). *Bulletin de la Société géologique Française.*
- Collectif (SGF). (1997). - La Terre. (Supplément au bulletin de l'APBG "biologie-géologie", n°2). *APBG éd.*
- Dercourt J., Le Ricou & Vrielynck B. (1993). - Atlas Tethys : Paléoenvironmental maps. *CCGM/CGMW.*
- Dercourt J. & Paquet J. (1999). - Géologie : Objets et méthodes. *Dunod éd.*
- De Wewer P. & coll. (2005). - La mesure du temps dans l'histoire de la Terre SGF Enseigner les Sciences de la Terre. *SGF / Vuibert*
- Foucault A. & Raoult J. F. (1988). - Dictionnaire de Géologie. *Masson éd.*
- Pomerol Ch., Lagabrielle Y. & Renard M. (2000, 12° éd et 2005, 13° éd.). - Eléments de Géologie. *Dunod éd.*
- Lovelock J. (2001). - Gaïa, une médecine pour la planète. *Sang de la Terre éd.*
- Mattauer M. - (1998). - Ce que disent les pierres. *Belin éd.*
- Nataf H. C., Sommeria J. (2000). - La physique et la Terre. *Belin / CNRS Editions.*
- Sheffield Ch. (1981). - Notre monde vu de l'espace. Voici la Terre. *Editions maritimes et d'Outre-Mer.*
- Vila J. M. (2000). - Dictionnaire de la tectonique des plaques et de la géodynamique. *Gordon and Breach science publishers éd.*
- Vrielynck B. & Bouysse P. (2001). - Le visage changeant de la Terre : L'éclatement de la Pangée et la mobilité des continents au cours des derniers 250 millions d'années en 10 cartes (livret + CD-ROM). *Commission de la carte Géologique du monde/CGMW.*
- Westbroek P. (1998). - Vivre la terre. *Seuil éd.*

2 - Sédimentologie, pétrologie et géochimie sédimentaire, océanographie physique et chimique, climatologie

- Adams A. E., Mackenzie W. S. & Guilford C. (1994). - Atlas des roches sédimentaires. *Masson éd.*
- Berger A. (1992). - Le climat de la Terre : un passé pour quel avenir. *De Boeck Université éd.*
- Biju-Duval B. (1999). - Géologie sédimentaire. Bassins, environnements de dépôts, formation du pétrole. *Technip éd.*
- Biju-Duval B. & Savoye B. (2001). - Océanologie. *Dunod éd.*
- Campy M. & Macaire J.-J. (1989). - Géologie des formations superficielles. *Dunod éd.*
- Chamley H. (1988). - Les milieux de sédimentation. *BRGM-Lavoisier éd.*
- Chapel A. & coll. (1996). - Océans et atmosphère. *Hachette éd.*
- Cojan J. & Renard M. (1999). - Sédimentologie. *Dunod éd.*
- Collectif (Pour la Science). (1984). - Cette roche nommée pétrole. *Belin / Pour la Science éd.*
- Collectif (Association des sédimentologues de France). (1989). - Dynamique et méthodes d'étude des bassins sédimentaires. *Technip éd.*

- Collectif (Bureau des longitudes). (1984). - Encyclopédie scientifique de l'univers: La Terre, les eaux, l'atmosphère. *Gauthier-Villars éd.*
- Collectif (Groupe Téthys). (1985). - Paleobiogeographie de la Téthys. *Bulletin de la Société géologique Française.*
- Collectif (Encyclopedia Universalis). (1994). - Le grand Atlas Universalis de la mer. *Encyclopedia Universalis éd.*
- Copin-Montegut G. (1996). - Chimie de l'eau de mer. *Institut Océanographique éd.*
- Deconinck JF (2006) Paléoclimats L'enregistrement des variations climatiques . Coll. Interactions SGF Vuibert.
- Gilli E. (1999). - Que sais-je : Eaux et rivières souterraines. *Presses Universitaires Françaises.*
- Gilli E., Mangan Ch. & Mudry J. (2004). - Hydrogéologie. *Dunod éd.*
- Hufty A. (2001). - Introduction à la climatologie. *De Boeck Université éd.*
- Joussaume S. (1993). - Climats d'hier à demain. *CNRS éd /CEA Science au présent.*
- Leroux M. (1996). - La dynamique du temps et du climat. *Dunod éd.*
- Margat J. (2004). - Atlas de l'eau dans le bassin méditerranéen. *CCGM/ Plan bleu/ Unesco.*
- Meyer R. (1987). - Paléoaérites et paléosols. *BRGM éd.*
- Millot G. (1964). - Géologie des argiles. *Masson éd.*
- Minster J.F. (1997). - La machine océan. *Flammarion éd.*
- Minster J.F. (1997). - Les océans. *Flammarion éd.*
- Nicolas A. (2004). - 2050 : rendez-vous à risques. *Belin éd.*
- Nesme-Ribe E. & Thullier G. (2002). - Histoire solaire et climatique. *Belin / Pour la Science éd.*
- Rotaru M. & coll. (2006). - Les climats passés de la Terre. *SGF / Vuibert éd.*
- Rouchy JM & Blanc -Valleron MM (2006) - Les évaporites. Matériaux singuliers, milieux extrêmes. Coll. Interactions SGF Vuibert
- Ruddiman W. F. (2000). - Earth's climate : past and future. *Freeman éd.*
- Tribovillard N., Baudin F et Trichet J (2007) - Géologie de la matière organique SGF Vuibert

[3 - Géochimie, Minéralogie](#)

- Albarede F. (2001). - La géochimie. *Gordon and Breach Science Publishers éd.*
- Allègre C.-J. & Michard G. (1973). - Introduction à la Géochimie. *Presses Universitaires Françaises éd.*
- Allègre Cl. J. (2005). - Géologie isotopique. *Belin éd.*
- Baronnet A. (1988). - Minéralogie. *Dunod éd.*
- Brunet F., Andraut D & Chazot G. (2007) La terre interne ; roches et matériaux en conditions extrêmes. *SGF / Vuibert ed.*
- Roubault M. (1963). - Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant. *Lamarre-Poinat éd.*
- Treuil M. & Hagemann R. (1998). - Introduction à la géochimie et ses applications, tome 1 & 2. *CEA / UPMC éd.*
- Faure G. (1986). - Principles of isotope geology. *Wiley éd.*

[4 - Géographie physique, Géomorphologie](#)

- Coque R. (1977). - Géomorphologie. *Armand Colin éd.*
- Desfontaines P. & Delamarre M. (1955). - Atlas aérien de la France, I : Alpes, Vallée du Rhône, Provence, Corse. *Gallimard éd.*
- Desfontaines P. & Delamarre M. (1956). - Atlas aérien de la France; II : Bretagne, Val de Loire, Sologne et Berry, Pays Atlantiques entre Loire et Gironde. *Gallimard éd.*

- Desfontaines P. & Delamarre M. (1958). - Atlas aérien de la France; III : Pyrénées, Languedoc, Aquitaine, Massif Central. *Gallimard éd.*
- Desfontaines P. & Delamarre M. (1962). - Atlas aérien de la France; IV : Paris et Vallée de la Seine, Ile de France, Beauce et Brie, Normandie, de la Picardie à la Flandre. *Gallimard éd.*
- Desfontaines P. & Delamarre M. (1964). - Atlas aérien de la France; V : Alsace, Vosges, Lorraine, Ardennes et Champagne, Morvan et Bourgogne, Jura. *Gallimard éd.*
- Lacoste Y. (1985). - Nouvel Atlas des formes du relief. *Nathan éd.*
- Peulvast J. P. & Vanney J. R. (2001). - Géomorphologie structurale Terre Corps planétaires solides, Tome 1 : Relief et structure. *Gordon & Breach Science Publisher / SGF éd.*
- Peulvast J. P. & Vanney J. R. (2001). - Géomorphologie structurale Terre Corps planétaires solides, Tome 2 Relief et géodynamique. *Gordon & Breach Science Publisher / SGF éd.*

5- Géophysique, Géologie structurale

- Collectif (Pour La Science). (1982). - Les tremblements de terre. *Belin / Pour la Science éd.*
- Collectif sous la direction de Avouac J. P. & De Wever P. (2002). - Himalaya –Tibet. : le choc des continents. *MNHN / CNRS éd.*
- Boillot G. & Coulon C. (1998). - La déchirure continentale et l'ouverture océanique. *Gordon and Breach Science Publisher éd.*
- Boillot G. & coll. (1984). - Les marges continentales actuelles et fossiles autour de la France. *Masson éd.*
- Boillot G. (1996). - La dynamique de la lithosphère. *Masson éd.*
- Boillot G., Huchon Ph. & Lagabrielle Y. (2003). - Introduction à la géologie. La dynamique de la lithosphère. *Dunod éd.*
- Cara M. (1989). - Géophysique. *Dunod éd.*
- Cazenave A. & Feigl K. (1994). - Formes et mouvements de la Terre Satellites et géodésie. *Belin / CNRS éd.*
- Choukroune P. (1995). - Déformations et déplacements dans la croûte terrestre. *Masson éd.*
- Debelmas J. & Mascle G. (1991). - Les grandes structures géologiques. *Masson éd.*
- Dewaele E. & Sanloup G. (2005). - L'intérieur de la Terre et des planètes. *Belin éd.*
- Dubois J. & Diamant M. (1997). - Géophysique. *Masson éd.*
- Jolivet L. & Nataf H.-C. (1998). - Géodynamique. *Dunod éd.*
- Jolivet L. (1995). - La déformation des continents. Exemples régionaux. *Hermann éd.*
- Juteau T. & Maury R. (1997). - Géologie de la croûte océanique. *Masson éd.*
- Lagabrielle Y. (2005). - Le visage sous marin de la Terre. Eléments de géologie océanique. *CCGM / CNRS éd.*
- Lallemand S. (1999). - La subduction océanique. *Gordon & Breach Science Publishers éd.*
- Lallemand S. & coll. (2005). - Convergence lithosphérique. *SGF / Vuibert éd.*
- Lambert J. & coll. (1997). - Les tremblements de terre en France. *BRGM éd.*
- Larroque C. et Virieux J. (2001). - Physique de la Terre solide : observations et théories. *Gordon & Breach Science Publishers éd.*
- Lemoine M., De Graciansky P. Ch. & Tricart P (2000). - De l'océan à la chaîne de montagnes. *Gordon & Breach Science Publishers éd.*
- Lliboutry L. (1998). - Géophysique et Géologie. *Masson éd.*
- Madariaga R. & Perrier G. (1991). - Les tremblements de terre. *CNRS éd.*
- Mattauer M. (1973). - Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre. *Hermann éd.*
- Mercier J. & Vergely P. (1992). - Tectonique. *Dunod éd.*
- Montagner J.-P. (1998). - Sismologie. La musique de la Terre. *Hachette éd.*

- Nicolas A. (1990). - Les montagnes sous la mer. *BRGM éd.*
- Nicolas A. (1989). - Principes de Tectonique. *Masson éd.*
- Poirier J. P. (1996). - Le noyau de la Terre. *Flammarion éd.*
- Poirier J. P. (1991). - Les profondeurs de la Terre. *Masson éd.*
- Scanvic J. Y. (1985). - Utilisation de la Télédétection dans les Sciences de la Terre. *BRGM éd.*
- Vogt J. (1979). - Les tremblements de Terre en France. Mémoire du BRGM n° 96. *BRGM éd.*
- Westphal M., Whitechurch H. & Munsch M. La tectonique des plaques. *Gordon & Breach Science Publisher / SGF éd.*

6 - Géologie appliquée et environnement

- Antoine P. & Fabre D. (1980). - Géologie appliquée au Génie Civil. *Masson éd.*
- Barrabé L. & Feys R. (1965). - Géologie du charbon et des bassins houillers. *Masson éd.*
- Blieffert & Perraud (2001) – Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets. *De Boeck éd.*
- Bodelle J. & Margat J. (1980). - L'eau souterraine en France. *Masson éd.*
- Castagny G. (1982). - Principes et méthodes de l'hydrogéologie. *Dunod Université éd.*
- Chamley H. (2002). - Environnements géologiques et activités humaines. *Vuibert éd.*
- Collectif (SGF). (1985). - La géologie au service des hommes. (Entretiens de Saint-Cloud). *Presses Universitaires Françaises.*
- Collectif (BRGM). (1978). - La géothermie en France. *BRGM éd.*
- Collectif (SGF). (1987). - Les techniques pétrolières. *Bulletin de la Société géologique Française.*
- Collectif (CRDP). (1991). - L'eau de Paris. *CRDP éd.*
- Goguel J. (1975). - La Géothermie. *Doin éd.*
- Pelissonnier H. (2001). - Réflexions sur la métallogénie. *Les ouvrages de l'industrie minière éd.*
- Perrodon A. (1985). - Géodynamique pétrolière. Genèse et répartition des gisements d'hydrocarbures. *Masson éd.*
- Perrodon A. (1985). - Histoire des grandes découvertes pétrolières. *Masson / Elf Aquitaine éd.*
- Routhier P. (1963). - Les gisements métallifères, tomes I & II. *Masson éd.*
- Lefevre Ch ; Schneider J. (2002) - Risques naturels majeurs ; Coll Geosciences Gordon & Breach Science Publisher éd.
- Tarits C. & coll. (2002). - Géologie de l'environnement. *Dunod éd.*

7 - Géologie régionale

- Agard P. & Lemoine M. (2003). - Visage des Alpes : structure et évolution géodynamique (Fascicule + CD). *CGMW éd.*
- Autran A. (1980). - Evolutions géologiques de la France. *BRGM éd.*
- Bousquet J. & Vignard D. (1980). - Découverte géologique du Languedoc Méditerranée. *BRGM éd.*
- Bril H. (1988). - Découverte géologique du Massif Central. *BRGM éd.*
- Brousse R. & Lefevre C. (1990). - Le volcanisme en France et en Europe limitrophe. *Masson éd.*
- Cabanis B. (1987). - Découverte géologique de la Bretagne. *BRGM éd.*
- Cavelier C. & Lorenz J. (1987). - Aspect et évolution géologiques du Bassin Parisien. *APBG éd.*
- Collectif (1980). - Geology of the european countries : Austria, Federal Republic of Germany, Ireland, The Netherlands, Switzerland, United Kingdom. *Dunod éd.*
- Collectif (1980). - Geology of the european countries : Denmark, Finland, Iceland, Norway, Sweeden. *Dunod éd.*

- Collectif (1980). - Géologie des pays européens : France, Belgique, Luxembourg. *Dunod éd.*
- Collectif (1980). - Géologie des pays européens : Espagne, Grèce, Italie, Portugal, Yougoslavie. *Dunod éd.*
- Collectif (APBG) (2003). - Les Alpes...à la recherche d'indices (Livret + CD). *APBG éd.*
- Debelmas J. (1979). - Découverte géologique des Alpes du Nord. *BRGM éd.*
- Debelmas J. (1982). - Découverte géologique des Alpes du Sud. *BRGM éd.*
- Debelmas J. (1974). - Géologie de la France, tomes 1 & 2. *Doin éd.*
- Debrand-Passard S. & coll. (1984). - Synthèse géologique du Sud Est de la France, I : Stratigraphie et paléogéographiell : Atlas. *BRGM éd.*
- Dercourt J. (2002). - Géologie et géodynamique de la France. *Dunod éd.*
- Gauthier A. (1983). - Roches et paysages de la Corse (Parc nat. rég.). *BRGM éd.*
- Guille G., Goutière G. & Sornein J.-F. (1993). - Les atolls de Mururoa et de Fangataufa (Polynésie française), tome I. *DIRCEN / CEA éd.*
- Lemoine M. (1990). - La tectonique des plaques et les Alpes. *APBG éd.*
- Marthaler M. (2001). - Le Cervin est-il africain. *Dilisco éd.*
- Megnin C. & coll. (1980). - Synthèse géologique du Bassin Parisien. Atlas Mémoire du *BRGM éd.*
- Mirouse R. (1988). - Découverte géologique des Pyrénées occidentales. *BRGM éd.*
- Pomerol Ch. (1988). - Découverte géologique de Paris et de l'Ile de France. *BRGM éd.*
- Pomerol Ch. & coll. (?). - Guides géologiques régionaux (collection complète). *Masson éd.*
- Richet P. (2003). - Guide des volcans de France. *Belin éd.*
- Ricour J. & coll. (1987). - Découverte géologique du Nord de la France. *BRGM éd.*
- Roure F., Heitzmann P. & Polino R. (1990). - Deep structure of the Alps. *Société géologique Française éd.*
- Sabouraud Ch. (2004). - Guide de la géologie en France. *Belin / SGF éd.*
- Souriau A. & Sylvander M. (2004). - Les séismes dans les Pyrénées. *Loubatières éd.*

8 - Magmatisme, Métamorphisme

- Bard J.-P. (1980). - Microtextures des roches magmatiques et métamorphiques. *Masson éd.*
- Barbey P. & Libourel G. (2004). - Les relations de phases et leurs applications : des sciences de la terre aux matériaux (Livre + CD). *Gordon & Breach Science Publisher / SGF éd.*
- Bardintzeff J.-M. (1999). - Volcanologie. *Dunod éd.*
- Bardintzeff J.-M. (1993). - Volcans. *Armand Colin éd.*
- Best M. G. & Christiansen E. H. (2001). - Igneous petrology. *Blackwell Science éd.*
- Bonin B. (1982). - Les granites des complexes annulaires. *BRGM éd.*
- Bonin B. (1982). - Pétrologie endogène. *Dunod éd.*
- Bonin B. (1982). - Magmatisme et roches magmatiques. *Dunod éd.*
- Bourdier J.-L. (1994). - Le volcanisme : Manuel et Méthodes. *BRGM éd.*
- Collectif (Pour La Science) (1984). - Les volcans. *Belin éd.*
- Collectif sous la direction de De Wever P. (2003). - Le volcanisme : Cause de mort et source de vie. *Vuibert / MNHN éd.*
- Collectif (Soc. géol.). (1993). - Pleins feux sur les volcans. *SGF / APBG éd.*
- Kornprobst J. (1994). - Les roches métamorphiques et leur signification géodynamique. *Masson éd.*
- Krafft M. (1974). - Guide des volcans d'Europe et des Canaries. *Delachaux & Niestlé éd.*
- Lameyre J. (1975). - Roches et minéraux, tome I : Les matériaux. *Doin éd.*
- Lameyre J. (1975). - Roches et minéraux, tome II : Les formations. *Doin éd.*

- Lameyre J. (1986). - Roches et minéraux : Matériaux de la Terre et témoins de son histoire. *Doin éd.*
- Mackenzie W. S, Donaldson C. H. & Guilford C. (1995). - Atlas des roches magmatiques. *Masson éd.*
- Marre J. (1982). - Méthodes d'analyse structurale des granitoïdes. *BRGM éd.*
- Yardley B. W. D., Mackenzie W. S & Guilford C. (1995). - Atlas des roches métamorphiques. *Masson éd.*

9 - Sciences de l'univers

- Acker A. (2005). - Astronomie-Astrophysique Introduction. *Dunod éd.*
- Allègre Cl. J. (1985). - De la pierre à l'étoile. *Fayard éd.*
- Audouze J. (1989). - Aujourd'hui l'Univers Planètes, trous noirs, soleils, galaxies. *Belfond éd.*
- Brahic A. (2002). - Planètes et satellites. *Vuibert éd.*
- Collectif (Encyclopedia Universalis). - Atlas Universalis. *Encyclopedia Universalis éd.*
- Collectif sous la direction de Riser J. (1999). - Le quaternaire : géologie et milieux naturels. *Dunod éd.*
- De la Cotardière Ph. (1991). - Astronomie. *Larousse éd.*
- Delsemme A. H., Pecker J.-C. & Reeves H. (?). - Pour comprendre l'Univers. *Editions universitaires.*
- Encrenaz Th. (2000). - Atmosphères planétaires ; origine et évolution. *Belin / CNRS éd.*
- Encrenaz Th. (2004). - A la recherche de l'eau dans l'univers. *Belin éd.*
- Gargaud M. & coll. (2005). - Des Atomes aux planètes habitables. *Presses Universitaires de Bordeaux éd.*
- Gargaud M. & coll. (2005). - L'environnement de la Terre primitive. *Presses Universitaires de Bordeaux éd.*
- Gargaud M. & coll. (2003). - Les traces du vivant. *Presses Universitaires de Bordeaux éd.*
- Seguin M. & Villeneuve B. (2002). - Astronomie et astrophysique (Livre + CD). *De Boeck Université éd.*
- Pecker J.-C. (1992). - Le soleil est une étoile. *Presses Pocket éd.*

10 - Stratigraphie

- Elmis S. & Babin C. (1994). - Histoire de la Terre. *Colin éd.*
- Homewood P., Mauriaud P. & Lafont P. (2000). - Vade-mecum de la stratigraphie séquentielle. *Editions Elf.*
- Pomerol Ch. (1973). - Stratigraphie et Paléogéographie. Ere Cénozoïque. *Doin éd.*
- Pomerol Ch. (1975). - Stratigraphie et Paléogéographie. Ere Mésozoïque. *Doin éd.*
- Pomerol Ch. & Babin C. (1975). - Stratigraphie et Paléogéographie. Ere Paléozoïque. *Doin éd.*
- Pomerol Ch. & coll. (1987). - Stratigraphie : Méthodes, Principes, Applications. *Doin éd.*

11 - Paléontologie

- Babin C. (1991). - Principes de paléontologie. *Colin éd.*
- Bignot G. (1988). - Micropaléontologie. *Dunod éd.*
- Bignot G. (2001). - Introduction à la micropaléontologie. *Dunod éd.*
- Chaline J. (1985). - Histoire de l'Homme et des climats du Quaternaire. *Doin éd.*
- Chaline J. (1987). - Paléontologie des Vertébrés. *Dunod éd.*
- Chaline J. & Marchand D. (2002). - Les merveilles de l'évolution. *Editions Universitaires de Dijon.*
- Collectif (Pour La Science). (1985). - Les animaux disparus. *Belin éd.*
- Collectif (Pour La Science). (1991). - Les fossiles, témoins de l'évolution. *Belin éd.*
- Collectif (Dossier La Recherche). (2005). - Histoire de la vie. Dossier La Recherche n°19 (juillet 2005). *La Recherche éd.*
- De Bonis L. (2000). - La famille de l'Homme. *Belin / Pour la Science éd.*

- Emberger L. (1968). - Les plantes fossiles dans leurs rapports avec les végétaux vivants. *Masson éd.*
- Enay R. (1990). - Paléontologie des invertébrés. *Dunod éd.*
- Fischer J. C. (1990). - Fossiles de France et des régions limitrophes. *Masson éd.*
- Jaeger J.-J. (1996). - Les mondes fossiles. *Odile Jacob éd.*
- Lethiers F. (1998). - Evolution de la biosphère et événements géologiques. *Gordon and Breach Science Publishers éd.*
- Picq P. & Coppens Y. (2001). - Aux origines de l'humanité, T1 : Le propre de l'homme. *Fayard éd.*
- Picq P. & Coppens Y. (2001). - Aux origines de l'humanité, T2 : De l'apparition de la vie à l'homme moderne. *Fayard éd.*

LISTE DES CARTES MISES À LA DISPOSITION DES CANDIDATS LORS DES EPREUVES ORALES

Documents généraux

Le visage changeant de la Terre + CD Rom. L'éclatement de la pangée et la mobilité des continents. Vrielinck B. & Bouysse P. – CCGM

Le visage sous-marin de la Terre. Eléments de géologie océanique. Livret + CD Rom Y. Lagabrielle CCGM/CNRS

Le visage des Alpes: structure et évolution géodynamique. Agard P & Lemoine M. CCGM

Atlas de l'eau dans le bassin méditerranéen Margat J. - CCGM - Plan bleu

Atlas Tethys Palaeoenvironmental maps. Dercourt & al CCGM

Coupe crustale des Alpes occidentales-Transect Ile Crémieu -Torino - GéoFrance 3D

Echelle des temps géologiques. Ed 2004

Explanatory note to the international stratigraphic Chart

Cartes de la France

Carte géologique de la France. Version 1996 et version 2003 au 1/1000 000

Carte pédologique de France au 1/1000 000

Carte des richesses minérales de la France au 1/1000 000

Carte magnétique de la France au 1/1000 000

Carte gravimétrique de la France au 1 /1000 000

Carte tectonique de la France au 1/1000 000

Carte des linéaments en France au 1/1000 000

Carte des formations superficielles en France - carte du quaternaire au 1/1000 000

Carte sismotectonique de France au 1/1000 000

Carte des gisements de fer en France au 1/1000 000

Carte géologique de la marge continentale de la France au 1/1500 000

Carte de la France minière au 1/1500 000

Carte de la France à l'optimum climatique holocène 8000 ans BP (+ ou - 1000 ans)

Carte de la France au dernier maximum glaciaire 18000 ans BP (+ ou - 2000)

Carte de l'occupation des terres en France au 1/1000 000

Cartes géologiques diverses

Carte géologique du monde au 1/25 000 000

Carte sismotectonique du monde 1/25 000 000 CCGM

Carte géologique de l'Europe

Carte géologique de l'Europe nouvelle édition 2005 CCGM
Carte internationale tectonique de l'Europe en 5 feuilles au 1 500 000 CCGM
Carte géologique de la manche au 1/1000 000
Carte du métamorphisme des Alpes. Université de Bâle au 1/1500 000
Metamorphic structure of Alpes- Carte du métamorphisme dans les Alpes au 1/1000 000 CCGM 2004
Les secteurs de la Terre et de la mer en Europe du Nord. 1/4 000 000. Land and sea areas of Northern Europe - NGU
Carte géologique de l'Asie du Sud Est 1990 - Geological map of southern and east asia 1/5 000 000 UNESCO
Carte géologique de l'Amérique du Sud au 1/5 000 000. Réédition 2005
Cartes du monde durant les 2 derniers extrêmes climatiques- Maps of the world environments during the last two climatic extremes Carte 1 : le dernier maximum glaciaire 18 000 BP
Cartes du monde durant les 2 derniers extrêmes climatiques- Maps of the world environments during the last two climatic extremes Carte 2 : l'optimum holocène 8 000 BP
La chaîne des Alpes vue par satellite au 1000 000
Atlas géologique du monde Océan Pacifique UNESCO n° 20 1/36 000 000
Atlas géologique du monde Océan Indien UNESCO n° 21 1/29 000 000
Atlas géologique du monde Océan Atlantique UNESCO n° 22 1/ 34 000 000
Carte de l'Océan indien CCGM -IPEV-UNESCO Carte 1 : physiographie 1/22 000 000
Carte de l'Océan indien CCGM -IPEV-UNESCO Carte 2 : carte structurale 1/22 000 000
Carte géologique internationale de l'Afrique 1/5 000 000 UNESCO n° 3
Eastern Asia geological Hazards map 1/7700 000 (2 cartes + notice). Carte 1 : mainly endodynamic origins
Eastern Asia geological Hazards map 1/7700 000 (2 cartes + notice). Carte 2 : mainly exodynamic origins
Geological map of the middle east (Arabie et Iran) au 1/5 000 000
Carte stéréologique de l'est de la France et de ses régions limitrophes
Carte géodynamique de la Méditerranée au 1/ 13 000 000 - CCGM Carte 1: tectonique et cinématique
Carte géodynamique de la Méditerranée au 1/ 13 000 000 - CCGM Carte 2 : sismicité et tectonique
Carte des environnements méditerranéens pendant les 2 derniers extrêmes climatiques au 1/ 7 000 000 CCGM carte 1: le dernier maximum glaciaire 18 000 BP
Carte des environnements méditerranéens pendant les 2 derniers extrêmes climatiques au 1/ 7 000 000 CCGM Carte 2: l'optimum holocène 7 000 - 9 000 BP
Carte mondiale du stress CCGM 2007
La tectonique des plaques depuis l'espace CCGM 2006

Carte des formation superficielles : Creil au 1/100 000
Carte géotechnique de Clermont Ferrand (application à l'aménagement et à l'urbanisation)
Carte métallogénique Europe n° 4 (sud de l'Angleterre, France , Nord de l' Espagne) au 1/2 500 000
Carte des gîtes minéraux au 1/500 000 (livret) : Lyon
Carte des gîtes minéraux au 1/500 000 (livret): Marseille
Carte des gîtes minéraux au 1/500 000 (livret): Nantes
Carte des gîtes minéraux au 1/500 000 (livret):Bordeaux
Carte des gîtes minéraux au 1/500 000 (livret) : Rouen
Carte des gîtes minéraux au 1/500 000 (livret): Strasbourg
Carte des gîtes minéraux au 1/500 000 (livret): Toulouse
Carte des coulées historiques du Piton de la Fournaise au 1/25 000
Carte volcanologique de la chaîne des Puys au 1/25 000
Carte du complexe granitique de Ploumanac'h au 1/25 000
Carte géologique de l'Afar septentrional (Ethiopie) au 1/500 000
Carte de la chaîne volcanique du Erta Ale
Carte géologique du rift d'Asal au 1/ 50 000
Carte géologique de la Réunion au 1/100 000
Carte du massif volcanique de la Soufrière au 1/20 000
Carte de la Montagne Pelée au 1/20 000
Carte de la Nouvelle Calédonie au 1/200 000 (2 cartes)
Cartes topographiques et physiographiques
Carte topographique du fonds des océans au 1/48 000 000 (à l'équateur)
Carte altimétrique du monde NOAA au 1/39 000 000 (à l'équateur)
Carte Bathymetry of the North East Atlantic - Ifremer au 2 400 000
Carte bathymétrique dorsale Est-Pacifique au 1/100 000 n° 1 10° à 10° 30
Carte bathymétrique dorsale Est-Pacifique au 1/100 000 n° 2 10° 30 à 11°
Carte bathymétrique dorsale Est-Pacifique au 1/100 000 n° 3 11° à 11° 30
Carte bathymétrique dorsale Est-Pacifique au 1/100 000 n° 4 11° 30 à 12°
Carte bathymétrique dorsale Est-Pacifique au 1/100 000 n° 5 12° à 12° 30
Carte bathymétrique dorsale Est-Pacifique au 1/100 000 n° 6 12° 30 à 13°
Carte bathymétrique dorsale Est-Pacifique au 1/100 000 n° 7 13° à 13° 30
Carte bathymétrique dorsale Est-Pacifique au 1/100 000 n° 8 13° 30 à 14°
Carte bathymétrique dorsale Est-Pacifique au 1/100 000 n° 9 14° à 14° 30
Montage topographique des Alpes du lac Léman à Nice

Photo des Alpes vus par satellite au 1/1 000 000
Carte IGN Annecy 1/50 000
Carte IGN Chambéry 1/50 000
Carte IGN Marseille 1/50 000
Carte IGN Nancy 1/200 000
Carte IGN La réunion 1/200 000
Carte IGN Besançon 1/200 000
Carte IGN Clermont Ferrand 1/200 000
Carte IGN Perpignan 1/200 000
Carte IGN Besançon 1/200 000
Montage sillon rhodanien 1/200 000
Carte IGN Strasbourg 1/200 000
Carte IGN Grenoble 1/200 000
Carte IGN Moustiers 1/200 000
Carte IGN Toulon 1/200 000
Carte IGN Marseille 1/200 000
Carte de Tahiti au 1/100 000
Cartes hydrogéologiques
Carte des systèmes aquifères de la France au 1/1 500 000
Carte des eaux minérales et thermales de la France au 1/1000 000
Atlas des nappes aquifères de la région parisienne (20 cartes) au 1/1 000 000
Atlas d'hydrogéologie du département du Lot, des Causses et du Quercy au 1/100 000
Carte hydrogéologique de Douai au 1/50 000
Carte hydrogéologique d'Auxerre au 1/50 000
Carte hydrogéologique de Grenoble au 1/50 000
Carte hydrogéologique d'Istres Eyguières au 1/50 000
Atlas hydrogéologique de la Beauce
Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution au 1/1 000 000
Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution Grenoble 1/50 000
Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution Pontarlier 1/50 000
Carte d'exploitation des réservoirs aquifères et des risques de pollution : Montpellier 1/100 000

Cartes sédimentologiques sous marines
Carte sédimentologique sous - marine de Brest au 1/100 000
Carte sédimentologique sous - marine de Bricquebec au 1/100 000
Carte sédimentologique sous - marine de Lorient au 1/100 000
Carte sédimentologique sous - marine de Saint Vaast la Hougue au 1/100 000
Atlas géologique du plateau continental aquitain : structure dépôt meuble au 1/250 000
Carte du domaine marin côtier Nord Pas de Calais au 1/100 000
Carte de la marge continentale française : Marseille ; nature des dépôts meubles
Cartes ZERMOS : zones exploitées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol
Carte de la région Bourg Saint Maurice au 1/25 000
Carte de la région de Millau au 1/25 000
Carte de la région de Saint Etienne de Tinée au 1/25 000
Carte de la région du Trièves - Isère au 1/25 000
Cartes géologiques au 1/320 000
Carte montage du Massif Armoricaïn
Carte d' Avignon
Carte de Bayonne
Carte de Bordeaux
Carte de Bourges
Carte de Dijon
Carte montage du Grand Saint Bernard à Nice
Carte de Lille-Dunkerque
Carte de Lyon
Carte de Mézières
Carte de Rodez
Carte de Toulouse
Cartes géologiques au 1/250 000
Carte montage de Annecy - Gap - Lyon - Marseille
Carte d'Annecy
Carte de Gap

Carte de Valence	
Carte de Paris	
Carte de Corse	
Carte des Alpes occidentales du Léman à Nice	
Carte de Marseille	
Carte de Rouen	
Cartes géologiques au 1/50 000	
A	
Abbeville	Argentan
Agen	Aubagne-Marseille
Aix-en-Provence	Aulus les Bains
Alençon	Aurillac
Allos	Auxerre
Anduze	Avesnes
Angers	Avignon
Annecy Bonneville	
B	
Baie du Mont Saint-Michel	Bolbec
Bagnières de Luchon	Bordeaux
Bar-le-Duc	Bourbon-l'Archambault
Bar-sur-Aube	Bourg-en-Bresse
Barcelonnette	Bourganeuf
Baume-les-Dames	Bourg-Lastic
Bayonne	Bouxwiller
Beaune	Brest
Bedarieux	Briançon
Belle-Ile-en-Mer	Bricquebe-Surtainville
Belle-Isle-en-Terre	Brignoles
Besançon	Brioude avec Langeac (montage)
Béziers	Broons
Blaye - Sainte-Luce	Burzet
C	
Carpentras	Chaudes-Aigues

Carphaix plouguer	Chaumont
Castellane	Cherbourg
Cavaillon	Chorges
Cayres	Clermont-Ferrand
Chablis	Clermont
Chagny	Clermont-en-Argonne
Chalon-sur-Saône	Colmar-Artolsheim
Chalonne sur loire	Combourg
Chambéry	Commercy
Champagnole	Condé-sur-Noireau
Charleville-Mézières	Corbeil
Charpey	Courson-les-Carières
Château-Chinon	Coutras
Château-Landon	Craonne
Château-Salins	Creil
Châteaurenard	Crest
Châtillon-sur-Seine	Cuers
D	
Damprichard	Domène
Damartin-en-Goële	Douai
Dax	Douarnenez
Die	Doulaincourt
Digne	Draguignan
Dijon	
Dole	
E	
Entrevaux	
Etampes	
Embrun	
Espelette	
F	
Fécamp	Fontainebleau
Falaise	Forbach
Fayence	Forcalquier

Ferrette	Fréjus - Cannes
Feurs	Fumay
Foix	
G	
Gannat	Givet
Gap	Gourin
Gavarnie	Grasse - Cannes
Gerardmer	Grenoble
Gevray-Chambertin	Guillestre
H	
Hyères-Porquerolles	
Huelgoat	
I-J-K	
Iholdy	Juillac avec Tulle (montage)
Ile de Groix	
Is-sur-Tille	
Issoire	
Joigny	
L	
La Chapelle-en-Vercors	Le Mas d'Azil
La Grave	Les Alpilles
La Javie	L'Isle-Adam
La Mure	Lodève
La Roche-Bernard	Lons-le-Saunier
La Rochette	Lorient
Lagny	Lourdes
Langeac avec Brioude (montage)	Luc-en-Diois
Lanslebourg	Lunel
Larche	Lunéville
Largentière	
Lavelanet	
Le Conquet	
Le Faou	
Le Fousseret	

Le Mans	
M	
Maïche	Montargis
Manosque	Montceau-les-mines
Marquise	Montélimar
Martinique	Montivilliers - Etretat
Maubeuge	Montmelian
Mauriac	Montpellier
Mens	Morez-Bois d'Amont
Menton - Nice	Morlaix
Metz	Morteau
Mirecourt	Mouthe
Modane	Moûtiers
Moirans-en-montagne	Mulhouse- Mullheim
Molsheim	
Monbéliard	
Moncontour	
Mont-de-Marsan	
Montaigut	
N	
Nancy	
Nantes	
Narbonne	
Neufchâteau	
O	
Oloron-St Marie	
Orcières	
Orgelet-le-Bourget	
Ornans	
P	
Pamiers	Poligny
Paris	Pontarlier
Parroy	Pont-Croix
Pau	Pontgibaud

Perpignan	Pontivy
Pertuis	Pontoise
Pessac	Pouilly-en-Auxois
Pézenas	
Pleaux	
Plestin-les-Grèves	
Plouarzel – Ile-d'Ouessant	
Pointe du Raz	
Q	
Questembert	
Quingey	
Quintin	
R	
Rivesaltes	
Remiremont	
Riom-ès-Montagnes	
Roman St Isère	
Rambervillers	
Renvez	
Rocroi	
Roquesteron	
S	
Saillagouse	St-Chinian
Saintes	St-Christophe-en-Oisans
Salins-les-Bains	St-Claude
Samoëns - Pas de Morgins	St-Dié
Sarlat la Caneda	St-Etienne
Sarrebourg	St-Flour
Sarreguemines	St-Gaudens
Saugues	St-Girons
Saulieu	St-Jean d'Angély
Sault de Vaucluse	St-Jean de Maurienne
Savenay	St-Yriex (montage)
Saverne	St-Martin-Vésubie

Séderon	St Mihiel
Sélestat	St Rambert en Bugers
Senlis	Strasbourg
Sens	
Serres	
Seynes	
St-Avoid	
St-Bonnet	
St-Cast	
T	
Tarare	
Taverne	Toulon
Terrasson	Tréguier
Thiers	Trélon
Thonon-Châtel	
Tonnerre	
Toul	
U, V, X, Y, Z	
Uzerche	Vigneulles-les-Hattonchatel
Valence	Villers-Cotterets
Vermenton	Vittel
Versailles	Vizille
Vicdessos	Voiron
Vic-sur-Cère	Vosges parties orientale-centrale
Vieille-Aure	
Vif	
Montage de 4 cartes au 1/50 000 :	
Saint-Yriex, Uzerche, Juillac, Tulle	

Liste des logiciels (hors ExAO)

Logiciels pédagogiques

Outils de travail sur les données

- **Anagène (CNDP)** (étude et comparaison de séquences d'ADN ou de protéines).
[Présentation.](#)
- **Mesurim (J-F Madre)** (logiciel permettant de faire des mesures sur des images numériques).
- **Molusc (Paul Pillot)**. (Affichage de molécules pdb en 3d. Simple à utiliser.)
- **Phylogène (INRP)** (banque de données biologiques, anatomiques et moléculaire et outils pour l'étude des phylogénies)
- **Rastop (Philippe Valadon - INRP)** (Affichage et travail sur des molécules (format pdb...) en 3d). **Une série de molécules au format .pdb est disponible.** (Rasmol sera fourni pour ceux qui en ont l'habitude).
- **Protéine Explorer.** (traduit par Hervé Furstoss) (Affichage et travail sur des molécules (format pdb...) en 3d).
- **Titus.** (Logiciel permettant de travailler sur les images satellitales Spot.)

Banques de données

- **La lignée humaine (P. Perez et Jean-Yves Guchereau)** (Documents permettant des mesures et des comparaisons).
- **Paleovu (sur le site de l'INRP)** (Banque de données concernant les variations climatiques du quaternaire)
- **Physiologie du sport (Micrélec)** (CD-ROM. Banque de données, d'images et de protocoles d'expériences et de mesures).
- **Seisvole et seiswave (Alan L. Jones).** (Banque de donnée de séismes et simulation du déplacement des ondes).
- **Sismolog (Chrysis)** CD-ROM (Banque de données concernant les séismes, avec des outils d'exploitation)
- **Subduction et magmatisme (Pierre Perez).**
- **Tectoglob** (J-F Madre) : logiciel permettant de traiter des données GPS, sismiques, volcaniques et de simuler des variations du niveau marin.
- **Une série de molécules.**

Simulations et outils de modélisation

- [ADN](#) (Jean-Claude Le Hir et Étienne Durup). (sous DOS : ADN et synthèse des protéines à noter l'explication d'une méthode de séquençage).
- [Airy](#) (J-P Leclerc) (L'équilibre vertical de la lithosphère continentale - simulation).
- **Glycémie** (Micarelec F. Tilquin) (simulation de la régulation de la glycémie).
- **Metamod** ([C. Nicollet](#) - CRDPd'Auvergne). (Simulation du métamorphisme).
- [Ondes P](#) (J-F Madre) (Modélisation du comportement des ondes P dans le globe terrestre pour expliquer la zone d'ombre).
- **Potact** (Jeulin) (Simulations concernant potentiel de repos et potentiel d'action)
- [Radiochronologie](#) (J-F Madre) (Simulations et calculs concernant quelques méthodes de radiochronologie).
- [Récepteur, neurone, synapse](#) (F.Tilquin). (simulation de l'intégration neuronale).
- [Réflexe de fuite de la Blatte](#) (Ph Cosentino) (simulation).
- [Sismique réflexion](#) (J-F Madre) (Simulation).
- [Sismique réfraction](#) (J-F Madre) (Simulation).
- **Win Synapses (ou Synapse - la version DOS qui lui est identique) (CRDP d'île de France)** (Simulation concernant le réflexe myotatique et l'intégration neuronale).

Illustrations

- [3 D Cellule](#) (P. Perez) (De belles illustrations de structures cellulaires en 3 d).
- **Explorer la Terre : la télédétection (CNDP)** (images et outils d'exploitation) [Présentation](#).
- **Information génétique (Infogène) CD-ROM (CNDP)** collection d'images [Présentation](#).
- [Oxygène](#) (P. Perez). (^{16}O , ^{18}O et paléoclimats - animations).
- **Surfaces d'échange (CNDP)**. (CD-ROM contenant des images.) [Présentation](#).
- [Terre](#) (P. Perez). (La Terre et les saisons....animations).

Outils généraux

- Traitement de texte, tableur, navigateur internet (pour lire les fichiers intranet).

Liste des documents tirés de sites internet :

documents divers

- Le [manuel virtuel de T-P](#) de Didier Pol.
- [Données GPS](#) concernant le mouvement des plaques (données incluses dans le logiciel [Tectoglob](#) qui permet de choisir une zone d'étude et de tracer les vecteurs).

- Les [cartes du site de Scotese](#) (histoire de la Terre et histoire du climat).
- [CyberNat](#) données biologiques et géologiques concernant la haute Normandie.

documents de géologie régionale

- Sur les sites académiques :
 - [Baie de Somme](#) (Amiens).
 - Panache sédimentaire à l'[embouchure de la Gironde](#) (Bordeaux)
 - Le [granite de Flamanville](#) (Caen).
 - Le [granite de Vire](#) (Caen).
 - La [Corse varisque et la Corse alpine](#) (Corse).
 - [Aquifères et nappes de Bourgogne](#) (Dijon).
 - [Géologie régionale](#) (Lille).
 - La [fournaise ancienne](#) (La Réunion).
 - [Datation des granitoïdes du Limousin](#) (Limoges).
 - Région du [Hohwald](#) (Académie de Nancy-Metz).
 - [Erquy-le cap Fréhel](#) (Rennes).
 - [Les Monts d'Arrée](#) (Rennes).
 - [De Saint Quentin-la-Tour à Camarasa](#) (Toulouse).
 - [A la frontière de L'Aquitaine et du Massif Central](#) (Toulouse).
 - [Rifts à Djibouti](#).

4. COMMENTAIRES DES ÉPREUVES ECRITES

4.1 Épreuve écrite portant sur le programme général du secteur A (Biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire: leur intégration au niveau des organismes).

4.2 Épreuve écrite portant sur le programme général du secteur B (Biologie et physiologie des organismes et biologie des populations, en rapport avec le milieu de vie).

4.3 Épreuve écrite portant sur le programme général du secteur C (Sciences de la Terre et de l'univers, interactions entre la biosphère et la planète Terre).

4A91-26

Repère à reporter sur la copie

SESSION DE 2007

**Concours externe
de recrutement de professeurs agrégés**

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

Epreuve portant sur le programme
de connaissances générales du secteur A

Durée : 5 heures

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout matériel électronique est rigoureusement interdit.

Les acides ribonucléiques des eucaryotes

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

NB : *Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.*

Agrégation externe 2007 Épreuve du secteur A		n° de copie	signatures des correcteurs	Note finale
si la copie est blanche, mettre cb ou CB dans la case jaune de la note harmonisée			note harmonisée =	
FOND	A - Introduction		définition cellule eucaryote présentation ADN/ARN/code problématique, le dogme, annonce du plan	
	B - Structures et propriétés des ARN		les bases -----> l'ose, l'acide phosphorique -----> liaisons, schémas -----> l'ARN propriétés catalytiques	
	C - Les différents ARN		extraction des ARN, analyse par sédimentation, graphe -----> les pré-ARNm -----> les ARNm -----> les ARNr structure du ribosome les ARNt -----> les ARN nucléaires -----> les ARN nucléolaires ----->	
	D - La biogenèse et maturation des ARN	généralités	initiation, élongation, terminaison, contrôles unités de transcription, séparation sur gradient, pré-ARNr maturation schéma	
		ARNr nucléole		
		ARNt	clivage, RNase P modification 3' chargement de l'acide aminé	
		ARNm	maturation 5' maturation 3' mise en évidence des gènes mosaïques excision/épissage, schémas spicéosome, définition, structure délimitation des exons édition, définition, exemple épissage alternatif, définition, intérêts, exemples autres épissages	
	E - ARNm vecteurs de l'information	export nucléaire	mécanisme, exportateur, récepteurs	
		traduction	définition, localisation mécanismes, polyribosomes	
	F - Contrôles quantitatifs des ARNm		stabilité/dégradation, notions, exemples -----> polyadénylation, notions, exemples -----> besoin de la cellule, notions, exemples -----> localisation, notions, exemples ----->	
	G - L'interférence de l'ARN	mise en évidence	pétunia, <i>C. elegans</i>	
		mécanismes	dicer, complexe RISC, schémas	
		défense, amplification	mise en évidence	
		les microARN	biogenèse, mécanisme d'action	
		microARN et différenciation/développement	exemples, interprétations	
	H - ARN interférents, fonction, thérapie		les techniques anciennes -----> intérêts des ARN interférents ----->	
I - Conclusion		le monde à ARN, dogme, nouveaux rôles		
J - FORME	Clarté de l'exposé	phrases claires points forts ressortent		
	Plan	titres significatifs logique et organisation		
	Schémas	nombre et clarté titres, légendes		
	Aspects expérimentaux	capacités à présenter une expérience & interprétations		
	Coup de cœur positif	transposons, virus à ARN, évolution, phylogénie		
	Malus	forme, écriture illisible, orthographe Fond		

"Les acides ribonucléiques des eucaryotes"

Les eucaryotes constituent un groupe d'organismes qui peuvent être unicellulaires (amibes, levures) ou pluricellulaires (animaux, plantes, champignons). Ils sont définis par la structure de la cellule qui les constitue. Les cellules eucaryotes sont délimitées par une membrane semi-perméable (la membrane plasmique) qui maintient l'intégrité de la cellule. À l'intérieur, la cellule contient un noyau délimité par une double membrane plasmique formant une enveloppe. Elle sépare le compartiment nucléaire du compartiment cytoplasmique. C'est dans le noyau qu'est isolé le génome des eucaryotes. Le génome est représenté par un nombre constant de chromosomes, caractéristique de l'espèce. Dans le cytoplasme (cytosol) d'autres membranes internes délimitent d'autres compartiments appelés « organites » (figure 1): les mitochondries, le réticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi, les lysosomes, les peroxysomes, les chloroplastes et vacuoles chez les plantes. Parcourant le cytoplasme, les cellules eucaryotes possèdent également un cytosquelette, réseau dynamique de protéines fibreuses. Chacun de ces organites assume une ou des fonctions bien définies qui en synergie contribuent à la vie de la cellule.

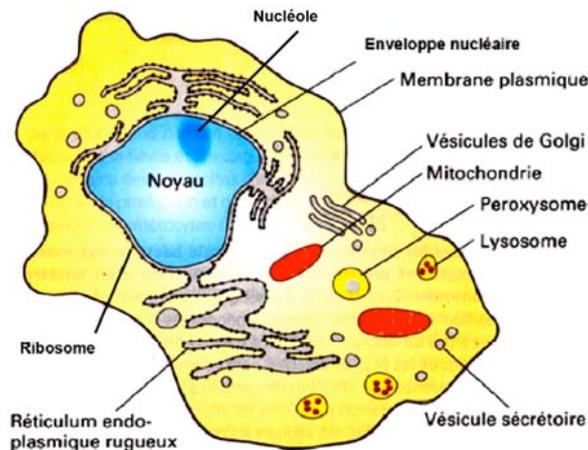
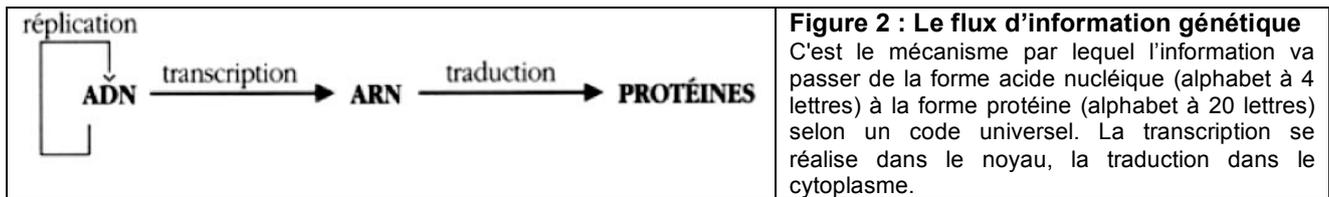


Figure 1. Représentation schématique d'une cellule eucaryote animale.

Les principaux organites sont figurés. Le cytosquelette n'est pas représenté. (D'après Lodish et coll., 2005)

Outre ces organites, la cellule contient des constituants dont les plus importants sont l'eau, les ions inorganiques, des petites molécules et leurs précurseurs (sucres, acides aminés, nucléotides), des acides gras et leurs précurseurs, des macromolécules comme les polysaccharides, les protéines et les acides nucléiques. On distingue deux types d'acides nucléiques : l'acide désoxyribonucléique (l'ADN) et les acides ribonucléiques (les ARN). L'ADN est une macromolécule constituée par un enchaînement de quatre molécules appelées nucléotides. L'ordre de nucléotides détermine, sous forme de code, toutes les informations nécessaires qui confèrent aux espèces leurs propriétés et aux individus leur caractère unique. Chez toutes les espèces, la réplication de l'ADN garantit une continuité génétique d'une génération à l'autre. L'information contenue dans l'ADN est organisée en unités, que l'on appelle des gènes. Un gène porte les informations nécessaires à la fabrication d'une ou plusieurs protéine(s) et également des informations permettant de réguler cette fabrication en fonction des conditions cellulaires. Lors du processus de transcription, qui a lieu dans le noyau, l'information portée par un gène est copiée sous forme d'ARN. Celui-ci dirige ensuite la synthèse de protéines dans le cytoplasme, ce qui correspond à la traduction de l'information. Les ARN sont donc des intermédiaires fonctionnels impliqués dans l'expression des informations portées par l'ADN. Nous verrons qu'ils sont à l'interface entre le gène et son produit d'expression : la protéine. C'est ce que l'on appelle le flux d'information génétique, dogme central introduit à la fin des années 50 (figure 2) par Francis Crick (le co-découvreur de la structure de l'ADN). Ce dogme stipule que dans tous les êtres vivants, l'information est transmise dans un seul sens: de l'ADN aux protéines en passant par l'ARN, structure transitoire permettant la transmission de l'information à une machine de traduction pour produire les protéines, constituants de base qui font fonctionner la cellule, les tissus, les organes et l'organisme entier. Ce transfert d'information repose sur le code génétique. Nous verrons à la lumière de données récentes que ce dogme peut être remis en question.

Nous allons d'abord considérer la structure fondamentale, les propriétés et les différents types d'ARN. Puis, nous traiterons de la biogenèse des ARN et de leurs rôles dans la cellule, les tissus et l'organisme. Nous envisagerons les données récentes concernant ces molécules qui ont bouleversé les certitudes du biologiste. Enfin, nous examinerons la possibilité d'utiliser certains ARN comme outils thérapeutiques.



I – Structures et propriétés des ARN

Un ARN est un polymère de nucléotides. Un nucléotide résulte de la condensation d'un ose avec une base azotée que l'on appelle un nucléoside, et de l'estérification de l'ose par l'acide phosphorique (figure 3).

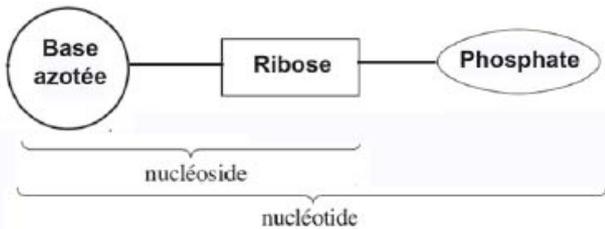


Figure 3. Le nucléotide, unité de base de l'ARN.

Un nucléotide comporte trois composants: l'acide phosphorique, un ose et une base azotée. Dans le cas des ARN, l'ose est un pentose: le ribose.

Ia - Les bases azotées

Les bases azotées appartiennent à deux classes de molécules selon le noyau aromatique qui en constitue le squelette. Le noyau purine est constitué de deux noyaux hétérocycliques accolés, un de six atomes et l'autre de cinq atomes, ayant deux carbones en commun. Par rapport à ces carbones communs, les azotes occupent des positions symétriques (n° 1 et 3 à gauche, n° 7 et 9 à droite). Les bases puriques contenues dans l'ARN sont essentiellement l'adénine et la guanine (tableau 1). Le noyau pyrimidine est le plus simple: c'est un noyau aromatique à six atomes, quatre carbones et deux azotes. Les deux azotes sont en position méta (n° 1 et 3). Les bases pyrimidiques contenues dans l'ARN sont la cytosine, l'uracile et rarement la thymine (tableau 1) sauf au niveau des bras et boucles des ARN de transfert.

Tableau 1 : Les structures chimiques des bases azotées, constituants des ARN.

<p>Purine</p>	<p>Adénine (A), 6-amino-purine</p>	<p>Guanine (G), 2-amino-6-oxy-purine</p>
<p>Pyrimidine</p>	<p>Cytosine (C), 2-oxy-4-amino-pyrimidine</p>	<p>Uracile (U), 2,4-dioxy-pyrimidine</p>

Ib - L'ose

L'ose qui constitue le nucléoside est un pentose sous forme furanique: le ribose. Une liaison covalente (liaison N-osidique) fixe les bases au ribose. Elle se forme par élimination d'une molécule d'eau entre la base purique ou pyrimidique et l'OH situé sur le carbone 1 du ribose.

Ic - L'acide phosphorique.

L'acide phosphorique (H3PO4) possède trois fonctions acide. La liaison acide phosphorique-ose est une liaison ester. Il y a élimination d'une molécule d'eau entre un OH de l'acide phosphorique et l'H en 5' de la fonction alcool primaire de l'ose.

Id - L'acide ribonucléique.

L'acide ribonucléique est un polymère de nucléotides qui sont assemblés entre eux par des liaisons ester. Une molécule d'eau est éliminée entre un OH de l'acide phosphorique et l'H de la fonction alcool située en 3' de l'ose (figure 4). Quand l'acide phosphorique présente ses deux fonctions acide bloquées dans la formation d'ester, on parle de liaison phosphodiester. L'ARN est constitué d'une chaîne monocaténaire de nucléotides

monophosphate (AMP, GMP, CMP, UMP) reliés par des liaisons 3'-5' phosphodiester. Cette chaîne est orientée. Elle est « écrite » de gauche à droite et dans le sens phosphate 5' -3'. Sur un même brin d'ARN, les bases peuvent s'apparier et ainsi former des structures secondaires qui jouent un rôle central dans la fonction de tous les ARN, en leur imposant une structure tridimensionnelle unique. Les appariements résultent de l'établissement de liaisons hydrogène entre les bases suivant la règle: A s'apparie avec U (deux liaisons hydrogène) et C s'apparie avec G (trois liaisons hydrogène). Ainsi, dans une même chaîne d'ARN des portions pourront être sous forme bicaténaire, on aura alors la constitution de sortes de tiges alors que dans les régions non appariées, des boucles apparaîtront.

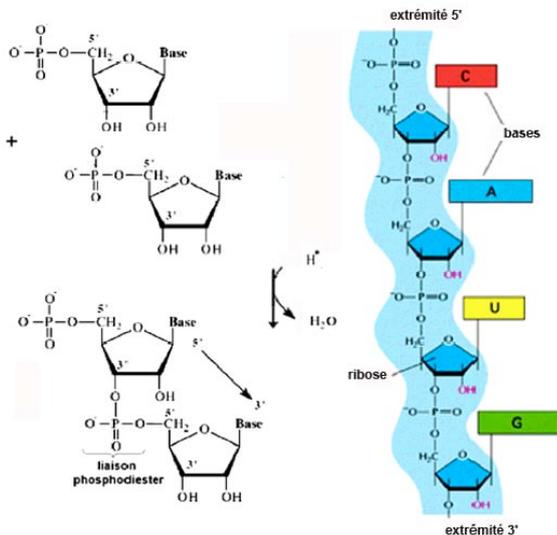


Figure 4. L'ARN est un polymère monocaténaire de nucléotides.

Le polymère est orienté (D'après Alberts, 2002).

Il faut remarquer que les formules chimiques des bases azotées indiquent que les hétérocycles azotés sont susceptibles d'ionisation, que les doubles liaisons créent des systèmes conjugués pour lesquels certaines propriétés physiques sont remarquables (spectre, hydrophobicité). Les hétérocycles des différentes bases présentent des spectres d'absorption caractéristiques dans l'ultraviolet. Ces propriétés optiques sont communément utilisées pour la détection, le dosage et le contrôle de pureté de l'ARN dans l'UV à 260 nm. Enfin, il faut noter que la présence du ribose, qui est sensible à l'hydrolyse alcaline, rend l'ARN facilement dégradable.

II – La cellule eucaryote renferme différents types d'ARN

Pour extraire les ARN d'un tissu ou d'une suspension de cellules, il faut réaliser une homogénéisation dans un tampon contenant un détergent (SDS), un agent dissociant (isothiocyanate de guanidine) et un agent réducteur (γ mercapto-éthanol). Après sédimentation des débris cellulaires, le surnageant contenant les acides nucléiques est déposé sur un gradient de densité (CsCl). L'ensemble est centrifugé (ultracentrifugation) ce qui permet de recueillir un culot qui contient les ARN. On peut affiner la méthode, en réalisant l'extraction à partir d'une fraction cytoplasmique ou nucléaire obtenue par centrifugation différentielle. Puis les ARN cytoplasmiques ou nucléaires sont soumis à une centrifugation en gradient de saccharose. Cette méthode consiste à séparer les ARN dans un champ gravitationnel intense. On détermine ainsi un coefficient de sédimentation qui reflète la vitesse de sédimentation d'une population d'ARN et qui dépend aussi bien de la masse moléculaire que de la structure tridimensionnelle des ARN. Ce coefficient est mesuré en unité Svedberg (S). S est d'autant plus grand que la masse moléculaire est grande. Les ARN sont révélés grâce à l'absorbance des bases dans l'UV à 260 nm (figure 5). Dans la cellule, les méthodes précédentes ont permis de caractériser plusieurs types d'ARN.

Ila -Les ARN pré-messagers (pré-ARNm).

Ce sont des ARN produits dans le noyau lors de la transcription de l'ADN dont ils sont la copie fidèle. Ils sont localisés uniquement dans le noyau. Ces ARN sont hétérogènes (ARNnh) en taille et peu stables (figure 5). Ce sont des ARN précurseurs des ARNm, ils sont le siège d'importantes modifications que nous présenterons en détail.

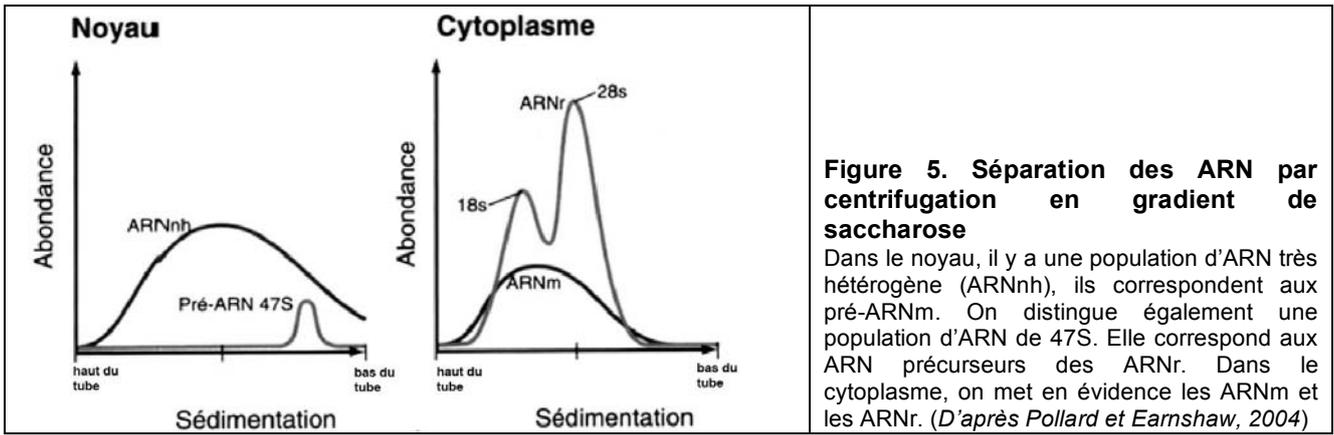


Figure 5. Séparation des ARN par centrifugation en gradient de saccharose

Dans le noyau, il y a une population d'ARN très hétérogène (ARNnh), ils correspondent aux pré-ARNm. On distingue également une population d'ARN de 47S. Elle correspond aux ARN précurseurs des ARNr. Dans le cytoplasme, on met en évidence les ARNm et les ARNr. (D'après Pollard et Earnshaw, 2004)

IIb -Les ARN messagers (ARNm).

Ils dérivent des pré-ARN produits dans le noyau. Ils sont présents dans le noyau et dans le cytosol. Ils transportent l'information génétique du noyau vers le cytoplasme où elle sera traduite par les ribosomes. Les ARNm possèdent, entre autre, une queue polyadénylée (polyA) à leur extrémité 3'. Cette caractéristique est très largement utilisée pour isoler les ARNm par chromatographie d'affinité sur une colonne dont les sites de fixation sont des oligonucléotides polyT ou polyU. Le mélange d'ARN issue d'un extrait cellulaire est appliqué sur la colonne dans un tampon de forte concentration en sel. Les ARNm polyA sont alors retenus quand les autres ARN sont élués. L'éluion des ARNm est obtenue en appliquant un tampon de faible concentration saline.

IIc -Les ARN ribosomiques (ARNr).

Ils représentent 80 % de l'ARN total d'une cellule. Les ARNr sont associés à des protéines pour former les ribosomes (figure 4). Les ribosomes ont été initialement décrits par G. Palade dans les années 1950 (grains de Palade). Ce sont de petits corps sphéroïdaux de 23 nanomètres de diamètre ayant un coefficient de sédimentation de 80S. Ils sont présents dans le cytoplasme des cellules, dans les mitochondries et certains plastes. Le fractionnement et l'isolement des ribosomes par centrifugation différentielle suivie de centrifugation à l'équilibre sur gradient de densité (saccharose) permettent des analyses biochimiques, des analyses de microscopie électronique, des analyses de diffraction aux rayons X. Les données indiquent qu'un ribosome est un édifice supramoléculaire constitué de deux sous-unités (figure 6).

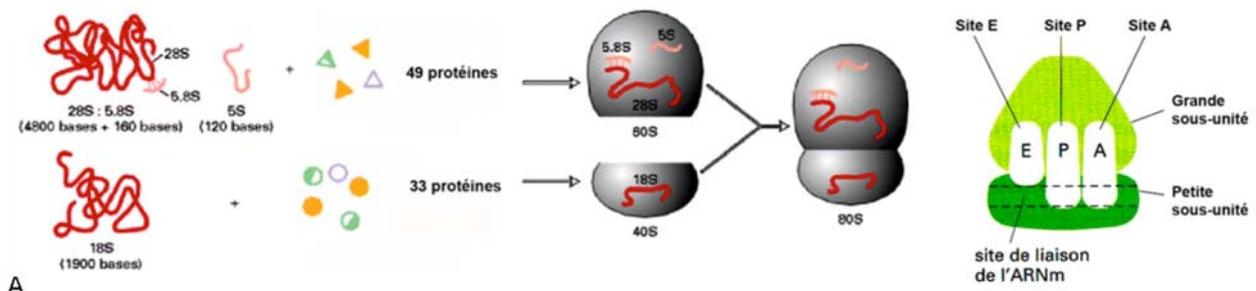


Figure 6. Structure générale d'un ribosome de cellule eucaryote.

(A) Dans chaque cellule, un ribosome est constitué de deux sous-unités (60 et 40 S) qui contiennent respectivement 3 ARNr (28S, 5,8S, 5S) et 49 protéines différentes et 1 ARNr (18S) associé à 33 protéines différentes. Les ARNr 28S; 5,8S et 18S sont synthétisés dans le nucléole tandis que l'ARN 5S est synthétisé dans le noyau hors du nucléole. (D'après Lodish et coll., 2005). (B) Chaque ribosome présente un site A (site aminoacyle), un site P (site peptidyle), un site E (site de sortie, site «exit») et un site actif appelé peptidyl-transférase constitué exclusivement d'ARN. Le ribosome a donc une activité enzymatique, c'est un ribozyme. (D'après Alberts et coll. 2005).

La grande sous-unité du ribosome (60S) contient des protéines et l'ARNr 28S pour les animaux et 25S pour les végétaux. Il contient également un ARNr 5S et l'ARNr 5.8S qui est lié à l'ARNr 28S. La petite sous-unité du ribosome (40S) contient un seul ARN, l'ARNr 18S. Il faut noter que dans le ribosome, les ARNr sont au centre de la structure et repliés sur eux-mêmes, formant une structure tridimensionnelle compacte ce qui favorise leur stabilité. Les protéines sont distribuées à la surface des sous-unités. Comme nous le verrons, la fonction du ribosome est de «traduire» le message génétique porté par l'ARNm en un ordre précis d'acides aminés constituant la protéine et d'assurer la catalyse de la liaison peptidique. Les ARNr forment donc la structure de base du ribosome et catalysent la synthèse des protéines.

IIId -Les ARN de transfert (ARNt).

Ce sont les ARN les plus abondants après les ARNr (10 à 15% des ARN cellulaires). Ils sont de petite taille, 80 à 90 nucléotides, ce qui leur confère une masse moléculaire de 26 à 29 kDa et un coefficient de

sédimentation de 4S environ. Ils servent à «traduire» les codons de l'ARNm en acides aminés. Il y a jusqu'à 50 ou 100 ARNt différents dans les cellules animales ou végétales. Les ARNt se replient pour former une structure dite en feuille de trèfle constituée de tiges-boucles (figure 7). Les tiges sont de courtes doubles hélices stabilisées par des liaisons hydrogène. Les boucles contiennent des nucléotides modifiés et peuvent être méthylés (figure 7). L'analyse cristallographique des ARNt a montré que la boucle des dihydrouraciles et la boucle GT ϕ CG échangent des liaisons hydrogène de telle sorte qu'elles se referment l'une sur l'autre. Ainsi, l'ARNt a une forme en L où seuls la région de l'anticodon et le bras accepteur de l'acide aminé sont aux extrémités de la molécule. Ce sont des molécules qui se placent sur les sites du ribosome où va être lu l'ARNm. D'une part, les ARNt se lie à un acide aminé spécifique et d'autre part, ils sont capables d'interagir avec l'ARNm. Cette interaction repose sur la complémentarité des bases des nucléotides et met en jeu la structure primaire des ARNt. C'est-à-dire qu'à un triplet de nucléotides de l'ARNm (le codon) correspond un triplet de nucléotides de l'ARNt (l'anticodon) (figure 7). Chaque ARNt reconnaît un codon précis qui correspond à un acide aminé, c'est le code génétique. Les ARNt, au centre de la synthèse protéique, servent donc d'adaptateur entre l'ARNm et les acides aminés qui constituent les protéines.

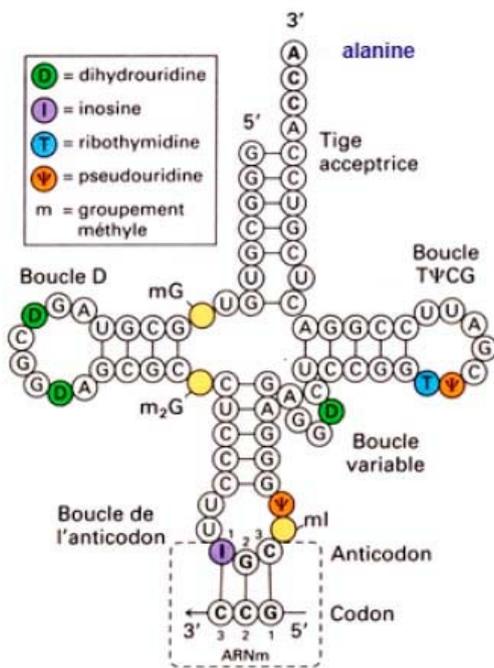


Figure 7. Représentation schématique d'un ARNt.

L'ARNt présenté est celui pour l'alanine de levure. Tous les ARNt ont la même structure, ils se replient pour former quatre tiges et trois boucles. On distingue la tige acceptrice (le bras accepteur) qui comprend les deux extrémités de l'ARNt. C'est l'extrémité 3' qui fixe l'acide aminé, elle est invariable pour tous les ARNt (C C A). On distingue également une succession de structures en double hélice interrompues par des boucles dont la boucle anticodon qui contient le triplet spécifique complémentaire du codon présent dans l'ARNm. On remarque que les ARNt contiennent des bases dites "rares" comme la pseudouridine, la dihydrouridine, ou l'inosine qui sont en fait des bases modifiées après la synthèse de l'ARNt. Ces bases contribuent largement à l'établissement de la structure tridimensionnelle par des liaisons hydrogène. (D'après Lodish et coll., 2005).

Ile -Les petits ARN nucléaires (ARNsn).

Dans le noyau des cellules eucaryotes, il existe des ARN d'environ 100 à 300 nucléotides, très riches en uracile. On les nomme U1, U2, U4, U5 et U6. Ce sont des ARN structuraux du noyau. Chaque ARNsn est associé à ses propres facteurs protéiques pour constituer un complexe ribonucléoprotéique appelé snurps ou snRNP (RNP: ribonucléoprotéines et sn: «small nuclear»). Nous verrons que les ARNsn fonctionnent au cours de divers processus nucléaires, y compris l'épissage du pré-ARNm nécessaire à la maturation des ARNm.

Il existe d'autres ARN dans le noyau. Ce sont de petits ARN qui servent d'amorces lors de la réplication de l'ADN. Ces courts fragments d'ARN, d'environ 10 nucléotides de long, sont synthétisés par une primase (l'ADN primase) au niveau de la fourche de réplication. Sur le brin direct, une seule amorce ARN est nécessaire pour commencer la polymérisation de l'ADN au niveau de l'origine de réplication. Sur le brin retardé, des amorces ARN, complémentaires de l'ADN, sont continuellement synthétisées par la primase à intervalles réguliers de 200 nucléotides environ (polymérisation 5'-3' de l'ARN). Puis l'ADN polymérase III ajoute des nucléotides d'ADN à l'extrémité 3' libre des amorces ce qui génère les fragments d'Okazaki. Lorsque les fragments d'Okazaki sont polymérisés, l'ADN polymérase I remplace l'ARN amorce par de l'ADN. Enfin, l'ADN ligase joint les différents fragments d'Okazaki.

Ilf -Les petits ARN nucléolaires.

Ce sont des ARN qui se rencontrent uniquement dans le nucléole. Ce sont de courtes chaînes de ribonucléotides. Ces ARN non codants s'associent à des protéines pour former des complexes nommés petites ribonucléoprotéines nucléaires (RNPpn). Elles participent à l'incorporation de modifications chimiques dans d'autres ARN. Les deux principales modifications sont la pseudouridylation (transformation de l'uridine en pseudouridine) et la méthylation du ribose.

III – La biogenèse des ARN s’effectue dans le noyau.

L'ARN consiste en une copie sélective d'un fragment d'ADN. La synthèse des ARN est une opération de copie, appelée transcription, et qui se déroule dans le noyau de la cellule. La transcription a aussi lieu dans les organites semi-autonomes comme les mitochondries et les chloroplastes qui contiennent une partie du matériel génétique qui leur est nécessaire. Nous n'en parlerons pas ici.

IIIa – Généralités

La transcription débute par l'ouverture et le dépliement d'une partie de la double hélice d'ADN. Puis, un des brins d'ADN va servir de matrice pour la synthèse de l'ARN. Celle-ci s'effectue en présence d'une enzyme spécifique appelée ARN polymérase, c'est une polymérase ADN dépendante. Elle catalyse la formation de liaisons phosphodiester en présence de ribonucléotides 5'-triphosphate (ATP, GTP, CTP et UTP). La polymérase progresse sur le brin d'ADN matrice dans le sens 3' à 5' du gène et catalyse la synthèse d'un polymère d'ARN (le transcrit) dans la direction 5' à 3' en ajoutant des nucléotides à l'extrémité 3' (figure 8). Le transcrit présente une séquence complémentaire de celle du brin d'ADN qui lui a servi de matrice. Toutefois des erreurs peuvent intervenir. On estime qu'il peut y avoir une erreur tous les 10.000 nucléotides. Quantitativement, on estime qu'il faut 50 secondes à l'ARN polymérase pour transcrire un gène de 1500 paires de nucléotides et qu'une quinzaine de polymérases peuvent se déplacer en même temps le long de la matrice ADN permettant la synthèse de plus de 1000 transcrits en une heure. Les eucaryotes ont trois ARN polymérases localisées dans le noyau et qui assurent la synthèse des différents ARN. Ces polymérases fonctionnent en association avec des protéines spécifiques, les facteurs de transcription. L'ARN polymérase I synthétise le pré-ARNr. L'ARN polymérase II transcrit les précurseurs des ARNm et la plupart des petits ARN nucléaires. Enfin, l'ARN polymérase III produit les ARNt, les ARNr 5 S et une faible fraction des ARN nucléaires. La transcription par chacune de ces trois polymérases implique trois étapes. La reconnaissance de séquences spécifiques sur l'ADN (le promoteur) et l'assemblage d'un complexe protéique d'initiation au point de départ de la transcription, l'élongation, c'est-à-dire la synthèse de l'ARN et finalement, la terminaison. Nous ne rentrerons pas dans le détail de ces mécanismes, ils sont résumés dans la figure 8. Notons toutefois que les polymérases n'assurent pas l'élongation de la synthèse des ARN à vitesse constante. Il peut y avoir des pauses réversibles ou non qui constituent une étape limitante à l'élongation.

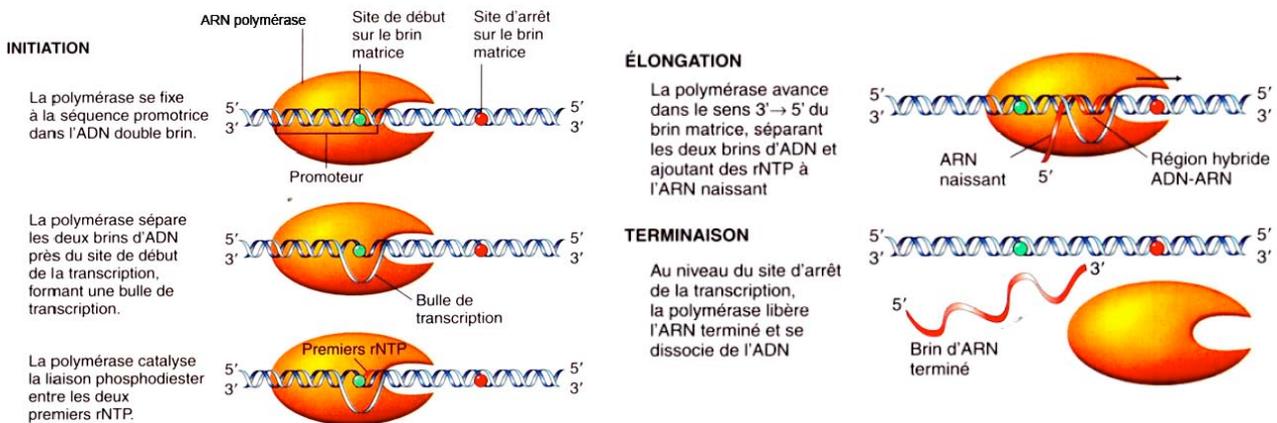


Figure 8. Représentation schématique des différentes étapes de la synthèse d'un ARN.
rNTP : ribonucléotide triphosphate. (D'après Lodish et coll., 2005).

Dans la majorité des cas, les polymérases produisent des ARN qui ne sont pas « matures » ou fonctionnels. Ce sont les transcrits primaires, des précurseurs nucléaires des ARN (les pré-ARN). Ils vont faire l'objet d'une maturation, qui comprend diverses réactions comme des coupures, des associations ou des modifications chimiques. Ces réactions s'effectuent pendant la synthèse de l'ARN car les enzymes responsables de la maturation sont associées au complexe multienzymatique de l'ARN polymérase. Elles se réalisent donc dans le noyau et varient en fonction du type d'ARN. La maturation des pré-ARNr introduit des excisions et des modifications chimiques. Les pré-ARNt font l'objet d'un clivage aux extrémités, de l'addition de nucléotides et de modifications des bases. À l'opposé, l'ARNr 5S fait uniquement l'objet de petites modifications de l'extrémité 3'. Enfin, la maturation des pré-ARNm comporte la modification des extrémités 5' et 3' et des coupures internes.

IIIb - La synthèse et la maturation des ARNr s’effectue dans le nucléole.

La synthèse et la maturation des transcrits des ARNr se déroulent au sein du nucléole, structure volumineuse, dense aux électrons. Après dispersion du contenu des nucléoles dans des solutions de faible

force ionique, les études en microscopie électronique ont mis en évidence des structures comparables à des «arbres de Noël» (figure 9). Si l'on traite cette structure par une desoxyribonucléase, l'axe est détruit. Si l'on traite cette structure par un mélange de ribonucléases et des protéases, les ramifications sont détruites. Il est maintenant établi que chaque arbre est une unité de transcription d'un gène d'ARNr. Le nombre de gènes ribosomiques varie de 100 à plusieurs centaines chez les mammifères. Chez l'homme, 400 copies sont regroupées sur cinq chromosomes. Ces gènes répétés sont regroupés dans des régions chromosomiques appelées régions organisatrices du nucléole ou organisateur nucléolaire. Les organisateurs nucléolaires s'assemblent en nucléole lors de la télophase de mitose. Ainsi, pendant l'interphase, le nucléole est actif puis il est désassemblé en fin de prophase de mitose. Chez la levure *S. cerevisiae* où les divisions se réalisent sans rupture de l'enveloppe nucléaire, l'activité du nucléole persiste et le nucléole n'est pas désorganisé pendant la mitose. Lorsque les nucléoles sont isolés, que les ARN nucléolaires sont séparés sur gradient de saccharose, on met en évidence des ARN de 47, 45, 41, 32, 28, 21, 18, 5,8 et 5 S (figure 10A).

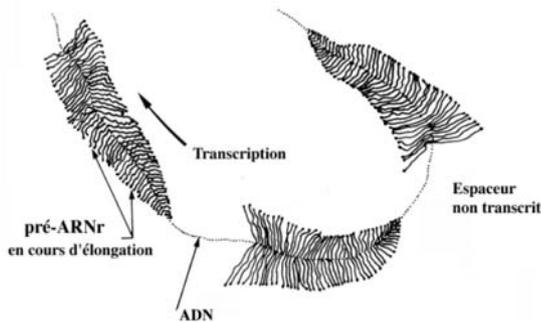


Figure 9. Schéma des unités de transcription de pré-ARNr issues de nucléoles d'un noyau d'ovocyte d'amphibien.

Les unités de transcription sont organisées en tandem et séparées par des régions intercalaires (espaceur) non transcrites. L'ADN forme l'axe de la structure, les pré-ARNr naissants sont les branches. L'extrémité libre des branches correspond aux extrémités 5', celles associées à l'ADN sont les extrémités 3'. Les complexes de maturation se fixent à l'extrémité des pré-ARNr. (D'après Le Moine et Foucier, 2001)

Lorsque les ribosomes sont isolés à partir d'une fraction cytoplasmique obtenue par centrifugation différentielle, que les ARNr sont séparés sur gradient de saccharose, on met en évidence des ARN 28, 18, 5,8, 5 S (figure 10B). Chez le crapaud, il existe une mutation qui affecte le nombre de nucléoles. Les noyaux des cellules d'embryons hétérozygotes comportent un seul nucléole au lieu de deux. Chez les homozygotes, les noyaux sont dépourvus de nucléole et la mutation est létale avant la gastrulation. Si de l'uridine tritiée est fournie à ces mutants et que l'on recherche la présence des ARNr marqués dans les ribosomes, on détecte la radioactivité uniquement dans les ARNr 5S. La comparaison entre toutes ces expériences montre que les ARNr 28, 18 et 5,8 sont synthétisés dans le nucléole, que la synthèse des ARNr 5S est réalisée en dehors du nucléole. Elles suggèrent également que les ARN de 47, 45, 41, 32 et 21 S sont des ARN nucléolaires intermédiaires de maturation des ARNr.

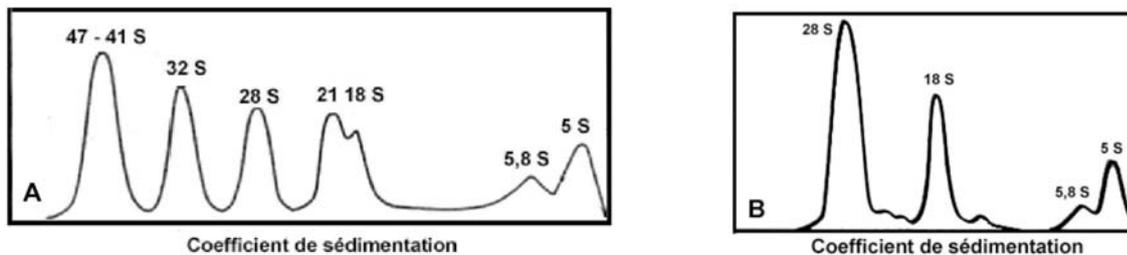


Figure 10. Séparation des ARN nucléolaires et des ARN issus des ribosomes sur gradient de saccharose. (A) ARN nucléolaires. (B) ARNr isolés d'une fraction ribosomique.

La maturation des ARNr est très complexe et l'on sait maintenant qu'un gène ribosomique est transcrit par l'ARN polymérase I en un long précurseur de 47S (14 kb chez les mammifères). Puis la maturation du transcrit produit les ARN intermédiaires des ARN 18S, 5,8S et 28S. Le schéma général de la maturation est présenté dans la figure 11. Cette maturation implique plus d'une centaine de protéines et au moins autant de petits ARN nucléolaires. Ces complexes de ribonucléoprotéines assurent le clivage des pré-ARNr en différents sites. Les petits ARN nucléolaires assurent aussi la modification de près de 200 résidus en réalisant des méthylations et des pseudouridylations. Ces processus de maturation/clivage se poursuivent par l'assemblage des différents ARNr avec les protéines ribosomiques (figure 11). L'ARN 5S est synthétisé en dehors du nucléole, dans le nucléoplasme par l'ARN polymérase III (figure 11). Chez certaines espèces, il n'y a pas de maturation du transcrit, chez d'autres, l'extrémité 3' est coupée pour générer l'ARN 5S mature. Une fois synthétisé, l'ARN 5S diffuse vers le nucléole. La synthèse et la maturation des ARNr sont intimement liées à la production des protéines ribosomiques. Au fur et à mesure que le transcrit primaire est synthétisé, les protéines ribosomales produites dans le cytoplasme sont adressées au noyau et au nucléole où elle s'associent aux transcrits. Ces protéines sont de deux types, des protéines constitutives des ribosomes et des protéines impliquées dans la maturation des ARN en association avec des snoARN. Les complexes ainsi formés s'appellent des

préribosomes. Une fois la maturation et l'association avec l'ARNr 5S achevée, les préribosomes sont ensuite transférés séparément du noyau au cytoplasme. En ce lieu, les sous-unités ribosomiques matures sont retrouvées libres, ou associées, soit aux membranes du réticulum endoplasmique, soit à l'enveloppe nucléaire (figure 1).

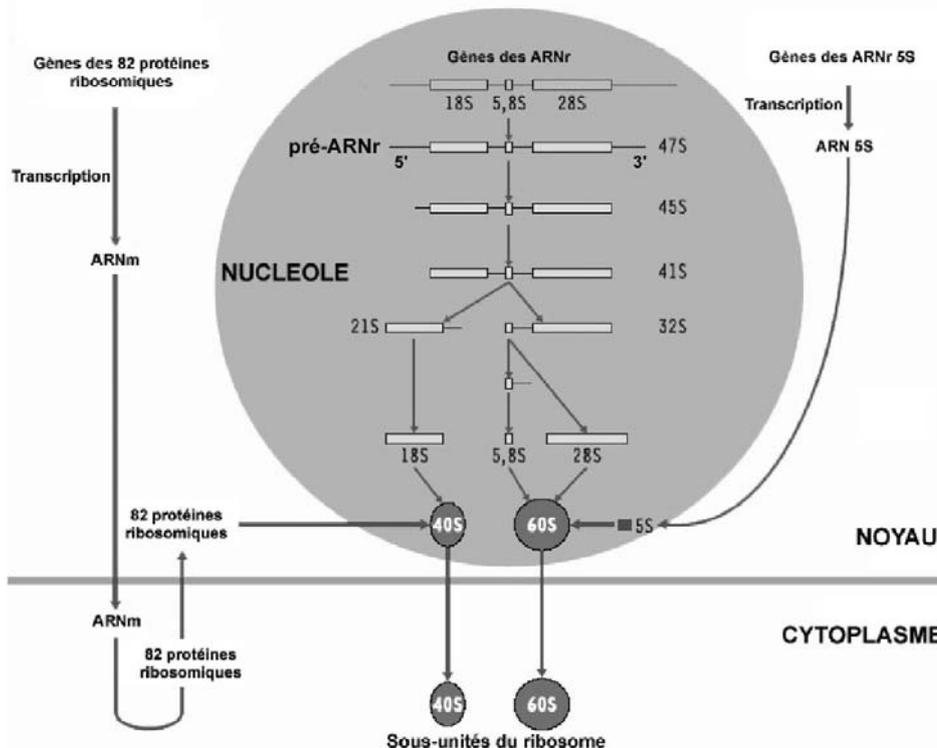


Figure 11. Biogenèse et maturation des ARNr.

Les ARNr 28S, 18S et 5,8S sont produits dans le nucléole à partir de transcrits primaires (ARNr 47S chez les mammifères, 35S chez la levure) issus de la transcription des gènes ribosomiques. La maturation du pré-ARNr génère des ARNr intermédiaires (45S, 41S, 32S, 21S). Ils sont produits par différents complexes intervenants de façon ordonnée pour éliminer les régions transcrites externes en 5' et en 3' et internes du pré-ARNr. Les clivages et les interventions des snoARN sont conservés au cours de l'évolution. L'ARNr 5S est synthétisé dans le nucléoplasme puis il est transporté dans le nucléole où il s'associe à la sous-unité ribosomique 60S. La quantité de ribosomes produits dépend de l'efficacité de cette machinerie nucléolaire et du nombre de gènes ribosomiques transcrits. (D'après Hernandez-Verdun et Louvet, 2004)

IIIc – Clivage et modification de bases caractérisent la maturation des pré-ARNt.

Chaque ARNt est codé par un gène et transcrit par l'ARN polymérase-III dans le nucléoplasme. Les transcrits primaires sont le siège d'au moins trois modifications importantes. En premier lieu, en 5' il y a excision d'une séquence de longueur variable par un complexe ribonucléoprotéique, la RNase P. Ce complexe est constitué de neuf protéines et d'un ARN. Il a été démontré que l'ARN isolé de la RNase P est capable de catalyser le clivage du pré-ARNt. La RNase P est donc un ribozyme, un complexe enzymatique dont l'ARN possède l'activité catalytique. Les protéines du complexe servent à la reconnaissance la structure en épingle à cheveux caractéristique du pré-ARNt. En second lieu, une endonucléase clive la région 3' et une nucléotidyl transférase additionne une séquence CCA à l'extrémité 3' ainsi modifiée. Cette séquence sera le site de liaison covalente à l'acide aminé. Enfin, une centaine de nucléotides sont modifiés (figure 7) : addition de groupements méthyle et isopentyle au noyau des purines, méthylation du groupement 2'OH dans le ribose, conversion d'uridine en résidus dihydrouridine, pseudouridine ou ribothymidine. Au total, ces modifications jouent un rôle important dans l'appariement anticodon-codon et l'interaction de l'ARNt avec son aminoacyl-ARNt synthétase, l'enzyme qui permet de lier spécifiquement un acide aminé. Certains gènes d'ARNt comportent des séquences qui sont éliminées de la séquence du pré-ARNt par un mécanisme catalysé par un complexe multiprotéique (endonucléase, ligase, phosphotransférase). Après leur maturation, les ARNt sont transportés dans le cytoplasme à travers les pores nucléaires par l'exportine t. Dans le cytosol, des enzymes spécifiques modifient l'ARNt en lui ajoutant son acide aminé spécifique. Les aminoacyl-ARNt synthétases catalysent cette réaction en deux étapes (figure 12) qui aboutissent à la formation d'une liaison covalente entre l'acide aminé et l'ARNt qui lui correspond. La synthétase sélectionne le couple correct en fonction de trois éléments, l'anticodon, la tige acceptrice en 3' et la distance entre ces sites. Il arrive toutefois que l'ainoacyl-ARNt synthétase commette des erreurs. Elles sont corrigées par l'enzyme elle-même puisqu'elle possède une activité de correction d'épreuves qui vérifie la correspondance entre l'anticodon et l'acide aminé.

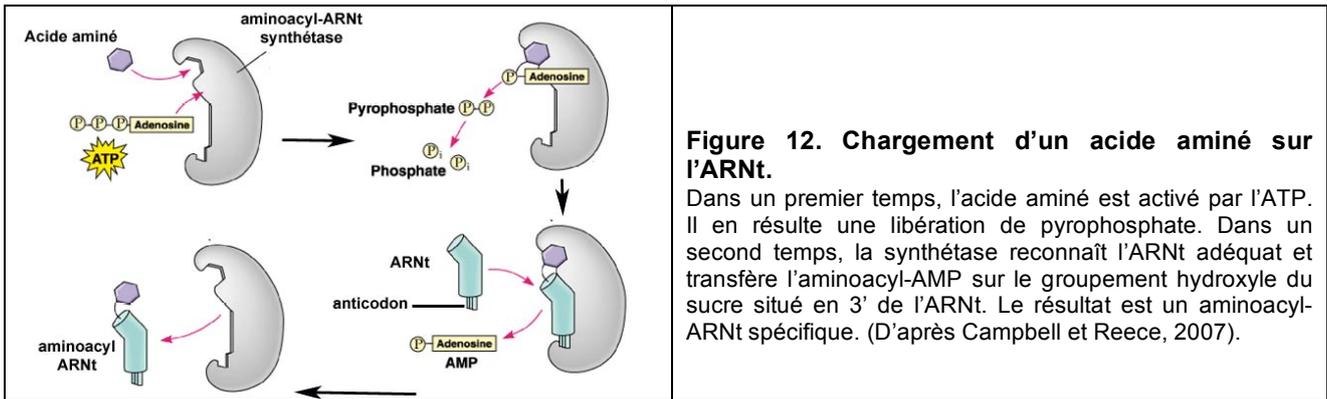


Figure 12. Chargement d'un acide aminé sur l'ARNt.

Dans un premier temps, l'acide aminé est activé par l'ATP. Il en résulte une libération de pyrophosphate. Dans un second temps, la synthétase reconnaît l'ARNt adéquat et transfère l'aminoacyl-AMP sur le groupement hydroxyle du sucre situé en 3' de l'ARNt. Le résultat est un aminoacyl-ARNt spécifique. (D'après Campbell et Reece, 2007).

III d – Biogenèse et maturation des pré-ARNm.

La biogenèse des ARNm s'effectue dans le noyau à partir des gènes qui sont transcrits en pré-ARNm, les ARN^{nh} de la figure 5. Chaque ARN^{nh} en cours de synthèse est le siège d'une première modification qui est l'adjonction de ce que l'on appelle une coiffe composée d'une guanosine modifiée. Elle est ajoutée lorsque le pré-ARN comporte entre 20 et 30 nucléotides. Trois enzymes agissent pour effectuer cette modification de l'extrémité 5' de l'ARN naissant. Une phosphatase retire un phosphate en 5', puis une guanyle-transférase ajoute un GMP en créant une liaison 5'-5'. Enfin une méthyle-transférase ajoute un groupement méthyle sur la guanosine, ce qui crée une charge positive en 5' de l'ARN. Une fois additionnée, la coiffe s'unit à un complexe protéique appelé CBC (cap-binding complex). L'addition de la coiffe stabilise l'ARN et lui confère une résistance à la dégradation par les 5' exonucléases. Nous verrons qu'elle sert également de point d'ancrage pour des protéines assurant le transport et la traduction des ARNm. Du côté 5' du gène, lorsque la région codante est copiée en ARN, la polymérase rencontre et transcrit une séquence spécifique (AAUAAA, ou A/U chez la levure) et une région riche en GU (figure 13). Ces deux régions constituent des signaux pour le complexe de maturation de l'extrémité 3' du pré-ARNm. Ce complexe est une structure multiprotéique qui clive le pré-ARNm 20-25 nucléotides en aval du signal AAUAAA sous l'action d'une endonucléase. Cela permet de libérer le pré-ARNm du complexe de transcription. Ensuite, la poly(A) polymérase en présence d'ATP, qui est présente dans le complexe de maturation, modifie l'extrémité 3' en additionnant des résidus d'acide adéliques (200 environ chez l'homme, une centaine chez la levure). Le segment d'ARN qui ne contient ni la coiffe ni la queue poly(A) est dégradé dans le noyau par les exonucléases. La plupart des pré-ARNm possèdent cette extrémité poly(A), à l'exception des ARNm des histones. La queue poly(A) intervient dans le déplacement des ARNm, protège le messager des dégradations par les 3' exonucléases, et nous verrons qu'elle contribue à l'initiation de la traduction des ARNm.

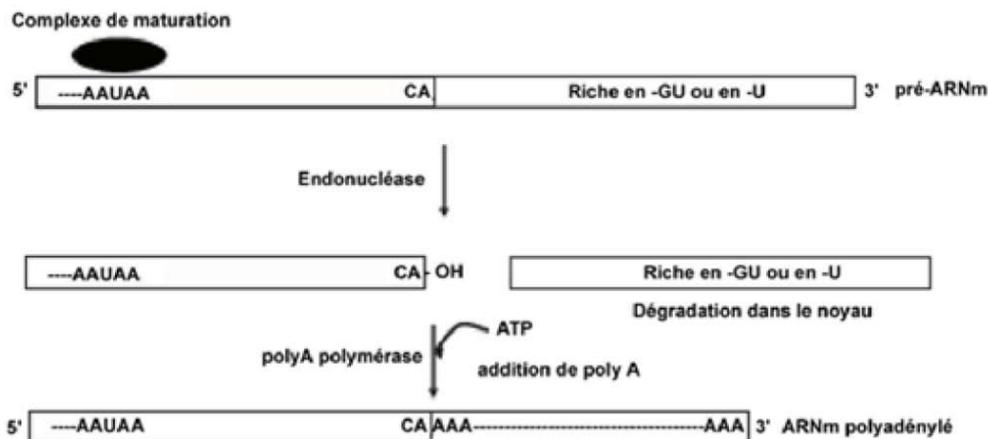


Figure 13. La maturation en 3' des pré-ARNm.

Le complexe de maturation de l'extrémité 3', clive le pré-ARNm et ajoute une queue poly A. Des endonucléases et la poly A polymérase appartiennent à ce complexe.

Dans les années 1970, le développement des méthodes d'hybridations moléculaires *in situ*, a mis en évidence un autre mode de maturation des ARNm : l'excision/épissage. Chez l'oiseau, les cellules sécrétrices de l'oviducte renferment une quantité importante d'ARNm codant l'ovalbumine (90% des ARNm), on peut donc facilement l'extraire. En parallèle, on isole l'ADN des cellules de l'oviducte. L'ADN est dénaturé puis incubé en présence des ARNm. Les hybrides ADN-ARN obtenus sont étalés sur une grille de microscopie électronique, soumis à un ombrage rotatif et observés. Le résultat est présenté dans la figure 14A et montre que l'appariement des molécules est incomplet. Seules les séquences complémentaires entre l'ARNm cytoplasmique et l'ADN s'associent. Les boucles correspondent à des séquences d'ADN absentes de l'ARNm. Seules certaines séquences du gène sont utilisées pour former l'ARNm cytoplasmique, c'est-à-dire l'ARNm mature. Les gènes d'eucaryotes ont une structure discontinue, comportant des exons et des introns. Les exons sont des séquences qui seront retrouvées dans l'ARNm et traduites en protéines. Les introns sont par définition des séquences d'ADN intercalées entre les exons. On dit que les gènes sont morcelés ou mosaïques (figure 14B). On sait maintenant que les introns présents dans les pré-ARNm sont excisés et que les exons sont épissés.

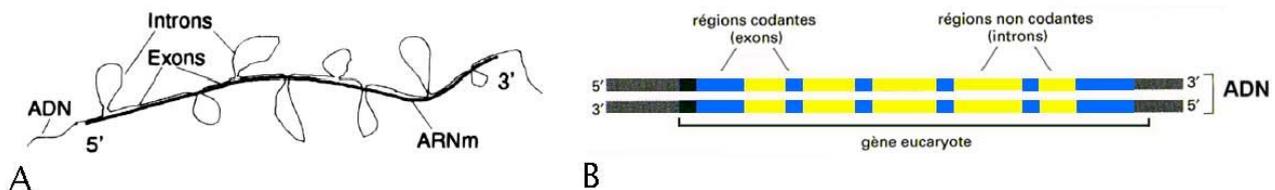


Figure 14. Les gènes des eucaryotes sont mosaïques.

(A) Représentation schématique d'un hybride ADN-ARNm cytoplasmique (ovalbumine) observé au microscope électronique après étalement moléculaire et ombrage rotatif. (B) Représentation schématique d'un gène eucaryote. Les régions codantes, exons, ne représentent qu'un faible pourcentage du génome. Dans le génome humain, on estime que 2% de l'ADN correspond à des exons, 24% à des introns et 74% à de l'ADN intergénique.

Les processus mis en œuvre lors de l'excision/épissage sont extrêmement complexes, les principes de ces mécanismes sont résumés dans la figure 15. La maturation par excision/épissage se déroule au sein de volumineux complexes ribonucléoprotéiques (600 angströms) appelés splicéosome. Les éléments constitutifs du splicéosome sont cinq petites particules de ribonucléoprotéine nucléaire, les snRNP (snurp, small nuclear ribonucleoprotein particles). Chaque snRNP est formée d'une petite molécule d'ARN nucléaire riche en uracile (U1-snARN, U2snARN, U4snARN, U5snARN et U6snARN) et de protéines dont certaines sont communes à tous les snRNP et d'autres sont spécifiques. Les protéines communes sont appelées les protéines Sm, elles sont au nombre de sept et s'associent pour former un anneau heptamérique qui entoure un segment du snARN. La snRNP contenant U1 se fixe sur le pré-ARNm au site d'excision/épissage 5' de l'intron à enlever, grâce à une complémentarité de séquence avec celui-ci. La snRNP contenant U2 s'associe au site A de branchement. Puis les snRNP contenant U4 et U6 interagissent avec les snRNP contenant U1 et U2, ce qui crée des contraintes physiques permettant à la snRNP contenant U5 de rapprocher les deux extrémités des exons. Enfin, l'activité catalytique des ARN du splicéosome permet de cliver l'intron, de libérer le lasso et de liquer les exons (figure 15). Lorsque les réactions d'épissage sont achevées, les snRNP, restées unies au lasso, sont désassemblées et reprennent leur configuration d'origine pour être réutilisées dans une nouvelle réaction. L'intron est linéarisé et sera dégradé dans le noyau par un complexe appelé exosome, constitué de 11 exonucléases et d'ARN hélicases. Il semble que les exosomes servent également à dégrader les ARNm qui n'ont pas été épissés ou polyadénylés correctement. Les séquences des introns ont une taille qui varie de 75 à plus de 100 000 nucléotides. Se pose donc la question de savoir comment sont choisis les bons sites d'excision/épissage. Les analyses des génomes des mammifères, du ver *Caenorhabditis elegans*, et de la drosophile suggèrent que la taille des exons est beaucoup plus homogène que celle des introns, de l'ordre de 150 paires de nucléotides en moyenne. Selon une hypothèse, des protéines riches en sérines et arginines s'assembleraient sur les exons au cours de la synthèse du pré-ARNm et délimiteraient les sites d'épissages en 5' et 3'. Ces assemblages marqueraient les limites des exons, ce qui guiderait précisément les snRNP sur les frontières exon/intron et limiterait les erreurs d'excision/épissage. C'est l'hypothèse de la « délimitation des exons ».

Le produit de l'excision/épissage est donc un ARNm mature, qui dans certains cas peut subir d'autres modifications, en particulier il peut être édité. L'édition des ARN désigne un ensemble de maturations post-traductionnelles qui entraîne des modifications de la séquence primaire de l'ARN aboutissant à la formation d'un ARNm dont la séquence diffère de celle du brin d'ADN lu au cours de la transcription. On distingue des insertions, des délétions ou des substitutions de nucléotides. Ces possibilités ont été initialement découvertes chez les mitochondries du trypanosome puis confirmées dans les mitochondries des autres organismes, dans les chloroplastes des plantes et pour les pré-ARNm de certains gènes chez les mammifères. L'édition des ARN dans les cellules de mammifères s'effectue par une désamination qui transforme une cytosine en uracile ou une adénosine en inosine. Un des exemples, chez l'homme, concerne l'ARNm de l'apolipoprotéine B, transporteur du cholestérol et des triglycérides. Le gène de cette protéine comporte 39 introns dispersés sur 50 kilobases d'ADN. Dans le foie, l'ARNm n'est pas édité et conduit à la production de l'apolipoprotéine B100 (4536 acides

aminés). Dans les cellules de l'intestin, une désaminase provoque la substitution d'une cytosine en uracile ce qui transforme un codon CAA en un codon de terminaison UAA. Il en résulte un arrêt précoce de la traduction du messager et donc la production d'une protéine plus petite, l'apolipoprotéine B48 (2152 acides aminés). Elle assure l'adsorption des lipides par l'épithélium intestinal. Ainsi, un gène peut générer un pré-ARNm dont la maturation peut être tissu spécifique et donner naissance à deux ARNm différents, traduits en deux protéines différentes. Chez l'homme, l'ARNm codant pour le récepteur à la sérotonine est édité à de nombreux endroits ce qui produit douze isoformes de la protéine.

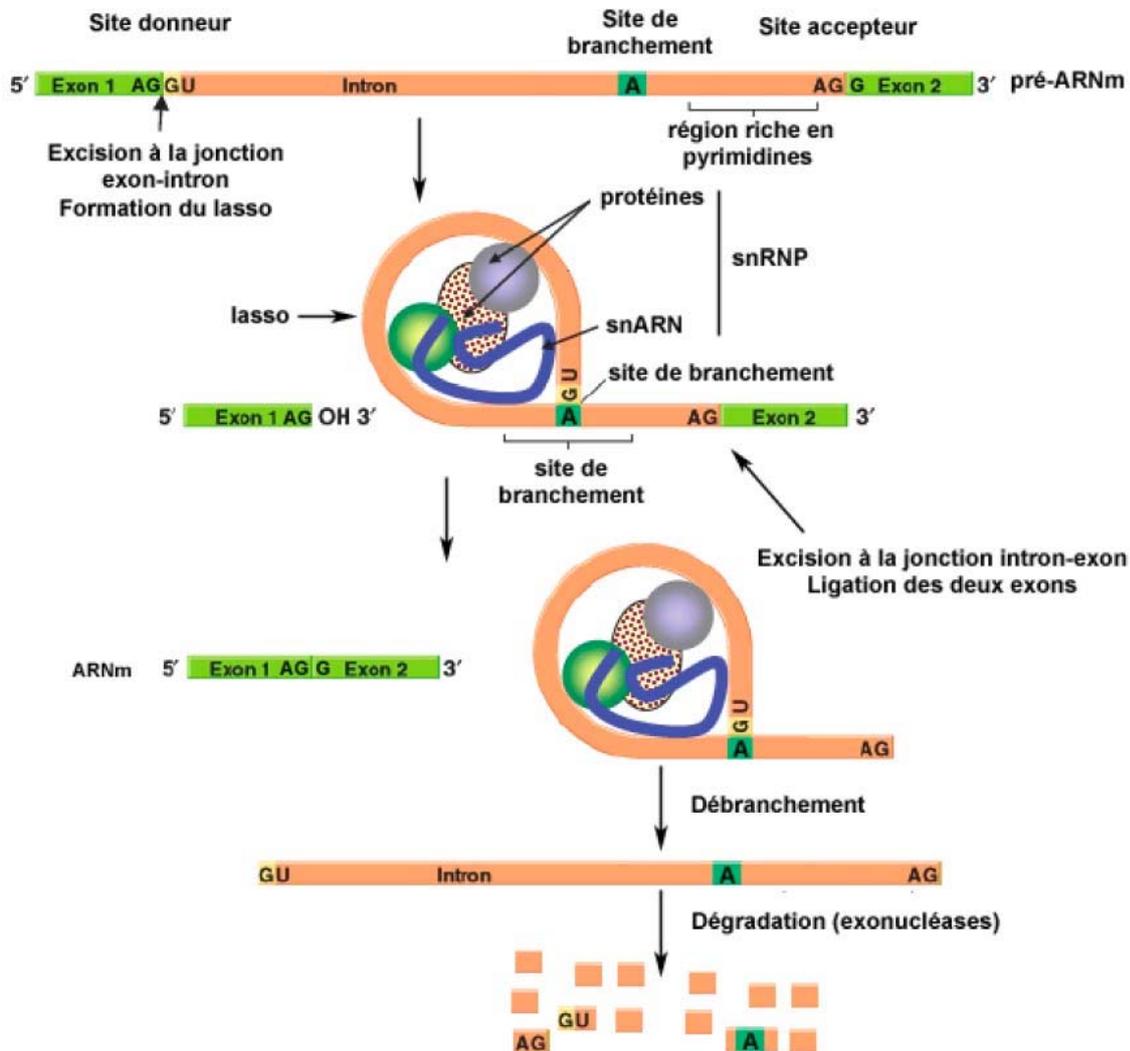


Figure 15. L'excision/épissage d'un intron.

Les sites d'excision/épissage ont pu être déterminés en comparant les séquences de l'ADN génomique à celles des ADNc préparés à partir de l'ARNm correspondant. Dans le pré-ARNm, la séquence en 5' d'un intron commence par GU. À l'extrémité 3' de l'intron, la séquence consensus est un brin de dix pyrimidines (U ou C) suivie par la séquence invariante AG. Le site de branchement (A) est localisé entre 20 et 50 nucléotides en amont du site 3' d'excision/épissage. L'excision/épissage fait intervenir deux réactions de transestérification. Dans la première réaction, il y a formation d'un clivage du côté 5' de l'intron. L'OH situé en 2' du ribose appartenant à l'A du site de branchement vient se souder à l'extrémité 5'-phosphate de l'intron. Il y a formation d'une liaison phosphodiester, libération de l'exon et constitution d'une boucle intramoléculaire ou lasso. L'extrémité 3' de l'exon libéré présente un OH (3') libre. Dans la seconde réaction de transestérification, l'extrémité 3' de l'exon libéré interagit avec le site d'excision/épissage du côté 3' de l'intron. Il se forme une liaison covalente entre les deux exons et le lasso est libéré. Celui-ci est ensuite linéarisé par une enzyme de débranchement puis dégradé.

Dans les cellules eucaryotes, il existe d'autres mécanismes d'épissage comme l'épissage alternatif, l'auto-épissage, le trans-épissage et l'épissage utilisant une maturase. L'épissage alternatif d'exons est un mécanisme permettant de produire des ARNm différents à partir d'un même pré-ARNm. Comme nous l'avons vu, le spliceosome reconnaît des signaux d'épissage, mais ces signaux d'épissage peuvent être plus ou moins forts et plus ou moins masqués ce qui implique que le spliceosome les reconnaît plus ou moins efficacement. Les signaux faibles sont appelés «signaux d'épissage alternatif», par opposition les signaux forts sont appelés «signaux constitutifs». L'épissage alternatif permet donc à un gène de coder pour plusieurs ARNm différents.

Par exemple, si un pré-ARNm contient un nombre important d'exons l'excision peut produire un lasso formé d'un exon et de deux introns au lieu d'un seul intron. L'épissage générera alors un ARNm dans lequel un ou des exons ne seront pas représentés dans l'ARNm mature. Il en résultera un ARNm plus court qui code pour une isoforme de la protéine, ainsi un gène peut coder pour plusieurs protéines. Ce mécanisme apporte aux cellules une grande souplesse génétique et conduit à élargir la définition moléculaire classique du gène selon laquelle il code un ARNm unique, le dogme «un gène pour une protéine» n'est plus. L'épissage alternatif joue donc un rôle très important pour le contrôle de l'expression des gènes ce qui a des conséquences sur la physiologie cellulaire. Par exemple, la protéine CD45 est codée par un gène qui contient neuf exons. Cette protéine joue un rôle dans l'activation des lymphocytes T lors d'une réponse immunitaire à une infection. Lorsque le lymphocyte T est au repos, l'épissage forme un ARNm intégrant les neuf exons, la protéine correspondante est exprimée et le lymphocyte est prêt à être activé. Lors d'une infection, le pré-ARNm de CD45 est épissé alternativement et les exons 4,5,6 sont excisés. L'ARNm est plus court et l'isoforme de CD45 produite ne peut pas jouer son rôle d'activateur. Le lymphocyte T ne peut donc plus répondre à un second signal d'activation et donc la réponse immunitaire est régulée et ne sera pas disproportionnée.

L'épissage alternatif joue également un rôle important de régulation du fonctionnement des tissus. Par exemple, la maturation des ARNm est souvent spécifique d'un type cellulaire. C'est le cas de la fibronectine dont le pré-ARNm, qui contient 50 exons, subit un épissage différent dans les fibroblastes et les hépatocytes. Dans le fibroblaste, l'ARNm contient deux exons de plus que celui produit dans l'hépatocyte, il en résulte deux isoformes tissus spécifiques. L'isoforme produite par le fibroblaste est sécrétée et permet l'adhérence des cellules à la matrice extracellulaire. L'isoforme générée par l'hépatocyte est sécrétée dans le sang et ne favorise pas l'adhérence des cellules.

Enfin, l'épissage alternatif est un mode de régulation de l'expression génique extrêmement importante lors du développement d'un individu. L'exemple le mieux connu est celui de la différenciation du sexe chez la drosophile. Le gène *doublesex* possède 6 exons et code deux protéines qui résultent d'un épissage alternatif du pré-ARNm (figure 16). Chez les femelles, l'exon 3 est épissé avec l'exon 4 qui contient un site de polyadénylation et les exons 5 et 6 sont excisés. La protéine Dsx produite dirige le développement femelle en réprimant les gènes de différenciation mâles. Chez les mâles, l'exon 3 est épissé avec les exons 5 et 6. L'exon 4 est excisé. L'ARNm produit code une protéine Dsx différente qui gouverne le développement mâle en réprimant la différenciation femelle.

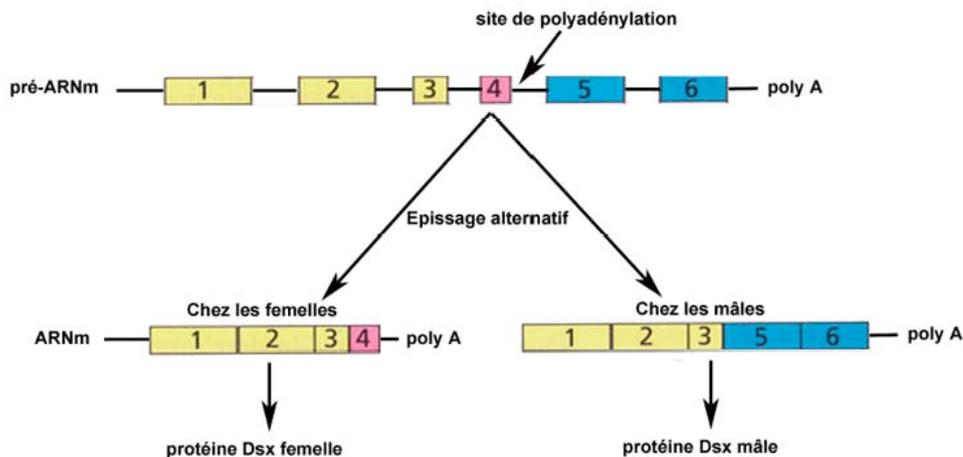


Figure 16. L'épissage alternatif du gène *doublesex* contrôle la différenciation du sexe chez la drosophile.

Il existe trois autres mécanismes d'épissage : l'auto-excision, le trans-épissage et l'épissage utilisant une maturase. L'auto-excision ne nécessite pas l'intervention du splicéosome, c'est un mécanisme d'épissage que l'on observe pour deux groupes d'introns. Les introns du groupe I sont rencontrés dans les gènes d'ARNr chez les protozoaires. Les introns du groupe II sont présents dans les gènes codant des protéines et des gènes codant certains ARNr et ARNt dans les mitochondries et les chloroplastes des plantes et des champignons. L'épissage par trans-épissage ne se produit pas au sein d'un même messager, mais entre deux messagers différents. Ce type d'épissage a été décrit chez un parasite, le trypanosome. L'épissage utilisant une maturase est un processus très complexe a été décrit chez la levure, en particulier pour le pré-ARNm du cytochrome b. Le premier intron produit une protéine, la maturase. Celle-ci sert ensuite à épisser les transcrits des introns suivants.

Toutes ces modifications post-transcriptionnelles du pré-ARNm permettent de générer différents ARNm et donnent donc la possibilité à la cellule de produire des protéines différentes à partir d'un même gène. Ces mécanismes permettent de comprendre comment à partir des 25-26000 gènes identifiés par le récent décryptage de la séquence de l'ADN humain, la cellule peut produire les 90000 protéines nécessaires à son fonctionnement. Au total, les modifications en 5', en 3', l'excision/épissage et l'édition transforment le pré-ARNm

en ARNm mature comportant trois régions. Une région terminée par la coiffe et qui ne sera pas traduite en protéine, c'est la région 5' non codante (5' UTR). Une région codante issue de l'épissage des exons. Enfin, une région contenant la queue polyA qui constitue l'extrémité 3' non-codante (3' UTR). C'est cet acide ribonucléique qui va transporter l'information génétique du noyau à la machinerie de traduction cytoplasmique pour produire les protéines.

IV – Les ARNm sont les vecteurs de l'information génétique vers le cytoplasme

Les ARNm matures sont transférés vers le cytoplasme ainsi que les ARNt et les sous-unités des ribosomes. Ces composants participeront à la machinerie cellulaire de traduction produisant les protéines.

IVa – Les ARNm sont exportés du noyau par un exportateur.

L'enveloppe nucléaire comporte de nombreux pores nucléaires (figure 1). Ils sont constitués par des complexes protéiques dont les nucléoporines sont les constituants essentiels. Elles tapissent le canal central du pore nucléaire. L'ARNm, une fois mature, est associé à des protéines qui contiennent des signaux d'exportation nucléaire reconnus par des récepteurs nucléaires qui guident l'ARN au travers des complexes des pores nucléaires (figure 17). Une fois dans le cytosol, les protéines guides sont éliminées et retournent dans le noyau. L'étude de mutations chez les levures a mis en évidence une mutation qui se manifeste par une rétention des ARNm dans le noyau. La protéine responsable a été isolée, c'est une protéine hétérodimérique appelée l'exportateur d'ARNm. Des homologues hautement conservés sont présents chez tous les eucaryotes. Ils se fixent de manière coopérative avec les protéines SR liées aux exons et également aux nucléoporines du pore nucléaire. Ils transloquent l'ARNm à travers le canal du pore nucléaire, c'est-à-dire par des liaisons transitoires avec les nucléoporines.

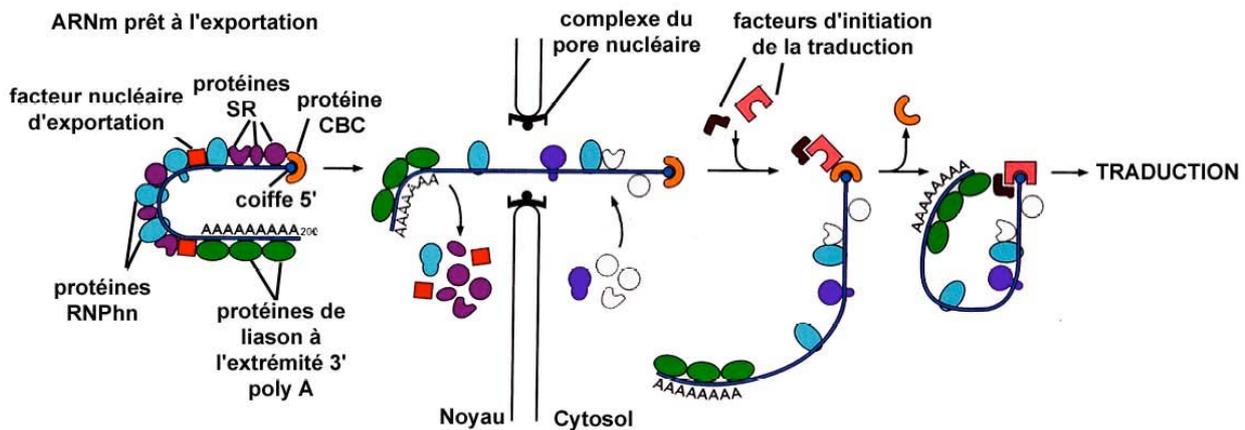


Figure 17. Schéma figurant l'export nucléaire de l'ARNm mature

L'ARNm est empaqueté par un grand nombre de protéines nucléaires. Certaines le protègent, d'autres le transportent vers le pore nucléaire. À ce niveau, certaines protéines se déplacent avec l'ARNm et se retrouvent dans le cytosol. D'autres protéines sont ajoutées au moment du passage dans le cytosol. Enfin, certaines restent dans le noyau, elles prendront en charge un nouvel ARNm. (D'après Alberts et coll. 2004).

Les glandes salivaires du chironome produisent un ARNm géant (75 kb) qui code des protéines adhésives permettant aux larves d'adhérer aux feuilles. Ces ARNm et les protéines associées forment une volumineuse RNP observable au microscope électronique. On observe que ces RNP se déplient au cours de leur passage à travers les pores nucléaires et se lient aux ribosomes dès leur entrée dans le cytosol. Cette observation suggère que c'est l'extrémité 5' de l'ARNm qui traverse en premier le complexe protéique du pore. Il existe un système de régulation de l'exportation qui repose sur des signaux de rétention nucléaire des RNP. Ils séquestrent les ARN immatures dans le noyau jusqu'à ce que leur maturation soit terminée. Les ARNt, des petits ARN (les miARN) et les sous-unités des ribosomes sont également exportés par différents récepteurs d'exportation nucléaire.

IVb -ARNm, ARNt et ARNr participent à la production des protéines

La conversion de l'information portée par l'ARNm en protéine représente la traduction. La traduction est l'interprétation de la séquence des ribonucléotides portée par l'ARNm en acides aminés. Elle est réalisée selon un code appelé le code génétique. C'est un système de correspondance permettant de traduire une séquence d'acide nucléique en protéine. Dans ce système, un triplet de nucléotides, ou codon, désigne un acide aminé. Puisqu'il existe 4 nucléotides, il y a une combinatoire de 64 codons différents. À un codon correspond un seul acide aminé. Il existe 20 acides aminés différents dans les protéines, plusieurs codons peuvent donc désigner un même acide aminé. Il y a quatre codons particuliers. Un codon AUG appelé codon-initiateur codant pour la

méthionine qui permet de commencer la traduction et 3 codons appelés codon stop qui provoquent l'arrêt de la traduction. La traduction s'effectue dans le cytoplasme, elle nécessite des acides aminés qui sont polymérisés selon l'ordre donné par les codons de l'ARNm. Les codons n'interagissent pas directement avec l'acide aminé, des molécules adaptatrices sont requises : les ARNt. La traduction a aussi besoin d'énergie, des ribosomes, de l'activité enzymatique et d'une matrice portée par l'ARNm. Lorsque l'ARNm arrive dans le cytosol, il est pris en charge par des protéines et en particulier par deux facteurs d'initiation de la traduction (figure 17). Ces protéines éliminent la protéine de coiffe (protéine CBC, figure 17) puis interagissent avec les protéines fixées sur la queue poly A. En quelque sorte ces protéines s'assurent que les deux extrémités de l'ARNm sont intactes avant d'initier la traduction.

La traduction est initiée par la petite sous-unité du ribosome qui se fixe sur l'extrémité 5' de l'ARNm, accompagnée de l'ARNt initiateur qui porte la méthionine et des facteurs d'initiation. La sous-unité se déplace jusqu'à ce qu'elle parvienne au codon-initiateur. Les facteurs d'initiation se dissocient et la grande sous-unité ribosomique se fixe de telle sorte que l'ARNt initiateur occupe le site P du ribosome (figure 6). Lorsque cet assemblage est effectué, un second ARNt chargé de son acide aminé et accompagné d'un facteur d'élongation associé au GTP, vient occuper le site A (figure 6). Le choix repose sur l'appariement codon-anticodon. Si l'appariement codon-anticodon est suffisamment fort, l'hydrolyse de GTP est déclenchée et suivie par la dissociation du facteur d'élongation. L'hydrolyse produit également un changement de conformation du ribosome, ce qui active l'ARN 28S. Il catalyse la formation d'une liaison peptidique entre la méthionine et le deuxième acide aminé. Si l'appariement n'est pas fort, l'ARNt quitte le site A sans que le GTP puisse être hydrolysé et donc le lien entre les acides aminés n'est pas réalisé. Le processus s'effectue par essais successifs de différents couples ARNt -acide aminé qui se présentent de façon aléatoire. Il y a une sélection rigoureuse de l'ARNt, ce qui garantit la traduction fidèle du message. Une fois la liaison peptidique réalisée, l'hydrolyse du GTP lié à un second facteur d'élongation provoque un second changement de conformation du ribosome. Il induit le déplacement relatif de l'ARNm et du ribosome, appelé translocation. L'ARNt qui portait la méthionine est déplacé jusqu'au site E et celui qui porte le peptide est déplacé vers le site P. Le résultat est que le site A se trouve libre pour recevoir un troisième ARNt chargé d'un troisième acide aminé. Les translocations se poursuivent avec adjonction d'acides aminés à la chaîne en cours jusqu'à la terminaison. Celle-ci est programmée, dans l'ARN messenger par un des codons stop, qui est lié à un facteur de terminaison de l'élongation associée au GTP. Aucun ARNt possède l'anticodon correspondant, le site A reste donc inoccupé. La traduction se termine par l'hydrolyse de la liaison du dernier acide aminé avec son ARNt. Il se forme ainsi l'extrémité carboxy terminale de la protéine. Les deux sous-unités du ribosome se dissocient libérant ainsi l'ARNm. Le transfert de l'information de l'ARNm en protéines fait intervenir l'appariement codon-anticodon ce qui confère aux ARNt une importance considérable pour la fidélité de la traduction. La traduction d'un ARNm peut être réalisée simultanément par plusieurs ribosome. Il se forme alors une structure appelée polyribosome (polysome). Ces structures sont observables au microscope électronique, elles apparaissent circulaires. En utilisant le modèle levure, il a été montré que les protéines liées aux extrémités 3' et 5' de l'ARNm sont capables d'interagir entre elles pour circulariser l'ARNm (figure 17). Ainsi, lorsqu'un ribosome achève la traduction et se dissocie de l'extrémité 3', les sous-unités séparées peuvent rapidement être mobilisées près de la coiffe 5' et donc initier une nouvelle traduction. Ceci permet d'augmenter la vitesse de synthèse d'une protéine.

V – Le contrôle quantitatif des ARNm dans le cytoplasme.

Nous avons vu que dans le noyau, l'épissage alternatif des pré-ARNm contribue à réguler l'expression des gènes en produisant à partir d'un même gène des ARNm matures différents, c'est une régulation qualitative. Ces ARNm passent dans le cytosol et peuvent à nouveau être le siège de régulations. Elles sont quantitatives et concernent la stabilité/dégradation, la répression de la traduction, le stockage et l'adressage des ARNm.

Va – la stabilité/dégradation des ARNm.

La durée de vie de l'ARNm est un facteur important dans la régulation de l'expression des protéines. La demi-vie d'un ARNm peut varier de quelques minutes, à quelques heures et se prolonger à quelques jours ou mois dans le cas des ovocytes. Elle dépend de sa vitesse de synthèse, de sa stabilité et de sa vitesse de dégradation. Certaines protéines de cellules eucaryotes sont nécessaires pendant de courtes périodes ou bien de façon cyclique. C'est par exemple le cas des cytokines lors de la réponse immunitaire ou des cyclines lors des mitoses. La production de ces protéines se fait par à-coups car la transcription des gènes peut être rapidement activée/inactivée et parce que leurs ARNm ont une durée de vie courte. Ces ARNm à faible durée de vie ont souvent une séquence nucléotidique riche en AU dans leur région non traduite en 3'. Des protéines spécifiques de liaison à l'ARN se fixent sur ces séquences, interagissent avec une désadénylase et ciblent l'ARNm vers le complexe exosome. Il en résulte une désadénylation rapide et la dégradation 3'-5' de ces ARNm. D'autres voies de dégradations font intervenir soit le retrait de la coiffe en 5' ce qui rend l'ARNm accessible aux exonucléases 5'-3', soit le raccourcissement de la queue polyA par une déadénylase, soit encore par un clivage dans la région centrale par des endonucléases puis dégradation dans les exosomes.

Vb – la polyadénylation cytoplasmique des ARNm contrôle leur traduction.

Dans le cytoplasme, la région 3' non codante des ARNm permet de contrôler l'amorçage de la traduction. Ce contrôle dépend de modifications de la polyadénylation d'ARNm qui doivent être stockés dans les cellules. C'est particulièrement le cas dans les ovocytes où la répression de la traduction est généralement observée. Ces cellules contiennent de nombreux ARNm de réserve dont la queue polyA est réduite à 20-40 résidus. Dans ces conditions, les protéines de liaison à l'extrémité 3' ne se fixent pas (figure 17), mais une protéine, la maskine reconnaît la courte queue poly A, s'y fixe et interagit avec la coiffe en 5'. Elle empêche alors, au niveau de la coiffe, l'interaction avec les facteurs d'initiation de la traduction et la fixation de la petite sous-unité des ribosomes. La traduction est réprimée. Si l'ovulation ou la fécondation ont lieu, la maskine est déplacée, ce qui permet à la poly A polymérase d'allonger la queue polyA. Les protéines qui participent à la traduction peuvent alors se fixer et favoriser la production des protéines.

Vc – La stabilité des ARNm est contrôlée selon les besoins de la cellule

La stabilité des ARNm peut être régulée en fonctions des besoins de la cellule. C'est par exemple le cas des systèmes qui régulent la concentration du fer dans les cellules. Le premier système concerne la ferritine, protéine intracellulaire qui fixe le fer. Elle est codée par un ARNm qui présente dans sa région 5' non traduite des séquences qui ont une structure en épingle à cheveux appelée élément de réponse au fer (IRE). Ces structures sont reconnues par une protéine appelée protéine de liaison aux éléments de réponses au fer (IRE-BP). En absence de fer dans la cellule, l'IRE-BP est active, se fixe sur les IRE ce qui empêche le ribosome de se fixer sur l'ARNm. La concentration de ferritine chute ce qui libère les ions fer dans la cellule. Aux concentrations élevées de fer, l'IRE-BP est inactive, ne se fixe pas sur les IRE et le messenger est traduit. La ferritine fixe les ions libres du fer, limitant ainsi leur toxicité. Le second système concerne le récepteur de la transferrine. La transferrine est une protéine circulante qui fixe le fer et le transporte. A la surface des cellules, elle se fixe à son récepteur et le complexe est transféré par endocytose, ce qui assure l'import du fer dans la cellule. Le récepteur est codé par un ARNm contenant des IRE dans la région 3' non codante. En absence de fer, l'IRE-BP se fixe aux IRE ce qui stabilise l'ARNm qui est traduit. La production du récepteur augmente, ce qui favorise l'import du fer. En présence de fer, l'IRE-BP est inactive. Elle ne se fixe pas aux IRE, l'ARNm est déstabilisé et dégradé. La production du récepteur est abaissée ce qui réduit l'import du fer, protégeant ainsi les cellules. Au total, lorsque les réserves de fer sont faibles, ces systèmes provoquent l'augmentation des ions libres de fer disponibles pour les enzymes qui l'utilisent. Lorsque le fer est en excès, ces systèmes empêchent l'accumulation du fer, ce qui est toxique pour les cellules.

Vd – La localisation des ARNm

Certains processus cellulaires dépendent de la localisation de protéines particulières à des structures ou des régions spécifiques de la cellule. Cette localisation des protéines peut résulter de la localisation des ARNm dans les régions spécifiques de la cellule. Ce ciblage et cette localisation asymétrique de l'ARNm sont le résultat d'une cascade d'événements ordonnés qui consistent en la formation d'un complexe ribonucléoprotéique, la translocation du complexe vers les sites d'ancrage, l'ancrage des particules au cytosquelette et la traduction locale des ARNm. Dans la plupart des cas, la localisation des ARNm est spécifiée par des séquences de la région 3' non traduite des ARNm. C'est par exemple le cas dans les ovocytes de drosophile et d'amphibien, les myoblastes, les neurones et les fibroblastes. Dans ces deux derniers types de cellules, les ARNm de l'actine γ et δ sont présents autour du noyau tandis que celui de l'actine γ est localisé à la périphérie des cellules au niveau des lamellipodes ou des cônes de croissance.

Les mécanismes de localisation de l'ARNm de l'actine γ dans les fibroblastes est intimement lié au cytosquelette d'actine. Dans les neurones, cet ARNm est associé aux microtubules. Il a été montré que la distribution périphérique de l'ARNm de l'actine γ dépend d'une séquence de 54 résidus de la région 3' non-codante. Cette région est appelée le zipcode. Cinq protéines (ZBP 1 à 5) se lient au zipcode. Elles interagissent avec le pré-ARNm dans le noyau et forment des ribonucléoprotéines (figure 13). Elles possèdent des signaux d'export nucléaire suggérant leur implication pour transporter les ARNm vers le cytosol. Ces protéines sont conservées au cours de l'évolution, elles sont nécessaires, par exemple, chez l'amphibien pour le transport de l'ARNm Vg1 au pôle végétatif de l'ovocyte. Si l'on réalise des lignées de fibroblastes déficients pour la protéine ZBP1, l'ARNm de l'actine γ se localise autour du noyau. Si l'on fusionne la ZBP1 à une protéine membranaire, l'ARNm de l'actine γ est adressée à la membrane plasmique. Il a été montré que la ZBP1 se lie à la fois aux microfilaments et aux microtubules, et utilise les deux types de supports pour transporter l'ARNm. Avec une affinité plus importante pour les microfilaments dans les fibroblastes et pour les microtubules dans les neurones. Il apparaît donc que la distribution asymétrique des ARNm permet de cibler la production de protéines spécifiques à des endroits précis de la cellule, grâce à la traduction locale des messagers. Il est maintenant établi que le transport et la localisation d'ARNm particuliers jouent un rôle important dans des phénomènes comme l'apprentissage et la mémoire, la plasticité synaptique, la motilité cellulaire, la division cellulaire asymétrique et le développement des axes lors de l'embryogenèse.

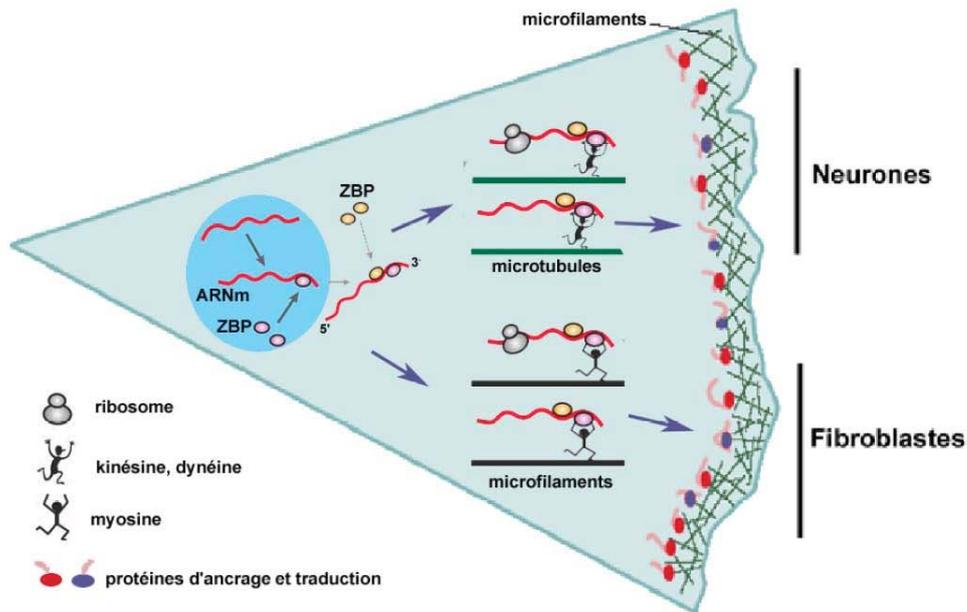


Figure 18. Mécanismes de localisation de l'ARNm de l'actine β .

L'ARNm l'actine β se lie aux protéines ZBP1 dans le noyau et ZBP2 dans le cytosol. Dans le cytoplasme, ZBP1 et 2 forment des granules capables de se déplacer sur les microtubules et les filaments d'actine à l'aide de moteurs moléculaires. A proximité des zones riches en actine de la périphérie de la cellule, des protéines d'ancrage prennent en charge l'ARNm, l'accroche sur les microfilaments où il est traduit. (D'après Lavoie et coll., 2004; Kindler et coll., 2005).

VI -Une découverte récente, l'interférence de l'ARN.

C'est en travaillant sur les mécanismes cellulaire et moléculaire de la coloration des fleurs et en particulier du pétunia qu'une observation étonnante fut faite dans les années 1990. La couleur mauve des pétunias est produite par l'action d'une enzyme, la chalcone synthase. On savait que la perte de fonction du gène qui code cette synthase provoque une perte plus ou moins marquée de la coloration de la fleur. Alors, afin d'obtenir des pétunias plus colorés, des copies supplémentaires du gène ont été insérées dans le génome de la plante par transgénèse. Les plantes obtenues avaient toutes des fleurs blanches. L'analyse des ARN isolés à partir des fleurs blanches a montré que le taux d'ARNm produit par le gène était fortement réduit par rapport au taux d'ARN des fleurs contrôles. Phénotypes extrêmement troublants, tout se passait comme si les gènes introduits «éteignaient» la production de l'enzyme. Les gènes ajoutés et l'endogène sont rendus «silencieux». D'autres expériences montrent que l'introduction d'ARN double-brin dans des cellules d'*Arabidopsis thaliana* déclenche une méthylation de l'ADN correspondant. Cette méthylation inhibe la transcription du gène donc la production de l'ARNm correspondant.

A la fin des années 1990, pour chercher à comprendre la fonction du gène *par1* chez le ver *Caenorhabditis elegans*, l'ARN complémentaire de l'ARNm de ce gène fut injecté dans l'embryon. Cette technique classique permet de générer des ARN double-brin dans les cellules puisque l'ARN complémentaire injecté va s'apparier avec l'ARNm endogène. Le duplexe formé empêchera la traduction et donc la protéine correspondante ne sera pas produite. Parmi les contrôles de ce type d'expérience, il faut envisager l'injection d'un excès d'ARNm ou l'injection de l'ARNm hybridé à son brin complémentaire. Dans le premier cas, on s'attend à une augmentation de la production de la protéine, dans l'autre à une production normale. Il n'en fut rien. Avec ces deux types de contrôle, il fut montré que la protéine n'était pas produite. Le principe général du mécanisme mis en évidence par ces expériences est maintenant en partie élucidé. Il s'agit de la mise en œuvre de la machinerie d'interférence de l'ARN. Les ARN double-brin sont pris en charge par une éminceuse, une ribonucléase de type III appelée Dicer. Elle clive l'ARN double-brin toutes les 21 à 25 paires de bases. La protéine Dicer transfère ensuite ces petits ARN double-brin à un gros complexe multiprotéique, le complexe RISC composé entre autres de la protéine argonaute. Dans le complexe, un des brins du petit ARN est éliminé tandis que l'autre adresse le complexe RISC vers les ARNm possédant une séquence complémentaire. Si la complémentarité entre le petit ARN monocaténaire et l'ARNm cible est parfaite, le complexe RISC clive l'ARNm cible qui est alors dégradé. Il ne peut donc plus être traduit en protéine. Cette machinerie d'interférence de l'ARN est présente dans toutes les cellules eucaryotes et sert à réguler très finement l'expression du génome.

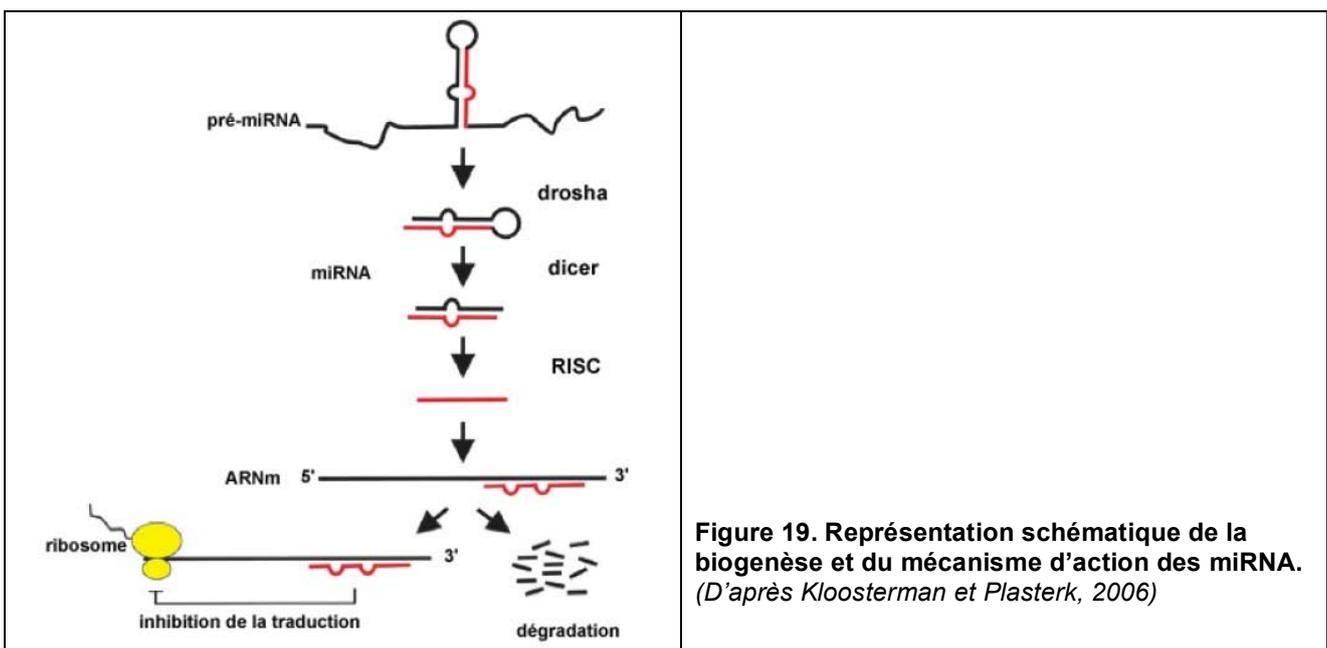
Via – Les petits ARN : outils de défense naturelle et de surveillance

La machinerie d'interférence à ARN est un mécanisme de défense des cellules contre les virus et les éléments génétiquement mobiles. Les éléments génétiquement mobiles, les transposons, sont des séquences d'ADN qui se dupliquent et s'insèrent n'importe où dans le génome. Chez les plantes, il existe des mutations des gènes codant la protéine Dicer ou les protéines du complexe RISC. Les plantes mutées manifestent une

augmentation du déplacement des transposons dans leurs génomes. Elles ont également une sensibilité accrue vis-à-vis des infections par les virus à ARN. Ceci s'explique par le fait que les ARN double-brin produits lors de la réplication des virus à ARN sont reconnus par la protéine Dicer. Il en résulte l'activation de la machinerie d'interférence à ARN qui dégrade les ARNm viraux. La machinerie d'interférence à ARN est également un mécanisme de surveillance de la production d'ARN dans les cellules. En effet, chez les plantes et *Caenorhabditis elegans*, il existe des ARN polymérases ARN dépendantes. Lors de la production des ARNm ou lors de certains dysfonctionnements cellulaires, des transcrits incomplets ou codant des protéines indésirables sont produits. Cette polymérase peut reconnaître ces ARN et produire des ARN double-brin complémentaires des transcrits indésirables. Ces ARN sont émincés par l'enzyme Dicer, et la machinerie d'interférence est activée. Le complexe RISC scanne les ARNm cellulaires. S'il y a une complémentarité entre les petits ARN et un ARNm cible, le complexe RISC le coupe et le dégrade rapidement. La synthèse de la protéine correspondante est impossible. Les petits ARN assurent ainsi un processus de surveillance en réduisant au silence les gènes qui menacent le bon fonctionnement cellulaire. Chez beaucoup d'organismes à l'exception des mammifères, les petits ARN interférents peuvent être multipliés, amplifiés car ils possèdent l'ARN polymérase ARN dépendante. Ces petits ARN interférents amplifiés peuvent être dispersés dans la lignée germinale et par conséquent passer de génération en génération avec la protection naturelle qui leur est associée. Ils peuvent également diffuser dans tout l'organisme pour conférer leur protection. C'est en particulier le cas chez les végétaux où il a été montré que le transfert des petits ARN interférents a lieu à travers les plasmodesmes. Ce mécanisme confère à la plante entière une résistance à l'infection virale. Ainsi, l'interférence de l'ARN est une machinerie de lutte pour rendre inactif le matériel génétique des agents infectieux, parasites, virus ou transposons qui s'introduisent dans les cellules ou dans l'ADN. C'est un véritable système immunitaire intracellulaire. Il protège le code génétique des espèces.

Vib – Les microARN

Le clonage et l'analyse systématique de gènes impliqués dans des mutations chez le ver nématode a contribué à isoler deux gènes particuliers. Ces gènes se sont avérés coder pour aucun produit protéique mais pour des ARN d'une longueur de 20-22 nucléotides. Les analyses ont montré qu'ils s'hybrident aux régions 3' non traduites d'ARNm et que les protéines correspondantes ne sont pas produites. Cette découverte a conduit à la recherche systématique des petits ARN. Le séquençage de banques de petits ARN ou la prédiction de séquences par différents algorithmes bio-informatiques a permis d'identifier différents ARN de petite taille, chez les plantes et les animaux. Cette nouvelle classe d'ARN a été nommée microARN (miARN). Les miARN sont codés par plusieurs centaines de gènes (environ 400 chez l'homme) et donc produits de façon naturelle par la cellule. On sait qu'ils sont synthétisés sous forme de pré-miARN d'environ 70 nucléotides. Ils se replient pour former des structures partiellement double-brin présentant une tige boucle en «épingle à cheveux» avec des mésappariements dans la tige de l'épingle (figure 19). Ils sont maturés dans le noyau par le complexe protéique Drosha. Les miARN matures sont exportés du noyau par l'exportine 5. Dans le cytoplasme, ils sont pris en charge par la protéine Dicer qui produit des ARN de 21-24 bases. Puis, la machinerie d'interférence de l'ARN fonctionne et si la complémentarité entre le miARN et l'extrémité 3' de l'ARNm cible est parfaite, l'ARNm cible est alors dégradé. Au contraire si la complémentarité est imparfaite alors la traduction du message est bloquée (figure 19).



Vlc – Les microARN : régulateurs du développement embryonnaire

Dans la plupart des cas, un ARNm peut lier plusieurs miARN et réciproquement un miARN peut se lier à différents ARNm. Cette particularité en fait des régulateurs extrêmement puissants du fonctionnement des cellules. Généralement, les miRNA sont impliqués dans la régulation de facteurs de transcription, indispensables au développement. Chez les nématodes, ils déterminent le passage d'un stade larvaire à l'autre durant le développement post-embryonnaire. Chez la drosophile, ils contrôlent la prolifération et/ou la différenciation cellulaires en modulant l'expression des gènes pro-apoptotiques. Chez l'Homme, leur rôle, pas encore élucidé, est probablement majeur, puisque les gènes codants des miARN ont été conservés au cours de l'évolution. Chez les plantes, tous les organes latéraux de la partie aérienne, feuilles, pièces florales (pétales ou étamines), sont issus des méristèmes. Ces structures contiennent les cellules souches de la plante. Une organogénèse continue fait qu'au sein des méristèmes, un groupe de cellules va s'individualiser, bourgeonner en un primordium et engendrer tel ou tel organe. Primordia et méristèmes sont séparés entre eux par une frontière formée par un ruban de cellules. Chez *Arabidopsis thaliana*, ces cellules expriment les gènes *CUC1*, 2 et 3. Ils codent pour des facteurs de transcription, comprenant chez *Arabidopsis* plus d'une centaine de membres. L'inactivation d'un ou de plusieurs d'entre eux conduit à des fusions entre les organes ce qui suggère des défauts de spécification des frontières. Par exemple, le double mutant *cuc1 cuc2* se caractérise par une fusion des cotylédons, leur donnant une apparence de coupe et une fusion entre sépales et entre étamines. L'analyse des séquences en 3' des ARNm a révélé que les transcrits des gènes *CUC1* et *CUC2* possèdent un site de fixation pour un miARN, ce site est absent du transcrit de *CUC3*. La surexpression de ce miARN provoque une diminution du niveau d'accumulation des transcrits des gènes *CUC1* et 2 qui conduit à des anomalies embryonnaires ou florales similaires à celles des doubles mutants. Des mutations dans les gènes *CUC1* et *CUC2* ont été générées au niveau du site de fixation du miARN pour empêcher la formation de duplex miARN/ARNm. Les plantes exprimant la forme mutée de *CUC1* produisent un nombre anormal d'organes floraux, une augmentation du nombre de pétales. Les plantes exprimant la forme mutée de *CUC2* montrent quant à elles un élargissement des frontières. Ces données suggèrent que le miARN régule le développement des frontières entre primordia et méristème. Elles suggèrent également que les miARN régulent l'expression des gènes impliqués dans le développement floral. La cellule utilise donc les miARN pour contrôler l'expression de son génome, notamment au cours du développement embryonnaire. Ils peuvent éteindre de façon coordonnée des ensembles de gènes dans telle ou telle cellule afin d'acquiescer une fonction particulière ou l'engager dans une voie de différenciation.

VII – Les ARN interférents : outils pour étudier la fonction d'un gène et pour la thérapie.

Depuis longtemps différentes techniques destinées à étudier la fonction d'un gène sont disponibles. Elles consistent à surexprimer une protéine en introduisant l'ARNm qui la code dans la cellule ou l'organisme. Elles consistent également à faire exprimer par la cellule ou l'organisme une protéine mutée. Elles consistent enfin à inhiber la production d'une protéine en empêchant la traduction de son ARNm ou en favorisant sa dégradation. Les outils les plus connues sont les ARN antisens, les ribozymes, les oligonucléotides antisens, ou les morpholinos. On analyse ensuite les perturbations qui résultent de ces interventions. Elles permettent d'en déduire la fonction de la protéine. Par rapport à toutes ces techniques, l'ARN interférent semble être à la fois plus efficace et techniquement plus simple à mettre en œuvre. Par exemple, la capacité de l'ARN interférent à être transmis à la totalité de l'organisme du ver peut être mise à profit. On peut transfecter des bactéries avec des ARN double-brin capables de détruire l'ARNm d'un gène donné. Ces bactéries sont données en nourriture aux vers. Il en résulte que les ARN double-brin infectent pratiquement toutes les cellules où ils vont inhiber la production du produit d'expression du gène considéré. En observant le phénotype résultant de l'interférence, on peut en déduire la fonction du gène. Puisque les séquences des gènes sont assez bien conservées dans le règne animal, on peut ainsi obtenir des informations transposables aux vertébrés. Chez l'homme, dans de nombreuses pathologies, certains gènes sont surexprimés ou exprimés au mauvais endroit ou au mauvais moment. La possibilité de pouvoir inhiber ces expressions pathologiques par les ARN interférents suscite de grands espoirs pour soigner ces maladies. Cependant certains problèmes se posent. En particulier, il faut s'assurer que les ARN interférents gagnent les cellules cibles. Il faut vérifier qu'ils n'introduisent pas de toxicité, être certain de leur stabilité et donc des doses à administrer. Enfin, il faut s'assurer de leur spécificité. Une limitation vient aussi de ce que, contrairement aux plantes, les mammifères ne possèdent pas le système enzymatique qui permet l'amplification des ARN interférents. Cela limite leur disponibilité dans la cellule.

Conclusions

Dans les cellules eucaryotes, les ARN remplissent au moins trois rôles distincts et complémentaires. En premier lieu l'ARN est le support temporaire de l'information génétique. C'est l'ARNm qui est utilisé par la cellule pour transmettre l'information correspondant à un gène donné à l'extérieur du noyau, puis pour synthétiser des protéines à partir de ces informations. Il est l'intermédiaire entre le plan directeur stocké dans l'ADN et les agents d'exécution que sont les protéines. En second lieu, les ARN sont des catalyseurs enzymatiques. Comme les protéines, les ARN peuvent se replier pour former des structures complexes. Ces structures permettent à certains ARN de se comporter comme des enzymes, on parle alors de ribozyme. Le ribosome, la ribonuclease P et certains introns sont des ribozymes. La machinerie d'épissage des ARNm, le spliceosome est également un ribozyme. Enfin, les ARN servent de guide pour des enzymes. Certains ARN sont utilisés comme co-facteurs

par des protéines pour permettre leur ciblage vers des séquences spécifiques. Parmi ceux-ci, on peut citer les petits ARN nucléolaires, qui guident les enzymes de modification de l'ARN ribosomique, ou encore les ARN interférents. Les ARN peuvent réguler l'expression des gènes et s'avèrent capables de moduler et de diversifier l'information codée par les gènes. Ils apparaissent comme des acteurs du fonctionnement des cellules et du développement des organismes vivants, au même titre que les protéines qui ont été longtemps considérées comme les éléments fondamentaux de la régulation du fonctionnement cellulaire. Ils sont codés par des séquences d'ADN distinctes des séquences codant pour les protéines. Cela permet d'élargir la définition même du gène. On peut considérer qu'un gène est une séquence d'ADN à l'origine d'une molécule fonctionnelle, que ce soit une protéine ou un ARN.

L'ARN peut être considéré comme une molécule très polyvalente, ce qui a conduit à proposer une hypothèse selon laquelle l'ARN serait la plus ancienne de toutes les macromolécules biologiques. C'est la théorie, dite du monde de l'ARN. Cette théorie propose que l'ARN, capable de combiner à la fois des fonctions de catalyseurs et d'information génétique, serait le précurseur universel. L'ARN serait antérieur à l'ADN comme support de l'information génétique, ce qui expliquerait ses fonctions plus étendues. L'ADN serait apparu plus tard et n'aurait supplanté l'ARN que pour le rôle de stockage de l'information à long terme. Un des arguments qui va dans ce sens est la plus grande stabilité de l'ADN. Cette stabilité est conférée par la disparition d'une fonction alcool au niveau du ribose. La stabilité de l'information génétique est aussi liée au fait que l'ADN est bicaténaire. Cet aspect est extrêmement important car, si une mutation se produit sur un brin de l'ADN, la cellule peut corriger cette erreur en se basant sur la complémentarité des brins en utilisant la machinerie de réparation dont elle dispose, ce qui n'est pas possible avec l'ARN. Nous avons vu que le dogme central du fonctionnement du vivant repose sur la trilogie ADN – ARNm – protéine. Nous avons vu qu'il existe dans les cellules eucaryotes une grande quantité d'ARN non codants provenant de la transcription du génome. Ces ARN jouent un rôle important dans le contrôle de l'activité des gènes d'une manière séquence-spécifique. Ils remettent en cause le dogme fondateur de la biologie auquel il faut introduire un contrôle épigénétique exercés par les ARN. Il faut également prendre en compte les nouveaux rôles des ARN : protection et réarrangement des génomes.

Remarques générales concernant l'écrit de secteur A

Forme

D'une manière générale, les copies sont correctement présentées, le plan apparaît clairement avec un effort notable d'illustration. Toutefois certaines d'entre elles sont émaillées de fautes d'orthographe. Le jury rappelle que la qualité de l'expression est fondamentale pour un futur enseignant. Il est souhaitable de rédiger des phrases courtes et précises, grammaticalement correctes et écrites au temps présent. Des schémas explicatifs clairs et des illustrations clairement renseignées (ordre de grandeur, orientation, titre et légendes) sont attendus. Ces croquis, non simplistes et commentés, sont intégrés dans le texte.

Le développement doit être encadré par une introduction et une conclusion bien argumentées, intégrant des faits d'actualité. Il n'est pas nécessaire de rédiger un sommaire.

Un soin particulier doit être porté sur les titres et les transitions, mettant en relief le cheminement de la réflexion, conformément au plan annoncé en introduction.

Fond

L'introduction doit définir les termes du sujet, poser une ou plusieurs problématiques qui organiseront la réflexion du candidat. Le plan est présenté. Ainsi les termes « acides ribonucléiques » et « eucaryotes » n'ont pas toujours été explicités. De même, le rôle d'intermédiaire fonctionnel des ARN entre le génome et les protéines a été trop rarement évoqué et le dogme central de la biologie cellulaire « Un gène-une protéine » a été très peu discuté.

Le traitement du sujet doit s'appuyer sur une argumentation et une approche expérimentale. Ainsi les méthodes d'extraction et d'analyse des ARN ont été trop peu abordées. Beaucoup de copies consistaient en une compilation incomplète de connaissances imprécises sur les aspects classiques (structure des ARN, transcription, traduction, maturation des ARNm) mais sans prendre en compte les aspects les plus récents ou fonctionnels (contrôle quantitatif et qualitatif des ARN, petits ARN, microARN et ARN interférents). Ainsi, il est dommage que des candidats à l'agrégation de biologie ne traitent pas l'interférence de l'ARN, objet du prix Nobel 2006 ! Le jury attend des candidats à l'agrégation une vision intégrative, à la fois précise et synthétique, sous tendue par des mécanismes explicatifs clairement présentés.

Les conclusions sont souvent tronquées (manque de temps), sans ouverture. Il s'agit le plus souvent d'une suite de banalités ou d'un vague résumé du développement. La conclusion doit apporter une valeur ajoutée. Après avoir rappelé les points essentiels dégagés, le candidat doit s'efforcer d'élargir son propos en abordant des aspects non envisagés (évolutifs, médicaux, de sociétés..) témoignant d'une ouverture d'esprit et d'une vision globale.

La plupart des erreurs constatées sont dues à une maîtrise insuffisante des notions de biologie, de physique et de chimie. Le jury rappelle que, tout comme en géosciences, la compréhension des phénomènes biologiques ne peut s'affranchir des lois physico-chimiques et mécaniques. La cellule est un système thermodynamique ouvert qui ne déroge pas aux lois de la thermodynamique fondamentale.

En résumé, les bonnes copies sont celles dont les candidats sont parvenus à dégager l'essentiel, grâce à un cheminement raisonné, organisé sur des paragraphes équilibrés comportant une argumentation expérimentale. La qualité première d'une copie d'agrégation nous semble être une vision intégrative reposant sur un socle de connaissances bien maîtrisé et présenté de façon rigoureuse et argumentée.

Le jury conseille donc aux futurs candidats de consulter des ouvrages scientifiques (voir ci-dessous et consulter la liste de la bibliothèque du concours) ainsi que des revues scientifiques. Tout comme en géosciences, les connaissances en biosciences évoluent. La mise en œuvre de nouvelles approches méthodologiques en biologie moléculaire, les apports de la modélisation apportent de nouvelles réponses mais font émerger aussi de nouvelles problématiques. Une « vigilance scientifique » est donc indispensable pour tout candidat désireux de réussir l'agrégation des sciences de la vie, de la Terre et de l'Univers.

Deux ouvrages de base en biologie cellulaire et moléculaire :

Alberts.B & coll. (2005) Biologie moléculaire de la cellule. Flammarion Médecine-Sciences.

Lodish F. & coll. (2005) Biologie moléculaire de la cellule. De Boeck Université.

SESSION DE 2007

**Concours externe
de recrutement de professeurs agrégés**

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

Epreuve portant sur le programme
de connaissances générales du secteur B

Durée : 5 heures

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout matériel électronique est rigoureusement interdit.

L'évolution biologique : des faits aux théories

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

NB : *Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.*

Agrégation externe 2007 Épreuve du secteur B		n° de copie	signatures des correcteurs	Note finale	
<i>si la copie est blanche, mettre cb ou CB dans la case jaune de la note harmonisée</i>				note harmonisée =	
A - Termes		Évolution Théories			
B - Preuves d'une évolution du vivant	Études des fossiles et biogéographie	Exemple(s) d'apparitions et de disparitions de taxons (A) - <i>Le vivant n'est pas immuable</i> (C) Exemple(s) de variation graduelle au sein d'une lignée (A) - <i>Notion de descendance avec modification</i> (C) Distribution des faunes et des flores (A) - <i>Relations entre taxons</i> (C)			
	Organisation du vivant	Génération spontanée impossible (A) - <i>Origine commune aux êtres vivants et fossiles</i> (C) Code génétique, cellule, voies métaboliques (A) - <i>Unicité du vivant</i> (C) Classification hiérarchique « naturelle », exemple(s) d'homologie (A) - <i>Parenté entre taxon</i> (C) Diversité des taxons, formes plus ou moins complexes (A) - <i>Absence de direction dans l'évolution</i> (C)			
	Pop. actuelles	ex. d'appar. de nouveaux variants & augment. de leur fréq. (A) - <i>Chgts dans la composition des pop.</i> (C) <i>naturelles, domestiquées, expérimentales</i>			
C - Des conceptions pré-darwiniennes de l'évolution au darwinisme	Antiquité		Un exemple, avec arguments, conclusions et limites		
	Remise en cause fixisme, créationisme		Un exemple, avec arguments, conclusions et limites		
	Lamarckisme	Arguments en faveur du transformisme			
		Principes	Modification des organes en fonction de l'utilisation - hérédité des caractères acquis	Limites	
	Darwinisme	Arguments	Un exemple de ressemblances entre espèces Un exemple de relation caractères/mode ou milieu de vie Un exemple de diversité intra-spécifique Un exemple de sélection artificielle		
		Principes	Tri à partir de la variabilité naturelle Transmission de l'avantage à la descendance Survie du plus apte (ressources limitantes; théories malthusiennes)		
		Preuves et débat ultérieurs	Problèmes et limites à l'époque de Darwin Transmission des caractères héréditaires Existence de variations transmissibles		
	Vers la synthèse néo- darwinienne	Apports de différentes disciplines (génétique des populations, génétique quantitative)			
		Principes	Origine et maintien du polymorphisme Relations phénotype/génotype/environnement Hérédité de caractères continus Action de la sélection, vitesse des changements		
	D - Principaux mécanismes d'évolution	Définition forces évolutives (par rapport à hypothèse nulle: équation de Hardy-Weinberg)			
Apparition de variants et innovations		Modifications intragénomiques	Mutation : un exemple permettant la mise en évidence et formalisation Diversité des mutations (nature et conséquences) Recombinaison, diversité haplotypique (un exemple attendu) Autres réarrangements intragénomiques (un exemple attendu)		
			Un exemple permettant la mise en évidence Chimérisation et conséquences		
		Modifications intergénomiques			
Migrations		Un exemple permettant la mise en évidence et formalisation Discussion sur l'importance des migrations / dispersions			
"Tri"		Sélection	Un exemple permettant la mise en évidence Notion de fitness, composantes (ex. attendus) Formalisation, sélection directionnelle (ex.) versus stabilisante (ex.) Unités de sélection: individu, gène, pb sélection de groupe Limites de la sélection « optimisante » Limites du « programme adaptationniste »		
			Dérive/ effet fondateur	Un exemple permettant la mise en évidence et formalisation Relations avec généalogie de gènes (coalescence) – un exemple Discussion neutralisme/sélectionnisme	
		Interactions sélection/dérive	Conséquences, fixation et purge d'allèles, problème d'adaptation/maladaptation		
Contraintes		Développementales (ex.) et phylogénétiques (ex.)			
Spéciation		Un exemple permettant la mise en évidence Un exemple montrant spéciation en cours (espèce en anneau) Mécanismes de spéciation allopatrique			
E - Vitesse d'évolution	Processus continu	Constance des taux d'extinction (Van Valen), ex. de processus en cours, 1 ex. de coévolution (A) <i>Course aux armements</i> (C) Un exemple de relation parasitisme/reproduction sexuée (A) <i>Théorie de la Reine Rouge</i> (C)			
		Durée de vie des espèces avec ou sans sexualité, 1 ex. relation recombinaison/évolution (A) <i>Recombinaison et accélération de l'évolution</i> (C)			
	Micro/macro évolution	Un exemple de relations changements moléculaires/ dates de divergences (A) - <i>Horloge moléculaire</i> (C) <i>Alternances de stases et changements brusques</i> (A) - <i>Equilibres ponctués</i> (C)			
F - Qualité de la construction & forme	Intro- duction	Contexte Problématique Fil directeur justifié			
		Logique, cohérence Titres informatifs Adéquation titres/contenu			
	Plan				
	Transitions	Transitions			
	Conclusion	Idées-clés Ouverture pertinente			
	Illustrations	Pertinence, qualité			
	Rédaction	Clarté, concision Orthographe, syntaxe			
	Présentation	Présentation			
	Bonus				

L'évolution biologique : des faits aux théories

Introduction

Les problèmes actuels portant sur la biodiversité et les menaces qui pèsent sur celle-ci soulignent à quel point il est important de pouvoir évaluer la diversité du vivant et comprendre son organisation. Aux observations actuelles, s'ajoutent de nombreuses archives fossiles, qui attestent de variations de la diversité du vivant au cours de l'histoire de la Terre. De plus, le perfectionnement des outils d'étude, notamment en biologie moléculaire permet de décrire de plus en plus finement les relations entre taxons et de proposer des scénarii quant au déroulement de l'histoire du vivant. C'est de cette idée de déroulement qu'est né le terme d'évolution (du latin *evolvere* = dérouler).

Pour compléter cette vision descriptive, une approche mécanistique est essentielle pour comprendre quelles sont les causes de la variation du vivant, à différentes échelles de temps et d'organisation (de la population aux lignées). Pour cela, il ne s'agit pas de proposer des hypothèses non fondées, mais de développer des constructions rationnelles, reposant sur des arguments concrets (des faits), autrement dit des théories scientifiques.

Afin de proposer une théorie de l'évolution biologique, il faut tout d'abord prouver que celle-ci existe. Puis, il est essentiel d'élaborer progressivement cette théorie, en s'appuyant sur des arguments de plus en plus précis. Dans cette optique, la démarche historique est intéressante car elle reprend la construction des raisonnements utilisant des faits qui s'affinent au fur et à mesure des progrès de la science et de ses méthodes d'étude. A partir de là, il sera possible d'analyser les principaux mécanismes de l'évolution, tels qu'ils sont compris actuellement, puis de se pencher sur les vitesses des processus évolutifs.

I) L'évolution biologique : une réalité

A) Les arguments paléontologiques et biogéographiques en faveur de l'évolution

1) le vivant n'est pas immuable

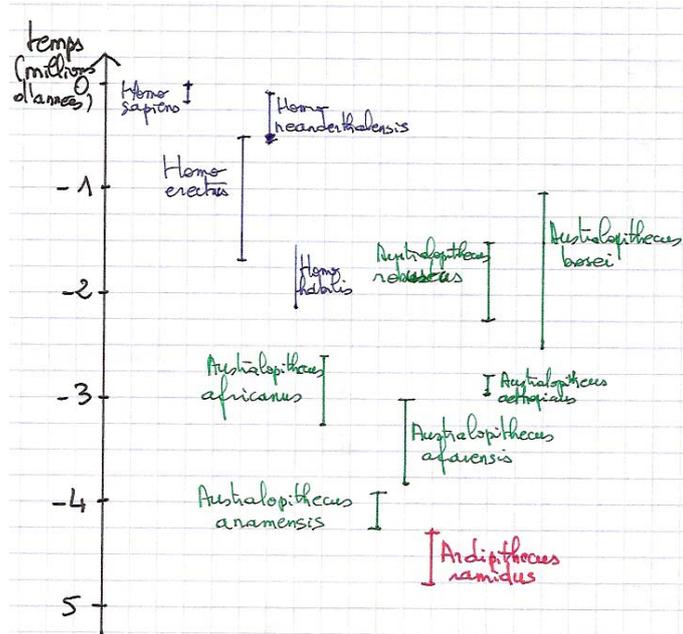


Fig. 1 : Aperçu de la diversité, au cours du temps, au sein du groupe des Hominidés

Il ressort de ces données que, au cours du temps, des espèces apparaissent puis disparaissent, prouvant que le monde vivant n'a pas toujours existé tel qu'il est actuellement.

Un des arguments fréquemment avancé par ceux qui nient l'évolution biologique est que les enregistrements fossiles sont fragmentaires et ne peuvent donc pas constituer des preuves de l'apparition d'espèces. Pourtant, à l'échelle humaine, des apparitions d'espèces sont observées. C'est en particulier le cas d'agents responsables de maladies émergentes. Par exemple, le Virus d'Immunodéficience Humaine (virus du SIDA) est apparu dans les années 1950.

L'évolution biologique est donc caractérisée par des processus qui permettent, au sein de lignées, l'apparition de formes nouvelles et la disparition d'autres formes.

2) les groupes ne sont pas indépendants les uns des autres

Les Ratites sont des oiseaux incapables de voler (autruches, émeus etc), présents en Afrique, Amérique du Sud, Australie et Nouvelle-Zélande (Fig. 2).

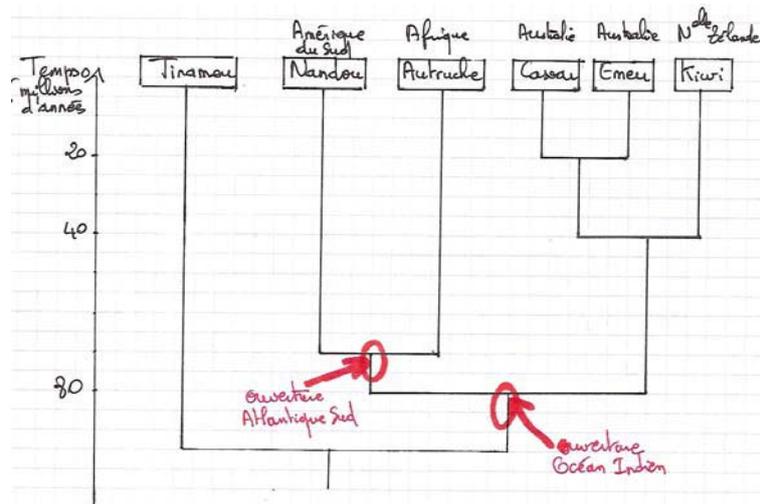


Fig. 2: Origines géographiques des Ratites et relations entre espèces déterminées par phylogénie moléculaire

Ces espèces présentent des similitudes morphologiques importantes, ainsi que des homologies moléculaires. De plus, les époques de divergences entre groupes coïncident avec des événements géologiques majeurs (ouverture de l'Atlantique concomitante de la divergence Nandou/Autruche) Ces arguments rendent peu parcimonieuse l'hypothèse d'apparitions indépendantes. Ainsi, il existe des relations entre taxons, attestant que les formes nouvelles apparaissent par modifications au sein des lignées.

3) les taxons dérivent les uns des autres par descendance avec modification

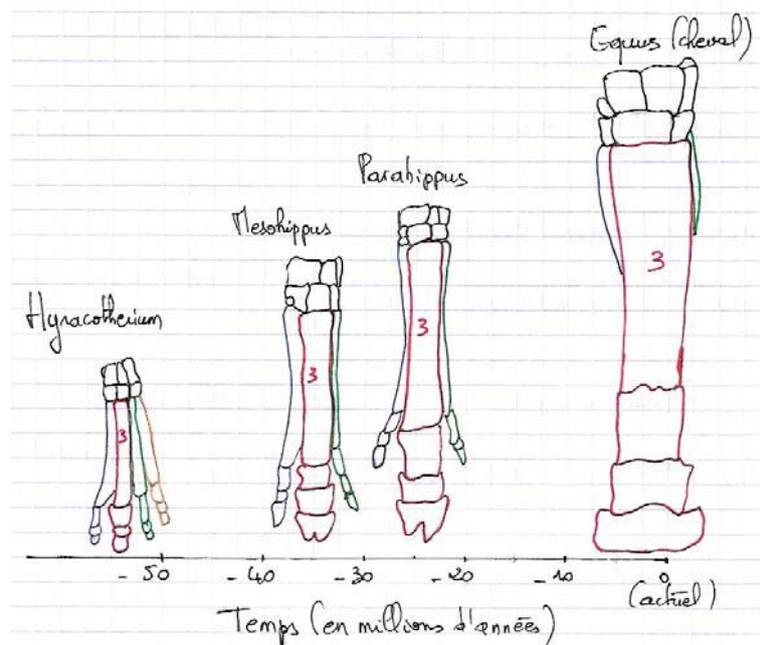


Fig. 3: Anatomie des pattes d'organismes de la lignée du cheval et âges des fossiles correspondants

La figure 3 montre, chez les organismes fossiles de la lignée du cheval, une croissance de plus en plus importante du doigt 3 par rapport aux autres, conduisant à la patte du cheval actuel chez qui le doigt 3 est très développé. Ce type de donnée suggère une évolution graduelle: au cours de l'évolution, les modifications se produisent successivement et s'accumulent chez les descendants au sein d'une lignée. Il y a descendance avec modifications.

B) Les apports de l'étude de l'organisation du vivant

1) les êtres actuels et fossiles n'ont pas pu apparaître spontanément

Durant tout le Moyen-Âge, il était couramment admis que les organismes apparaissent par génération spontanée (par exemple les asticots se forment spontanément sur la viande en décomposition). Cette idée a été contrecarrée, au 17ème siècle, par Redi, qui montre que les asticots n'apparaissent jamais sur de la viande conservée dans des bocaux fermés, mais seulement sur de la viande sur laquelle les mouches peuvent venir pondre. Il faudra attendre les travaux de Pasteur, au cours de la 2ème moitié du 19ème siècle, pour confirmer que la génération spontanée est également impossible pour les micro-organismes. Ainsi, les organismes ne peuvent pas être créés indépendamment les uns des autres et ne peuvent apparaître qu'à partir d'une origine commune.

2) le monde vivant présente une unicité

Tous les êtres vivants ont en commun le fait d'être composés de molécules organiques (lipides, glucides, protéines, acides nucléiques) et d'être organisés en cellules ou ensembles de cellules. Toutes les cellules possèdent la même architecture de base (elles sont délimitées par une membrane plasmique et renferment de l'information génétique). De plus, les acides nucléiques, qui composent les supports de l'information génétique (ADN ou ARN) sont, pour tous les êtres vivants, constitués des 5 mêmes bases azotées (A, C, G, T ou U). Le code génétique est également universel. Cette unicité est en faveur d'une origine unique du vivant.

3) il existe des parentés entre taxons

Au 18ème siècle, Linné, observe que, sur la base de similitudes morphoanatomiques, il est possible de regrouper des espèces, puis de rapprocher ces ensembles d'espèces en ensembles plus grands et ainsi de suite. Il propose donc un système de classification hiérarchique : chaque niveau taxonomique est emboîté dans un niveau d'ordre supérieur. Par exemple:

- espèce: *Brassica insularis*
 - genre: *Brassica*
 - famille: Brassicacée
 - ordre: Brassicales
 - classe: Rosidées
 - embranchement: Archégoniates

- règne: « végétaux ».

Cette classification naturelle (établie sur des critères propres aux espèces permettant d'établir des relations de proximité) est pour Linné une preuve de l'existence d'un ordre dans l'organisation du vivant, imposé par une force divine créatrice.

Ces relations de proximité entre taxons se retrouvent à tous les niveaux du vivant.

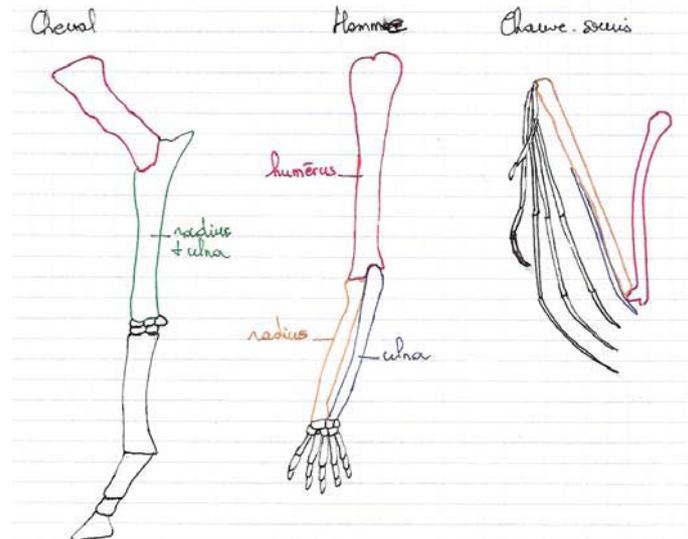


Figure 4: exemple de membre de 3 mammifères. La même couleur indique une même origine embryonnaire.

Les membres de tétrapodes, actuels ou fossiles, présentent tous la même organisation de base, quelle que soit leur fonction -marche, saut, nage, vol- (figure 4). Seules les proportions relatives des différentes unités varient d'un taxon à l'autre.

De même, de telles similitudes se retrouvent au niveau moléculaire. Par exemple, les séquences d' α -cristalline (protéine du cristallin) de rat et de souris sont identiques, mais possèdent 10% d'acides aminés différents par rapport à l' α -cristalline d'éléphant et 30% par rapport à celle de kangourou. Un grand nombre d'autres caractères montrant la même tendance, il est alors possible de conclure que l'ensemble [souris-rat] est plus proche de l'éléphant qu'il ne l'est du kangourou. Ces très nombreuses ressemblances ne peuvent être le fruit d'un pur hasard de la création, mais correspondent à des relations de parenté entre taxons. Il s'agit d'homologies, c'est à dire de traits hérités d'un taxon ancestral.

4) l'évolution n'est pas unidirectionnelle

Les premières formes de vie connues sont des cyanobactéries, datées d'il y a environ 3.8 milliards d'années. Les plus anciens fossiles connus d'Homme moderne (*Homo sapiens sapiens*) sont âgés de 34000 ans (fossile d'Oase). Est-ce un argument suffisant pour penser que l'évolution ait conduit, de façon linéaire et inexorable des bactéries à l'Homme, par un processus de complexification croissante? Cette idée d'évolution directionnelle, très en vogue au 18ème siècle est encore souvent représentée sous forme d'une échelle des êtres (des bactéries à l'Homme, en passant par différents groupes de plus en plus proches des mammifères). Si une telle hypothèse était vraie, on s'attendrait à trouver majoritairement des organismes

qualifiés de complexes ou « d'évolués », tandis que les supposés « primitifs » auraient dû laisser leur place à des descendants plus perfectionnés. Il suffit de s'intéresser à l'incroyable diversité des formes actuelles : parmi les 1.7 millions d'espèces décrites, quelques milliers seulement sont des oiseaux et des mammifères. Une très forte proportion d'espèces décrites appartiennent au groupe des insectes. Quant à la diversité en micro-organismes, elle semble très largement sous-estimée. De plus, les formes qualifiées de « complexes » (en général à partir de descriptions morpho-anatomiques) ne sont pas forcément les plus proches les unes des autres (Fig. 5).

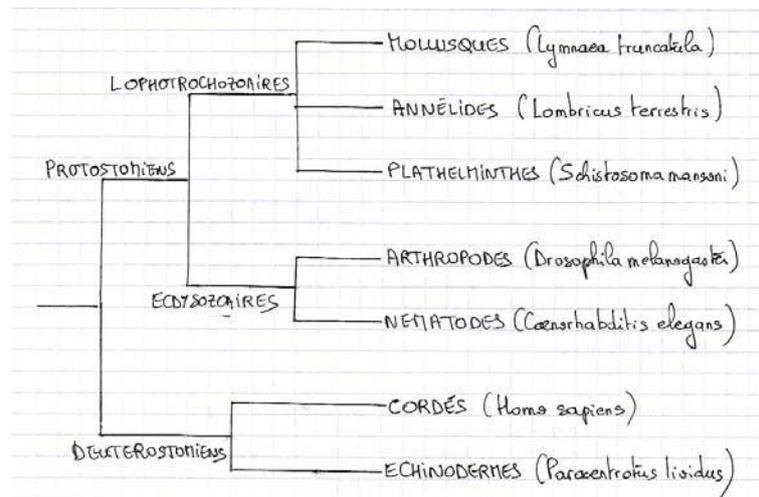


Figure 5: Phylogénie simplifiée des métazoaires bilatériens. Les longueurs des branches sont arbitraires (et sont indépendantes des temps de divergence). Un exemple d'espèce par groupe est donné entre parenthèses.

Par exemple, le groupe des Nématodes, fait partie, avec les Arthropodes, des Ecdysozoaires. Ces « vers ronds » sont donc bien plus proches de insectes et des crustacés que d'autres groupes à allure de vers tels que les Plathelminthes ou les Annélides. De même, les Urocordés sont plus proches des Cordés que ne le sont les Céphalocordés.

Ainsi, l'évolution permet l'apparition de formes nouvelles, mais ne conduit pas à une complexification croissante au cours du temps. Il est donc possible d'observer une diversité d'organismes, sans que ceux-ci puissent être classés en primitifs et évolués.

C) Ce que nous apprennent les populations actuelles

Ceux qui nient l'évolution biologique avancent souvent comme argument que celle-ci n'est jamais observable à l'échelle humaine. Pourtant, l'observation de populations naturelles, domestiquées ou expérimentales apporte des preuves d'évolution biologique.

L'exemple de l'origine des blés cultivés est présenté Fig. 6.

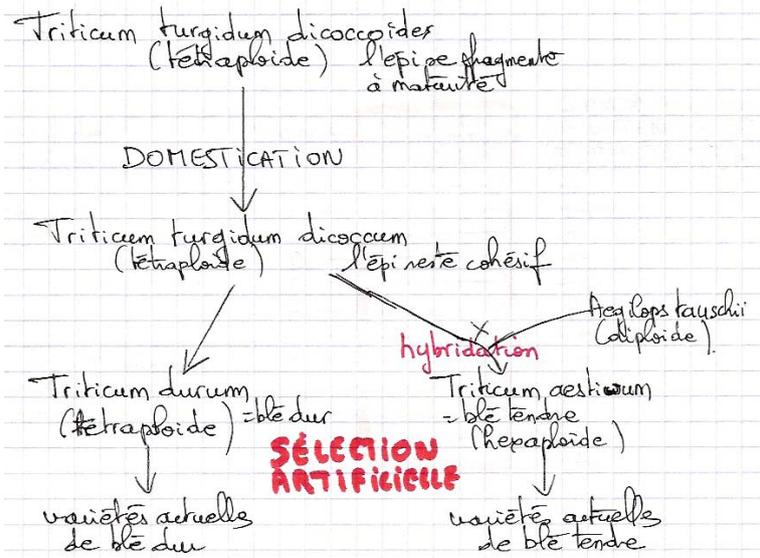


Fig. 6: Schéma résumant l'origine des blés cultivés

Les plantes cultivées ont pour origine des espèces sauvages. En domestiquant ces espèces sauvages, l'Homme favorise certains traits (taille, rendement, caractéristiques des grains etc) chez leurs descendants: il y a évolution des caractéristiques dans ces lignées.

De observations similaires peuvent être faites avec des populations expérimentales.

Par exemple, la figure 7 résume les expériences de Lenski et Kalinovski sur l'évolution de populations d'*Escherichia coli* cultivées en laboratoire.

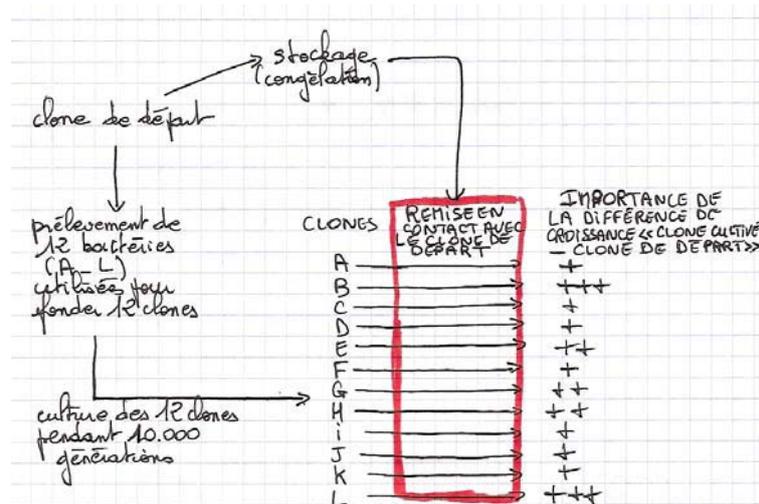


Fig. 7 : Résumé d'une expérience d'évolution in vitro de populations d'*E. coli*. Les signes indiquent l'importance de la différence de croissance entre clone après 10000 générations et clone ancestral (+ = faible différence; ++ = différence moyenne; +++ = forte différence).

Dans tous les clones, la capacité de croissance a augmenté par rapport à celle du clone de départ. Il y a donc eu évolution de ce paramètre au cours des générations. Tous les clones n'ont pas les mêmes aptitudes

de croissance: l'évolution s'est fait indépendamment dans les différentes cultures. La composition des populations peut donc varier, y compris sur des pas de temps courts.

À partir de 1968, les côtes du Languedoc-Roussillon ont été démoustiquées par application d'organophosphorés. En 1972, ont été décrits les 1ers cas de résistance des moustiques (*Culex pipiens*) aux insecticides. La proportion de moustiques résistants augmente de l'intérieur des terres vers la côte (Fig. 8).

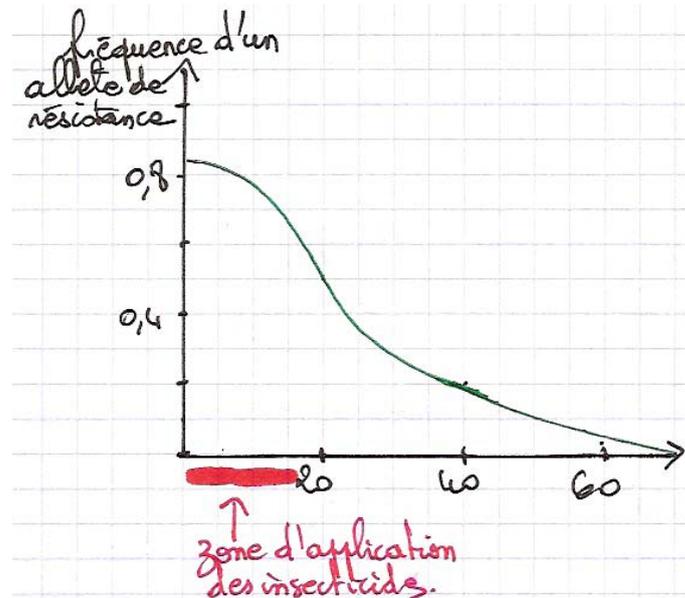


Fig. 8: Variations de la résistance aux insecticides dans l'espèce *Culex pipiens* en Languedoc, en fonction de la distance à la côte.

Des études cellulaires et moléculaires ont montré que cette résistance est causée par différents mécanismes. La chronologie de l'apparition des mécanismes de résistance des moustiques aux organophosphorés est résumée ci-dessous:

- 1972: surexpression d'une estérase
- 1977: modification du gène de l'acétylcholinestérase, la rendant moins sensible aux organo-phosphorés
- 1984: amplification du gène de l'estérase
- 1994: duplication permettant l'association gène de l'acétylcholinestérase normale et de l'acétylcholinestérase sensible

De nouveaux variants, résistants aux insecticides sont donc apparus. Ces modifications ont lieu au niveau génétique et sont par conséquent transmissibles à la descendance. Ainsi, il se produit, au cours du temps, des changements dans la composition génétique des populations.

Les arguments présentés ci-dessus montrent l'existence d'une évolution biologique, c'est à dire d'un **ensemble de modifications dans la composition des populations** (ou des niveaux d'organisation supérieurs) et qui sont **transmissibles à la descendance**. Le problème est alors d'expliquer pourquoi et comment ces modifications peuvent se produire.

II) La compréhension de l'évolution biologique: de l'Antiquité à la synthèse néo-darwinienne

A) Les théories pré-darwiniennes

1) des philosophes de l'Antiquité convaincus de la non-fixité du vivant

Le grec Anaximandre (vers -600), ayant observé des fossiles marins, en conclut que la vie est apparue dans les océans. Il élabore alors une théorie selon laquelle les humains sont des descendants de poissons, dans la bouche desquels il se sont formés. Lucrèce, quant à lui, considérant qu'il n'y a pas de forme de vie aberrante, propose les notions de hasard et d'élimination des « monstres ». Toutefois, notamment sous l'impulsion d'Aristote, la pensée de l'époque est essentiellement fixiste et ce n'est qu'au siècle des lumières que cette vision sera remise en question.

2) la remise en question du fixisme

Vers 1700, dans son ouvrage « Telliamed », Benoît de Maillet souligne les ressemblances entre animaux terrestres et marins. Il en déduit que les animaux terrestres sont issus de poissons, qui se sont transformés lors du retrait de la mer.

Buffon (1707-1788) observe des ressemblances entre animaux, ainsi qu'une succession de groupes fossiles au cours du temps. Il en déduit que les espèces doivent entretenir entre elles des liens de parenté (il propose notamment une parenté entre Homme et Singe). De même, Geoffroy de St Hilaire (1772-1844) s'appuie sur les similitudes entre fossiles et formes actuelles (par exemple entre crocodiliens fossiles trouvés en Normandie et crocodiliens actuels d'Inde) pour défendre l'idée de continuité dans le monde vivant. Ces idées sont violemment battues en brèche par Cuvier, qui est fondamentalement créationniste mais admet, en 1805, que des espèces peuvent disparaître à la suite de catastrophes naturelles et être remplacées par d'autres, créées à nouveau.

3) le transformisme

Voulant expliquer l'organisation du vivant par des lois physico-chimiques, Lamarck émet dans son ouvrage « Philosophie zoologique » (1809), la théorie transformiste. Pour lui, la complexité du vivant peut s'expliquer de la même façon que celle des organismes: il pense que le fonctionnement de l'organisme induit son organisation (la fonction crée l'organe). Les sollicitations étant toujours plus importantes, l'organisme se complexifie au cours de son développement. De même, la transformation des espèces conduit à une complexification croissante. Pour Lamarck, cette tendance au progrès est une propriété intrinsèque du monde vivant, qui s'exprime à la faveur de sollicitations du milieu externe. Ainsi, l'usage répété d'un organe favorise son développement, tandis que sa non-utilisation conduit à sa disparition. Les traits développés de la sorte sont transmis aux descendants (l'hérédité des caractères acquis était largement admise à cette époque). L'exemple le plus célèbre explicité par Lamarck est celui de la girafe, pour laquelle le milieu « l'oblige à brouter le feuillage des arbres et de s'efforcer continuellement de l'atteindre ». Il conclut que cette habitude répétée induit que « ses jambes de devant sont devenues plus longues que celles de derrière et que son cou s'est allongé. ».

Toutefois, Lamarck observe que le vivant est peuplé d'êtres présentant une complexité variable. Il suggère alors que des êtres « simples » apparaissent régulièrement par génération spontanée (voir fig. 9) et qu'ils sont à l'origine de descendants de complexité croissante. Il s'agit donc de lignées d'âges variables et qui évoluent toutes vers une organisation de plus en plus complexe, indépendamment les unes des autres.

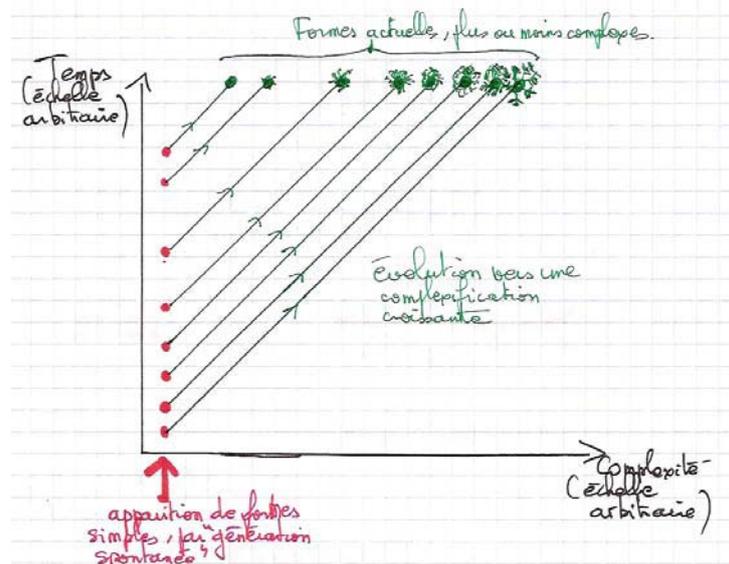


Fig. 9: Schéma récapitulant la vision de l'évolution selon Lamarck

Un des problèmes majeurs est que Lamarck ne tient pas compte de la diversité au sein des espèces. Si l'évolution est inéluctablement dirigée par des mécanismes intrinsèques, comment expliquer que tous les individus d'une même espèce ne sont pas strictement identiques, au moins lorsqu'ils sont soumis aux mêmes contraintes du milieu? De plus, Lamarck ne peut pas expliquer quels sont les mécanismes par lesquels les organismes se modifient sous les contraintes du milieu, encore moins ceux par lesquels les caractères acquis sont transmis à la descendance. A la fin du 19^{ème} siècle, Weissmann, en montrant que des souris à qui on a coupé la queue ont des descendants ayant une queue normale, écarte cette hypothèse d'hérédité des caractères acquis.

B) La révolution darwinienne

1) les arguments de Darwin

À son retour de son expédition sur le Beagle, Darwin confie des spécimens de pinsons capturés aux Galapagos à un ornithologue, Gould. Celui-ci détermine 13 espèces différentes qui, malgré des différences morphologiques de taille et de forme du bec (Fig. 10), présentent de nombreuses similitudes morphologiques.

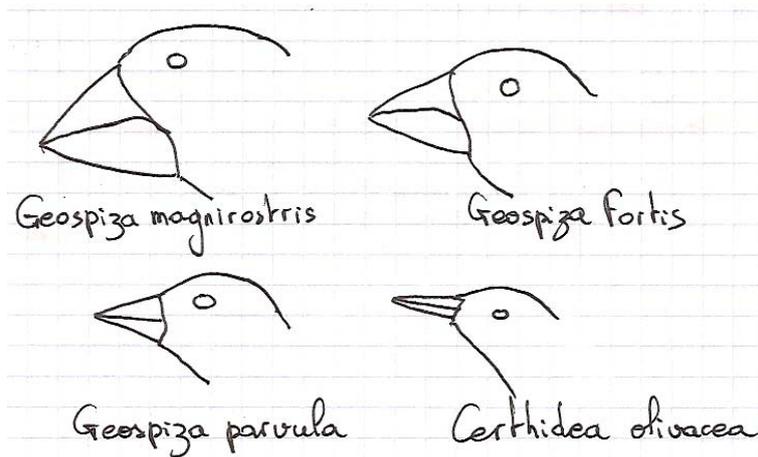


Fig. 10: morphologie des becs de 4 espèces de Pinsons des Galapagos

Gould en déduit que ces espèces sont très proches les unes des autres et suppose que ces espèces ont divergé à partir d'une espèce ancestrale qui aurait colonisé l'archipel par le passé. Darwin observe que ces espèces sont réparties sur des îles différentes de l'archipel et propose alors que c'est l'isolement géographique qui aurait conduit ces espèces à diverger.

De plus, Darwin observe que la morphologie du bec des pinsons correspond au régime alimentaire de ceux-ci, les aliments consommés étant d'autant plus durs (graines) que le bec est court et épais, tandis que les espèces au bec long et fin sont insectivores. Il met ainsi en évidence une relation entre les caractères observés et les facteurs du milieu.

Darwin est également frappé par la grande diversité intra-spécifique. Par exemple, les races de pigeon diffèrent considérablement par leur morphologie (« ...*quelques sous-races ont le cou très long, d'autres de très longues ailes et une longue queue, d'autres enfin ont la queue extrêmement courte.[...] On pourrait aisément rassembler une vingtaine de pigeons tels que, si on les montrait à un ornithologiste, et qu'on les lui donnât pour des oiseaux sauvages, il les classerait certainement comme autant d'espèces bien distinctes.* »). Or, ces races, parfaitement interfécondes, sont toutes issues de la domestication du pigeon biset (*Columba livia*). Darwin ne voit donc plus l'existence de variants comme un écart anormal par rapport au type biologique représentant l'espèce (vision Linnéenne), mais comme une caractéristique normale des espèces.

S'intéressant aux méthodes utilisées par les sélectionneurs pour obtenir de telles divergences entre races, Darwin observe que ceux-ci opèrent un tri sur la variabilité naturelle, en favorisant la reproduction de certains individus présentant des caractéristiques jugées intéressantes. Il transpose alors ce processus à ce qui se passe dans les populations naturelles et considère qu'il se produit naturellement un tri parmi les individus: c'est la sélection naturelle.

2) la théorie de l'évolution selon Darwin

La grande nouveauté par rapport à la vision lamarckienne c'est que, selon Darwin, la diversité au sein des espèces n'est pas créée par les facteurs du milieu, mais existe avant que ceux-ci agissent. Pour expliquer comment la sélection peut s'opérer de façon naturelle, Darwin s'appuie sur les théories de Malthus. Le raisonnement malthusien est le suivant: dans les populations humaines, l'accroissement démographique attendu suit une loi exponentielle, tandis que les ressources augmentent de façon arithmétique. Ainsi, en l'absence de facteurs de régulation (épidémies, conflits etc) il naît bien plus d'individus que ce que les ressources peuvent permettre de faire vivre. Darwin transpose cette vision aux populations naturelles: pour lui, les ressources dans le milieu sont en quantité limitante et seuls les individus les plus aptés à se les approprier peuvent survivre et transmettre leurs caractéristiques à leur descendance. Ainsi, la compétition est, selon Darwin, le processus par lequel le milieu opère un tri parmi des individus présentant des aptitudes différentes.

3) les problèmes et limites rencontrés par Darwin

Outre les oppositions d'ordre philosophique qui lui ont été faites, un des problèmes majeurs rencontrés par Darwin est le fait qu'il ne savait pas expliquer les causes de la variation entre individus. Il était également incapable d'expliquer le processus par lequel les caractères peuvent se transmettre des parents à leurs descendants. A cette époque, l'hérédité des caractères acquis était largement admise. De plus, Darwin croyait à l'hérédité par mélange: les valeurs des traits des enfants sont la moyenne de celles des traits des parents. Par ce processus, les écarts entre individus devraient être de plus en plus réduits au fil des générations (toutes les valeurs devraient se rapprocher de la moyenne de la population). En conséquence, les mécanismes de l'hérédité devraient conduire inéluctablement à une uniformisation des populations. Il est donc de la sorte impossible de comprendre comment se maintient la variabilité.

4) preuves et débats ultérieurs

Mendel (1866) établit les lois de la transmission héréditaire des caractères et émet l'idée de particules permettant cette transmission de parents à descendants. Cette théorie est confirmée au début du 20ème siècle, par les travaux de Morgan qui démontrent la théorie chromosomique de l'hérédité. Si les mécanismes de l'hérédité sont, au moins pour des caractères discontinus, alors bien compris, le problème restant est que la transmission se fait à l'identique et que ceci soutient donc plutôt le fixisme que l'évolutionnisme.

Ayant confirmé, sur des modèles végétaux, les lois de Mendel, De Vries observe, chez *Oenothera lamarckiana*, des variations brusques et discontinues de caractères, qui sont ensuite transmissibles à la descendance. Il appelle ces changements « mutations ».

Ces avancées alimentent des virulents débats entre deux écoles :

- celle des sélectionnistes (biométriciens comme Galton, Pearson), qui considèrent qu'il y a évolution graduelle par effet de la sélection naturelle sur des caractères continus;

- celle des mutationnistes (génétiens mendéliens comme Johannsen, De Vries, Bateson, Morgan), qui pensent qu'il n'y a pas de mélange des gènes et que la variation génétique est transmise d'une génération à la suivante. L'apparition de variation se fait au moyen de mutations, dont certaines, importantes, pourraient entraîner des « sauts évolutifs ».

La réconciliation ne pourra venir que de l'essor de la génétique et de la synthèse des données existantes.

C) Vers la synthèse néo-darwinienne

L'apport des mathématiques à la formalisation des problèmes a permis l'essor conjoint de la génétique des populations (Hardy et Weinberg au début du 20ème siècle, puis, dans les années 1930, Fisher, Haldane et Wright, etc) et de la génétique quantitative.

Proposée par Dobzhansky, Simpson et Mayr dans les années 1950, la théorie synthétique de l'évolution, reprend, en les affinant, les idées de Darwin. Elle est basée sur les principes suivants :

- C I) le maintien du polymorphisme (la variation naturelle) à l'origine duquel sont les mutations ets à la base des processus évolutifs, puisque c'est au sein de cette variation que peut s'opérer un tri.
- C II) Seuls les traits hérifiables peuvent être soumis à l'évolution. En effet, il existe une relation entre génotype (l'information génétique), phénotype (les caractères exprimés) et environnement: le phénotype correspond à l'expression du génotype dans un environnement donné.
- C III) L'évolution porte aussi bien sur les caractères discontinus que sur les caractères continus. Les caractères peuvent être codés par plusieurs gènes.
- C IV) Les mutations sont rares et sont insuffisantes, à elles seules, pour expliquer l'évolution. La sélection, qui agit sur les variants, induit une évolution beaucoup plus rapide que si les mutations agissaient seules.
- C V) Par ces processus évolutifs, les populations peuvent diverger à tel point que, si elles perdent leur interfécondité, elles deviennent des espèces différentes.

Reste à comprendre quels sont les mécanismes qui régissent l'évolution biologique.

III) Les principaux mécanismes de l'évolution

A) Identification des forces évolutives

Hardy et Weinberg se sont intéressés aux fréquences alléliques et génotypiques dans les populations dans le cas de l'hypothèse nulle, c'est à dire en l'absence de création ou d'apport de nouveaux variants (pas de mutation, pas de migration) et de mécanismes de tri par sélection ou sous l'effet du hasard (pas de dérive). Ils ont donc étudié le cas d'une population théorique d'effectif infini, isolée, dans laquelle il n'y a ni mutation, ni sélection. Cette population est supposée panmictique (les rencontres entre gamètes se font au hasard).

En supposant un locus à deux allèles (A et B, de fréquences respectives p_0 et q_0 à la génération de départ), les variations de fréquences alléliques sont données ci-après.

3 génotypes possibles

	AA	AB	BB
fréquences génotypiques (sous l'hypothèse de panmixie)	p_0^2	$2p_0q_0$	q_0^2

⇓
PRODUCTION DE GAMÈTES

A: fréquence p_1 :
$$p_1 = p_0^2 + p_0 \cdot q_0$$
$$= p_0 \underbrace{(p_0 + q_0)}_1 = p_0$$

a: fréquence $q_1 = 1 - p_1$
$$= q_0$$

⇒ LES FRÉQUENCES ALLÉLIQUES SONT STABLES AU COURS DES GÉNÉRATIONS.

En l'absence de mécanismes d'apparition de variants et de mécanismes de tri, les fréquences alléliques de la population ne varient pas: la composition de la population reste donc stable au fil des générations. Il n'y a pas d'évolution.

Les forces évolutives sont les facteurs qui font varier la composition allélique des populations.

B) Les mécanismes permettant l'apparition de variations dans les populations

4) les mutations

a) des changements brusques et aléatoires

La figure 11 résume le « test de fluctuation » de Luria et Delbruck, concernant la résistance d'*Escherichia coli* à un bactériophage.

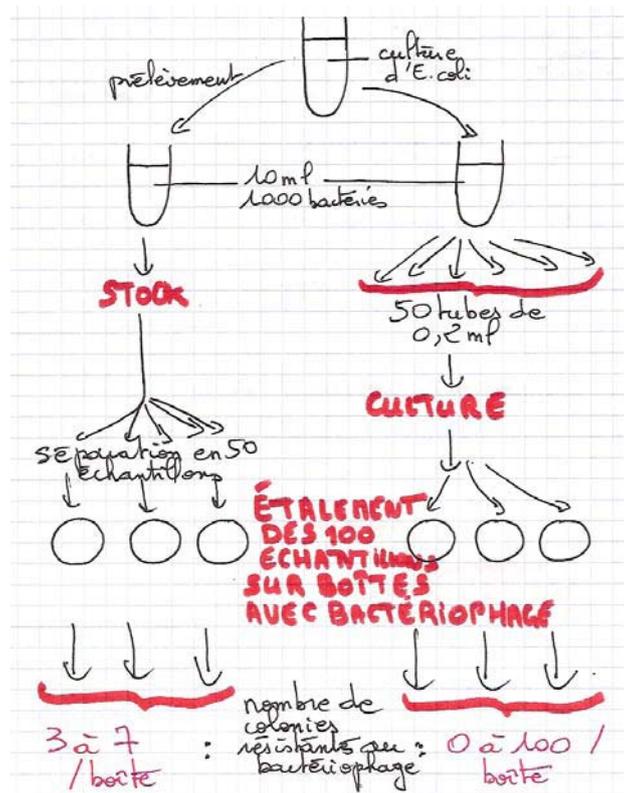


Fig. 11: Schéma de test de fluctuation pour le résistance d'*E. coli* à un bactériophage

La capacité à résister au bactériophage est donc apparue spontanément, par mutations, au cours des cultures successives dans certains tubes et a été perdue dans d'autres. Ce qui est important, c'est que l'apparition de variants résistants se fait en l'absence de bactériophage. Les mutations sont donc des événements aléatoires, qui apparaissent indépendamment des pressions auxquelles les individus sont exposés.

b) les mutations font varier les fréquences alléliques

Les mutations consistent en des modifications dans la séquence de l'information génétique, suite à des erreurs de réplication. Chaque gène peut donc exister sous différents états (des allèles); les mutations permettent de passer d'un état à un autre. Le taux de mutation est la probabilité, à chaque génération, de passer d'un état à l'autre.

- μ = taux de mutation de A en B
 p_0 : fréquence initiale de A

fréquence de A à la génération suivante :

$$p_1 = p_0 (1 - \mu)$$

à la génération n :

$$p_n = p_0 (1 - \mu)^n$$

⇒ la différence entre fréquence initiale et fréquence au bout de n générations dépend des taux de mutation (μ) et du nombre de générations.

- ν = taux de mutation réverse de B en A.

fréquence de A à la génération 1 :

$$p_1 = p_0 - \mu p_0 + \nu q_0$$

$$= p_0 (1 - \mu + \nu) + \nu$$

↳ à l'équilibre : les fréquences alléliques ne varient plus : $p_{eq} = p_{n+1} = p_n$

$$p_{eq} = p_{eq} (1 - \mu - \nu) + \nu$$

$$\Leftrightarrow p_{eq} = \frac{\nu}{\nu + \mu}$$

Les fréquences alléliques à l'équilibre ne dépendent que des taux de mutation.

Les taux de mutation sont en général faibles (10^{-8} à 10^{-5}), de sorte que les mutations seules ne constituent généralement pas une force capable de faire varier rapidement les fréquences alléliques.

c) les mutations n'ont pas toutes le même effet sur les caractères

Différents types de mutations existent. Les mutations ponctuelles (= mutations au sens strict) consistent en le changement d'un nucléotide par un autre (= substitution). La plus grande partie du génôme est non-exprimé, de sorte que la plupart des mutations n'ont pas de répercussions visibles sur le phénotype et sont donc silencieuses. De plus, le code génétique étant redondant (un même acide aminé est codé par plusieurs codons), de nombreuses mutations n'affectent pas la séquence protéique codée par le gène: il s'agit de mutations synonymes (par exemple, 70% des substitutions du dernier nucléotide des codons sont synonymes). Ces mutations non-exprimées, peuvent toutefois avoir des répercussions sur la vitesse de la

traduction en protéines, puisque tous les codons ne sont pas traités avec la même rapidité. En revanche, par exemple, une mutation ponctuelle sur le gène codant pour la chaîne β de l'hémoglobine humaine induit un changement dans l'acide aminé n°6. Cette modification entraîne, lorsque les 2 copies du gène portent l'allèle muté, une grave anémie pour l'individu. Dans ce cas, il s'agit d'une mutation non-synonyme (exprimée au niveau des protéines). Les mutations peuvent être favorables, neutres ou délétères.

Des changements affectant de plus grandes portions du génome sont qualifiés de mutations par fragments. Par exemple, la myopathie de Duchenne est la conséquence d'une délétion (perte de nucléotides) sur le gène codant pour la dystrophine. Ces mutations peuvent également consister en des insertions (ajouts) ou inversions de portions de séquences. En général, ces mutations ont des répercussions importantes sur le fonctionnement de l'organisme, en altérant fortement sa probabilité de survie. Les mutations par fragments peuvent également affecter des gènes complets. Par exemple, la myoglobine et les chaînes de l'hémoglobine sont codées par des gènes comportant de fortes similitudes. Ces gènes ont également de fortes homologues avec des séquences non-codantes. Cette famille de gènes a été constituée par événements de duplications (copies de gènes). En effet, lorsqu'un gène est dupliqué, les mutations ponctuelles continuent à s'accumuler indépendamment dans le gène ancestral et dans le gène dupliqué. Ces mutations peuvent rendre le gène dupliqué non-fonctionnel; il est alors qualifié de pseudo-gène. Au contraire, les mutations peuvent faire apparaître une nouvelle fonction pour le gène dupliqué. Il se produit donc une innovation, qui pourra être favorisée. Ainsi, suite à la duplication d'une globine ancestrale il y a environ 600 millions d'années, deux sous-familles de gènes ont divergé: les gènes de la myoglobine et des hémoglobines (sous-famille dans laquelle ont eu lieu des duplications supplémentaires)..

Enfin les réarrangements peuvent concerner des fragments de chromosomes et conduire, soit à de graves dysfonctionnements de l'organisme (cas le plus fréquent), soit à des innovations pouvant être ensuite retenues. Par exemple, les chromosomes 3 et 21 sont associés chez tous les mammifères, sauf chez certains primates (dont l'Homme). La fission entre chromosome 3 et chromosome 21 date de la séparation entre catarhiniens et platyrrhiniens, il y a environ 30 millions d'années. Le chromosome 21 a ensuite, dans certaines lignées (gibbons, babouins etc), été réassocié à d'autres chromosomes par translocation.

Quoique souvent délétères, ces réarrangements de grande ampleur peuvent donc être à l'origine d'innovations génétiques importantes.

5) les échanges génétiques

Outre les innovations qui peuvent apparaître au sein du génome, de la diversité peut être créée en combinant les génomes de différents individus. La figure 12 résume les expériences de Lederberg et Tatum (1946).

milieu de culture	Mo (milieu minimum)	Mo + méthionine + biotine	Mo + thréonine + leucine + thiamine
Souches d' <i>E. coli</i>			
Souche 1	∅	+	-
Souche 2	∅	-	+
Souche 1 + Souche 2 cultivées ensemble	+	+	+

∅ = impossibilité de cultiver la souche
+ = culture réussie.

interprétation: génotypes

Souche 2	Met ⁺ Biot ⁺ Thr ⁻ Leu ⁻ Thi ⁻
Souche 1	Met ⁻ Biot ⁻ Thr ⁺ Leu ⁺ Thi ⁺
bactéries de la culture Souche 1 + Souche 2	Met ⁺ Biot ⁺ Thr ⁺ Leu ⁺ Thi ⁺

RECOMBINAISON

Figure 12: résumé de l'expérience de Lederberg et Tatum

Il y a donc eu échanges de gènes entre des bactéries des 2 souches, permettant de produire de nouveaux variants (en raisonnant à l'échelle de plusieurs gènes) dans la population: il s'agit de recombinaison. Ces échanges se font par des processus de sexualité, indépendants (comme dans le cas d'*E. coli*) ou non de la reproduction sexuée.

De plus, des échanges génétiques peuvent se produire entre individus appartenant à des espèces différentes. Par exemple, en cas de stress (application d'un rayonnement mutagène ou carence nutritive), il se produit des échanges de fragments de génome entre *E. coli* et *Salmonella sp.*. Il y a dans ce cas chimérisation, c'est à dire mélange de génomes de deux taxons différents. Le fait de retrouver des séquences rétrovirales dans les génomes eucaryotes (celui de l'espèce humaine notamment) montre que les intégrations de génomes étrangers ne sont pas réservés aux Procaryotes. Qui plus est, cette chimérisation a une importance capitale dans l'histoire du vivant. En effet, les homologues entre organites semi-autonomes (chloroplastes et mitochondries) et des bactéries suggère très fortement que la présence de ces organites serait le résultat d'une endosymbiose.

6) les migrations

Dans le cas de la résistance des moustiques aux insecticides, il a été montré que des allèles conférant la résistance se sont, en quelques années, propagés à l'échelle mondiale, à partir de l'endroit où ils étaient apparus pour la 1ère fois. Les faibles taux de mutations ne permettent pas d'expliquer une telle extension en admettant des événements de mutations indépendants dans différentes contrées.

Cette propagation des allèles de résistance est expliquée par le fait que les moustiques se dispersent, parfois sur de grandes distances (notamment par le biais des transports aériens). Il s'agit du phénomène de migration.

Soit une population source, qui envoie des propagules dans une population receveuse.

On considère un locus à 2 allèles (A et B). La fréquence de A dans la population source est notée p_s , celle dans la population receveuse notée p_r . La population source est supposée d'effectif infini.

On appelle m le taux de migration, c'est à dire la proportion d'immigrants dans la population receveuse.

↳ Fréquence de A à la génération $(n+1)$ en fonction de la fréquence à la génération n :

$$p_r(n+1) = (1-m)p_r(n) + m \cdot p_s$$

↳ variation de fréquence allélique d'une génération à la suivante :

$$\begin{aligned}\Delta p &= p_r(n+1) - p_r(n) \\ &= (1-m)p_r(n) + m p_s - p_r(n) \\ &= m(p_s - p_r(n))\end{aligned}$$

→ La variation de fréquence allélique est d'autant plus importante que le taux de migration est élevé et que la différence entre fréquence allélique dans la population source et dans la population receveuse est grande.

- p_r tend vers p_s

Les fréquences alléliques sont donc modifiées dans la population receveuse. Au cours du temps, si le flux de dispersion continue, elles tendent vers des valeurs identiques à celles de la population émétrice.

Notamment parce qu'ils permettent de coloniser de nouveaux espaces, sur lesquels les populations pourront ensuite évoluer indépendamment, les processus de migration ont une importance capitale dans l'évolution.

Par exemple, les pinsons des Galapagos seraient issus d'une population ancestrale qui aurait colonisé l'archipel il y a environ 5 millions d'années.

C) Les mécanismes de tri

Le tri parmi les variants est opéré par deux grands types de facteurs: les pressions de l'environnement et les effets du hasard.

5) les effets de l'environnement: la sélection

a) des variations directionnelles dans les fréquences alléliques

Yoo a élevé des drosophiles en cage à population. Au début de l'expérience, les drosophiles présentent en moyenne 7 soies abdominales par individu. Jusqu'à la 86^{ème} génération, il ne conserve, à chaque génération, que les individus qui ont le plus grand nombre de soies comme reproducteurs. Les résultats sont consignés dans la Fig. 13.

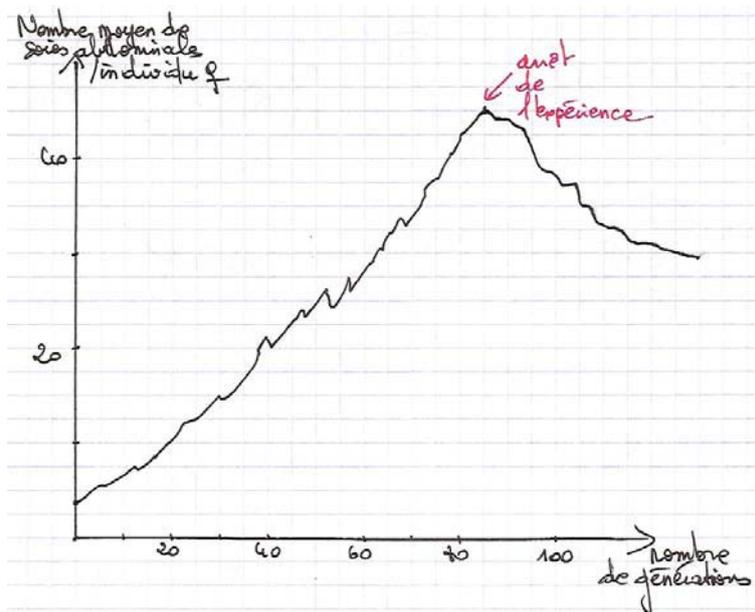


Fig. 13: Nombre moyen de soies abdominales par drosophile en fonction du nombre de générations.

Il y a eu sélection pour un nombre accru de soies abdominales.

La sélection peut également être mise en évidence dans des populations naturelles, par exemple dans le cas de l'anémie falciforme. L'allèle muté est noté S, l'allèle normal A. Les individus de génotype SS présentent une anémie sévère qui entraîne généralement la mort avant l'âge de procréer. En revanche, les hétérozygotes (AS) n'ont qu'une anémie très légère et ont une espérance de vie et une probabilité de reproduction similaires à celles des individus sains AA. Cette maladie est extrêmement rare dans les populations humaines, sauf dans les régions dans lesquelles sévit le paludisme, dans lesquelles la fréquence de l'allèle S est de l'ordre de 10%. Dans les régions impaludées, les hétérozygotes sont avantagés car ils sont résistants au paludisme (notamment car le taux de destruction des hématies est plus élevé chez les hétérozygotes que chez les individus sains). Ainsi, survivant mieux, ils peuvent produire plus de descendants que leurs congénères des autres génotypes et contribuent de façon plus efficace à la production de descendants. Les individus porteurs de l'allèle S étant avantagés (sélectionnés), cet allèle peut se maintenir dans la population.

Contrairement à la théorie de Darwin, il n'est pas nécessaire que les ressources soient limitantes pour qu'il y ait sélection: il suffit que les performances reproductrices diffèrent entre variants. La comptation n'est donc pas indispensable aux processus de sélection.

Les individus qui produisent plus de descendants que les autres ont une plus forte valeur sélective (= fitness): nombre de descendants viables produits par un individu. L'exemple donné ci-dessous montre des différences de fitness individuelle entre 2 femelles de cerf rouge.

	♀1	♀2
Nombre de faons:		
- nés	7	9
- survivants à 4 mois	4	7
- survivants à 1 an	2	7
- atteignant l'âge adulte	0	7
fitness absolue ♀1 = 0		
fitness absolue ♀2 = 7		

À l'échelle d'une population, on estime la fitness moyenne par génotype. Cette fitness est rapportée à la valeur maximale des fitness absolues des différents génotypes, afin d'obtenir une valeur relative. L'exemple de l'anémie falciforme montre bien que la notion de fitness n'est pas une caractéristique propre à un génotype, mais qu'elle dépend des pressions exercées par l'environnement.

Soit un locus à 2 allèles A et B, de fréquences initiales p_0 et q_0 .
 Les fitness relatives des génotypes sont

AA: w_1 AB: w_2 BB: w_3

La fréquence de A à la génération suivante est

$$p_1 = \frac{w_1 p_0^2 + w_2 p_0 q_0}{w_1 p_0^2 + 2w_2 p_0 q_0 + w_3 q_0^2}$$

si $w_1 > w_2$ et w_3 ,

la fréquence de A tend vers 1
 (symétriquement, si $w_3 > w_1$ et w_2 ,
 la fréquence de A tend vers 0)

Si $w_2 > w_1$ et w_3 , la fréquence atteint une
 valeur d'équilibre telle que $p_{n+1} = p_n = p_{eq}$

$$p_{eq} = \frac{w_1 p_{eq}^2 + w_2 p_{eq} q_{eq}}{w_1 p_{eq}^2 + 2w_2 p_{eq} q_{eq} + w_3 q_{eq}^2}$$

$$\Leftrightarrow w_1 p_{eq}^2 + 2w_2 p_{eq} q_{eq} - 2w_2 p_{eq}^2 + w_3 + w_3 p_{eq}^2 - 2w_3 p_{eq} q_{eq} = 0$$

$$= w_1 p_{eq} + w_2 - w_2 p_{eq}$$

$$\Leftrightarrow (w_3 - w_2)(1 - p_{eq} + p_{eq}^2) = (w_1 - w_2)(p_{eq} - p_{eq}^2)$$

$$\Leftrightarrow (w_3 - w_2)(1 - p_{eq}) = p_{eq} \cdot (w_1 - w_2)$$

$$\Leftrightarrow p_{eq} = \frac{(w_3 - w_2)}{(w_1 - 2w_2 + w_3)}$$

La fréquence à l'équilibre dépend uniquement
 des valeurs sélectives

La vitesse de variation des fréquences alléliques, ainsi que le sens dans lequel elles varient dépendent des fitness relatives des différents génotypes. On distingue donc la sélection directionnelle (cas de l'exemple du nombre de soies abdominales chez la drosophile), dans laquelle la fréquence d'un allèle est croissante, de la sélection stabilisante (cas de l'exemple de l'anémie falciforme), dans laquelle une fréquence d'équilibre est atteinte.

b) les niveaux auxquels s'applique la sélection

- l'individu:

D'après les mécanismes décrits ci-dessus, la sélection agit au niveau des individus: ceux qui ont la plus grande valeur adaptative contribuent plus largement à la constitution de la génération suivante et transmettent donc plus efficacement leurs gènes.

CVI) le groupe:

La sélection de groupe (espèce par exemple) est difficilement concevable car il n'est pas imaginable que des individus puissent être favorisés *a priori* car les caractères qu'ils portent sont avantageux pour le groupe! En revanche, certains des systèmes dans lesquels des individus ne produisent pas de descendants sont maintenus. C'est le cas par exemple chez l'abeille domestique: seule la reine produit des descendants, tandis que les ouvrières élèvent les larves de la reine mais ne se reproduisent pas. Dans la mesure où ces ouvrières ne produisent pas de descendants, leur phénotype semble totalement désavantagé dans ce système et, en raisonnant comme ci-dessus, on s'attendrait à ce qu'il soit contre-sélectionné. Pour expliquer le maintien d'un tel paradoxe, Hamilton (1964) a émis l'idée de sélection de parentèle: les ouvrières sont les demi-soeurs de la reine et lui sont donc fortement apparentées. Ainsi, les copies des gènes des ouvrières sont transmis aux descendants de la reine. La règle de Hamilton stipule que ce type de comportement altruiste peut être sélectionné si $r \times B > C$, où r est le coefficient d'apparentement (probabilité qu'un gène de l'altruiste soit identique à un gène du bénéficiaire), B le gain de valeur sélective pour le bénéficiaire de l'altruisme et C la perte de valeur sélective pour l'altruiste.

– le gène:

La majeure partie de notre génome est constituée de séquences qui n'ont pas de fonction. Or, ces séquences sont répliquées en même temps que le reste du génome, utilisant la machinerie cellulaire alors qu'elles peuvent avoir des effets néfastes pour l'individu. Par exemple, le syndrome de « l'X fragile » est dû à une longueur anormalement élevée (suite à une mutation par insertion) d'un motif satellite présent sur le chromosome X. De gènes qui semblent favoriser leur propre multiplication, indépendamment de l'individu qui les porte est celui des éléments mobiles (transposons). Ces séquences sont considérées comme des gènes parasites, qui codent pour une protéine dont la seule fonction est de favoriser leur seule réplication et leur insertion à un endroit quelconque du génome (parfois au milieu d'une séquence codante!).

– la sélection ne crée pas des êtres idéaux

Si l'on raisonne uniquement à l'échelle d'un gène, les allèles favorables devraient voir leur fréquence augmenter. En considérant l'individu que comme une juxtaposition de gènes, on s'attendrait donc à n'avoir que des individus idéaux, parfaitement adaptés à leur environnement... ce qui n'est pas le cas. Une première explication est qu'à l'échelle de l'organisme, il existe des limites (quantité de ressources) qui font que tous les caractères ne peuvent pas être maximisés à la fois. Des « démons darwiniens » chez lesquels tous les paramètres de la fitness seraient maximisés (durée de vie illimitée, nombre infini de descendants) ne peuvent donc pas exister.

Ensuite, les gènes ne sont pas isolés, mais intégrés dans le génome, au sein duquel ils interagissent avec les autres. Une des conséquences de ceci peut être mise en évidence en comparant les génomes du maïs et de son ancêtre sauvage, la téosinte. Le processus de domestication a favorisé la région régulatrice du gène *tb1*, qui code pour une protéine réprimant la ramification. Dans la région en amont du gène, la diversité est extrêmement faible chez le maïs, tandis qu'elle est élevée chez la téosinte. Cet exemple est une illustration du phénomène d'auto-stop, par lequel, l'allèle sélectionné entraîne, en l'absence de

recombinaison, les allèles des autres gènes de l'individu, alors que ceux-ci ne sont pas directement soumis à la sélection. De même, lorsque des allèles délétères sont éliminés, ils entraînent avec les allèles de gènes trop proches d'eux pour en être séparés par recombinaison: c'est la sélection d'arrière-plan.

Enfin, les pressions environnementales sont multiples et parfois contradictoires. L'exemple de l'anémie falciforme (ci-dessus) montre comment un allèle délétère peut être maintenu dans la population.

6) les effets du hasard: la dérive

a) des variations de fréquences alléliques indépendantes de la sélection

Actuellement, il n'y a aucune raison de penser que les groupes sanguins A, B, O (codés par un locus à un allèle) soient plus ou moins avantageux dans certains environnements. En dépit de cette absence de sélection, on observe de fortes inégalités dans la répartition de ces groupes (fig. 14).

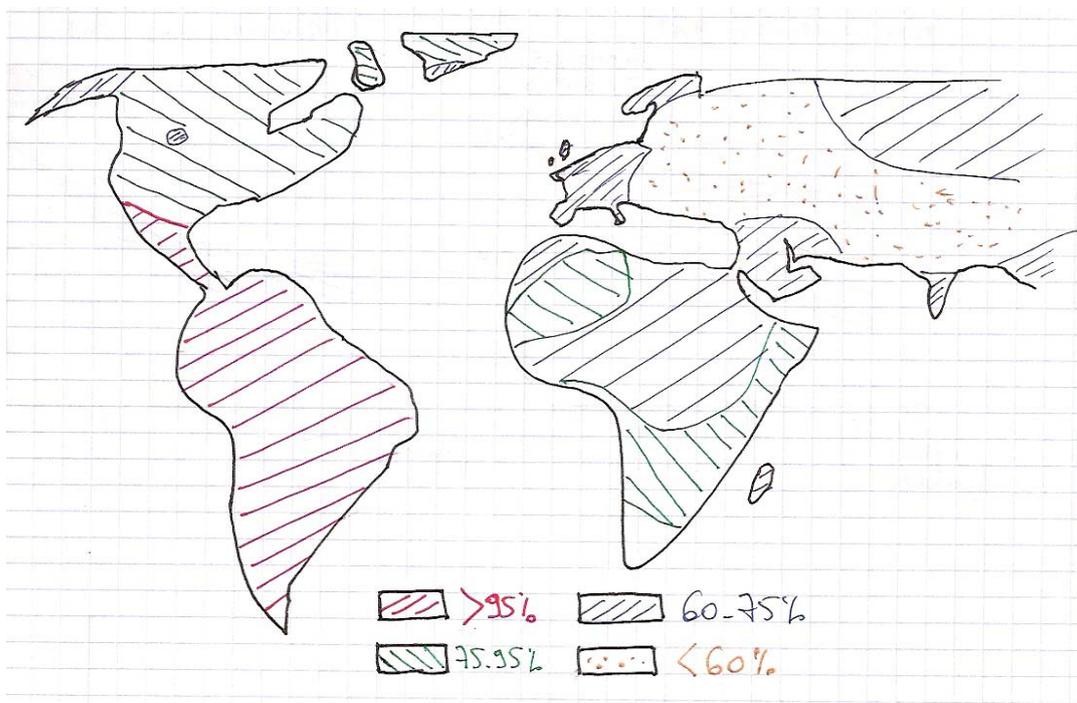


Figure 14: carte simplifiée de répartition du groupe sanguin O dans les populations humaines

L'hypothèse la plus probable pour expliquer une telle hétérogénéité est qu'elle est le résultat des hasards de la colonisation des contrées par des individus de groupes sanguins différents. C'est une illustration de l'effet de fondation, qui consiste à ce qu'un groupe d'individus, représentant un pool de gènes tirés au hasard dans la population de départ, soit à l'origine d'une population.

b) les effets d'un échantillonnage aléatoire

Le mécanisme par lequel les populations évoluent sous les effets des hasards d'échantillonnage s'appelle la dérive génétique. Un exemple de variation des fréquences alléliques sous l'effet de la dérive est présenté dans la figure 15.

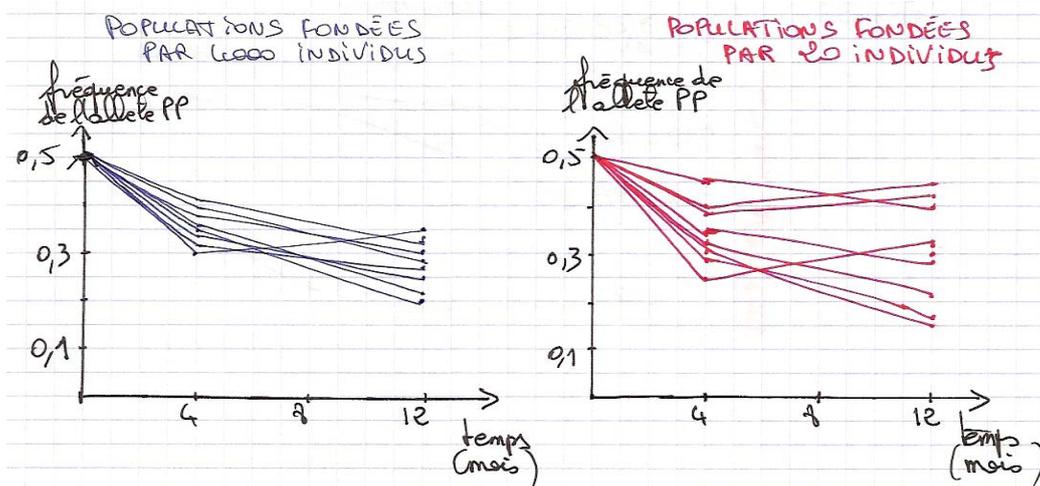


Fig. 15: Variations, au cours du temps de la fréquence de l'allèle PP chez la drosophile, dans 2 situations:
à gauche populations fondées par 4000 individus
à droite: populations fondées par 20 individus
(en conditions d'élevage en laboratoire, cet allèle est défavorisé par rapport à l'autre allèle: AR)

Dans les populations de faible effectif, les fréquences alléliques s'écartent très fortement des valeurs attendues en régime de sélection seule (graphe de gauche). A terme, le processus de dérive aboutit à la fixation d'un allèle et à la perte des autres. D'une génération à la suivante, les fréquences alléliques fluctuent par échantillonnage aléatoire des descendants formés parmi tous les descendants possibles. La distribution des fréquences alléliques suit une loi binomiale de paramètres n , le nombre de gènes (2 fois l'effectif de la population) et p , fréquence de l'allèle considéré. La probabilité de fixation d'un allèle est égale à sa fréquence initiale (par exemple, un allèle ayant une fréquence de 0.5 a une chance sur 2 d'être fixé et une chance sur 2 d'être perdu). Le nombre de générations nécessaire à un nouvel allèle pour être fixé est proche de deux fois le nombre de gènes, soit 4 fois le nombre d'individus (voir fig. 16).

La diversité génétique peut être estimée par l'hétérozygotie attendue, c'est à dire la probabilité que 2 gènes, tirés au hasard dans la population soient identiques. Suite au phénomène de dérive, la diversité tend vers $1 - 1/(1 + 2n\mu)$, où n est le nombre de gènes et μ le taux de mutation. En conséquence, plus l'effectif de la population est petit, plus la diversité est faible.

c) la reconstitution des généalogies de gènes

La dérive est issue de la variation aléatoire du nombre de descendants, et donc du nombre de copies d'un gène à la génération suivante. Les gènes actuels sont donc issus d'un seul et même gène ancestral ayant existé il y a un certain nombre de générations. Il est donc possible de reconstituer la généalogie des gènes. Chaque fois que deux lignées de gènes se rejoignent au niveau d'un gène ancêtre commun, on parle de coalescence. Le temps de coalescence correspond au nombre de générations nécessaires pour remonter au gène ancestral. Par exemple, la généalogie des gènes mitochondriaux humains permet d'en reconstituer l'histoire maternelle: le génome ancestral de nos génomes mitochondriaux appartenait à une femme (« Eve mitochondriale ») ayant vécu il y a environ 200 000 ans.

d) la dérive : une force plus importante que la sélection?

Kimura a proposé, dans les années 1970, la théorie neutraliste de l'évolution moléculaire qui accorde une grande part à la dérive génétique. Selon lui, si la sélection était la force évolutive majeure, on s'attendrait à une uniformisation des populations (par contre-sélection de la plupart des variants). Or, le polymorphisme observé est élevé, et l'est d'autant plus que les séquences concernées n'ont peu ou pas d'importance fonctionnelle pour l'individu. Il suggère donc que la sélection naturelle serait de faible importance et le fort polymorphisme observé résulterait de l'action de la dérive génétique sur des allèles neutres. D'après débats ont alors eu lieu entre neutralistes et sélectionnistes. Actuellement, est admise une théorie intermédiaire (quasi-neutraliste): le neutralisme s'appliquerait très bien aux régions non codantes et, en partie seulement aux zones codantes. L'évolution des populations dépendrait donc d'effets conjoints de la sélection et de la dérive.

e) l'équilibre sélection-dérive

L'expérience présentée sur la figure 15 montre que, dans des populations de faible effectif, les fréquences alléliques peuvent varier dans le sens opposé à celui attendu en régime de sélection seule. Il est possible, par le jeu de la dérive, que la population perde des allèles favorables ou fixe des allèles délétères. La dérive peut donc conduire à des situations de maladaptation.

D) Les contraintes auxquelles est soumise l'évolution

Les traits observés ne sont pas uniquement les produits des actions conjointes des forces énoncées ci-dessus. En effet, tous les traits ne sont pas directement reliés à une pression environnementale précise et les organismes ne sont donc pas les purs produits d'un « programme adaptationniste ». Un certain nombre de contraintes peuvent moduler l'action de la sélection; elles sont généralement classées en contraintes phylogénétiques et contraintes développementales. Par exemple, la bipédie, considérée comme une caractéristique des Hominidés, a longtemps été interprétée comme une adaptation à la vie en milieu ouvert (savanes), dans lesquelles était censée s'être faite l'émergence de nos ancêtres. La découverte récente de fossiles, plus anciens que les précédents et supposés être de milieux forestiers, remet fortement cette hypothèse en question. De plus, l'observation d'orangs-outans (grands singes arboricoles) montre que ceux-ci adoptent la bipédie lorsqu'ils se déplacent sur des branches de faible diamètre (les membres

supérieurs les aidant alors à maintenir leur équilibre). La bipédie aurait donc pu apparaître avant la divergence entre la lignée des orangs-outans et celle qui mène aux hominidés. Conservée chez les descendants d'un ancêtre bipède forestier, elle aurait, ensuite, pu se révéler favorable dans d'autres situations, telles que la colonisation des savanes. Un autre exemple de contrainte développementale constitue une hypothèse permettant d'expliquer le faible nombre de plans d'organisations chez les métazoaires et leur remarquable stabilité (environ 30 embranchements, dont la plupart existaient déjà au Cambrien). Les gènes homéotiques (Hox) sont présents chez tous les métazoaires et sont très fortement conservés. Chez la plupart des métazoaires ils jouent un rôle majeur dans la mise en place du plan d'organisation. En revanche, chez d'autres animaux (nématodes, par exemple), leurs fonctions sont mal connues. Ceci suggère que les gènes Hox auraient existé avant la radiation cambrienne, et auraient alors été recrutés comme organisateurs du développement, permettant une diversification rapide des plans d'organisation. Par la suite, le fonctionnement d'autres gènes (contrôlant la différenciation des organes) aurait été mis sous le contrôle de ces gènes homéotiques, de sorte que, au cours du développement, les gènes sont activés en cascade. Un tel mode de fonctionnement fait qu'une mutation sur un gène homéotique a des répercussions sur l'ensemble des gènes qui en dépendent et induit donc de graves malformations, le plus souvent léthales. Dans un tel contexte, les gènes homéotiques peuvent difficilement varier, ce qui fige les plans d'organisations existants. L'évolution semble donc contrainte par un jeu des possibles limité.

E) L'apparition de nouvelles espèces

Tout autour du cercle polaire, différentes sous-espèces du Goéland argenté sont observées. Chacune des sous-espèces est interféconde avec sa voisine, de sorte qu'il s'agit bien de sous-espèces, et non d'espèces au sens biologique du terme. En revanche, là où les 2 bords de l'anneau se rejoignent, les 2 groupes voisins ne sont pas interféconds et peuvent donc être considérés comme des espèces à part entière. Comme expliquer ce paradoxe?

Les souris du groupe *Mus musculus* sont réparties dans 4 groupes clairement différenciés et géographiquement séparés :

- *M. m. musculus*, en Europe de l'Est et Asie du Nord,
- *M.m. domesticus*, en Europe de l'Ouest et Afrique,
- *M.m. bactrianus*, en Inde et Afghanistan,
- *M.m. castaneus*, en Asie du Sud-Est.

Le scénario évolutif, reconstitué à partir de données paléontologiques et phylogénétiques est résumé sur la figure 16.

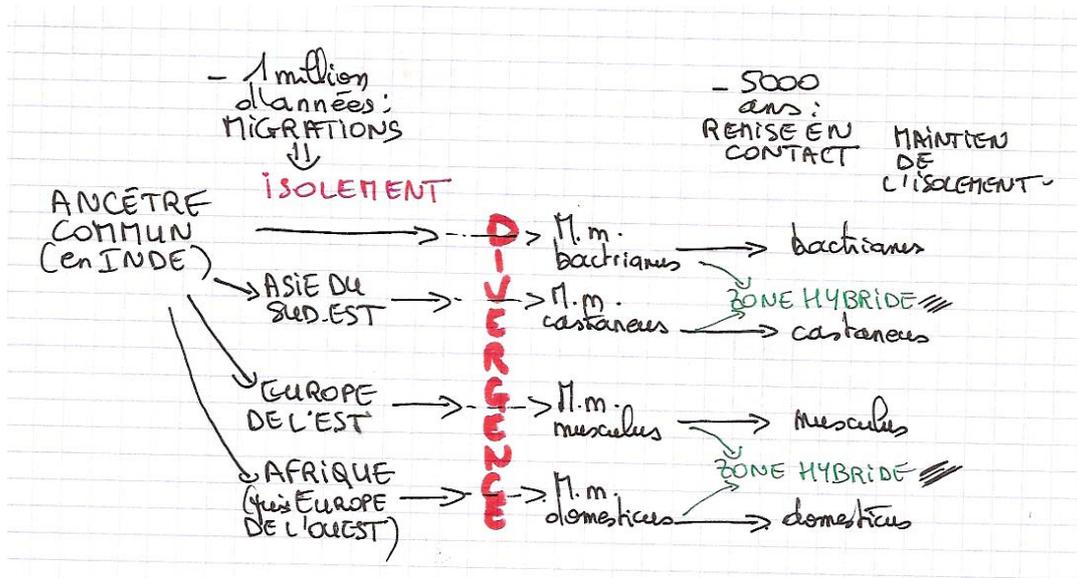


Figure 16: résumé de l'évolution du complexe *M. musculus*.

Ces groupes ont un statut de sous-espèces, puisque des hybridations sont observées (l'isolement reproducteur n'est pas total). Toutefois, il n'y a pas homogénéisation, puisque les sous-espèces restent bien distinctes de part et d'autre de la zone de contact. Ce maintien est lié à une fitness bien plus faible pour les hybrides que pour les sous-espèces « pures ». Ce phénomène est notamment dû à une sensibilité plus élevée des hybrides aux parasites. De tels processus, qui confèrent une faible fertilité ou viabilité aux hybrides sont qualifiés de mécanismes d'isolement post-zygotiques. Existente également des mécanismes d'isolement pré-zygotiques, qui empêchent la fécondation.

Comme dans le cas des goélands cité plus haut, on assiste ici à un phénomène d'émergence de nouvelles espèces. Les divergences sont liées à l'isolement géographique. Il s'agit d'un scénario de spéciation allopatrique.

La spéciation sympatrique, quant à elle, réside dans l'isolement reproducteur au sein d'une population dont les sous-ensembles n'ont pas été isolés géographiquement. Par exemple, chez la mouche de la pomme (*Rhagoletis pomonella*), des individus ont colonisé des aubépines. Au fil des ans, on observe une divergence entre périodes de reproduction de mouches de la pomme et de mouches de l'aubépine. Ainsi, les mouches qui continuent à exploiter la pomme s'accouplent préférentiellement entre elles, alors que les mouches spécialisées dans l'aubépine. Il y a donc bien séparation entre les 2 espèces. Dans le cas de la spéciation allopatrique, les mécanismes d'isolement pré-zygotiques sont plus efficaces que les mécanismes post-zygotiques.

L'évolution biologique peut donc être expliquée grâce à un petit nombre de mécanismes, qui sont communs à tous les êtres vivants. Peut-on pour autant dire que l'évolution suit les mêmes tendances pour tous les organismes ?

IV) L'évolution: variations autour d'un même processus

A) L'évolution : un processus continu

a) l'évolution ne s'arrête pas

Il est courant de lire ou d'entendre que les organismes « se sont adaptés », ou que tel trait est le « résultat de l'évolution », comme si l'évolution biologique appartenait au passé. Les exemples cités plus haut (résistance des moustiques aux insecticides, spéciation en cours des souris ou des goélands etc), ainsi que bien d'autres (résistance des bactéries aux antibiotiques, émergence de nouveaux pathogènes etc) montrent que l'évolution biologique fonctionne sans arrêt.

b) les pressions environnementales changent sans cesse

Observant que les taux d'extinction sont similaires dans les différentes lignées, L. Van Valen (1973) en déduit que les espèces apparues il y a longtemps ne sont pas mieux adaptées à leur environnement que des espèces apparues plus récemment. L'adaptation serait donc sans cesse remise en question. Il suggère alors que ces pressions évolutives incessantes ne peuvent pas être le fait de l'environnement abiotique, globalement constant, et dont les fluctuations sont généralement aléatoires. Il propose donc que l'essentiel des pressions vient des autres organismes (l'environnement biotique), qui sont sans cesse en interactions.

c) les interactions entre organismes sont un moteur de l'évolution

Compte-tenu de l'importance des pressions réciproques exercées et de la vitesse des cycles des parasites, les systèmes hôte-parasite se prêtent bien à l'étude des conséquences des interactions.

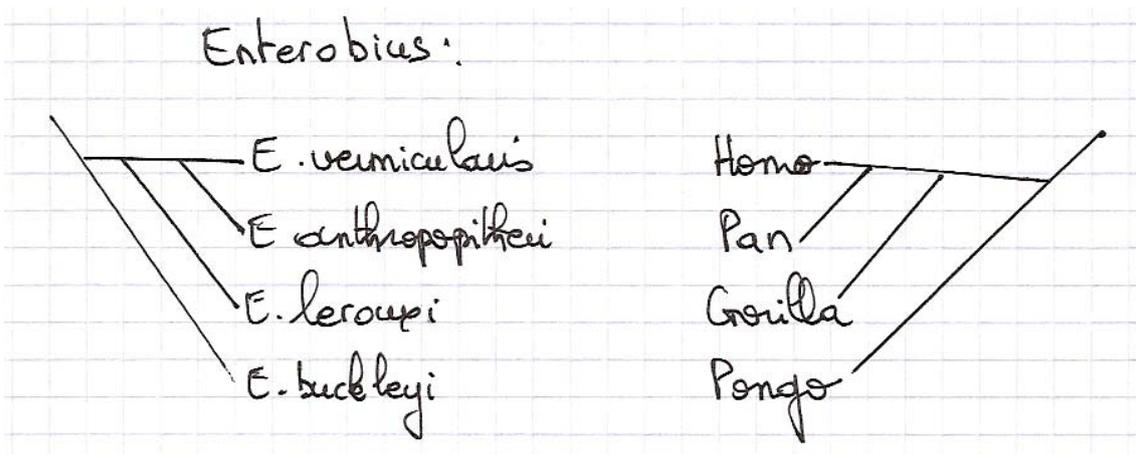


Fig. 17: Phylogénies simplifiée d'oxyures (*Enterobius* spp.) –à gauche- et de leurs hôtes Grands singes (à droite).

Ces phylogénies correspondantes entre hôte et parasite suggèrent que les deux partenaires peuvent évoluer conjointement. Comme l'évolution concerne toutes les espèces, Van Valen suggère que s'installe une « course aux armements » (adaptatifs) entre les partenaires de l'interaction. L'adaptation d'un des deux partenaires met l'autre en situation de maladaptation, qui le contraint à évoluer à son tour... et ainsi de suite. Les deux partenaires évoluent donc grâce aux pressions réciproques qu'ils exercent l'un sur l'autre: il y a co-évolution. Cette co-évolution peut entraîner des divergences congruentes au sein des 2 espèces et déboucher sur une co-spéciation .

Afin de comprendre comment les phénomènes d'interactions peuvent agir sur l'évolution, Lively a étudié les relations entre un Trématode castrateur et son hôte, le mollusque *Potamopyrgus antipodarum*, chez lequel existent des femelles parthénogénétiques, des femelles normales et des mâles. Il montre que le % de femelles parthénogénétiques est d'autant plus faible que la prévalence en parasites dans la population est élevée. Ainsi, les pressions parasitaires semblent favoriser les formes à reproduction sexuée, génératrices d'une plus grande diversité multi-locus. Les populations les plus soumises à l'interaction ont donc la possibilité d'évoluer plus rapidement que les autres, il y a bien course aux armements.

Pour rendre compte de cette course , Van Valen avait utilisé la métaphore de la Reine Rouge, empruntée au conte de L. Carroll, « De l'autre côté du miroir et ce qu'Alice y trouva ». Alice, entraînée par la Reine Rouge dans une course effrénée lui demande « Pourquoi courons-nous? ». La Reine Rouge répond qu'il faut courir pour rester sur place car le paysage défile continuellement. L'analogie est la suivante: le paysage qui défile correspond au paysage adaptatif (constitué par les autres espèces qui interagissent avec l'espèce considérée), la Reine Rouge à l'espèce qui évolue (qui court) et n'est donc pas soumise à l'extinction (qui reste sur place).

B) L'évolution : un processus à vitesse variable

1) l'évolution peut être irrégulière

a) l'horloge moléculaire

En 1965, Zuckerkandl et Pauling, comparent les séquences de molécules d'hémoglobine d'une dizaine de vertébrés et estiment les taux de divergence (% d'acides aminés différents entre 2 espèces). Ils observent que ces taux sont très bien corrélés aux dates de divergences entre lignées, estimés par la paléontologie. Ils proposent alors l'hypothèse d'horloge moléculaire, selon laquelle les mutations s'accumuleraient à un rythme constant. Les séquences seraient dans ce cas un outil précieux pour estimer les dates de divergences.

La séparation entre la lignée de l'Homme et celle des grands singes est estimée, avec les taux de divergence moléculaires bruts, à moins de 5 millions d'années, alors que les données paléontologiques la font remonter à plus de 15 millions d'années. Cet écart est expliqué par le fait que les mutations s'accumulent beaucoup moins vite dans la lignée humaine que dans celle des grands singes (probablement à cause de différences de temps de génération). A l'opposé, des séquences voir leur accumulation de mutations s'accélérer si elles ne sont pas contraintes par la sélection. C'est par exemple le cas pour le gène de l' α -cristalline, chez le rat-taupe (organisme aveugle). L'horloge moléculaire n'est donc pas constante d'un groupe à l'autre; elle peut nécessiter des corrections et son utilisation comporte des incertitudes.

b) gradualisme et équilibres ponctués

La théorie néo-darwinienne prédit que les mécanismes de génétique des populations (mutation, migration, sélection, dérive) permettent des changements progressifs dans les populations (micro-évolution). L'accumulation de ces changements, conduit, au cours du temps à l'apparition de formes nouvelles (macro-évolution). Cette vision a été remise en cause par les paléontologues Gould et Eldredge, en 1972, qui argumentent que les archives fossiles ne sont pas concordantes avec le gradualisme énoncé ci-dessus. En effet, à des périodes de remarquable stabilité morphologique (stases), succèdent des épisodes de rapides changements, permettant la formation de nouvelles espèces. Gould et Eldredge suggèrent donc que la micro-évolution ne permet pas d'expliquer de façon satisfaisante la macro-évolution et proposent une hypothèse de sélection des espèces (hypothèse qui n'a jamais été clairement formalisée). Il est maintenant clairement établi qu'il n'y a pas forcément de relations entre la vitesse d'évolution du génome et celle des changements morphologiques. Par exemple, le coelacanthe ne présente que très peu de différences morphologiques avec des spécimens fossiles du Jurassique, alors que l'évolution de ses gènes évoluent à la même vitesse que ceux des autres vertébrés. Une explication possible réside dans le fait que les plans de construction des organismes sont fortement contraints par le fonctionnement en cascade des gènes de développement et que des mutations au niveau de ces gènes organisateurs entraînent des bouleversements profonds dans la morpho-anatomie. Si, exceptionnellement, une de ces mutations n'est pas délétère, elle permet l'émergence rapide d'un nouveau type d'organisme.

2) Des facteurs externes peuvent « dynamiser » l'évolution

Chez *E. coli*, plusieurs ADN-polymérase sont présentes et n'ont pas toutes la même fidélité de réplication. En conditions de culture standards, les polymérase qui génèrent le plus d'erreurs sont inhibées et ce sont les polymérase à forte fidélité qui fonctionnent. Au contraire, lorsque les bactéries sont soumises à un stress (appauvrissement du milieu nutritif par exemple) les polymérase à faible fidélité sont activées, de sorte que les taux de mutations augmentent. Un stress peut donc favoriser l'augmentation des taux de mutation.

De plus, des perturbations (événements aléatoires qui affectent tout ou partie d'un écosystème), lorsqu'elles sont de grande ampleur, peuvent modifier l'habitat ou éliminer des taxons. Au cours de l'histoire de la biosphère, certains exemples sont marquants comme par exemple la disparition des dinosaures, lors de la crise Crétacé/Tertiaire. Ces extinctions en masse sont suivies de la radiation des mammifères. Les deux événements peuvent être liés par le fait que la libération des niches écologiques qu'a engendrée la disparition des dinosaures aurait permis aux mammifères d'investir ces niches et d'être ainsi soumis à de nouvelles pressions environnementales. Les pressions environnementales qui s'exercent sur les espèces survivantes peuvent donc être différentes de ce qu'elles étaient avant perturbation. Cette « remise à zéro des règles de l'évolution » peut avoir des conséquences majeures sur les processus évolutifs.

3) la recombinaison accélère l'évolution

Hormis quelques groupes chez qui toute forme de sexualité est inconnue (les Glomales, par exemple), la plupart des taxons présentent, au moins à un moment du cycle des événements d'échanges génétique (indépendants ou non de la reproduction sexuée). La recombinaison est donc un phénomène quasi-universel. Les lignées sans reproduction sexuée s'éteignent en général plus rapidement que les autres, suggérant que, sur le long terme, la sexualité serait avantageuse pour le taxon. La figure 18 représente l'accumulation du polymorphisme au cours du temps chez des bactéries, possédant ou non, un système SOS (qui favorise la recombinaison) fonctionnel.

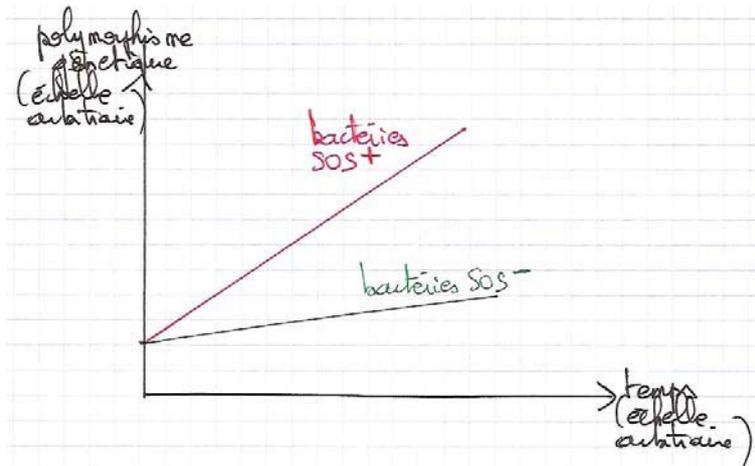
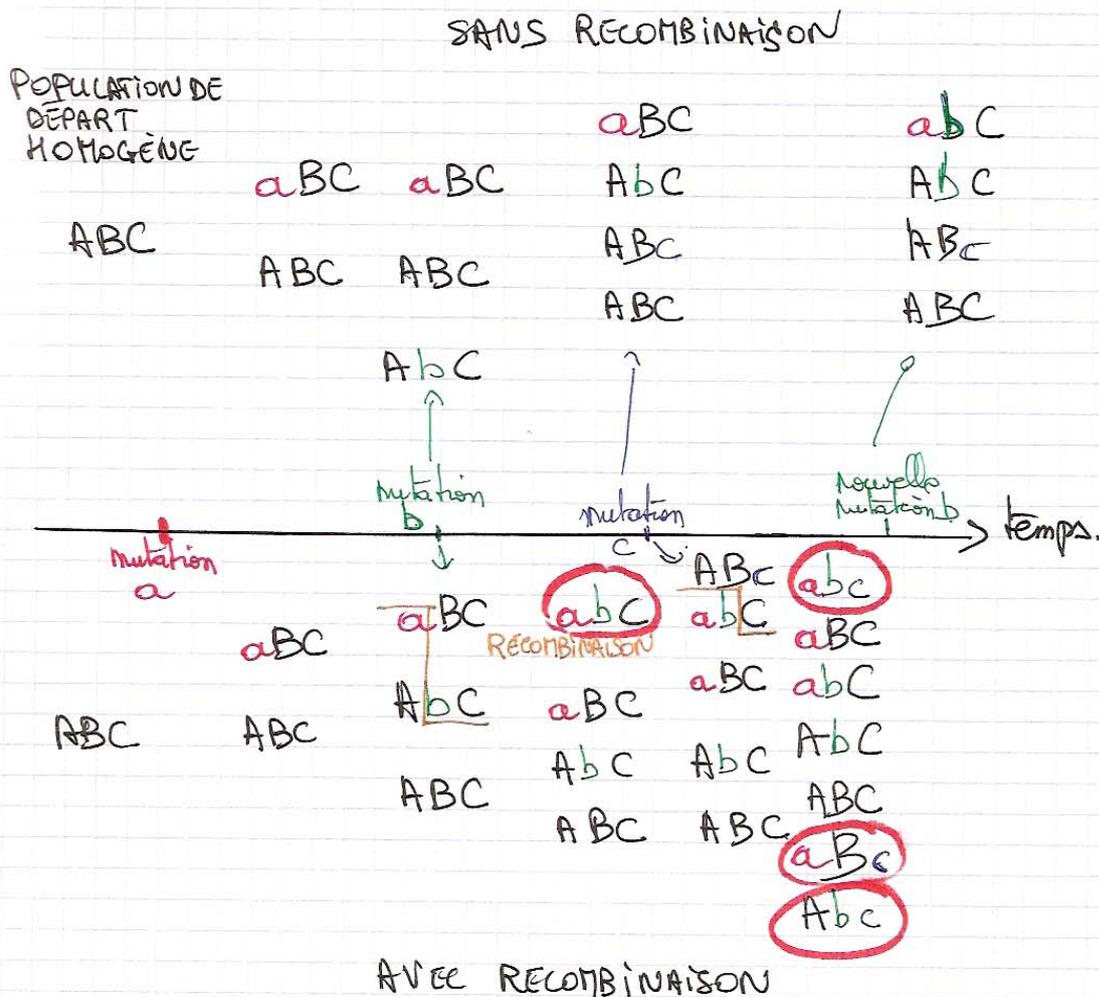


Fig. 18: accumulation du polymorphisme au cours du temps pour des bactéries à système SOS fonctionnel ou non

La figure 19 schématise l'apparition au cours du temps de nouvelles combinaisons génétiques, dans une population purement clonale et dans une population pratiquant la sexualité.



Dans le cas du bas (recombinaison), les associations "abc" peuvent apparaître par recombinaison - Dans le cas du haut, il faut attendre une nouvelle mutation b, puis une nouvelle c pour obtenir une combinaison "abc"

○ = nouveaux variants apparus par recombinaison

Figure 19: Représentation simplifiée de l'apparition de nouveaux génotypes multilocus dans une population, en présence ou non de recombinaison.

Ainsi, en accélérant la vitesse d'apparition de variants, la recombinaison favorise la diversité (à l'échelle multilocus) et augmente ainsi le potentiel évolutif.

Conclusion:

À l'heure où réémergent des dogmes qui réfutent toute idée d'évolution (créationnisme, dessein intelligent, programmisme etc), les travaux de biologie évolutive n'ont jamais été aussi nombreux, continuant sans cesse à accumuler des preuves de l'évolution biologique et à affiner la compréhension des mécanismes qui la sous-tendent. Cette vision évolutive permet de donner une logique d'ensemble à la biologie, comme l'avait souligné Dobzhansky : « *Rien n'a de sens en biologie, si ce n'est à la lumière de l'évolution* ». Ainsi, le vivant est unitaire, non seulement par sa composition (cellules, acides nucléiques etc) et son fonctionnement (voies métaboliques), mais également par les processus qui le modifient.

La connaissance des mécanismes de l'évolution est capitale, non seulement d'un point de vue fondamental puisqu'elle permet de saisir la cohérence de l'organisation et du fonctionnement du vivant, mais également par bien des aspects qui touchent directement l'Homme. C'est ainsi que d'empirique, l'amélioration des espèces cultivées est maintenant étayée par un socle scientifique solide et ses avancées d'autant plus rapides permettent en retour d'affiner les connaissances sur l'évolution biologique. De même, la compréhension des phénomènes d'évolution est indispensable à la médecine, puisque la lutte contre les maladies et la prévision des risques qui leurs sont associés ne peuvent pas se passer d'un haut niveau de connaissances sur l'évolution des pathogènes et des populations humaines.

Remarques générales concernant l'écrit de secteur B

Certaines (assez rares) très bonnes copies ont abordé l'ensemble du sujet, en ayant soin d'argumenter les idées avancées à l'aide de données précises. Quelques autres candidats n'ont pas réussi à traiter le sujet dans sa globalité (en se restreignant, par exemple, aux mécanismes de l'évolution), mais ont fait preuve de rigueur et d'exactitude dans les points abordés, de sorte que le niveau de leur écrit est satisfaisant. Malheureusement, un grand nombre de copies est resté totalement hors sujet ou s'est limité à une accumulation d'hypothèses non argumentées et sans articulations logiques. Une première difficulté a consisté à définir une problématique et à délimiter les contours du sujet. Ainsi, à notre grande surprise, environ 1/3 des candidats a confondu « évolution biologique » et « classification du vivant ». Nous avons ainsi lu des copies de 15 ou 20 pages ne traitant, avec plus ou moins de maîtrise, quasiment que des méthodes de systématique et de reconstruction phylogénétique et de leurs résultats. Il va de soi que les parentés entre taxa constituent un argument fort en faveur de l'évolution biologique (voir corrigé), mais elles sont un argument parmi tant d'autres et ne constituent pas une fin en soi pour comprendre l'évolution biologique. Quant aux méthodes, bien qu'indispensables à la compréhension de l'organisation du vivant, elles sont des outils qui ne permettent pas, à eux seuls, d'appréhender comment les taxa évoluent. Parmi ceux qui se sont focalisés sur l'évolution biologique, environ 1/3 a perdu un temps considérable (souvent une partie complète) à traiter du fixisme et du créationnisme qui, par définition, nient toute idée d'évolution et n'avaient donc pas à être développés. D'autres ont trop longuement développé l'histoire de la vie, depuis l'apparition des premières formes cellulaires jusqu'à l'émergence de l'Homme. Il était en revanche possible d'utiliser ces dogmes pour les opposer à des théories expérimentalement vérifiables, et placer ainsi le sujet dans un contexte historique ou sociétal ou ouvrir le débat sur des problèmes d'actualité.

La plupart des candidats n'a pas cerné le mot « théorie » et a occulté les « faits », ce qui a donné lieu, soit à des discours tenant plus de la philosophie que de la science, soit à des tentatives d'énoncer des vérités sans aucune argumentation solide. On ne peut par exemple que déplorer que bon nombre de copies aient soutenu que l'évolution biologique conduit inéluctablement à une complexification croissante, depuis des organismes « primitifs » (toujours des unicellulaires), jusqu'aux organismes « évolués » (l'Homme figurant au sommet de cette échelle des êtres). L'observation, par exemple, de la diversité considérable des bactéries et de leurs adaptations à une large gamme d'habitats, suffirait à se convaincre qu'une telle vision scaliste, popularisée au début du 18ème siècle, n'a pas lieu d'être. Ce scalisme s'est souvent accompagné d'une vision finaliste de l'évolution. Ainsi, nous avons pu lire que « les grenouilles ont des pattes en Z pour le saut », « les amphibiens ont dû s'adapter au milieu terrestre » etc... nous n'étions plus très loin des nez faits pour porter des lunettes !

Le sujet supposait que les candidats développent le cheminement scientifique aboutissant à la conception actuelle de l'évolution biologique et soient pour cela capables d'avoir recours à des notions (élémentaires) d'histoire des sciences. La lecture des copies a révélé une culture très hétérogène en la matière, et des confusions surprenantes. Ainsi, nous avons pu lire que Lamarck, tour à tour taxé d'être catastrophiste, fixiste, mutationniste, a vécu, selon les copies, entre l'Antiquité et le milieu du 20ème siècle! Linné s'est également vu affubler une date de naissance très incertaine (souvent au Moyen-Âge) et est apparu parfois comme contemporain de Mendel. Quant à Darwin, nous l'avons souvent vu manier allègrement les mécanismes des mutations et de l'hérédité chromosomique! De même, bon nombre de candidat a cru que

les études sur l'évolution biologique se sont arrêtées avec Darwin, au mieux avec les fondateurs de la théorie synthétique de l'évolution, et a totalement occulté l'essor considérable de la biologie évolutive au cours des 30 dernières années.

Le libellé (des faits AUX théories) nécessitait une construction logique mettant en relation étroite faits et théories. Le plan adopté par environ 1/5 des candidats (I. Les faits; II. Les théories) ne permettait pas une approche globale du sujet.

Dans beaucoup de copies, les mécanismes de bases de l'évolution (en particulier l'articulation entre variations héréditaires et sélection) ne sont pas maîtrisés. Il en est de même pour les formalisations issues de la génétique des populations, qu'il s'agisse de la sélection ou de la dérive ou même de concepts très simples, comme l'équilibre d'Hardy-Weinberg (On rappelle par exemple que $p^2+2pq+q^2 = 1$ n'est pas la formulation de l'équilibre d'Hardy-Weinberg, mais simplement le développement du binôme $(p+q)^2$, qui est toujours vrai puisque dans le cas d'un locus à 2 allèles, $p+q=1$!)

Une fois encore, le jury regrette que la vision du monde vivant se soit souvent limitée aux seuls animaux et végétaux (lesquels?). De plus, les exemples présentés étaient en général beaucoup trop imprécis: « certaines espèces », « une plante », « l'orchidée », « la bactérie » etc. A ceci s'ajoutent des illustrations sans titre, sans échelle, sans légende qui n'ont pas facilité la compréhension ou des schémas tellement simplistes qu'ils ne véhiculaient plus aucune information. Des observations ou expériences fantaisistes (« un poisson rouge change de comportement lorsque l'on chauffe l'eau de son bocal », « à force de porter des baskets, les pieds des humains sont plus larges qu'autrefois ») ou ne faisant preuve d'aucune rigueur scientifique (pas de témoin, pas de réplicat) ont émaillé les devoirs. Le jury est inquiet de la faible maîtrise de la langue française dont ont pu faire preuve des candidats à un concours de recrutement dans l'enseignement secondaire. Outre le fait que « notamment » semble être le mot à la mode et a été employé à tort et à travers, le vocabulaire était régulièrement inapproprié (par exemple, le terme « classification binomiale » a été systématiquement employé pour « classification binominale »). Plus de la moitié des copies comportait des erreurs de syntaxe (phrases sans verbe!) ou d'orthographe (« la giraphe mange des accacias », « les lézards et les crocodyles », « le poid de Mendell », « le champ des oiseaux » etc) absolument inadmissibles pour de futurs enseignants. Pour finir, un minimum de culture générale pourrait être attendu, même dans une composition de sciences de la vie. À ce titre, le jury tient à rappeler que la métaphore de la Reine Rouge (et pas de la « dame de pique » !) a été proposée par Van Valen (et pas « Van Allen »). Cette image est tirée de l'ouvrage « De l'autre côté du miroir et ce qu'Alice trouva derrière » (et pas « Alice et le gros lapin blanc »), qui, bien avant d'être porté à l'écran en dessin animé, a été écrit par un dénommé Lewis Carroll, dont les performances ne sont pas les mêmes que celles de Carl Lewis.

4A93-26

Repère à reporter sur la copie

SESSION DE 2007

**Concours externe
de recrutement de professeurs agrégés**

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

Epreuve portant sur le programme
de connaissances générales du secteur C

Durée : 5 heures

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout matériel électronique est rigoureusement interdit.

Genèse et évolution des bassins sédimentaires

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

NB : *Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.*

Agrégation externe 2007 Épreuve du secteur C		n° de copie	signatures des correcteurs	Note finale	
<i>si la copie est blanche, mettre cb ou CB dans la case jaune de la note harmonisée</i>					
Socle de connaissance	A - Origine & expressions des bassins	Définition et diversité des bassins sédimentaires Grands types de bassins, exemples de localisations et contextes de formations <i>Bonus : outils d'investigation des bassins</i>			
		Le comportement thermo-mécanique de la lithosphère Crouête cassante-ductile Déformation de la lithosphère (fracturation, fluage, flexuration)			
	A - Origine & expressions des bassins	La subsidence Causes de la subsidence : tectonique, surcharge, relaxation thermique Les courbes subsidences : la signature des bassins <i>Bonus : relations subsidence/comportement mécanique de la lithosphère, méthode de calcul de la subsidence, exemples multiples...</i>			
		Les bassins en zone de divergence Les rifts continentaux, (structure, formation) La sédimentation dans les rifts (cônes alluviaux, évaporites...) Les marges passives (structure, formation)			
		Les bassins en zone de convergence La sédimentation sur les marges (progradations générales et deltaïques, turbidites,...) Les bassins flexuraux (structure, formation) La sédimentation des bassins flexuraux (molasses...) Les bassins d'arrière arc (structure, formation) <i>Bonus : bassins distensifs en contexte de convergence, bassins océaniques, épircratoniques, pull apart, basin & range..</i>			
		Évolution dynamique des bassins sédimentaires Rift->marge pass.->bassin océan. ou marge pass.->bassin flexural Bassins sédimentaires et cycles orogéniques			
	C - Évolution spatio-temporelle	Évolution du remplissage sédimentaire Facteurs de contrôle de la sédimentation dans les bassins Géométrie des dépôts et variations tectono-eustatiques			
		La diagenèse : l'enregistrement de l'histoire post-dépôt des bassins Mécanismes de diagenèse Phases diagenétiques et enfouissement Matière organique fossile et migration <i>Bonus : et, autres concentrations minérales d'origine sédimentaire</i>			
		Introduction Conclusion Plan			
	D-Structuration	Cohérence Transitions / clarté <i>Bonus</i>			
Illu-stration	Illustration Qualité Pertinence <i>Bonus</i>				

Genèse et évolution des bassins sédimentaires

Les bassins sédimentaires et les notions qui s'y rapportent dans le programme de connaissances générales Sciences de la Terre et de l'Univers.

La Terre actuelle

- Forme et structure de la Terre actuelle - Structure et composition de la lithosphère continentale...

Géodynamique externe

- Diagenèse.

Géodynamique interne du globe

- Rifts continentaux, évolution des rifts et des marges passives, évolution thermo-mécanique de la lithosphère hors axe.

- Bassins d'arrière arc.

- Grandes structures géologiques en zone de coulissage.

Le temps en Sciences de la Terre

- Bases de la stratigraphie séquentielle.

L'évolution de la planète Terre

- Sédimentation marine épicontinentale, accumulations sédimentaires, tectonique et subsidence, fossés d'effondrement, marges passives, bassins en front de chaînes.

- Ressources énergétiques : matière organique fossile.

- Ressources minérales : processus de concentration à l'origine de gisements économiques.

A - ORIGINE ET EXPRESSION

Définitions et diversité des bassins sédimentaires.

Subsidence, épaisseur des séries, temps...

Les bassins sédimentaires sont des dépressions de l'écorce terrestre où peuvent - grâce à la subsidence - s'accumuler pendant un temps long et / ou sur de fortes épaisseurs des dépôts sédimentaires variés. Depuis leur initiation jusqu'à leur comblement, les bassins sont sous le contrôle de facteurs endogènes (internes) et exogènes (externes), qui agissent à la fois sur le "contenant" (la lithosphère) et sur le "contenu" (les dépôts sédimentaires).

La diversité des bassins sédimentaires est liée à celle des contextes géodynamiques. Ils seront différents suivant qu'ils se situent en domaine intra-plaque (bassins épïcrationiques, rift, marge passive...) ou aux frontières de plaques (bassins de marges actives, bassins flexuraux), sur lithosphère océanique ou continentale ou encore en contexte de compression (bassin flexural), de cisaillement (pull-apart), ou de distension (rift).

Grands types de bassins, contextes de formation et exemples actuels et anciens.

- Les bassins épicrotoniques (ou continentaux) développés sur croûte continentale, couvrent de très vastes étendues (plus de 4 millions de km² pour le craton ouest-africain). Les dépôts y sont très peu déformés - voire pas déformés - et la subsidence y est très lente. Actuellement on trouve de tels bassins actifs en Sibérie, au Tchad ou encore en Amazonie. Dans l'ancien parmi les grands bassins cratoniques, on peut citer le Sahara occidental (Bassin ouest -africain), le bassin de Paris, les bassins brésiliens, etc.
- Les bassins de rift (ou les fossés d'effondrements - grabens) se forment lors d'une distension affectant la lithosphère continentale, dont le terme ultime peut aboutir à une océanisation. Ils sont allongés et relativement étroits (de l'ordre de la centaine de kilomètres). La subsidence y est rapide (subsidence initiale) puis plus lente (thermique). Pour des exemples actuels on peut citer le rift est africain, le lac Baïkal, etc., et pour l'ancien, le fossé Rhénan, le système Basin & Range américain, etc.
- Les marges passives formées sur croûte continentale sont issues de l'ouverture d'un océan. La subsidence thermique permet l'accumulation d'épais dépôts sédimentaires (jusqu'à plus de 12km pour des marges anciennes).
- Les bassins océaniques résultent d'une extension très importante ; ils sont profonds mais les sédiments accumulés restent peu épais (< 1000m) et la subsidence est faible et essentiellement thermique.
- Les bassins de marge active sont liés au fonctionnement des zones de subduction. Les bassins d'avant arc sont généralement étroits mais leur extension varie beaucoup d'une marge à l'autre et suivant l'importance et la morphologie du prisme d'accrétion et de la fosse. La subsidence y est liée à de nombreux phénomènes (glissements, compressions, compaction des dépôts du prisme d'accrétion, etc.). Les bassins d'arrière arc sont liés à une distension avec amincissement crustal pouvant aboutir à la formation d'un rift et à une expansion océanique. Parmi les exemples actuels de bassins de marges actives il faut citer la Barbade, le Japon, etc., et dans l'ancien on pourra prendre l'exemple de la Turquie.
- Les bassins flexuraux (ou d'avant pays) sont formés en contexte de compression. Ils sont liés à l'enfoncement de la lithosphère sous l'effet du poids exercé par l'empilement d'écaillés tectoniques et l'accumulation de sédiments déformés. Ces sédiments proviennent de l'érosion des reliefs engendrés au cours de l'édification de la chaîne de montagnes. On peut citer les bassins molassiques Suisse ou de Digne pour des exemples anciens et classiques de bassin flexuraux.
- Les bassins en pull-apart (cisailants) sont formés en contexte intra plaque, sur croûte continentale et sont liés à du cisaillement pouvant intervenir aussi bien en contexte de distension que de compression. Ce sont des bassins "en relais" généralement peu étendus. On les rencontre souvent à proximité de chaînes de montagnes et en France on peut citer ceux du versant Nord des Pyrénées, ou même, et bien que ce soit encore aujourd'hui discuté, le système Fossé Rhénan - Bresse - fossés Oligocènes cévenoles.

Bonus : Outils d'investigation des bassins

- La sismique réflexion permet d'envisager en profondeur à la fois la géométrie des sédiments mais aussi le substratum. Le principe repose sur l'émission d'ondes élastiques depuis la surface (vibration ou explosion) qui sont réfléchies de manière plus ou moins intense en fonction des contrastes de densité, de porosité, ou du contenu en fluides des roches rencontrées en profondeur. Les signaux réfléchis sont ensuite recueillis en surface par des séries de récepteurs en ligne (géophones). La profondeur des structures rencontrées est calculée connaissant la vitesse de propagation des ondes dans le milieu traversé et le temps de parcours source-récepteur. Les réflecteurs qui apparaissent en noir sur les enregistrements, correspondent à des zones de forte réflexion (failles, roches à forte impédance acoustique, ou fort contraste entre deux types de roches, ou encore discontinuités sédimentaires associées à des cimentations).

- Les diagraphies. Outils de mesure en forages permettant de déterminer diverses caractéristiques des roches (compaction, nature lithologique, contenu en fluides, présence de minéraux radioactifs, etc.). Parmi les outils principaux on peut citer : le Gamma-ray (mesure de la radioactivité naturelle des roches), le Neutron (radioactivité provoquée), le Sonic, (outil acoustique permettant de repérer les cimentations, etc.), la Résistivité (résistivité électrique des roches).

Le comportement thermo-mécanique de la lithosphère

Les bassins sédimentaires ne pourraient se former et fonctionner durant des millions d'années sans une aptitude de la lithosphère à se déformer en creux (subsidence). Pour comprendre la subsidence, il est nécessaire en tout premier lieu de présenter les caractéristiques et le comportement thermo-mécanique de la lithosphère et les phénomènes qui contribuent à la déformation de la croûte.

Croûte cassante - ductile

Stratification rhéologique de la Lithosphère continentale (**fig. 1**). La croûte supérieure hétérogène (roches sédimentaires, métamorphiques, plutoniques) a un comportement globalement cassant jusqu'à une profondeur pouvant aller jusqu'à 15 - 20 km, suivant l'épaisseur totale de la croûte, son contenu en fluides, etc. La croûte inférieure litée a un comportement ductile. Ces deux comportements contribuent à la déformation de la lithosphère à différentes échelles.

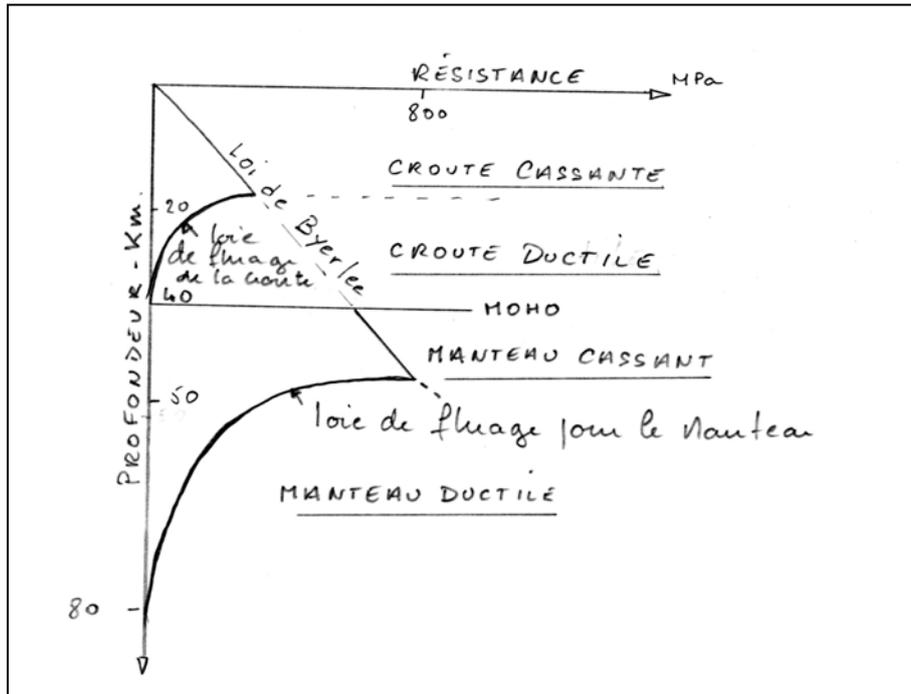


Figure 1. Stratification rhéologique de la lithosphère continentale montrant les domaines aux comportements fragiles et ductiles.

Déformation de la lithosphère (fracturation, fluage, flexuration)

Trois mécanismes de déformation sont observés sous l'effet de contraintes tectoniques ou thermiques. La fracturation (croûte supérieure et manteau supérieur), le fluage (croûte inférieure litée), la flexuration (déformation grande longueur d'onde qui intéresse l'ensemble de la lithosphère). Les deux premiers phénomènes contribuent à l'amincissement crustal observé dans des bassins comme les rifts ou certaines marges passives.

La subsidence

Cause de la subsidence

La subsidence est l'enfoncement progressif du fond d'un bassin au cours du temps sous l'effet de trois types de phénomènes.

- Des phénomènes géodynamiques (distension, compression, etc.) à l'origine de la tectonique en failles normales ou cisailante, provoquant l'affaissement en blocs basculés (rift, marge passive, pull-apart) ou à l'origine d'une flexuration (bassin d'avant pays).
- La surcharge sédimentaire (ploiement de la lithosphère - marges passives bassins flexuraux)
- Des phénomènes "thermiques" (échauffement localisé par remontée du manteau > et relaxation thermique) (rifts) - "points froids" du manteau (sous les grands cratons stables depuis des centaines de millions d'années).

Les courbes de subsidences : la signature des bassins

La subsidence se représente sous forme de courbes, traduisant l'enfoncement du substratum du bassin au cours des temps géologiques. Ces courbes constituent la signature d'un bassin sédimentaire et leur allure peut être caractéristique de différents types de bassins (fig. 2).

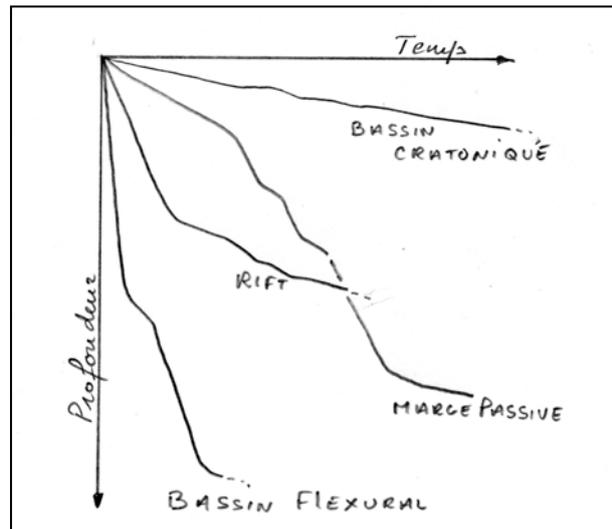


Figure 2. Exemples de courbes de subsidence de quelques types de bassins.

Bonus : méthode de calcul de la subsidence

La subsidence dans un bassin est liée à la fois à la tectonique et à la surcharge exercée par le poids des sédiments et de la colonne d'eau. Elle est causée aux trois quarts par la surcharge exercée par l'eau et les sédiments. Le 1/4 restant est la subsidence tectonique. Cette subsidence peut être calculée en enlevant les charges superficielles (eau + sédiments) qui ne font qu'amplifier le phénomène.

La méthode de calcul de la subsidence tectonique est le "Backstripping"

$$Y_{\text{(subsidence tectonique)}} = W_d + S \frac{(\rho_m - \rho_s)}{(\rho_m - \rho_e)} - H$$

avec : $H = E \frac{\rho_m}{(\rho_m - \rho_e)}$

et ρ_m masse volumique du manteau = 3300 kg.m⁻³
 ρ_e masse volumique de l'eau (kg.m⁻³)
 ρ_s masse volumique moyenne de la colonne sédimentaire (kg.m⁻³)

Le Backstripping consiste à retirer progressivement les différentes couches sédimentaires accumulées en un point donné d'un bassin, à partir de l'état actuel et à calculer pour chacune des couches, la subsidence tectonique sous une charge d'eau équivalente.

B - STRUCTURE GENESE & REMPLISSAGE DES BASSINS

Une fois acquise l'idée que la lithosphère peut se déformer en creux, il s'agit de présenter maintenant les principaux types de bassins dans leurs contextes géodynamiques ainsi que leurs caractéristiques morphologiques tectoniques et sédimentaires.

Les bassins en zones de divergence

Les rifts continentaux (structure et formation)

Les caractères communs à la structure de tous les rifts sont : l'amincissement crustal, la présence de failles normales et une disposition en blocs basculés (**fig. 3**). Viennent se rajouter à ces caractéristiques la présence de failles de détachement, de failles listriques et de horsts et grabens multiples.

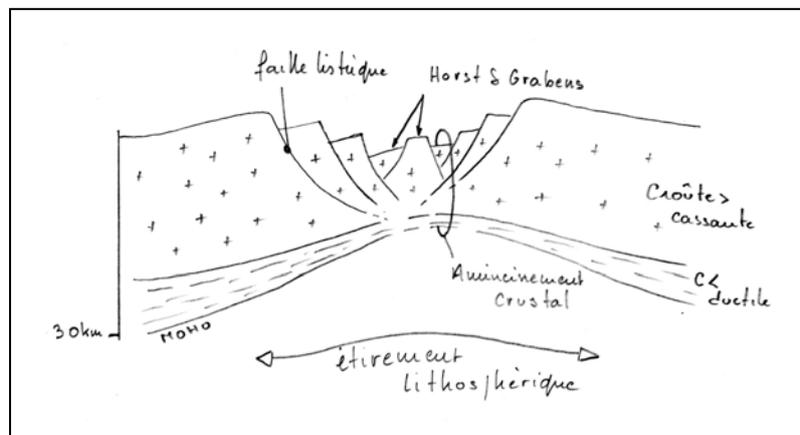


Figure 3. La structure d'un rift continental

La formation des rifts fait intervenir deux phénomènes : l'étirement et l'amincissement crustal. Les modèles de rifting se sont multipliés ces dernières années, mais ils gravitent autour de deux grandes conceptions de l'étirement lithosphérique.

° Le modèle par cisaillement pur (**fig. 4 a et b**) est un modèle uniforme (symétrie). Il fait intervenir une extension dans la croûte, responsable de l'effondrement des blocs le long des failles normales dans la croûte supérieure et du fluage de la croûte inférieure. L'extension se fait aussi dans le manteau de manière plus ou moins

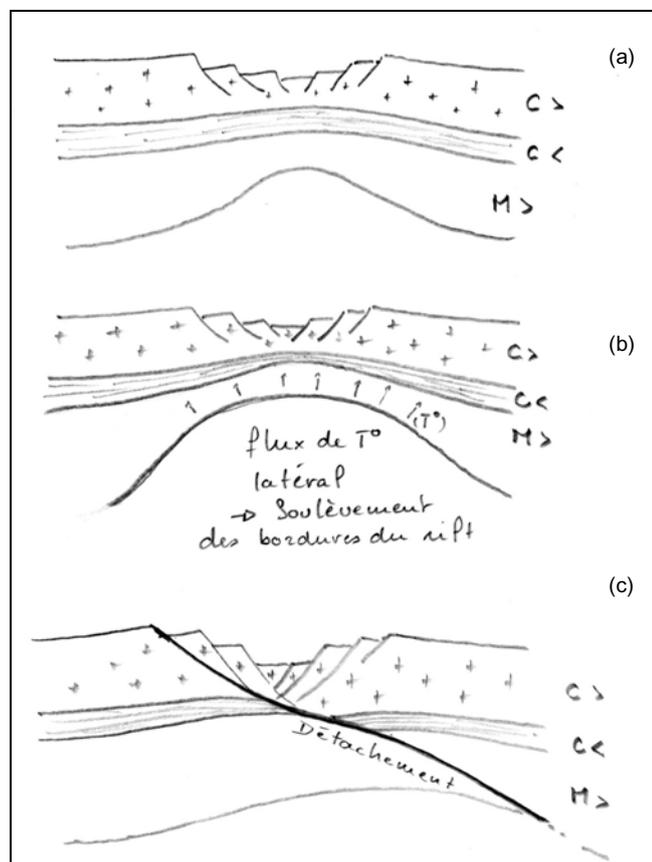


Figure 4. Modèles de rifting. (a) Cisaillement pur uniforme et homogène, (b) cisaillement pur inhomogène, (c) cisaillement simple avec faille de détachement.

prononcée suivant les modèles. Dans les modèles où l'extension dans le manteau est forte (**fig. 4b**), on admet qu'un important flux de chaleur latéral peut être à l'origine du soulèvement souvent observé sur les bordures du rift. Ce modèle "remplace" avantageusement l'hypothèse du "doming" (bombement thermique initial) qui était envisagée pour expliquer les bords surélevés des rifts. Le "Doming" se heurte au fait que la conduction thermique dans la croûte n'est probablement pas suffisamment efficace pour provoquer son bombement rapide en tout début de rifting, c'est-à-dire lorsque son épaisseur est encore normale.

° Le modèle par cisaillement simple (**fig. 4c**) est un modèle d'extension non uniforme dans lequel on fait intervenir une grande faille cisailante dite de détachement. Deux variantes de ce modèle existent suivant la poursuite ou non de la faille de détachement dans le manteau. Ce mode d'extension explique bien la dissymétrie de certains rifts (fossé rhénan).

° Enfin d'autres modèles récents à quatre couches (deux ductiles deux fragiles) existent (**fig. 5**) et décrivent particulièrement bien - si on les fait évoluer jusqu'au stade marge passive - la structure profonde de certaines marges actuelles (ouest ibérique par exemple).

Dans tous les modèles, deux phases de subsidence se succèdent dans la formation des rifts au cours du temps : la subsidence initiale rapide (fracturation - effondrement) et la subsidence thermique - lente - qui est liée au rééquilibrage thermique et isostatique.

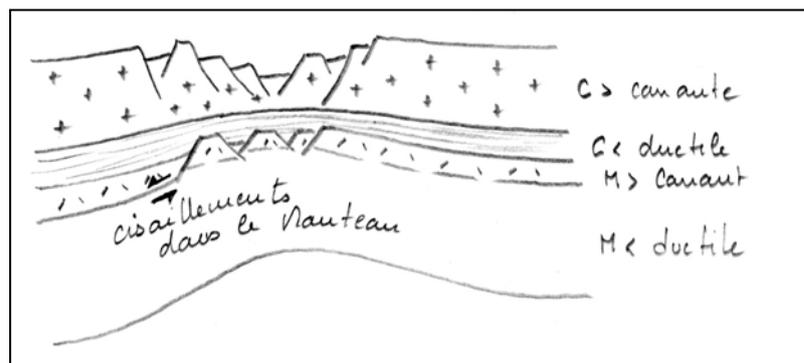


Figure 5. Modèles de rifting à quatre couches. Les niveaux fragiles sont fracturés et structurés en blocs aussi bien dans la croûte supérieure que dans le manteau inférieur.

La sédimentation dans les rifts

De par leur formation et leur géométrie, les rifts sont le siège d'une sédimentation particulière.

° La sédimentation continentale se caractérise fréquemment par la mise en place de cônes alluviaux s'appuyant sur les failles bordières des rifts (**fig. 6**). Les faciès lacustres sont également fréquents. Ces dépôts se mettent en place dès le début du rifting.

° Les rifts peuvent aussi être le lieu privilégié d'une épaisse sédimentation évaporitique (exemple de la potasse d'Alsace). Cycles d'évaporation - renouvellement des eaux - subsidence.

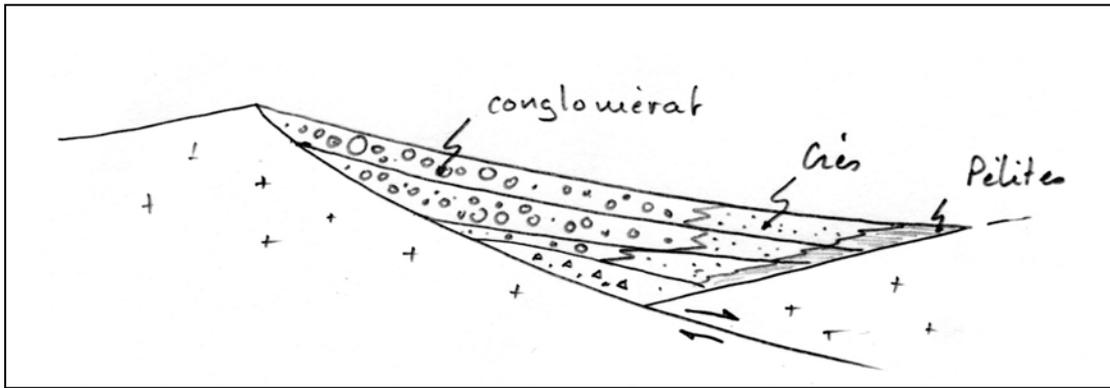


Figure 6. Structure d'un cône alluvial.

Les marges passives : structure et formation

Les marges passives se forment lorsque la divergence de plaque apparaît (accrétion océanique) et elles sont le siège d'une subsidence thermique. On distingue des marges de divergence et de coulissement (marges non parallèles aux dorsales et à transition abrupt entre croûte océanique et continentale).

° En profondeur (**fig. 7a**) leur structure à l'échelle crustale se caractérise par : un amincissement crustal, des blocs basculés, des failles listriques (failles courbes concaves) parfois associées à une faille de détachement.

° En surface, (**fig. 7b**) leur structure fait apparaître des géométries de sédiments qualifiées d'ante-rift (recoupés par les failles), syn-rift (en éventail formé au moment du basculement des blocs), ou post-rift (recouvrant les têtes de blocs).

Les marges sont qualifiées de "maigres" (entrée de la Manche) ou "grasses" (Gabon, Marge Ouest Afrique) suivant la quantité de sédiments accumulés.

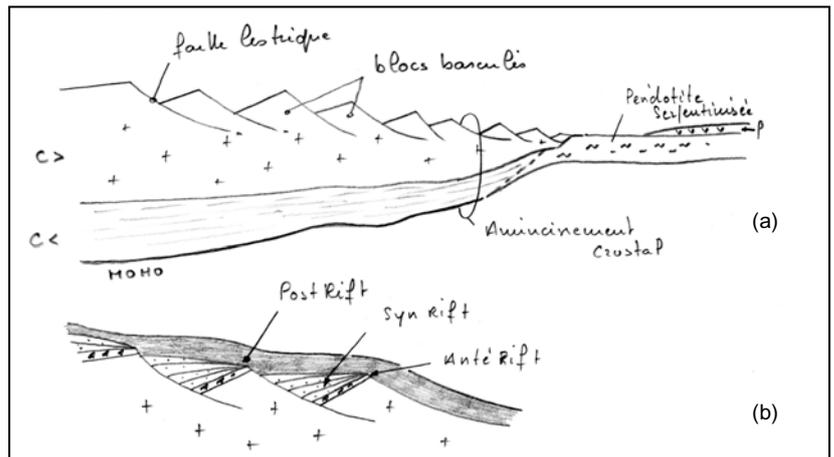


Figure 7. (a) Structure d'une marge passive, (b) morphologie des dépôts sédimentaires.

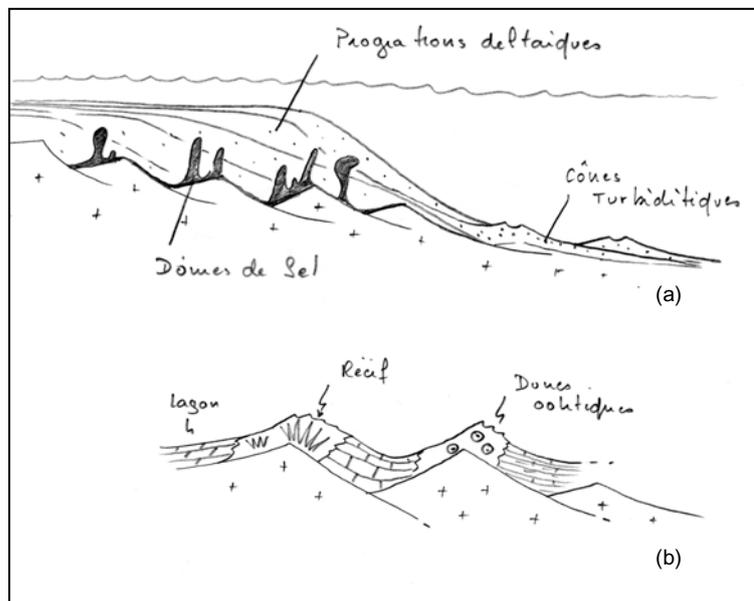


Figure 8. (a) Sédimentation sur les marges passives en zone de fort apport détritique terrigène, (b) sédimentation en milieu

La sédimentation sur les marges

Plusieurs grands types de dépôts ou de formations sédimentaires caractérisent les marges passives (**fig. 8a**) : Les progradations deltaïques, les turbidités (bas de pente) et les dépôts salifères en diapirs. Le sel provient souvent de dépôts ante-rifts ou syn-rifts (Trias).

Dans les zones inter tropicales et en l'absence d'apports détritiques importants, des plates-formes carbonatées peuvent se développer sur les marges. Les têtes de blocs constituent généralement un lieu privilégié pour l'implantation de récifs, ou la mise en place de barrières oolitiques (ex. du Jurassique moyen du Bassin Aquitain ou de l'Oxfordien des causses - Marge de l'océan Alpin), (**fig. 8b**).

Les bassins en zones de convergence

Les bassins flexuraux

Les bassins flexuraux (**fig. 9**) se forment lors de la convergence de plaques dans l'avant pays situé au front des chaînes de montagnes. Leur formation est liée au chevauchement d'écaïlles crustales et au ploiement de la lithosphère sous l'effet d'une surcharge. Le dépôt-centre des bassins flexuraux se déplace vers les zones de plus en plus externes de la chaîne, au fur et à mesure de l'empilement d'écaïlles tectoniques et de la sédimentation.

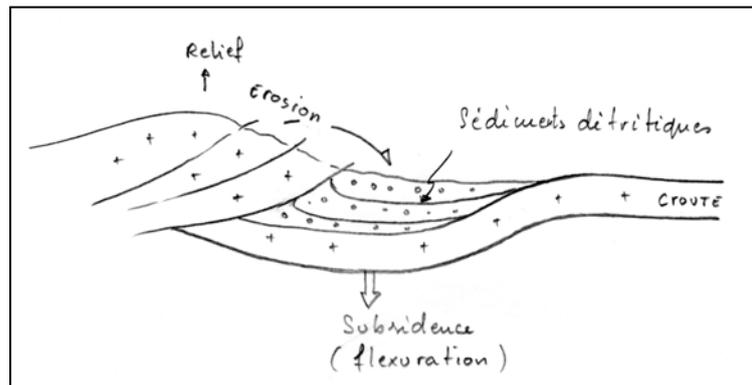


Figure 9. Structure d'un bassin flexural.

° Leur structure en profondeur se caractérise par des failles inverses, un épaissement crustal engendré par empilement d'écaïlles tectoniques au front de la zone subsidente.

° La structure des sédiments se caractérise par des déformations et la mise en place de nombreuses discordances progressives (**fig. 10**).

La sédimentation dans les bassins flexuraux

Sédimentation extrêmement variée pouvant aller des faciès continentaux jusqu'aux turbidites, en passant par la mise en place de littoraux, deltas, etc.

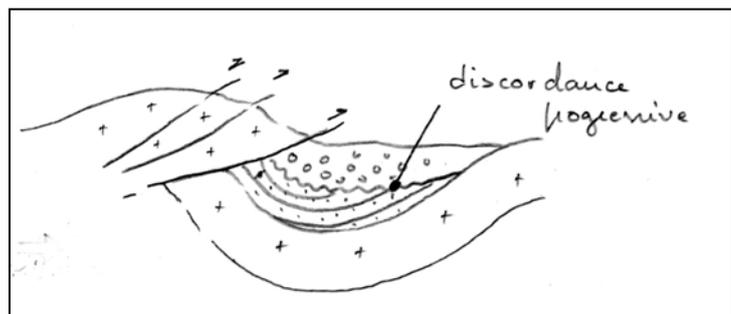


Figure 10. Accumulations détritiques épaisses et mise en place de discordances progressives dans les bassins flexuraux.

Les sédiments résultent de l'érosion des reliefs générés par les chevauchements d'écaillés tectoniques.

L'un des dépôts particuliers de ces bassins est la molasse (dépôts détritiques constitués de faciès continentaux ou marins peu profonds) - exemple de la molasse Suisse, pyrénéenne ou de Digne...

Les bassins d'arrière arc

Bassins distensifs formés en contexte de convergence de plaque (zones de subduction) (**fig. 11**).

Ils se forment en relation avec trois types de phénomènes pouvant interagir: une anomalie thermique positive, de la distension et l'amincissement crustal. La distension peut dans certains cas (mer

Egée, mer Tyrrhénienne) être générée par le retrait progressif d'un panneau plongeant en subduction (**fig. 12**).

Leur structure varie énormément suivant l'importance de la distension qui les a affecté, la présence ou non d'accrétion océanique, de multiples rifts, etc. La plupart du temps, ils ont cependant les caractéristiques morphologiques des rifts ou des océans étroits.

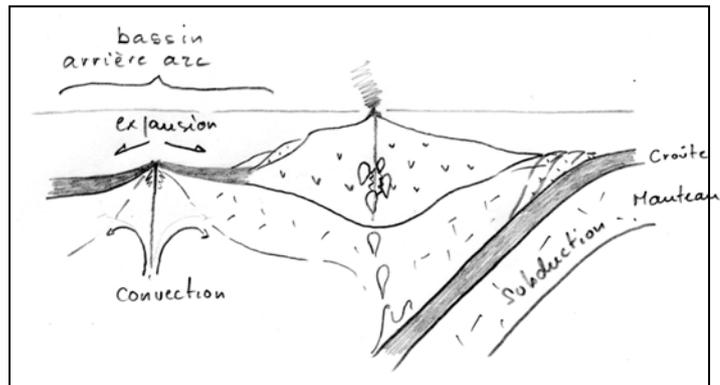


Figure 11. Structure d'un bassin d'arrière arc.

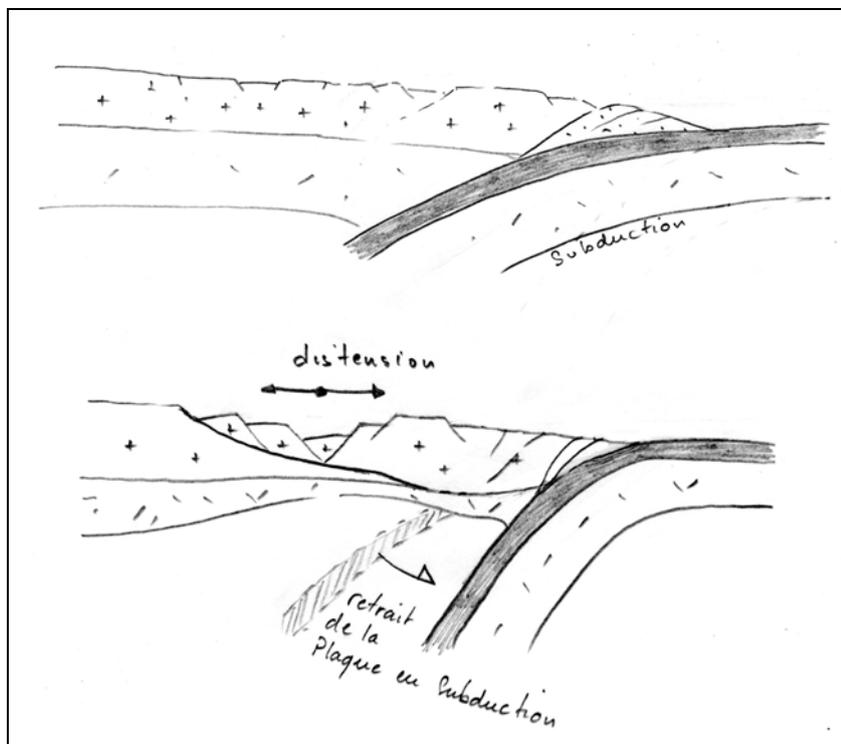


Figure 12. Formation de bassins distensifs en arrière de zone de convergence par retrait d'une plaque en subduction.

Bonus : (autres types de bassins non explicitement au programme et basin & range)

- Les bassins distensifs existent en contexte de convergence (distinction distension/compression et divergence/convergence)
- Les marges passives volcaniques (marges avec formations volcaniques à la transition croûte continentale / océanique)
- les bassins océaniques et leur structure - lithosphère océanique plus "rigide" que la lithosphère continentale et donc globalement moins subsidente, présence d'une dorsale, de failles transformantes.
- les bassins cratoniques, bassins de pull-apart (effondrement entre deux décrochements - subsidence rapide - faible étendu), bassins intra-montagneux (bassins distensifs, limités par des failles normales - formations salifères, Salars, etc...)
- Les systèmes de rift de type basin & range (ouest américain). Succession de horsts et grabens limités par des failles listriques sur plus de 800 km (**fig. 13a**) et résultant d'une forte extension (80 km d'extension dans la zone des "metamorphic core complex") (**fig. 13b**). Déformation entièrement accommodée par de grandes failles normales de faibles pendages (détachements) d'échelle lithosphérique. Genèse complexe à partir d'une croûte continentale épaissie au cours des orogènes méso-cénozoïques, eux même étant liés à la convergence entre deux plaques (plaque Farallon actuellement subduite sous la plaque Nord Américaine). A l'arrêt de la convergence, le flux géothermique "froid" au cours de la subduction s'est élevé, faisant ainsi remonter la limite ductile-fragile dans la croûte épaissie. La croûte devint ainsi moins résistante, plus ductile et donc plus apte à se déformer et prompte à l'étalement gravitaire. Avec le passage à un régime transformant (système faille de San Andreas - Golfe de basse Californie) un étalement gravitaire est intervenu associé à un amincissement crustal, résultat du jeu de failles listriques et de failles de détachements. La base de la croûte a été portée à des températures supérieures à la T° de fusion de la silice et des remontées de matériel chaud (dômes thermiques) ont été possibles (métamorphic core complex comparable à celui de la Montagne Noire).

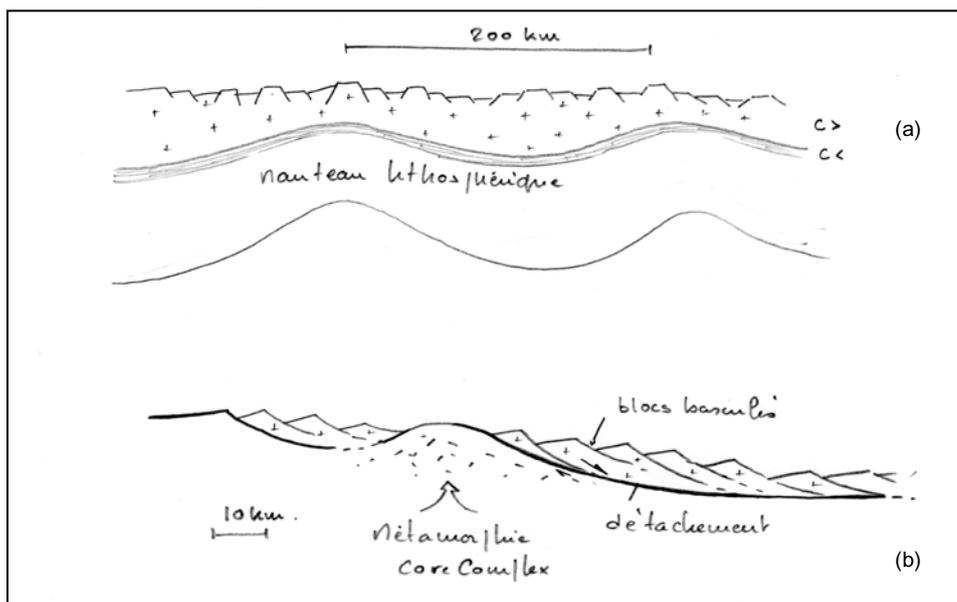


Figure 13. Structure des Basin & Range. (a) déformation grande longueur d'onde de la lithosphère responsable du premier ordre d'organisation des horsts et grabens. (b) Exemple de "metamorphic core complex" associé à une très forte extension.

C - EVOLUTION DES BASSINS

Après avoir vu les grands types de bassins, leurs morphologies et la nature des dépôts qui s'y accumulent, il s'agit ici - au delà des classifications qui tendent inconsciemment à imposer une vision statique des bassins - de montrer en quoi ce sont des entités dynamiques, en perpétuelle évolution au cours des temps géologiques. Pour ce faire, on peut donc envisager maintenant l'évolution spatio-temporelle du "contenant" (substratum des bassins) et celle du "contenu" (les dépôts sédimentaires).

Evolution dynamique des bassins sédimentaires

Evolution géodynamique du "contenant"... C'est la géodynamique interne qui détermine l'évolution de la morphologie et de la subsidence tectonique des bassins au cours du temps.

Un exemple de changement au cours du temps du type de bassin sédimentaire (rift -> marge passive -> océan ou marge passive -> bassin flexural).

Deux exemples d'évolution classiques sont présentés (fig. 14) et (fig. 15).

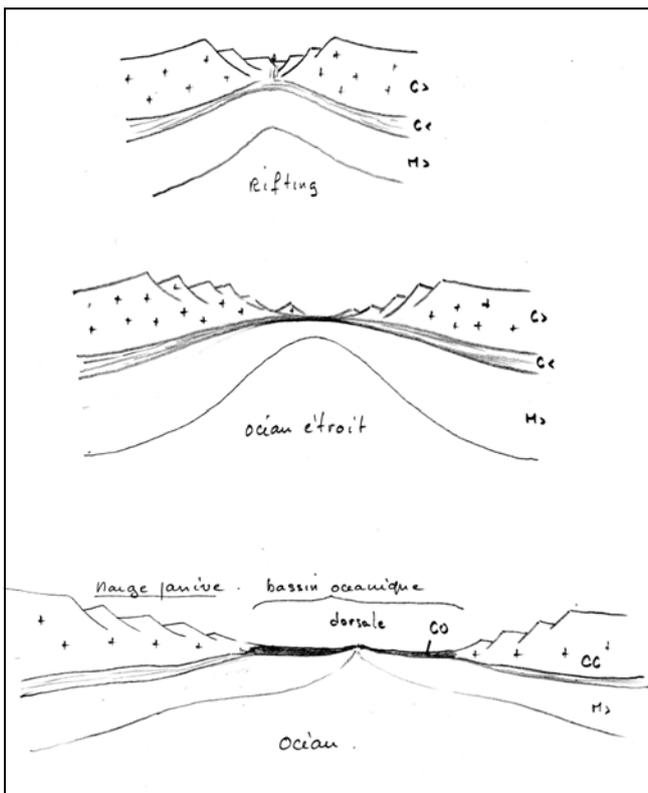


Figure 14. Evolution des bassins sédimentaires dans le cadre d'une ouverture océanique. Rift -> océan étroit et marges passives -> Océan.

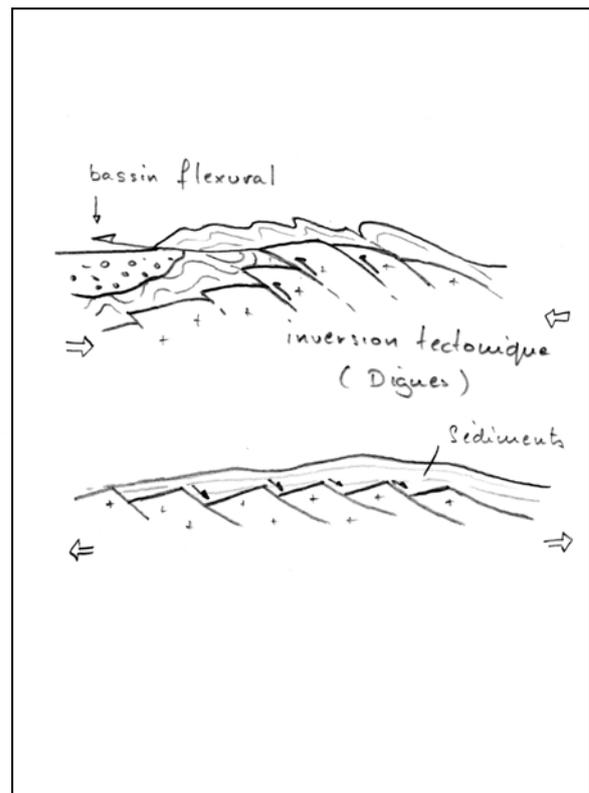


Figure 15. Evolution marge passive -> bassin flexural par inversion tectonique. Le rejeu inverse des failles limitant les blocs basculés permet le décollement de la couverture et son chevauchement vers l'avant pays. La surcharge occasionnée peut engendrer une flexuration et un bassin.

Les bassins sédimentaires et cycles orogéniques

Une des manières d'envisager l'évolution géodynamique des bassins sédimentaires à l'échelle globale est de les considérer dans le cadre des cycles de Wilson, ou si l'on préfère - les cycles de Wilson étant très controversés - dans le cadre d'une succession de périodes de convergence et de divergence de plaques lithosphériques sans indication de durée ni de cyclicité globale. Les grandes étapes d'un cycle de Wilson, ou plus généralement les grands contextes géodynamiques auxquels s'associe la formation de bassins sédimentaires sont les suivantes.

- ° Déchirure continentale -> bassins de rift, bassins en pull-apart
- ° Divergence / océanisation -> bassins océaniques et marges passives
- ° Convergence / subduction -> bassins d'arc
- ° Orogenèse / érosion des reliefs -> bassins flexuraux
- ° Relaxation thermique érosion des continents -> bassins cratoniques

Evolution du remplissage des bassins sédimentaires

Evolution du contenu... Dans les bassins, la nature des environnements sédimentaires, le volume et la géométrie des accumulations sont contrôlés à la fois par des facteurs internes et externes.

Facteurs de contrôle de la sédimentation dans les bassins

° Facteurs internes :

Les facteurs internes provoquent des cycles à long terme dans la sédimentation (1 à x 100Ma), par l'intermédiaire du niveau marin qui va varier et ainsi agir principalement sur la géométrie et le volume des dépôts sédimentaires accumulés dans les bassins.

- Les variations de vitesse d'expansion des dorsales (**fig. 16**) sont à l'origine de grandes transgressions/régressions. Les domaines épicrotoniques (continentaux) peuvent être envahis par les mers lors du passage d'un régime d'expansion lente à rapide par modification de la morphologie du fond du bassin océanique (bombement) - exemple des grandes transgressions mésozoïques dans les trois principaux bassins français.

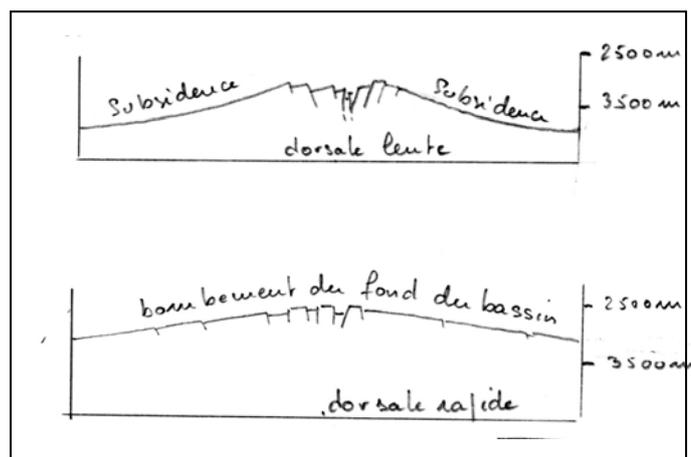


Figure 16. Morphologies et comportement du fond des océans suivant le type de dorsale, lente et rapide. Le changement de vitesse d'accrétion au cours des temps géologiques peut modifier la topographie du fond océanique.

- Les changements de répartition des champs de contraintes intra-plaques provoquent également des cycles dont les durées sont de l'ordre de 50 à 100Ma. Les plaques lithosphériques continentales sont hétérogènes (en composition et structuralement - failles). Leur champ de contrainte peut varier lorsque les conditions géodynamiques changent aux limites de plaques (ralentissement ou accélération d'une subduction, accrétion plus ou moins rapide, etc.) Ces changements cycliques peuvent réactiver ou modifier le jeu de failles de socles qui affectent la plaque et des changements locaux de la subsidence interviennent. Cela aboutit, à l'échelle de la plaque, à de multiples changements environnementaux et à une réorganisation des volumes sédimentaires accumulés dans les bassins.

° Facteurs externes :

- Les perturbations orbitales (cycles de Milankovitch) sont à l'origine de modifications du niveau des mers (directes - dilatation thermique ou indirecte - glacio-eustatisme) qui agissent sur la nature des dépôts accumulés dans les bassins marins (alternances calcaires - marnes, etc.). Ils sont à l'origine de cycles dans la sédimentation de courte durée (entre 20 Ka et x 100Ka).

Géométrie des dépôts et variations tectono-eustatiques (stratigraphie séquentielle)

Après avoir vu quelques uns des principaux facteurs susceptibles d'agir sur le remplissage des bassins, il s'agit d'examiner la manière dont les sédiments enregistrent le jeu de ces paramètres internes ou externes, via les fluctuations du niveau marin. On peut prendre l'exemple des dépôts en marge passive et caractériser leurs évolutions géométriques à mesure que le niveau des mers varie (**fig. 17**). On peut également prendre un exemple de sédimentation pélagique cyclique pour illustrer le rôle du climat et des perturbations orbitales de la terre sur la sédimentation dans les bassins océaniques.

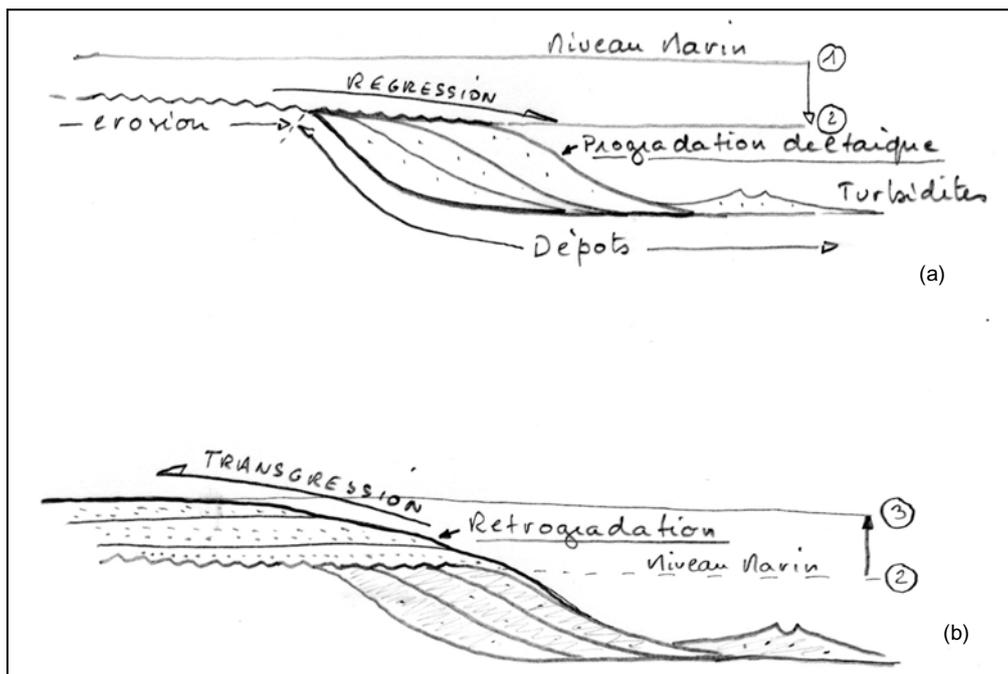


Figure 17. Evolution de la géométrie et de la répartition des sédiments accumulés sur une marge de bassin, lors de la chute (a) et de la montée (b) du niveau marin.

La diagenèse : l'histoire post-dépôt des bassins

Au cours du remplissage des bassins sédimentaires et même lorsqu'ils ont cessé de se combler, leur histoire se poursuit mais ne peut plus être enregistrée par la sédimentation. C'est à ce moment-là qu'intervient la diagenèse qui va continuer d'être le témoin de l'histoire post-dépôt des bassins.

Mécanismes de diagenèse

Les transformations diagénétiques se font sous l'effet de l'augmentation de pression et de température (< 250°) au fur et à mesure de l'enfouissement. Les fluides (ils représentent de 30 à 70 % du volume des sédiments) jouent alors un rôle capital dans l'enregistrement des phénomènes géodynamiques susceptibles d'affecter le bassin.

Des phénomènes diagénétiques (néoformations d'argiles issus du passage de fluides HT° et d'une hydrolyse intense des silicates) peuvent se corrélérer à de grands événements géodynamiques tels que des phases orogéniques, l'ouverture d'océans, ou encore des changements de vitesse de phénomènes géologiques pouvant entraîner des modifications locales du flux de chaleur (cas du bassin de Paris au Lias par exemple).

Phases diagénétiques et enfouissement

Au fur et à mesure de l'accumulation des dépôts dans un bassin, deux grandes étapes de la diagenèse peuvent se succéder au sein desquelles différents phénomènes physico-chimiques sont susceptibles d'enregistrer l'histoire de l'enfouissement des sédiments au cours du temps. La transition entre ces deux étapes est la compaction. **(fig. 18)**

° La diagenèse précoce est définie comme une étape de transformation physico-chimique du sédiment durant laquelle les fluides qui circulent sont encore en contact avec la surface.

° La diagenèse tardive regroupe les transformations intervenant en relation avec des fluides isolés des conditions de surface.

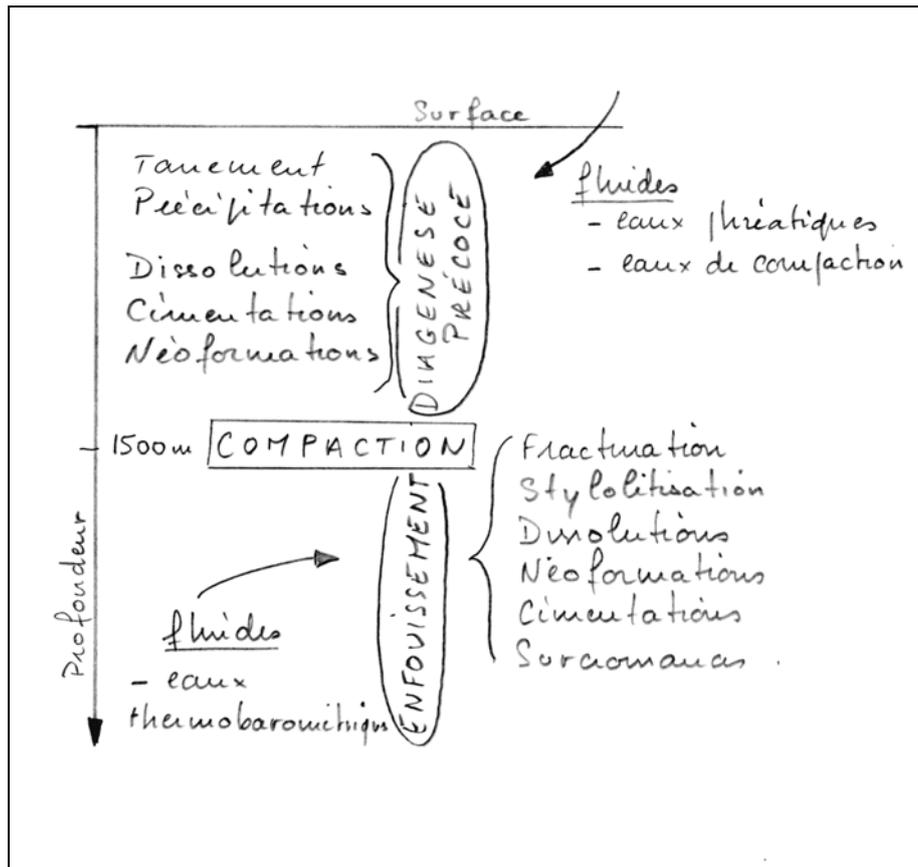


Figure 18. Diagenèse précoce et tardive (enfouissement). Principaux phénomènes physico-chimiques participant à ces deux étapes de la diagenèse en relation avec les circulations fluides.

L'évolution de la matière organique fossile

Dans certains bassins (marges passives, bassin cratoniques, rifts, etc.) les conditions sont réunies pour que la matière organique accumulée et préservée puisse subir une maturation thermique.

Deux grand types de roches carbonées peuvent être produites : les charbons et les kérogènes (à l'origine des hydrocarbures).

° Les charbons ont enregistré une bonne partie de l'histoire carbonifère dans des bassins localisés de type pull-apart (sillon Houiller français) ou dans des grabens (Massif central, Montagne Noire).

° Pour les kérogènes leur évolution en hydrocarbure nécessite :

- Une forte subsidence et un enfouissement à grande profondeur (plus de 1500 m),

- une durée d'enfouissement allant de 20 à 300 Ma pour des températures n'ayant pas excédées 300°

(fig. 19 et 20).

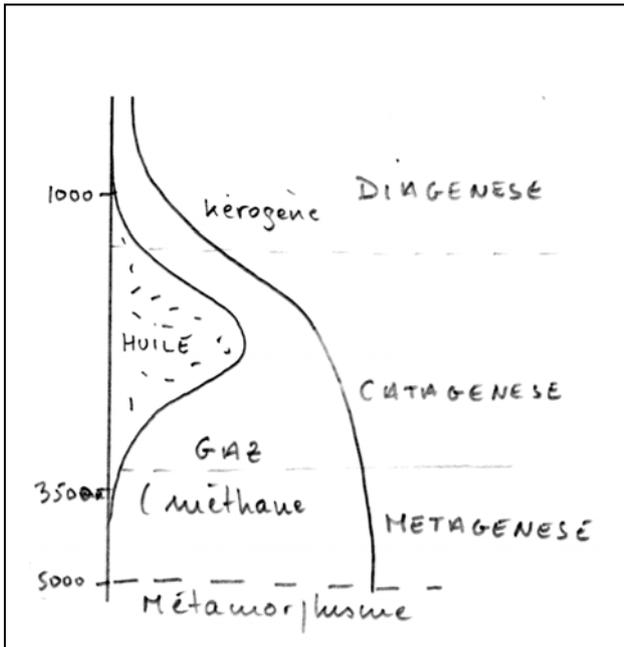


Figure 19. Les conditions de formation des huiles (hydrocarbures) en fonction de la profondeur et la fenêtre à huile (entre 1500 et 3500m).

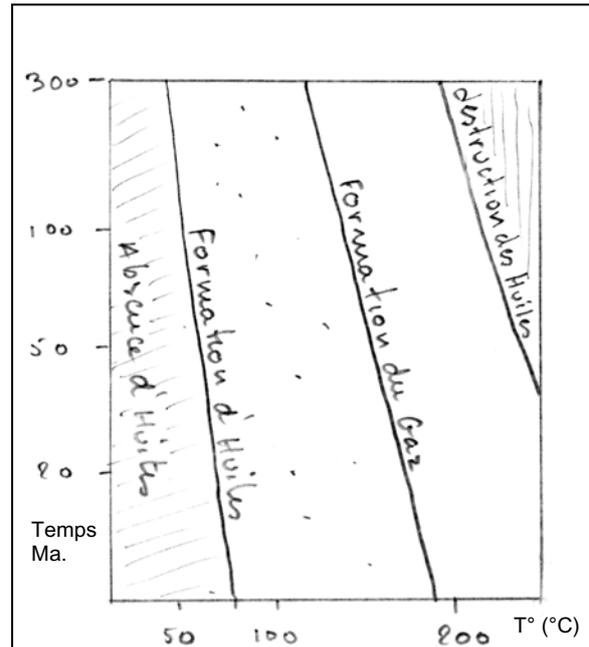


Figure 20. La formation d'huiles et de gaz dans les bassins en fonction du temps d'enfouissement et de la température.

La migration puis l'accumulation des hydrocarbures se fait ensuite au sein de réservoirs constitués de roches poreuses et perméables. Les bassins ayant un fort taux de sédimentation détritique (marges passives grasses, bassins flexuraux) où au sein desquels des plates-formes carbonatées étendues se sont développées avec des systèmes oolitiques ou récifaux, (marges passives, bassins cratoniques) constituent alors des lieux d'exploration privilégiés.

Bonus (concentrations minérales autres ...)

- Formation de gisements Pb-Zn (sulfures) dans les lagunes en milieu réducteur.
- Formation des placers d'origine sédimentaire. Exemple de l'or qui peut se concentrer par trié de densité au sein de formations fluviales ou deltaïques fossiles (exemple en Turquie, Anatolie, dans le Yukon, en Alaska, etc.).

Conclusion

Les bassins sédimentaires sont le lieu d'accumulation de tous les types de sédiments quelque soient leur provenance à la surface de la Terre. Depuis l'Archéen, ce sont les bassins océaniques puis cratoniques qui furent sans doutes parmi les premiers bassins sédimentaires à fonctionner sur une lithosphère bien différente de celle que l'on connaît, car vraisemblablement beaucoup plus chaude et déformable qu'aujourd'hui (manteau > plus ductile et à plus de 800°). Depuis plus de 3 milliards d'année les bassins sédimentaires enregistrent en surface l'évolution de la Terre. Ce sont les seuls "objets" à nous fournir une si grande diversité d'archives géologique (sédimentologiques, paléontologiques, géochimiques, paléo climatiques, pétrologiques, etc.), qu'elle nous permet de reconstituer une partie de l'Histoire de la planète Terre, sous ses aspects les plus variés, qu'il s'agisse de l'évolution de la lithosphère, de l'hydrosphère, ou celle de la biosphère.

Remarques générales concernant l'écrit du secteur C

Le sujet proposé en secteur C pour le concours 2007 portait sur la genèse et l'évolution des bassins sédimentaires. Des connaissances dans de nombreux champs thématiques des Sciences de la Terre et de l'univers (géodynamique, sédimentologie, ...) devaient pouvoir être remobilisés pour construire une copie complète et bien organisée. Seule une petite minorité de candidats a traité ce sujet de façon satisfaisante, en discutant à la fois de la genèse et de l'évolution des bassins et en détaillant à la fois le « contenu » (les sédiments) et le « contenant » (un relief négatif).

Le jury a noté avec surprise que certaines notions fondamentales pour traiter du sujet proposé (la subsidence !) n'avaient pas été du tout abordées par un nombre important de candidats. Quand ces notions sont abordées, c'est souvent de façon très partielle, voire simpliste. Les concepts de la stratigraphie séquentielle sont par exemple souvent décrits de façon très confuse. L'évolution des bassins a été traitée dans la très grande majorité des copies de façon très caricaturale. La notion de durée, de temps est quasi-absente de la plupart des copies.

Le jury regrette que la plupart des candidats ne partent pas d'exemples précis et détaillés pour présenter les données fondamentales, discuter les mécanismes explicatifs, et donc construire de façon argumentée leur raisonnement et globalement leur copie. Deux – trois exemples, bien traités et détaillés, permettant de démontrer à la fois les points communs et la diversité des bassins sédimentaires, sont évidemment mieux valorisables qu'un catalogue de situations théoriques. De nombreux candidats ont traité de façon très théorique du cycle sédimentation / altération / érosion, sans que ces notions ne soient intégrées au questionnement sur la genèse et l'évolution des bassins sédimentaires.

Le jury a apprécié l'effort de la majorité des candidats pour illustrer les copies. Mais de façon assez générale, ces schémas sont souvent de qualité assez médiocre et régulièrement dénués d'échelle. Le positionnement géographique des objets géologiques discutés dans les copies est souvent très approximatif voire vraiment erroné (le fossé rhénan dans le sud-est de la France...) : il faut rappeler que les études géologiques ne peuvent être replacées dans leur cadre sans des connaissances géographiques précises.

5. COMMENTAIRES DES ÉPREUVES PRATIQUES

5.1 Travaux pratiques d'option A : biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire; leur intégration au niveau des organismes.

5.2 Travaux pratiques d'option B : biologie et physiologie des organismes et biologie des populations, en rapport avec le milieu de vie.

5.3 Travaux pratiques d'option C : sciences de la Terre et de l'Univers, interactions entre la biosphère et la planète Terre.

5.4 Travaux pratiques de contre-option A (pour les candidats des secteurs B et C).

5.5 Travaux pratiques de contre-option B (pour les candidats des secteurs A et C).

5.6 Travaux pratiques de contre-option C (pour les candidats des secteurs A et B).

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2007

TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITÉ DU SECTEUR A

Durée totale : 6 heures

Ce livret contient 32 pages de texte et de figures.

Cette épreuve est subdivisée en 2 parties. Avant de commencer les manipulations, lisez le sujet en entier. Vous pouvez traiter indépendamment les 2 parties. Évaluez le temps que vous pensez consacrer à chaque partie de façon à organiser vos 6 heures de travail. Le barème de points attribués à chaque partie est donné à titre indicatif. Tenez compte de temps potentiels d'attente pour l'utilisation d'appareils présents en nombre limité.

Vous trouverez dans le document un certain nombre d'indications pratiques vous permettant de réaliser les expériences demandées. Cependant, ces indications laissent place à votre initiative personnelle : à vous par exemple de choisir les enzymes de restriction (partie I).

Pour toute utilisation d'appareils communs à la salle, appelez un surveillant qui, au besoin, pourra être amené à établir une liste d'attente et à limiter votre temps d'utilisation. À certaines étapes de vos manipulations, vous devrez faire évaluer vos résultats par un enseignant responsable. **Pensez-y !**

Partie I : Identification de quatre souches bactériennes 13 points

Partie II : Étude de quelques mutants d'*Arabidopsis thaliana* 7 points

Répondez directement sur les feuilles dans les cadres prévus à cet effet. Indiquez vos nom et numéro de salle et de place sur chaque feuille au fur et à mesure de votre rédaction. Même en cas de non réponse, rendez la totalité de vos feuilles.

Un stagiaire réalise des expérimentations dans un laboratoire de biotechnologie. Il dispose de plusieurs souches de bactéries qu'il doit analyser (partie I) et de mutants de plantes qu'il doit caractériser (partie II).

Malheureusement, il a mélangé les 4 tubes contenant 4 souches bactériennes différentes. De manière astucieuse il va tenter de résoudre ses problèmes. Vous allez effectuer les mêmes expériences et retrouver son raisonnement. Aucune connaissance préalable sur les bactéries ni les mutants de plantes n'est nécessaire. Tous les renseignements utiles pour ce sujet sont fournis (lisez les attentivement !).

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

ATTENTION À LA SECURITE : vous devez manipuler un solvant (éthanol) et des réactifs corrosifs et toxiques (acide chlorhydrique et ammoniac) et faire chauffer des solutions sur des plaques chauffantes. Il est strictement interdit de courir dans la salle ! Vous devez utiliser les moyens de précaution qui vous seront présentés ! Tout comportement dangereux ou non respectueux des consignes de sécurité entraînera un arrêt immédiat voire définitif de la manipulation en cours !!!

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Partie I : Identification des 4 cultures bactériennes (13 points)

Quatre cultures bactériennes sont fournies. Aucune indication sur leur nature n'est donnée. Quatre possibilités se présentent :

- une souche d'*Escherichia coli* GRAM négatif possédant un plasmide pCR2.1-TOPO de 3,9 kpb (kilo paire de bases) dont l'étudiant dispose d'une carte génétique simplifiée (voir document 4, page 17). Ce plasmide est utilisé pour le clonage de produits PCR. Cette souche ne possède pas d'insert dans la cassette de clonage (regardez précisément cette cassette de clonage sur le document 4),

- la même souche d'*E. coli* avec le plasmide pCR2.1-TOPO de 3,9 kpb mais avec un insert (produit PCR) de 1038 pb dans la cassette de clonage. L'étudiant ne connaît pas la séquence nucléotidique de cet insert mais juste sa taille,

- une souche de bactérie non caractérisée GRAM positive,

- une souche d'*Agrobacterium tumefaciens* possédant un plasmide Ti d'environ 15 kpb modifié par génie génétique mais dont l'étudiant ne possède pas la carte génétique. Ce plasmide contient la région de virulence qui permet le transfert de l'ADNt dans la cellule végétale et qui est constituée de plusieurs gènes appelés *virA*, *virB*, *virG*, (voir documents 1 à 3)... Ce plasmide présente une modification génétique, puisqu'un gène rapporteur *LacZ* (qui code la bêta-galactosidase, **enzyme qui n'existe pas chez cette bactérie normalement**) a été inséré en aval du promoteur du gène *virB*.

Trois expérimentations sont effectuées successivement par le stagiaire :

- 1) Un test d'activité enzymatique bêta-galactosidase **sur les 4 souches**,
- 2) Une coloration GRAM **sur les 4 souches**,
- 3) Une extraction d'ADN plasmidique. Une analyse en restriction suivie d'une séparation par électrophorèse sur gel d'agarose, une coloration au BET et une visualisation sous UV des fragments d'ADN. Le problème est que le stagiaire ne dispose que des réactifs nécessaires à la préparation d'ADN plasmidique **pour deux échantillons uniquement. Il faudra donc, à l'aide des résultats des 2 premières manipulations, faire un choix de 2 souches sur les 4.**

Suivez les consignes fournies pour réaliser ces expérimentations et répondez aux questions posées dans les encadrés correspondants.

Ces expérimentations **et** l'analyse des documents complémentaires doivent vous permettre de proposer une identification pour chaque échantillon fourni.

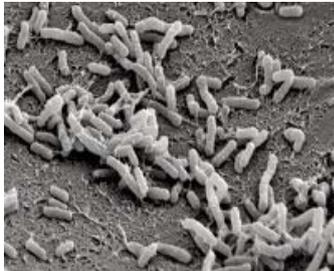
CONSEILS IMPORTANTS :

1) **GEREZ BIEN VOTRE TEMPS POUR LES MANIPULATIONS ET LES INTERPRETATIONS DE DOCUMENTS AFIN DE FINIR LE SUJET A TEMPS !!!! PAR EXEMPLE, DEMARREZ RAPIDEMENT PAR LES EXPERIMENTATIONS ET LORS DES TEMPS LIBRES. REPONDEZ AUX QUESTIONS DES PARTIES I ET II !**

2) **REPONDEZ DE MANIERE CONCISE AUX QUESTIONS. IL EST SOUVENT INUTILE DE DECRIRE OU PARAPHRASER LE DOCUMENT !**

1) Activité β -galactosidase

Agrobacterium tumefaciens (document 1) est une bactérie phytopathogène GRAM négatif responsable de la galle du collet (document 2 : tumeur sur une racine de peuplier). Cette bactérie est très utilisée en biotechnologie végétale pour la transformation génétique.



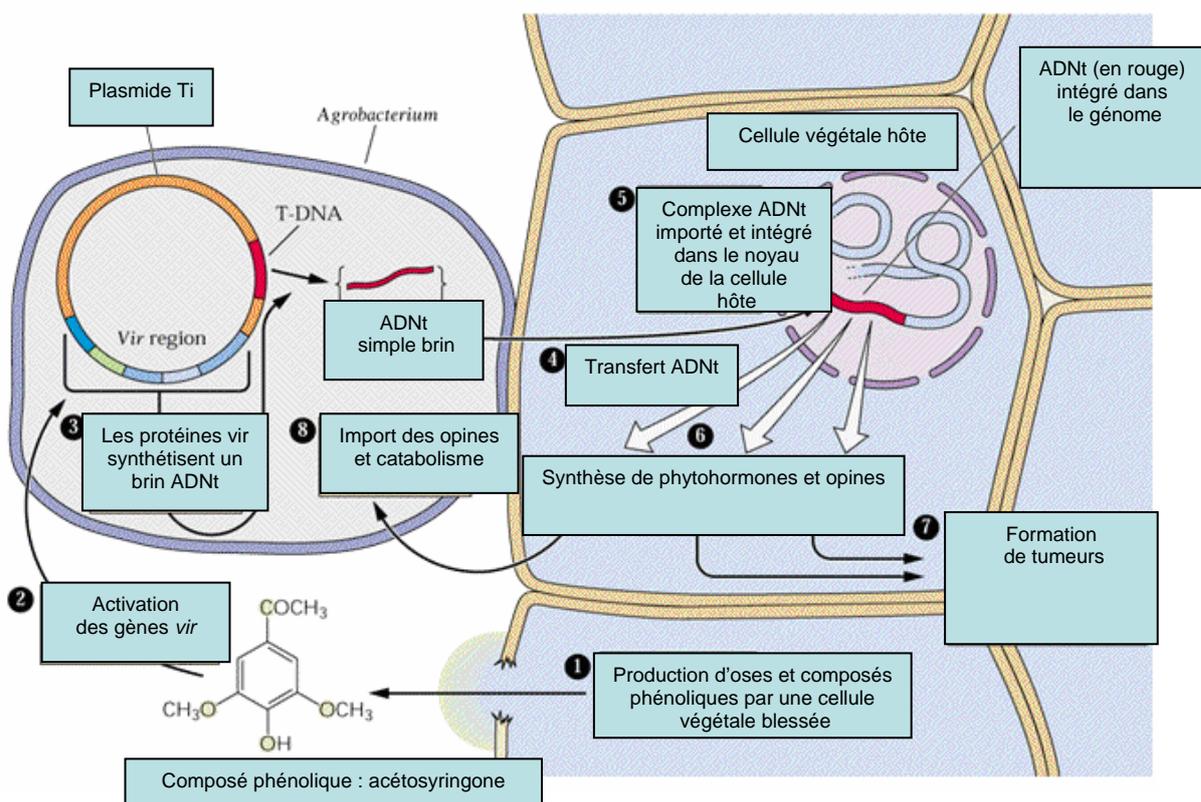
Doc. 1 : Photographie en MEB

d'*Agrobacterium tumefaciens*

(une bactérie = 1 μ m)

Doc. 2 : Photographie d'une tumeur

sur une racine de peuplier (x 1).



Doc. 3 : Schéma du cycle d'infection d'*Agrobacterium* sur une cellule végétale.

Une phase essentielle de ce cycle est l'activation de la virulence de la bactérie par des produits issus de la cellule végétale lésée. La nature, la concentration et les interactions entre ces produits seraient responsables de la spécificité d'hôte de la bactérie et de sa virulence. Une approche expérimentale pour analyser cette problématique vous est proposée.

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

1.1) Étude bibliographique

Le promoteur du gène *virB* a été fusionné au gène rapporteur *LacZ* codant la β -galactosidase. Une culture d'*Agrobacterium tumefaciens*, contenant cette construction sur son plasmide Ti, a été traitée avec différentes molécules (avec une concentration de 100 μ M pour les composés phénoliques et 10 mM pour les oses) pendant 24h à 28°C. Les bactéries ont ensuite été lysées, puis l'activité β -galactosidase a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre (le produit de la réaction absorbe à 410 nm). Un protocole plus détaillé est présenté dans la partie 1.2. Les résultats obtenus sont décrits dans le tableau ci-dessous.

Tableau I : Activité β -galactosidase dans une souche d'*Agrobacterium* modifiée et induite par diverses molécules pour sa virulence.

Molécules testées	Activité β -galactosidase (μ moles s ⁻¹ mg ⁻¹ de protéines)
Acétosyringone	109
Acétosyringone + arabinose	535
Acétosyringone + glucose	499
Acide syringique	9
Acide syringique + arabinose	96
Acide syringique + glucose	103

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Question 1 : Interprétez de manière concise les résultats du tableau I. Comment confirmer ce résultat sans utiliser une souche d'*Agrobacterium* modifiée avec la β -galactosidase ? Exposez clairement une démarche expérimentale possible.

- La première remarque concerne l'absence de témoin dans la manipulation. Le candidat pouvait alors en proposer un ou plusieurs (test sans substrat, ou sans bactérie). (Cette réflexion devait aider le candidat à anticiper la manipulation suivante).

- Tous les inducteurs sont associés à une activité β -Galactosidase supérieure à 0, allant de 9 à 535 $\mu\text{moles s}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de protéines. (Il s'agit donc d'une activité spécifique).

- L'association ose + composé phénolique donne de meilleurs résultats qu'un composé phénolique seul (même si cela est déjà inducteur) : c'est une synergie, mais nous ne disposons pas des valeurs avec un ose seul pour conclure. (Ce point a été démontré dans des publications relatives aux produits des gènes *virA* et *ChvE* ; cela n'était pas demandé aux candidats).

- L'acétosyringone est plus inductrice que l'acide syringique, mais pas de différence significative quand est rajouté du glucose ou de l'arabinose pour un composé phénolique donné.

- Pour confirmer ce résultat, on pourrait analyser directement le produit de l'expression des gènes *vir* inductibles comme *virB*.

- Pour cela, il serait possible, par exemple, de mesurer son expression au niveau ARNm par RTPCR ou northern blot...ou au niveau protéine par western blot (faire un schéma explicatif). D'autres solutions sont envisageables.

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

1.2) Étude expérimentale

Vous allez reproduire le même protocole sur les 4 souches de bactéries non identifiées. Les 4 souches ayant déjà été traitées ou non avec un inducteur de la virulence (voir les parties a et b ci-dessous), il vous faut maintenant effectuer le test d'activité enzymatique β -galactosidase (voir partie c) et conclure. Les souches non traitées servent de témoin.

Le port de la blouse, des lunettes et des gants pour toute la manipulation est obligatoire !

a) culture (déjà fait)

- A partir d'une préculture bactérienne, nous avons ensemencé au $1/10^{\text{ème}}$ une nouvelle culture.
- Nous avons mesuré l'absorbance à 660 nm sur un aliquote pour suivre la phase exponentielle de croissance jusqu'à obtenir une $DO_{660\text{ nm}} > 0,5$.

b) induction (déjà fait)

- À partir de composés phénoliques et d'oses, la virulence des bactéries a été induite.
- La culture a ensuite été cultivée pendant 24h à 28°C.

c) Mesure de l'activité β -galactosidase (**A FAIRE**)

- Centrifuger les cultures 1 minute à vitesse maximale.
- Retirer délicatement le surnageant avec un pipetman (dans la poubelle bactériologique).
- Ajouter la solution de lyse (750 μ L) sur le culot, aspirer et refouler avec un pipetman pour resuspendre le culot et incuber 10 min.
- Ajouter la solution substrat de la β -galactosidase (750 μ L). Incuber 10 min à 37°C.
- Ajouter 500 μ L de la solution d'arrêt (Na_2CO_3). Vortexer puis centrifuger 1 min à vitesse maximale. Prendre la phase supérieure pour l'analyse spectrophotométrique.
- Concevez un protocole de mesure spectrophotométrique de l'activité β -galactosidase (unité arbitraire relative = unité $DO_{410\text{nm}}$ / mL de milieu réactionnel / min d'incubation). Cette intensité peut-être mesurée par absorbance à 410 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Vous devez concevoir ce protocole de mesure d'absorbance en tenant compte des règles d'utilisation d'un spectrophotomètre et de façon à avoir des mesures les plus fiables possibles. Vous disposez d'une plaque de 96 puits. Vous transvaserez un aliquote de 200 μ L au maximum dans chaque puits. Notez le plan de votre plaque. Celle-ci sera lue par un surveillant qui vous remettra les résultats imprimés et en même temps les vérifiera.

Vous pourrez éventuellement effectuer une seconde lecture si vous le souhaitez (faites le savoir rapidement à un surveillant).

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Question 2 : Exposez brièvement votre protocole de mesure. Coller la feuille avec les valeurs du spectrophotomètre. Calculez les activités β -galactosidase en unité arbitraire (= unité DO_{410nm} / mL de milieu réactionnel / min d'incubation). Présentez vos résultats sous forme d'un graphique en incluant des valeurs statistiques. Interprétez les résultats. Commentez l'utilisation de cette activité pour l'identification des 4 souches bactériennes. Que pouvez-vous conclure ou émettre comme hypothèse sur les 4 souches ? Justifiez !

- Il faut faire un blanc sans bactérie et/ou un autre blanc sans substrat. Cette démarche est obligatoire. On attendait du candidat qu'il propose et réalise au moins 1 blanc !
- Pour calculer ensuite une moyenne et une erreur standard (ES) ou écart-type (ET), il faut faire soit des dilutions de chaque solution, soit des répétitions pour les 8 tests + le blanc...sur la plaque 96 puits.
- Activité = $(DO_{410nm} / 0,2) / 10$) = $DO/2$ (car 0,2 mL dans chaque puits et 10 min d'incubation).
- Histogramme pour les 4 souches induites ou non avec les moyennes calculées + ES ou ET.
- Interprétation : soustraire le niveau de base obtenu avec le blanc. Comparer témoin et induit pour chaque souche. Calculer la différence ou le facteur d'induction. Tenir compte des ES ou ET... et donc de ce qui est significatif. Seule une souche doit avoir une variation significative : une stimulation de l'activité enzymatique en présence d'inducteur vir ! C'est la souche d'*Agrobacterium*. Pour les 3 autres, on ne sait rien de plus. Le document 4, indique seulement que le plasmide des 2 *E. coli* possède le gène *LacZ*, mais celui-ci est interrompu par l'insert PCR s'il existe (ce qui distingue les 2 souches *E. coli*).
- Ce résultat devra être confirmé par les manipulations suivantes.

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

2) Coloration GRAM

L'observation des bactéries peut nous renseigner pour l'identification. L'observation directe nous donne peu de renseignements sur les bactéries : il faut les colorer. Réalisez la coloration GRAM sur les 4 souches non identifiées. Des photographies sont disponibles dans la salle pour visualiser un exemple de coloration réalisée avec le protocole ci-dessous (kit Sigma) sur une souche Gram+ et une souche Gram-.

Le port de la blouse, des lunettes et des gants pour toute la manipulation est obligatoire !

2.1) Mode opératoire, opérations préliminaires :

- Déposer sur une lame de verre une goutte (10 μ L) de suspension bactérienne à l'aide d'un pipetman. Plusieurs dépôts peuvent être effectués sur une même lame. Pensez alors à les annoter avec un marqueur et ceci sur la face inférieure de la lame ou de mettre un scotch par-dessus pour éviter que cela s'efface.
- Laisser sécher la lame quelques minutes à l'air libre.
- **En présence d'un examinateur**, fixer en chauffant la lame quelques secondes. **Soyez prudent pour cette étape et respectez les consignes de sécurité.** Laisser refroidir.

2.2) La coloration de Gram.

- Principe de la coloration de Gram : Les bactéries sont soumises à l'action du violet cristal en présence d'iode comme mordant, puis traitées par l'alcool. Elles sont enfin colorées à la safranine. Elles se différencient alors en deux groupes (voir les photographies disponibles dans la salle) :
 - celles qui se colorent en violet/bleu : bactéries GRAM+
 - celles qui se colorent en rose/rouge : bactéries GRAM -.

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

- Recouvrir la tache de bactéries fixées avec une goutte de la solution de violet cristal ; laisser agir 1 minute.
- Egoutter, **laver TRES délicatement avec une pissette d'eau distillée. Si la coloration part entièrement, c'est que le dépôt de bactérie a été enlevé. Il faut recommencer.**
- Recouvrir avec une goutte de la solution d'iode ; laisser agir 1 minute.
- Laver **délicatement** avec quelques gouttes d'eau distillée et égoutter.
- Décolorer en recouvrant avec une goutte de la solution de décoloration. **Laisser jusqu'à ce que cette solution s'écoule incolore, mais sans trop insister, sous peine de décolorer également les bactéries GRAM positives. Ce point est important. En cas de décoloration trop importante, recommencez si vous avez le temps !**
- Laver **délicatement** avec quelques gouttes d'eau distillée et égoutter.
- Recouvrir avec une goutte de la solution de safranine ; laisser agir 1 minute.
- Laver **délicatement** avec quelques gouttes d'eau distillée et égoutter.
- Observer vos lames à l'œil puis au microscope.

Remplissez la 2^{ème} colonne du tableau II (ci-dessous) et faites vérifier vos 4 colorations par un examinateur. Celui-ci remplira les 2 autres colonnes.

Tableau II :

	Candidat : Donnez le résultat. Coloration bleu/violet : GRAM+ Coloration rose/rouge : GRAM-	Examineur : Qualité de la coloration/préparation	Examineur : Signature
Souche 1			
Souche 2			
Souche 3			
Souche 4			

Nom :

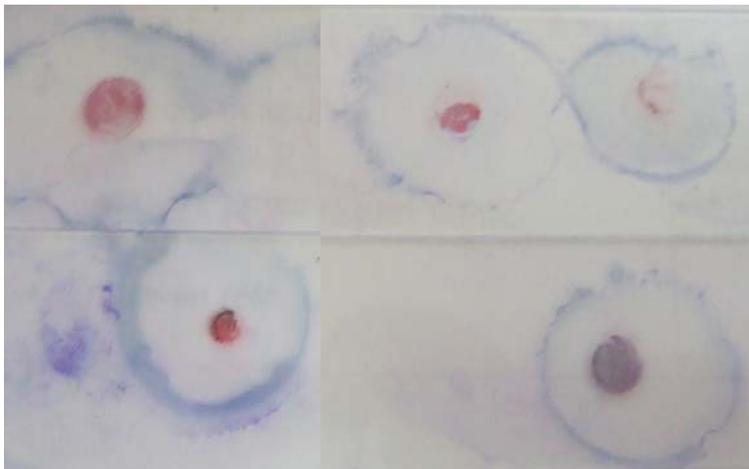
Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Question 3 : Discutez brièvement vos résultats. Commentez l'utilisation de cette coloration pour l'identification des 4 souches bactériennes. Que pouvez-vous conclure ou émettre comme hypothèse sur les 4 souches ? Justifiez ! Quelles sont les 2 souches que vous utiliserez pour l'extraction de l'ADN plasmidique (au vu des 2 premières manipulations) ? Justifiez ! (Rappel : vous ne disposez des réactifs nécessaires à cette analyse que pour 2 échantillons sur les 4).

- Des photographies de bactéries Gram- ou + étant disponibles, il fallait interpréter les colorations par comparaison : les bactéries roses sont Gram- et les violettes sont Gram+.
- Plusieurs dépôts pouvaient être faits sur chaque lame. Cependant, la meilleure démarche consistait à déposer les 4 souches sur une même lame afin de comparer dans des conditions strictement identiques la coloration/décoloration/coloration.
- Si les bactéries ne sont pas restées fixées sur la lame, cela est visible dès la première étape. Il fallait recommencer comme cela est dit dans l'énoncé.
- Une seule souche sur les 4 est Gram+ (voir énoncé). Donc, si la décoloration a été trop forte, toutes les bactéries sont roses, si elle a été trop faible, plusieurs souches risquent d'être violettes. Il fallait recommencer (cela prend moins de 10 min). Seule la souche Gram+ doit garder sa coloration violette. Cette souche ne devait pas avoir d'induction de l'activité β -galactosidase, alors que celle qui en présentait une doit être identifiée comme Gram- (Agrobactérie).
- Il était également possible de repérer au microscope les 2 *E. coli*. En effet, ces 2 souches doivent avoir des formes et tailles semblables. Donc les 2 souches parmi les 4 qui se ressemblaient, étaient les *E. coli*.
- Il faudrait donc étudier plus en détail les 2 autres souches qui n'ont pas d'induction de l'activité β -galactosidase, qui sont Gram- et qui se ressemblent ; c'est-à-dire les 2 *E. coli*



Exemple des 4 colorations Gram réalisées par un candidat. 3 souches sont roses et donc Gram- et une souche est violette, c'est-à-dire Gram+.

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

3) Etude de l'ADN plasmidique

3.1) Extraction de l'ADN plasmidique

Cette manipulation est réalisée en 4 phases : 1) Lyse des bactéries, 2) Fixation de l'ADN plasmidique sur une colonne, 3) Lavage pour éliminer les impuretés et 4) Elution de l'ADN plasmidique purifié. Les solutions A1, A2, A3, A4 et AE sont fournies prêtes à l'emploi dans le kit d'extraction d'ADN plasmidique.

Le port de la blouse, des lunettes et des gants pour toute la manipulation est obligatoire !

- Centrifuger les tubes contenant les cultures bactériennes pendant 1 min à vitesse maximale.
- Retirer le surnageant délicatement avec un pipetman (dans la poubelle bactériologique).
- Ajouter 250 µL de la solution A1 sur le culot et le resuspendre avec un pipetman en aspirant-refoulant.
- Ajouter 250 µL de la solution A2 et mélanger en inversant doucement le tube 6 fois. **(Phase de lyse des bactéries)**
- Incuber 5 minutes à température ambiante.
- Ajouter 300 µL de la solution A3 et mélanger en inversant doucement le tube 6 fois.
- Centrifuger 5 min à vitesse maximale et à température ambiante.
- Transvaser le surnageant obtenu sur une colonne à l'aide d'un pipetman. La colonne est elle-même insérée sur un tube eppendorf de 2 mL. **(Phase de fixation).**
- Centrifuger 1 min à vitesse maximale.
- Jeter dans la poubelle bactériologique ce qui est passé au travers de la colonne dans le tube. Remettre le tube en place.
- Ajouter 600 µL de solution A4 sur la colonne. **(Phase de lavage).**
- Centrifuger 1 min à vitesse maximale.
- Jeter dans la poubelle bactériologique ce qui est passé au travers de la colonne dans le tube qui est sous la colonne. Remettre le tube en place.
- Centrifuger 1 min à vitesse maximale.
- Jeter le tube eppendorf de 2 mL et placer la colonne au-dessus d'un tube eppendorf neuf de 1,5 mL.
- Ajouter 40 µL de solution AE sur la colonne en l'appliquant bien au centre au niveau du filtre. **(Phase d'élution).**
- Incuber 1 min à température ambiante.
- Centrifuger 1 min à vitesse maximale.
- Jeter la colonne et récupérer le tube eppendorf de 1,5 mL qui contient l'ADN plasmidique.

Nom :

Prénom :

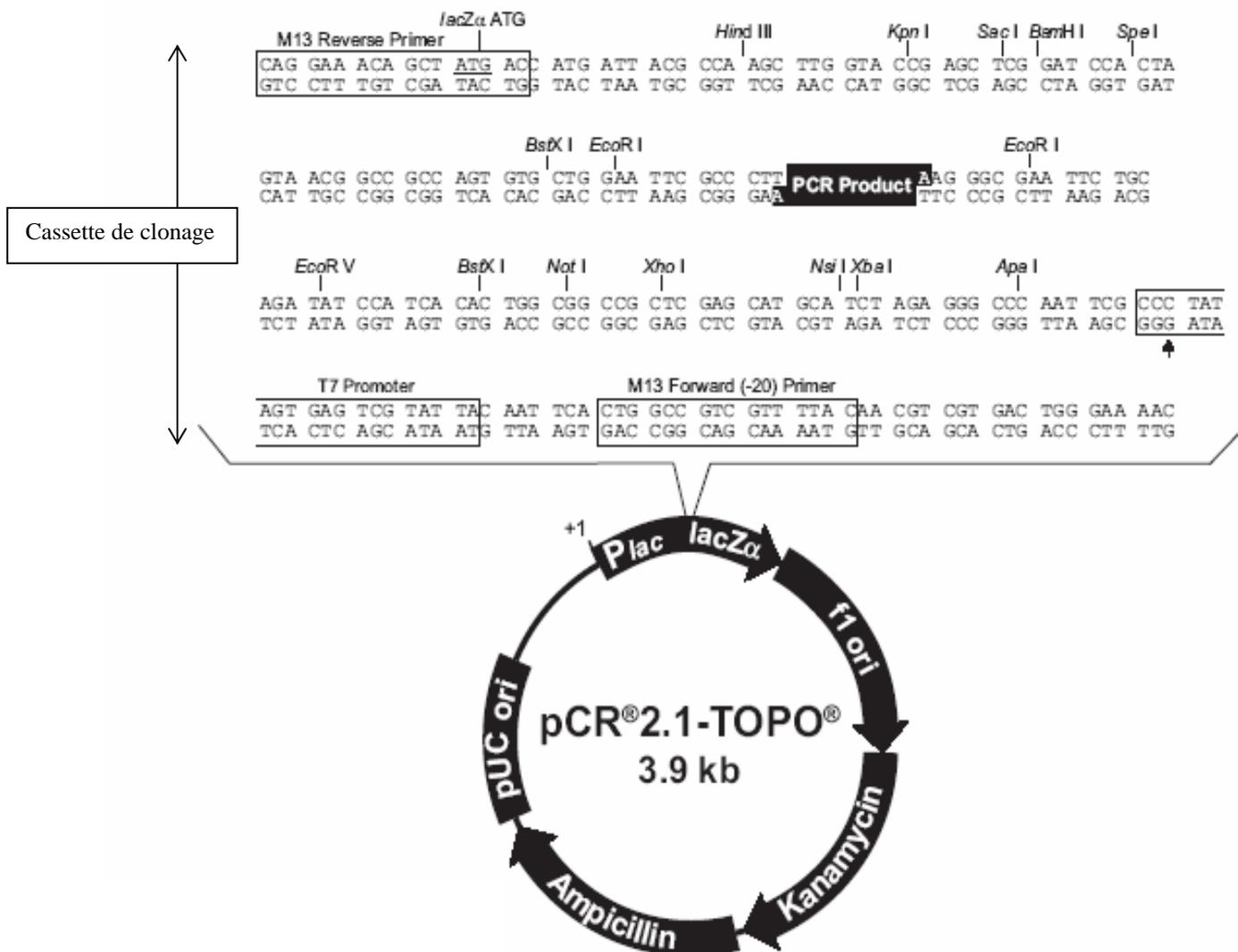
n° de salle :

n° de place :

3.2) Digestion de l'ADN plasmidique

Le port de la blouse, des lunettes et des gants pour toute la manipulation est obligatoire !

A l'aide du document 4 **et** sachant que vous ne disposerez que des enzymes *EcoR* I, *EcoR* V et *Hind* III, choisissez le ou les enzyme(s) que vous voulez utiliser. Vous ne disposez que d'un choix de digestion par ADN plasmidique (**soit 2 digestions au total pour ce TP**).



Doc. 4 : Carte génétique simplifiée du plasmide pCR2.1-TOPO.

Renseignements utiles : les sites de restriction indiqués dans la cassette de clonage n'existent pas ailleurs sur le plasmide en dehors de cette cassette. La partie noire indiquée "PCR product" au centre de la cassette de clonage correspond au site d'insertion de produit d'amplification par PCR en vue de leur sous-clonage dans ce vecteur. "M13 reverse primer" et "M13 forward primer" sont les positions d'amorces PCR.

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Question 4 : Quel(s) enzyme(s) de restriction décidez-vous d'utiliser ? Justifiez en exposant brièvement les résultats attendus.

Je décide d'utiliser le(s) enzyme(s) : *EcoR* I.....

Faire signer un examinateur qui vous apportera alors le(s) enzyme(s) demandé(s) et le(s) tampon(s) correspondant(s).

Justification : Seul *EcoR* I coupe de part et d'autre de l'insert, ce qui permettra de l'exciser du vecteur. Cela permettra la détermination de sa présence et de sa taille. Les 2 autres enzymes ne coupant que d'un côté de l'insert, il restera lié au vecteur. Etant donné que sa taille est très petite face à celle du vecteur, l'interprétation risque d'être plus approximative, mais elle reste possible.

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Pour chaque ADN plasmidique, la digestion enzymatique est réalisée comme suit :

- Dans un tube eppendorf neuf de 1,5 mL, introduire 10 μ L de la solution d'ADN plasmidique à analyser.
- Ajouter 6 μ L d'eau stérile.
- Ajouter 2 μ L de la solution tampon de l'enzyme de restriction choisi.
- Ajouter 2 μ L de l'enzyme de restriction choisi.
- Centrifuger quelques secondes.
- Incuber 1h à la température optimale de l'enzyme choisi.

3.3) Séparation par électrophorèse des fragments de restriction et révélation

Le port de la blouse, des lunettes et des gants pour toute la manipulation est obligatoire !

L'électrophorèse en gel d'agarose permet de séparer les molécules d'ADN selon leurs tailles. Le gel d'agarose est fourni prêt à l'emploi.

- À la fin de la réaction de digestion, ajoutez 5 μ L de tampon de charge dans chaque tube et mélanger en aspirant et refoulant 2 fois avec un pipetman.
- Chargez 15 μ L de chaque digestion dans une poche du gel. (Voir consignes en TP)
- Remplir le tableau III (page suivante) et le dégraffer du sujet pour le rendre à un examinateur.

- **Un des puits contient déjà 5 μ L de marqueur de taille moléculaire.**
- **La séparation est effectuée à 100 volts pendant 45 min environ.**
- **Le gel sera coloré au BET puis visualisé sous UV par un examinateur. Le résultat vous sera rendu par un examinateur.**

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Tableau III :

Numéro de la souche	ADN extrait Oui ou Non	Enzyme(s) utilisé(s)	Fragments et taille <u>(à remplir par l'examineur)</u>
Souche 1			
Souche 2			
Souche 3			
Souche 4			

- Remplissez les 2 colonnes du tableau ci-dessus correspondant à vos choix de souches pour l'extraction d'ADN plasmidique **ET** le(s) enzymes de restriction.

- Déposez vos 2 échantillons pour l'électrophorèse dans les puits :

n° du gel n° respectivement !

- Donnez alors cette feuille à un examinateur.

- Un examinateur vous rendra cette feuille avec la dernière colonne complétée d'après la visualisation sous UV du gel avec vos échantillons. **Aucune photographie des gels ne sera rendue pour des raisons de sécurité ! (Manipulation du BET sous UV)**

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Question 5 : Interprétez vos résultats. Commentez l'utilisation de cette analyse en restriction pour l'identification des 4 souches bactériennes. Identifiez les 4 souches ! Justifiez précisément votre conclusion à chaque fois !

Avec *EcoRI* :

- Les 2 souches d'*E. coli* ont une bande à 3,9 kpb qui est caractéristique du vecteur Topo. L'une des deux a une bande supplémentaire à 1 kpb, qui est l'insert.
- *Agrobacterium* donne de nombreuses bandes dont une bande d'environ 15 kpb (plasmide pTi).
- La souche Gram+ ne donnait aucune bande.

Avec *HindIII* ou *EcoRV* :

- Les 2 souches d'*E. coli* ont une bande à 3,9 kpb et 4,9 kpb qui est caractéristique du vecteur Topo seul ou avec l'insert respectivement.
 - *Agrobacterium* donne de nombreuses bandes dont une bande d'environ 15 kpb (plasmide pTi).
 - La souche Gram+ ne donnait aucune bande.
- On peut facilement distinguer les 4 souches et confirmer les résultats précédents. **Le candidat pouvait même finir l'identification des 4 souches en l'absence de résultat clair pour l'activité enzymatique ou la coloration Gram.**
- Cette analyse est efficace, reproductible mais un peu longue.



n° 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Exemple d'analyses en restriction de plasmides réalisées par des candidats. (n°1, 5 et 8 : plasmide pTi d'*Agrobacterium* à environ 15 kpb ; n°2, 3, 6 et 9 : *E. coli* avec plasmide Topo pCR 3,9 kpb + insert 1 kpb digéré par *EcoRI* ; n°4 et 7 : rien, c'est la Gram+ ; n°10 : *E. coli* avec plasmide Topo pCR 3,9 kpb sans insert digéré par *EcoRI*).

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Question 6 : Proposez une autre approche expérimentale pour identifier rapidement les 4 souches ? Expliquez en détail et donnez les résultats et l'interprétation possible. Quels avantages ou inconvénients a cette nouvelle approche ?

- Une analyse par PCR avec des amorces sur le plasmide pTi (sur ADN-t par exemple) ou le vecteur Topo pCR (M13R et M13V sont 2 amorces visibles sur le doc. 4), permettrait d'amplifier un fragment de 150 pb ou 1188 pb. Cela permettrait d'identifier ces 3 souches, la dernière étant alors la souche Gram+.

- Il faut au préalable extraire l'ADN plasmidique (pas obligatoire, car on peut faire PCR sur colonie bactérienne), faire la PCR et l'électrophorèse. On évite l'activité galactosidase, la coloration Gram et la digestion enzymatique.

- Mais pour la souche Gram+, l'absence de bandes PCR serait-elle caractéristique ? Il faudrait un témoin positif pour être sûr que ce n'est pas une erreur technique lors de la PCR.

- On pourrait également séquencer ces fragments amplifiés...

- D'autres idées sont envisageables...

- Avantages : Une seule manipulation, des répétitions aisées, on peut faire de nombreux échantillons en même temps. Grande spécificité des amorces. Séquençage possible. Rapide...

- Inconvénients : Le coût des réactifs et la disponibilité d'appareil PCR...

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Partie II (7 points)

Objectifs : Sur la base de l'observation phénotypique de différents mutants de l'arabette (*Arabidopsis thaliana*) affectés dans leur développement et à partir de données moléculaires et histologiques concernant ces mutants, décrire les résultats, interpréter, identifier l'origine de la mutation et conclure sur l'importance du caractère concerné par la mutation pour la plante et éventuellement les mécanismes physiologiques mis en jeu.

Conseils : Les réponses seront rédigées uniquement dans les encadrés prévus à cet effet. Les observations seront réalisées uniquement à partir des planches photographiques fournies.

Développement de la racine chez *Arabidopsis thaliana*

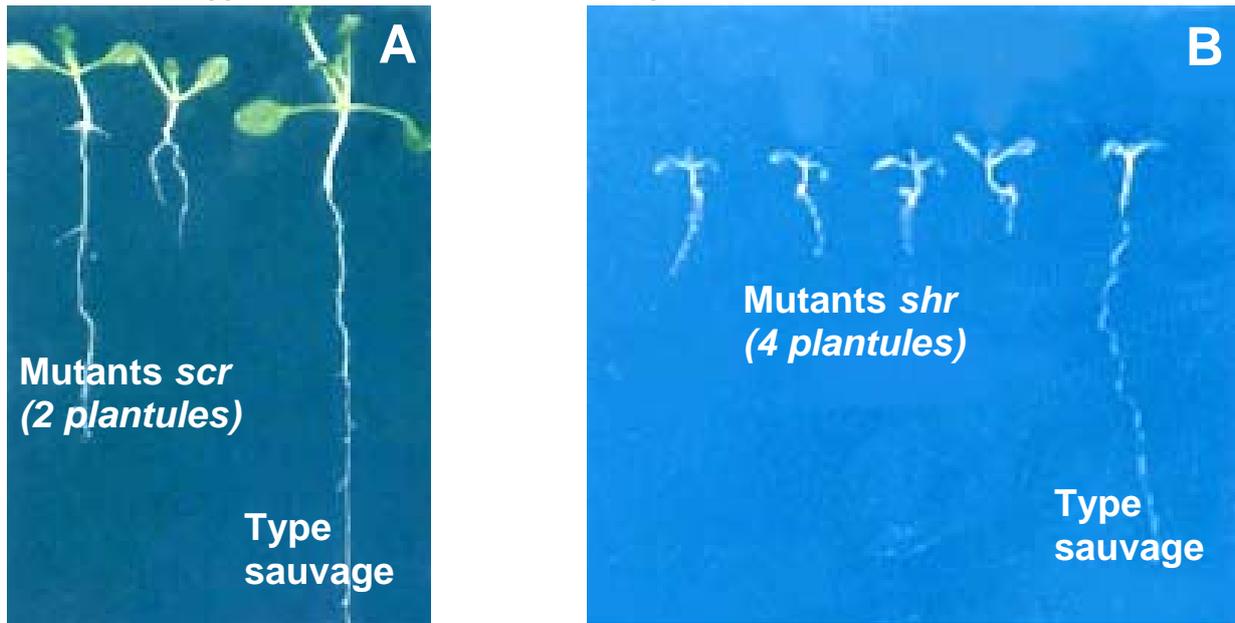


Figure 1 : Plantules d'*Arabidopsis thaliana* de type sauvage ou mutées. A, mutants *scr* (« scarecrow ») ; B, mutant *shr* (« shortroot ») (x 1).

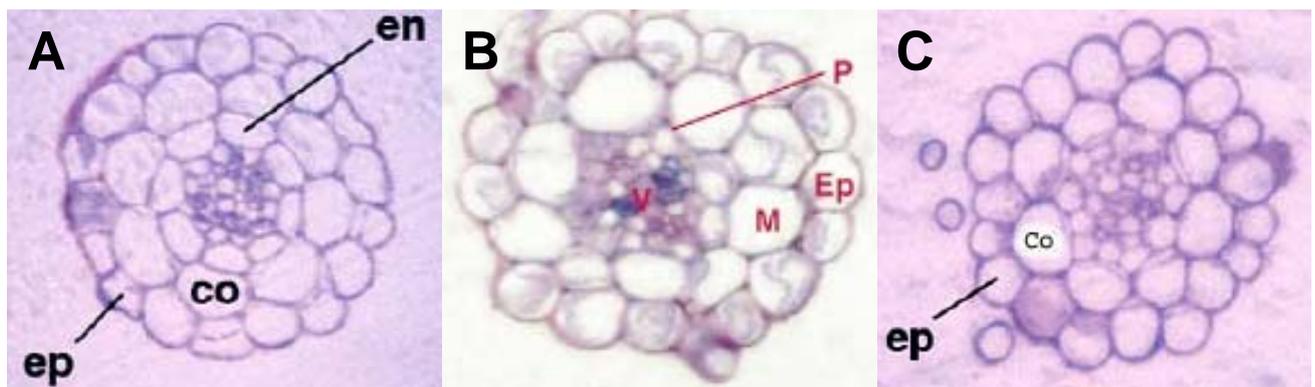


Figure 2 : Coupes transversales de racines d'*Arabidopsis thaliana* observées en microscopie photonique (x 100). A, type sauvage ; B, mutant *scr* ; C, mutant *shr*. Cortex (co), couche cellulaire mutante (M), épiderme (Ep ou ep), endoderme (en), péricycle (P), tissus vasculaires (V).

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

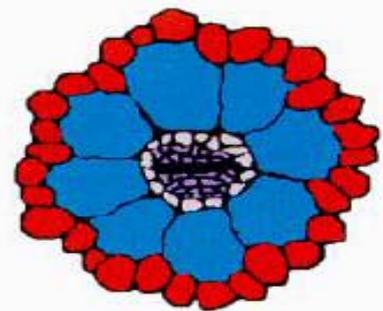
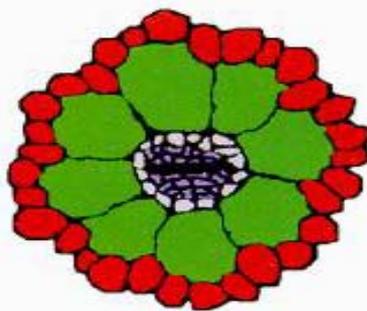
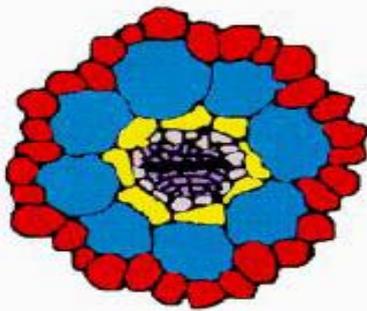
Question 1 : Décrire les mutants par comparaison au type sauvage tant au niveau morphologique qu'au niveau histologique. Réaliser 3 schémas clairs, permettant de caractériser les racines mutantes et sauvages, basés sur les 3 coupes transversales proposées précédemment (figure 2).

Q1a : Description des mutants (figures 1 et 2)

Les mutants « scarecrow » (*scr*) et « shortroot » (*shr*) d'*Arabidopsis thaliana* présentent un développement racinaire réduit par rapport au type sauvage (figure 1) une dizaine de jours après germination. La longueur de la racine primaire des 2 mutants est en effet nettement plus courte chez les mutants, sans que le développement des racines latérales soit affecté (figure 1A). Les mutants *shr* semblent plus fortement affectés dans le développement de leur racine que les mutants *scr*. Cependant, ces mutations ne semblent pas, à ce stade, altérer le développement de la partie aérienne. Le nombre et la taille des feuilles des mutants sont équivalents aux plants témoins.

Grâce aux coupes transversales semi-fines de racines primaires présentées dans la figure 2, des différences histologiques importantes sont à noter entre le type sauvage et les mutants. En effet, on note chez les mutants l'absence de la couche cellulaire subériorifiée appelée « endoderme » séparant la zone corticale de la stèle d'une racine. Par contre, les tissus formant l'épiderme, le cortex, le péricycle, le protophloème et le protoxylème sont bien visibles sur les 3 coupes, à l'exception des cellules corticales morphologiquement modifiées (couche cellulaire mutante restant indifférenciée, figure 2B) chez le mutant *scr*.

Q1b : Réaliser trois schémas légendés



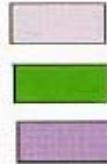
Type sauvage

Mutant *scr*

Mutant *shr*



Épiderme
Cortex
Endoderme



Péricycle
Couche cellulaire mutante
Tissus vasculaire

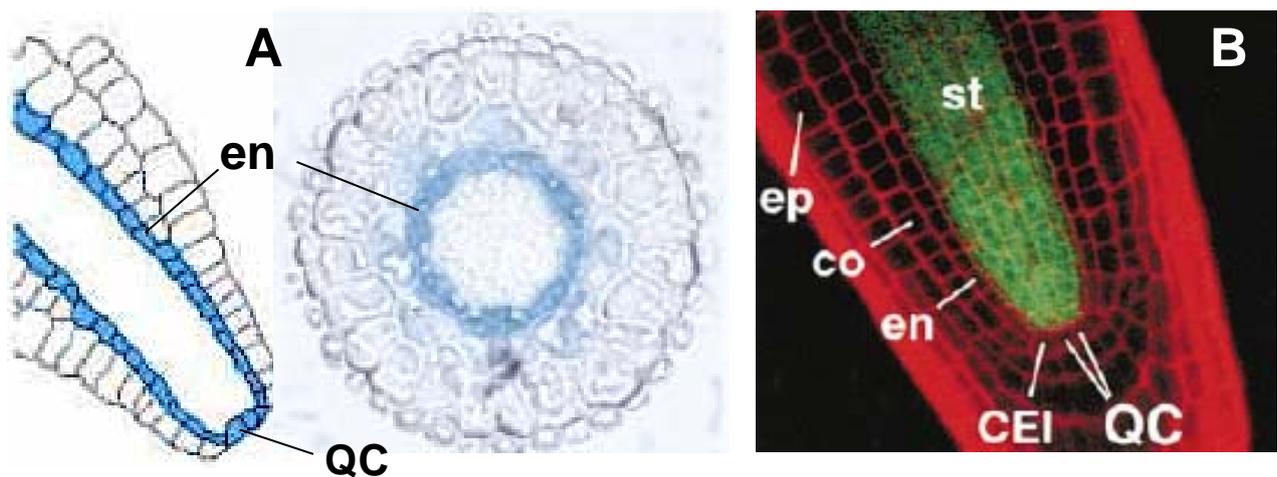


Figure 3 : Observations histologiques (coupes transversales et longitudinales) de racines d'*Arabidopsis thaliana* (type sauvage) transformées par *Agrobacterium* i) soit avec la construction pSCR::GUS (A, promoteur du gène SCR fusionné au gène rapporteur GUS, couleur bleue ; grossissement x130), ii) soit avec la construction pSHR::GFP (B, promoteur du gène SHR fusionné au gène marqueur GFP, couleur verte fluorescente ; grossissement identique à celui de la figure 4). Initiales des cellules endodermiques (CEI), centre quiescent (QC), stèle (st).

Question 2 : Expliquer les techniques mises en œuvre et leur but (figure 3). Décrire les résultats obtenus (figure 3). Que pouvez-vous conclure à ce stade de l'étude ?

Q2a : Décrire les techniques utilisées dans la figure 3. But de cette expérimentation.

Ces travaux visent à localiser *in situ* l'expression de 2 gènes spécifiques de la racine qui sont responsables de la différenciation de certaines files cellulaires au niveau du méristème. Pour cela différentes techniques de biologie moléculaire et d'histologie ont été développées selon 3 grandes étapes :

- Construction des vecteurs : À partir des régions promotrices obtenues par RACE-PCR en 5' des gènes correspondants, des constructions chimériques sont réalisées avec les gènes rapporteurs du type GUS (gène codant la beta-glucuronidase) ou GFP (gène codant une protéine fluorescente verte). Ces gènes chimériques sont construits *in vitro* dans un plasmide grâce à des enzymes de restriction, des ligatures et des clonages dans *E. Coli*. Chaque vecteur plasmidique cloné sera ensuite intégré dans des agrobactéries désarmées.

- Transformation génétique par *Agrobacterium* : Par co-culture entre les agrobactéries, contenant les différents vecteurs, et les plants d'*Arabidopsis thaliana* à un stade précoce de leur floraison (stade tétrade de microspores, avant fécondation), des graines génétiquement modifiées ayant intégré dans leur génome les gènes chimériques ont été obtenues. Après criblage des plantules transformées (par expression des gènes rapporteurs ou à l'aide de gènes de résistance), ces gènes s'expriment dans les tissus où les promoteurs correspondants sont régulés positivement par des facteurs de transcription synthétisés par le tissu et adressés au noyau. L'expression de ces gènes se traduit au niveau des tissus soit par l'accumulation de la protéine enzymatique beta-glucuronidase soit par l'accumulation de la protéine GFP.

- Observations histologiques : Par l'utilisation de techniques histologiques classiques pour d'une part obtenir des coupes longitudinales ou transversales semi-fines de racine et d'autre part observer en microscopie photonique ou confocale les structures cellulaires et les colorations. Ces colorations résultent soit de l'activité GUS transformant un substrat en un produit bleu intense en lumière visible soit de l'émission par la GFP d'une fluorescence verte obtenue après excitation à une longueur d'onde spécifique (laser).

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Q2b : Décrire les résultats obtenus (figure 3) et en tirer quelques conclusions préliminaires

Le gène *SCR* s'exprime spécifiquement dans l'endoderme, ce qui est visible aussi bien dans la coupe longitudinale que dans la coupe transversale de la figure 3A. En observant attentivement la coupe longitudinale, il apparaît clairement que les cellules du centre quiescent et celles des initiales endoderme/cortex de la pointe de la racine chez *Arabidopsis thaliana* sont également colorées en bleu.

Le gène *SHR* s'exprime uniquement dans les tissus formant la stèle de la racine (figure 3B). En effet, cette zone tissulaire interne de la racine, délimitée par l'endoderme, apparaît en vert fluorescent sur la coupe longitudinale. Cette coloration verte n'est observée ni dans l'endoderme, ni dans les cellules corticales, ni même dans les initiales endoderme/cortex et les cellules du centre quiescent.

Ces premiers résultats indiquent que l'expression de ces 2 gènes est très nettement zonée dans une jeune racine en cours de développement. Alors que le gène *SCR* s'exprime dans le centre quiescent et l'endoderme, le gène *SHR* s'exprime essentiellement dans l'ensemble des tissus vasculaires en cours de différenciation. On ne note pas de cellules ou de tissus capables d'exprimer simultanément ces 2 gènes. Vu les similitudes entre les phénotypes correspondant aux 2 mutants, on peut s'interroger sur le rôle de chacun de ces gènes et s'ils sont inter-dépendants sur le plan fonctionnel.

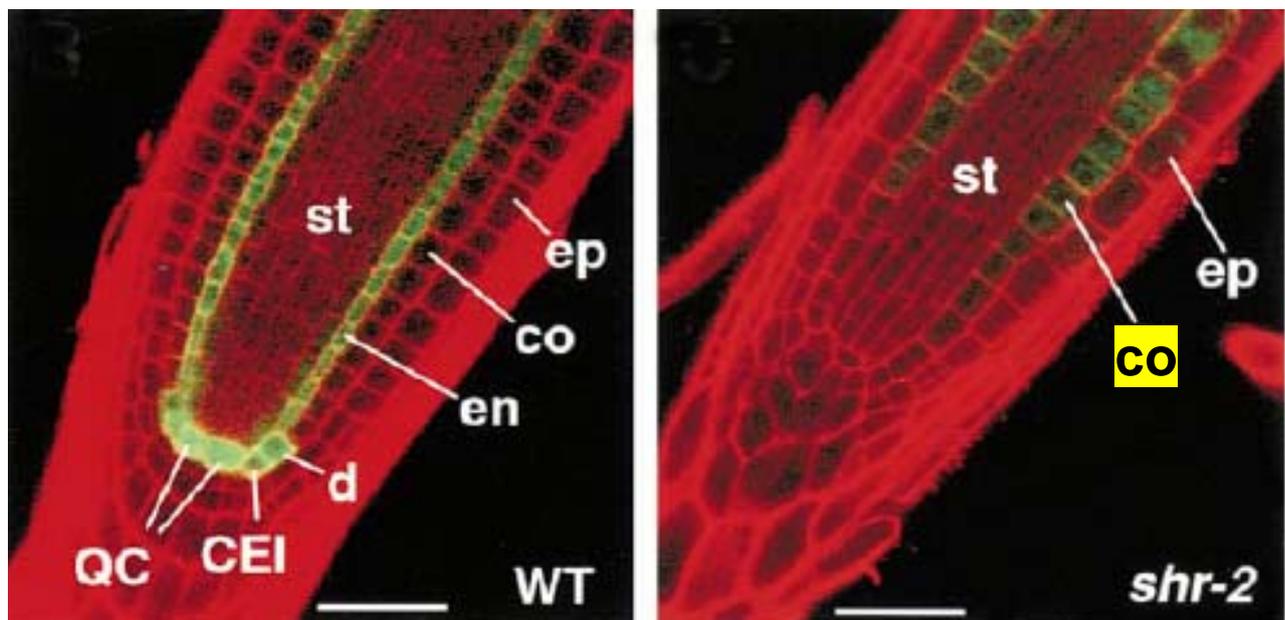


Figure 4 : Observations histologiques (coupes longitudinales) de racines d'*Arabidopsis thaliana* (type sauvage, WT ou du mutant *shr-2*) transformées par *Agrobacterium* avec la construction pSCR::GFP (promoteur du gène *SCR* fusionné au gène marqueur *GFP*). Division (d).
Échelle : Barre = 1mm.

Nom :

Prénom :

n° de salle :

n° de place :

Question 3 : Expliquer l'importance de cette expérimentation et des résultats obtenus présentés dans les figures 4 et 5. Qu'en conclure ?

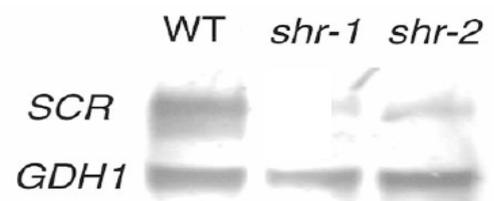
Q3a : Importance de ces travaux

Les résultats présentés dans la figure 4 permettent de savoir s'il existe ou non un lien fonctionnel entre les gènes *SCR* et *SHR* et ceci grâce à l'utilisation d'un mutant *shr* n'exprimant pas le gène *SHR* dans la stèle (tissus vasculaires) de la racine.

Grâce à la transformation génétique de plants d'*Arabidopsis thaliana* de type sauvage ou mutant *shr-2* par *Agrobacterium* possédant le gène chimérique p*SCR*::*GFP* dans son plasmide, il s'avère possible d'étudier l'expression du gène *SCR* dans la racine en microscopie confocale et de savoir s'il se trouve sous le contrôle direct ou indirect de la protéine *SHR*.

Cette stratégie originale permet donc d'aborder la fonction du gène *SHR* et n'a pu être mise en place que grâce à la connaissance des séquences codantes (non communiquées ici) du gène lui-même.

Figure 5 : Analyse des transcrits du gène *SCR* chez *Arabidopsis thaliana* (racine) de type sauvage (WT) ou muté (*shr-1* et *shr-2*).
Témoin : Expression constitutive du gène *GDH1*



Q3b : Décrire les résultats obtenus (figures 4 et 5)

Les résultats sont sans équivoque. Alors que le gène *SCR* est fortement exprimé dans l'endoderme et le centre quiescent de la racine du plant « sauvage » transformé, confirmant ainsi les résultats présentés dans la figure 3A, ce gène est très fortement réprimé chez le mutant *shr-2* transformé (figure 4). En effet, la couleur verte indiquant la présence de la GFP placée sous le contrôle du promoteur *SCR* est non détectable dans la pointe de la racine (centre quiescent et tissus voisins) du mutant *shr-2*.

Par une analyse électrophorétique des transcrits (ARNm) du gène *SCR* présentée dans la figure 5, les deux lignées mutantes *shr-1* et *shr-2* présentent une quantité de transcrits très faible, voire non détectable par comparaison au témoin (plants de type sauvage, WT). Ces résultats confirment les données histologiques précédentes (figure 4). Le gène *SCR* des plants mutés est fortement réprimé alors que le niveau des transcrits chez le sauvage est élevé. L'analyse des transcrits *GDH1* (marqueur constitutif) a permis de vérifier que les 3 échantillons sont comparables en terme de quantité d'ARN.

Q3c : Conclure sur ces résultats.

On peut donc en conclure que, comme le gène *SHR* n'est exprimé que dans la stèle, ce gène contrôle l'expression du gène *SCR* au niveau du centre quiescent, des initiales et de l'endoderme. Il est donc hautement probable qu'un tel gène code une protéine trans-régulatrice qui serait responsable de l'expression du gène *SCR*. La protéine *SHR* pourrait donc être un facteur de transcription qui régulerait positivement le gène *SCR*.

Mais quels seraient les mécanismes mis en jeu sachant que ces 2 gènes sont exprimés dans des tissus différents de la racine ? Comment la protéine *SHR* agirait-elle ? Serait-elle synthétisée dans les tissus vasculaires pour ensuite être transportée vers le centre quiescent ou encore dans l'endoderme ? Déclencherait-elle des signaux dans les cellules de la stèle qui seraient transmis aux cellules voisines et qui induiraient à leur tour une réponse (expression du gène *SCR*) dans le centre quiescent ou l'endoderme ? Pourrait-on envisager une migration des ARNm de la stèle vers les tissus périphériques dans les lesquels ils seraient traduits ? La protéine *SHR* serait alors synthétisée dans les cellules cibles pour être ensuite adressée au noyau où elle agirait comme un régulateur transcriptionnel.

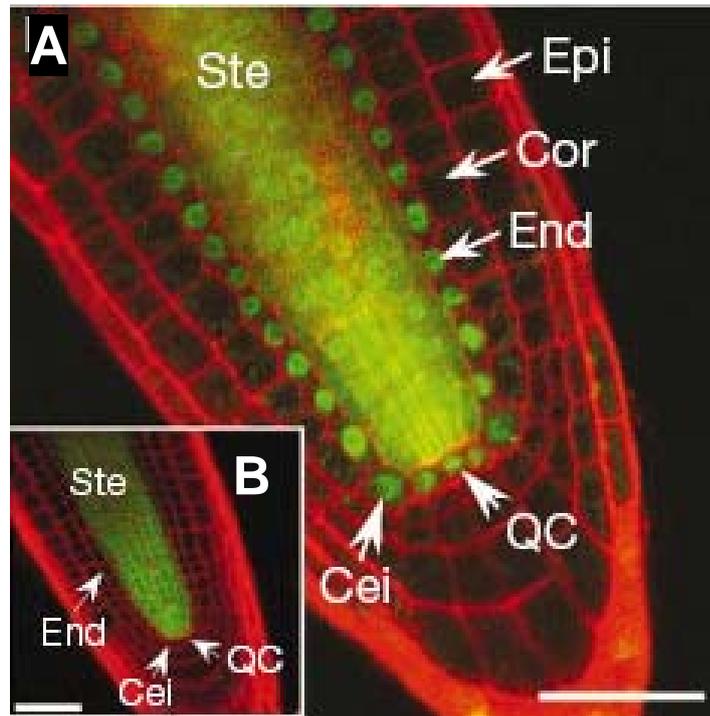


Figure 6 : A, Localisation de la protéine SHR fusionnée à la protéine GFP (SHR/GFP) dans une racine d'*Arabidopsis thaliana* de type sauvage transformée par *Agrobacterium* avec la construction pSHR::SHR/GFP (promoteur du gène *SHR* fusionné avec le gène codant la protéine fusion SHR/GFP, couleur verte fluorescente). B, expression du gène *SHR* au sein d'une racine d'*Arabidopsis thaliana* de type sauvage transformé par *Agrobacterium* avec la construction pSHR::GFP (promoteur du gène *SHR* fusionné avec le gène codant la protéine GFP, couleur verte fluorescente). Cortex (Cor), endoderme (End), épiderme (Epi), stèle (Ste). Echelle : Barre = 1mm.

Question 4 : À partir de ces nouveaux éléments que vous devez décrire brièvement, dégager les mécanismes cellulaires et moléculaires mis en jeu au cours du développement de cette racine. Proposer un bilan sous la forme d'un schéma de régulation simple, en tenant compte des différents types cellulaires mis en jeu et impliquant les protéines codées par les 2 gènes étudiés dans le cadre de la différenciation cellulaire. Préciser la famille à laquelle ces protéines appartiennent ainsi que leurs principales fonctions.

Q4a : Brève description des résultats obtenus (figure 6)

Très logiquement les auteurs de ces travaux ont envisagé une étude de localisation de la protéine SHR codée par le gène *SHR* exprimé dans la stèle de la racine. Plutôt que de s'engager dans une approche d'immunolocalisation de cette protéine, il a été préféré d'utiliser l'expression *in vivo* de la protéine fusion SHR/GFP comme stratégie. À partir de plants d'*Arabidopsis thaliana* (type sauvage) transformés par *Agrobacterium* avec la construction pSHR::SHR/GFP dans son plasmide, il a été montré dans la racine primaire que le gène chimère *SHR/GFP*, sous contrôle du promoteur *pSHR* régulé dans les tissus vasculaires (figure 6B), est fonctionnel. La protéine fusion fluorescente est très nettement visible non seulement dans la zone vasculaire de la racine (localisation attendue) mais aussi dans le centre quiescent, les initiales endoderme/cortex et l'endoderme (figure 6A).

Nom :

Prénom :

n° de salle :

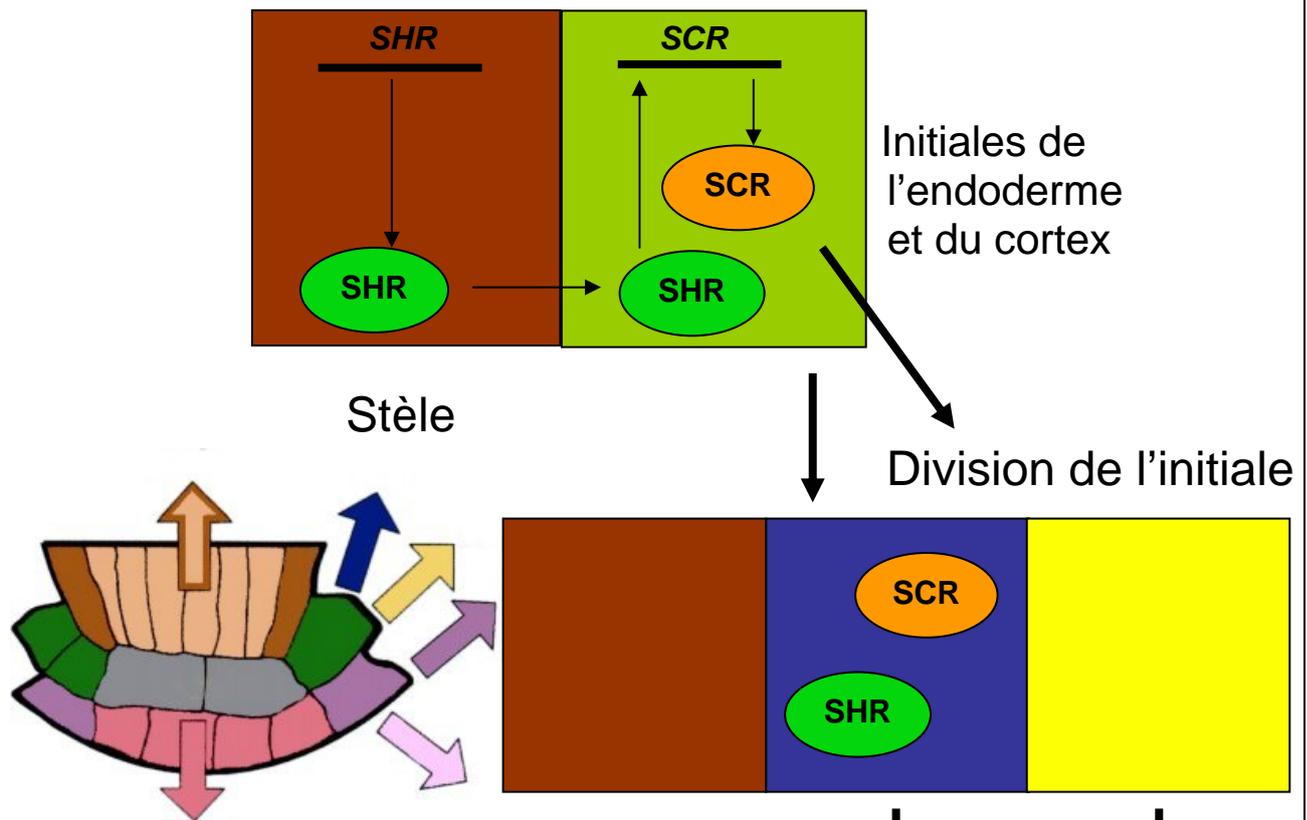
n° de place :

Q4b : Mécanismes mis en jeu, famille de protéines impliquées et leur fonction

L'ensemble de ces résultats (phénotypage et structure anatomique des mutants, localisation de l'expression des gènes, localisation des protéines trans-régulatrices, ...) suggère tout d'abord que ces 2 gènes sont responsables de la différenciation cellulaire qui a lieu au cœur même du méristème de la racine. Ils régulent de manière coordonnée la division et la différenciation des initiales en cellules endodermiques et corticales.

Concernant les mécanismes mis à jour par ces travaux, la différenciation des initiales en endoderme dépendrait donc d'un facteur de transcription supra-régulateur (SHR) qui serait synthétisé dans la zone vasculaire en cours de différenciation au contact du centre quiescent. Il serait cytosolique et migrerait *via* les plasmodesmes (intervention de protéines ou de complexes protéiques facilitant les mouvements intercellulaires de la protéine SHR) dans les cellules du centre quiescent, les initiales endoderme/cortex ainsi que dans les cellules endodermiques en cours de différenciation. Cette protéine cytosolique va alors être adressée au noyau, transportée via une protéine nucléaire de type importine et jouer le rôle d'un facteur de transcription qui va directement (fixation sur une séquence cis-régulatrice du promoteur du gène *SCR*) ou indirectement (interaction avec d'autres facteurs de transcription, implication de processus de phosphorylation, ...) activer l'expression du gène codant la protéine *SCR* dans les cellules à l'origine de l'endoderme. Par conséquent la protéine *SCR*, qui est codée par un gène, lui-même régulé par la protéine *SHR*, serait aussi un facteur de transcription responsable à la fois de la différenciation de l'endoderme et des divisions des initiales à l'origine des cellules endodermiques et corticales. Ces 2 facteurs de transcription sont connus pour appartenir à la famille GRAS.

Q4c : Schéma récapitulatif



Représentation schématique d'un méristème de racine primaire chez *Arabidopsis thaliana*. Gris, centre quiescent ; Marron, stèle ou zone vasculaire ; vert, initiales ; Bleu, endoderme jaune, cortex ; violet sombre, Épiderme ; violet clair, coiffe ; rose, columelle.

Remarques générales concernant les TP de spécialité du secteur A

Le TP du secteur A concernait la microbiologie et la biotechnologie dans le domaine végétal. Il comportait deux parties indépendantes. La première partie s'intéressait à des souches de bactéries modifiées ou non par génie génétique. Aucune connaissance spécifique préalable sur le sujet n'était nécessaire. Il était indiqué aux candidats que 4 cultures bactériennes étaient fournies sans indication sur leur nature respective. Quatre possibilités se présentaient :

- une souche d'*Escherichia coli* GRAM négatif possédant un plasmide pCR2.1-TOPO de 3,9 kpb (kilo paire de bases) dont l'étudiant dispose d'une carte génétique simplifiée (voir document 4, page 17). Ce plasmide est utilisé pour le clonage de produits PCR. Cette souche ne possède pas d'insert dans la cassette de clonage (décrite dans le document 4),

- la même souche d'*E. coli* avec le plasmide pCR2.1-TOPO de 3,9 kpb mais avec un insert (produit PCR) de 1038 pb dans la cassette de clonage. L'étudiant ne connaît pas la séquence nucléotidique de cet insert mais juste sa taille,

- une souche de bactérie non caractérisée GRAM positive,

- une souche d'*Agrobacterium tumefaciens* possédant un plasmide Ti d'environ 15 kpb modifié par génie génétique mais dont l'étudiant ne possède pas la carte génétique. Ce plasmide contient la région de virulence qui permet le transfert de l'ADNt dans la cellule végétale et qui est constituée de plusieurs gènes appelés *virA*, *virB*, *virG*, (voir documents 1 à 3)... Ce plasmide présente une modification génétique, puisqu'un gène rapporteur *LacZ* (qui code la bêta-galactosidase, **enzyme qui n'existe pas chez cette bactérie normalement**) a été inséré en aval du promoteur du gène *virB*. Page 5, il était indiqué qu'*Agrobacterium* est Gram⁻.

Trois expérimentations étaient alors logiquement proposées :

- 1) Un test d'activité enzymatique bêta-galactosidase **sur les 4 souches**,
- 2) Une coloration GRAM **sur les 4 souches**,
- 3) Une extraction d'ADN plasmidique. Une analyse en restriction suivie d'une séparation par électrophorèse sur gel d'agarose, une coloration au BET et une visualisation sous UV des fragments d'ADN. Le problème est que le stagiaire ne dispose que des réactifs nécessaires à la préparation d'ADN plasmidique **pour deux échantillons uniquement. Il fallait donc, à l'aide des résultats des 2 premières manipulations, faire un choix de deux souches sur les quatre.**

Les candidats disposaient pour chacune des souches d'aliquotes prêtes à l'emploi pour les 3 manipulations ainsi que tous les réactifs nécessaires. La deuxième partie du TP concernait l'étude phénotypique et moléculaire de mutants d'*Arabidopsis* pour la morphogénèse racinaire. Des questions guidaient l'interprétation par étapes.

Le TP s'est bien déroulé, mais nous avons encore remarqué cette année que certains candidats ne savaient pas se servir des micropipettes. Une telle lacune est évidemment un handicap très fort dans les TP du secteur A. Presque tous les candidats ont réalisé les 3 manipulations et en particulier la minipréparation d'ADN plasmidique, la digestion, et l'électrophorèse (62 candidats sur 68). Environ une cinquantaine de candidats avaient fait un choix de deux souches à analyser qui permettait de conclure. La qualité des colorations Gram était très variable d'un candidat à l'autre. Des colorations très correctes ont en général été obtenues. Pour les autres, il était pourtant facile et rapide de recommencer. Certains candidats n'ont pas su gérer correctement la phase de décoloration. Cependant, l'erreur la plus fréquente a été de ne pas savoir mettre en contact de manière homogène les bactéries avec les réactifs. Il s'ensuit des colorations partielles. Une telle erreur a bien sûr provoqué des erreurs d'interprétation chez quelques candidats. Certains ont néanmoins pensé à observer la morphologie des bactéries pour distinguer les deux *E. coli*. Le test d'activité bêta-galactosidase semble le plus difficile à mettre en œuvre pour les candidats, en raison du non respect du protocole, de mauvais pipetages et d'un manque de réflexion sur le résultat attendu. Certains candidats ont néanmoins parfaitement réussi ce test. Les comptes-rendus du TP sont globalement bien présentés et assez complets. Les notes s'étalent de 3,5 à 16,5/20. La moyenne est de 9,47/20. 31 copies sur 68 ont obtenues une note supérieure à 10/20 !

Malgré ces résultats satisfaisants, le jury souhaite transmettre quelques remarques afin d'aider les futurs candidats. Tout d'abord, l'interprétation des documents fournis ne doit pas correspondre à une paraphrase de la légende. Beaucoup de candidats ne pensent pas à justifier leurs conclusions. Cela était pourtant demandé de manière systématique ! Les candidats ont également des difficultés à relier plusieurs documents ou données expérimentales entre-elles pour en faire une interprétation globale. Enfin, l'analyse de données numériques (répétitions, moyennes, écart-types...) n'est pas du tout maîtrisée par une majorité de candidats. Tous ces points correspondent pourtant à des qualités nécessaires chez un futur enseignant scientifique !

Contexte et objectif de l'exercice de biotechnologie

Il s'agit d'un exercice reposant sur un processus physiologique lié à la différenciation cellulaire de la racine chez les végétaux qui devait être traité approximativement en 2 heures. Plus précisément, sur la base de photographies de plantes, de coupes histologiques, de techniques de pointe pour détecter les gènes et leurs produits, les candidats étaient amenés à :

- Décrire des phénotypes d'*Arabidopsis thaliana* mutants ou non.
- Expliquer les techniques mises en œuvre (construction de vecteurs, identification des régions promotrices par RACE-PCR, transformation génétique, utilisation de gènes rapporteurs).
- Décrire les résultats (histolocalisation et analyse des transcrits) présentés dans les différentes figures tout en proposant des interprétations pas à pas.
- Découvrir la fonction des 2 facteurs de transcription (SCR et SHR) responsables de la différenciation des initiales en endoderme et cortex
- Réaliser deux schémas « bilan » : un sur la description des structures histologiques des phénotypes et un autre sur les processus de régulation mettant en jeu les 2 facteurs de transcription étudiés.

Le temps imparti pour réaliser cet exercice était suffisant. Les candidats ont logiquement traité ce sujet pendant les deux dernières heures du temps imparti, une fois les manipulations de la première partie terminée. Le nombre de planches photographiques (6) proposées et de questions (10) posées semble approprié à un tel exercice aussi bien pour découvrir un processus physiologique que pour traiter le sujet de manière satisfaisante. Au final, peu de candidats n'ont pas ou peu traité les questions de cette deuxième partie (5% environ). Une forte proportion est arrivée au terme de l'exercice (60%). Cependant, les questions ont été traitées de façon très inégale selon les candidats et selon le type de questions. La description des phénotypes (approches morphologique et histologique) a été bien réussie en général. Par contre les aspects techniques ont été très mal décrits voire de manière très incomplète dans l'ensemble. Beaucoup se sont contentés des techniques d'histolocalisation alors que la question suggérait d'inclure toutes les étapes (de la construction des vecteurs jusqu'aux observations histologiques en passant par les techniques de transformation génétique) ainsi que les notions de base liées à ces techniques (gène rapporteur, gène de sélection, gène chimérique, protéine fusion, ...). Par ailleurs, alors que les techniques d'histolocalisation de l'expression des gènes et de l'accumulation des protéines semblent avoir été plutôt bien comprises, l'interprétation des données a été souvent très succincte et peu de candidats ont finalement bien marqué la progression des expérimentations par des interprétations adaptées à chaque étape. Il faut apprendre à mieux maîtriser la démarche scientifique et savoir proposer des interprétations adaptées aux données disponibles. Quoi qu'il en soit, un tiers environ des copies a montré un schéma explicatif juste concernant le rôle de ces 2 facteurs de transcription, même si les schémas manquaient régulièrement de clarté et de simplification. Il n'était pas approprié à ce niveau de représenter toute la racine et tous les tissus composant cette racine. Il fallait saisir l'essentiel en terme de compartimentation tissulaire, montrer le passage de la protéine SHR d'un compartiment à l'autre activant le gène *SCR* et jouer si

possible avec un certain nombre de couleurs / tissu concerné. Il est hautement probable que les candidats connaissant bien la structure de la racine et ce type d'approches sur *Arabidopsis thaliana* ont pu traiter cette deuxième partie avec plus d'aisance et surtout d'une manière plus approfondie bien que tous les éléments étaient fournis dans le document soit sous la forme de figures légendées soit grâce à des encadrés aidant à la conduite progressive de l'exercice.

N'ayant eu à ce jour aucun écho extérieur sur cette partie du sujet, un exercice de ce type alliant réflexion sur un processus physiologique/génétique et connaissance des technologies de pointes utilisées en biologie devrait néanmoins être maintenu dans les prochaines années en essayant autant que possible de respecter cet équilibre (en temps) : 1/3 pour l'exercice et 2/3 pour la partie pratique. De nombreux sujets s'y prêtent tant sur des modèles animaux que végétaux reposant sur des études fonctionnelles et mettant en jeu des techniques comparables, somme toute très visuelles, annonçant une nouvelle page de la biologie intégrative, ouverte directement sur le vivant. On peut aussi penser à des exercices sur des questions de génétique fondamentale au travers de nombreuses techniques permettant aujourd'hui d'étudier soit le polymorphisme de populations d'organismes procaryotes ou eucaryotes au moyen de marqueurs moléculaires (RAPD, RFLP, AFLP, SSCP, SNP, SSR, ...) soit la fonction d'un gène cible (protéine recombinante, double hybride de levure, complémentation, knock-out, RNAi, ...) qu'il sera possible facilement de replacer dans un contexte développemental ou adaptatif.

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2007

TRAVAUX PRATIQUES DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR B

Durée totale : 6 heures

BIOLOGIE ET ECOLOGIE DES SOLS

Cette épreuve de travaux pratiques comprend six parties indépendantes

I. Sols et végétation

Durée indicative : 1h 00

Notation : 35 points

II. Etude comparée de deux animaux de la litière

Durée indicative : 1h 30

Notation : 45 points

III. Les processus de décomposition

Durée indicative : 0h 45

Notation : 30 points

IV. Etude de deux associations racinaires

Durée indicative : 1h 15

Notation : 40 points

V. Structure génétique des populations de deux espèces de carabes de la litière

Durée indicative : 0h 45

Notation : 30 points

VI. Reconnaissances raisonnées

Durée maximale : 0h 30

Notation : 20 points

Durée totale conseillée : 5h 45

Total : 200 points

+ 0h 15 de relecture

**Avant de rendre votre copie, vérifiez que vous avez bien indiqué vos
nom, prénom et numéro de salle sur chaque page**

I. Sols et végétation

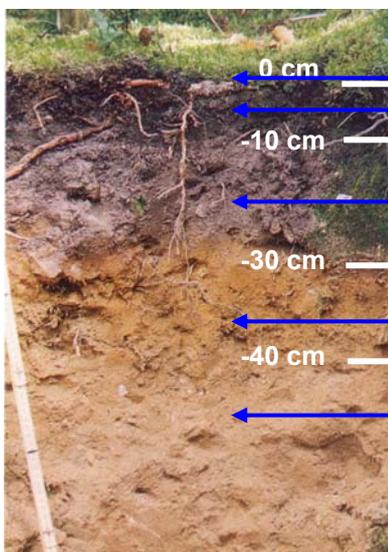
Matériel

- Réactifs chimiques : acide chlorhydrique, eau distillée, bandelettes pH (gamme étalon cf. feuille annexe), bandelettes nitrates (gamme étalon cf. feuille annexe).
- Verrerie : tubes à essai, béchers, verres de montre

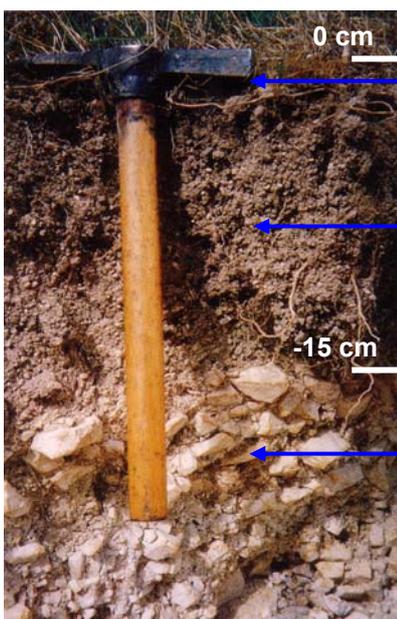
L'objectif de cet exercice est d'analyser les caractéristiques et la dynamique de deux sols ainsi que les relations avec la végétation. Les deux échantillons à votre disposition correspondent à la partie supérieure des sols représentés sur les deux photos suivantes.

► **Question 1** : Légendez les deux photos proposées (cadre I.1)

cadre I.1



- L : litière assez épaisse (mal décomposée)
- H : humus épais, noir / présence de matière organique (type mor/dysmoder)
- A1 : Matière organique + matière minérale
- B : horizon d'accumulation
- Roche mère (altérée)



- L : litière très peu épaisse
- A1 : matière organique + matière minérale
- Roche mère (calcaire)

Une analyse bactériologique de ces deux échantillons a été réalisée et les résultats sont donnés dans le tableau suivant.

Nom :	Prénom :	Numéro de salle :
-------	----------	-------------------

		Échantillon 1	Échantillon 2
Bactéries	Nb d'individus / 100 g de sol	$5 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^6$
Champignons	Nb d'individus / 100 g de sol	10^5	$5 \cdot 10^3$

► **Question 2** : À l'aide des deux photos, du tableau précédent et de manipulations appropriées sur les échantillons de sols, déterminez les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des deux échantillons de sols. Vous préciserez les arguments ou protocoles utilisés. (cadre I.2).

cadre I.2

Les deux échantillons proposés correspondent à la partie superficielle du sol (humus, humus + un peu A1). Pour les deux échantillons, une observation macroscopique ainsi que les manipulations suivantes ont été réalisées :

- Estimation du pH : un échantillon de sol est délayé dans de l'eau distillée. Le pH de l'eau est estimé grâce aux bandelettes pH
 - Estimation de la concentration en nitrate : un échantillon de sol est délayé dans de l'eau distillée. La concentration en nitrate est estimée grâce aux bandelettes nitrates
 - Test de la présence de carbonate par effervescence avec de l'acide chlorhydrique
 - Evaluation qualitative relative de la composition en sable/limon/argile
- + Un échantillon de sol mélangé à de l'eau est bien agité dans un tube à essai. On compare ensuite les vitesses de sédimentation des deux échantillons. Plus la sédimentation est lente, plus l'échantillon contient des particules fines
- + On réalise des « boudins » avec du sol humide
- Impossible → beaucoup de sable
 - Boudins cassant → limon
 - Boudins souples → argile

Echantillon 1

Le profil pédologique montre un humus épais et des séparations nettes entre les horizons. L'analyse de l'échantillon montre des traces visibles de débris végétaux indiquant une litière mal décomposée, une couleur noire indiquant la présence de matière organique, ce qui est confirmé par l'absence de nitrate. Le pH est de l'ordre de 4-5. Le tableau indique une forte présence de champignons (favorisés en milieu acide) par rapport aux bactéries (défavorisées en milieu acide). Les tests de structures indiquent une présence de limon et de sable.

Il s'agit donc d'un sol acide, pauvre, avec un humus de type **mor** (ou moder acide).

Echantillon 2

Le profil pédologique montre une litière et un humus très peu épais et un horizon A1 reposant directement sur la roche mère (visiblement calcaire). L'analyse de l'échantillon montre un mélange homogène entre la fraction minérale et organique (on ne trouve pas de trace de débris organiques) et la présence (faible) de nitrate, indiquant une bonne décomposition de la matière organique. Le pH est de l'ordre de 7-8 et les carbonates présents (effervescence à HCl) peuvent participer à maintenir un pH neutre à basique (effet tampon). Enfin, les bactéries sont beaucoup plus abondantes et les champignons moins

Nom :

Prénom :

Numéro de salle :

abondants que dans l'échantillon précédent (effet du pH) et la présence de turricules signale l'activité importante des vers de terre. Les tests de structures indiquent un sol limoneux.

Ces caractéristiques correspondent à sol assez riche, calcaire, avec un humus de type **mull**.

Les planches suivantes sont issues de la carte de végétation du Puy-en-Velay et de la carte géologique de la France dans la même région. Les deux stations où ont été échantillonnés les sols sont localisées : la station 1 à 1000 m d'altitude et la station 2 à 300 m d'altitude.

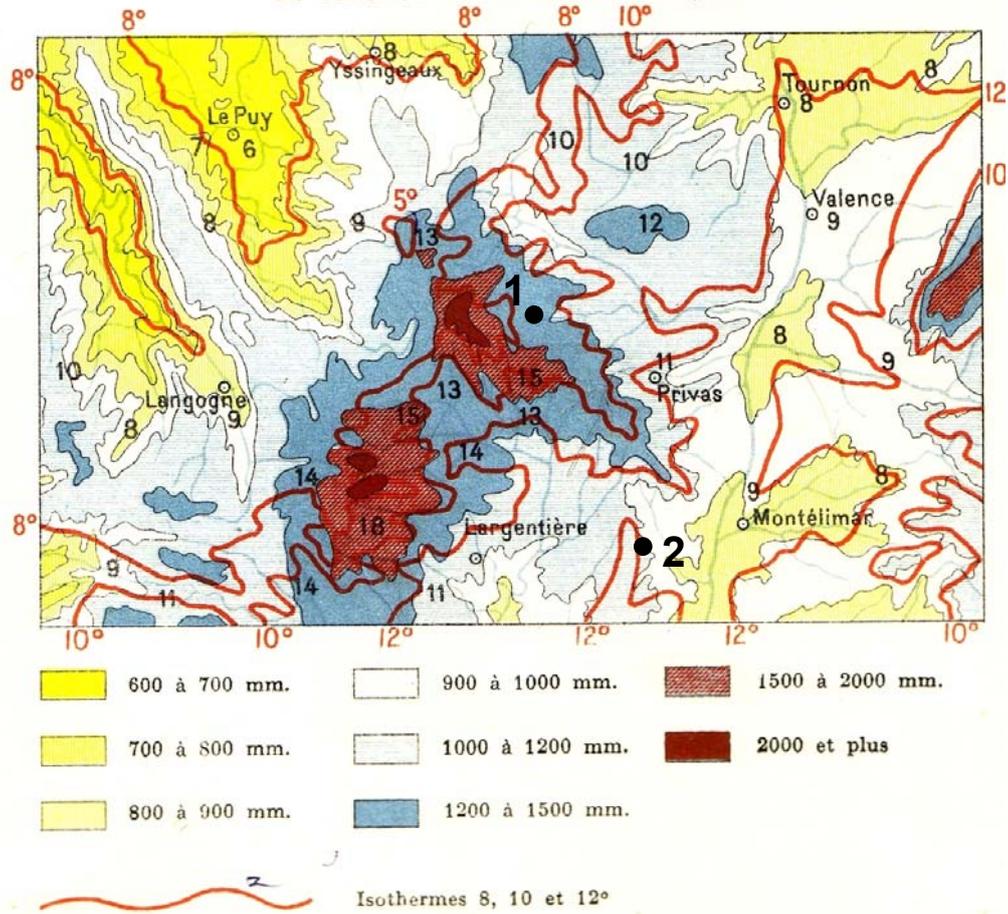
► **Question 3** : En quoi les caractéristiques géographiques et géologiques des stations peuvent-elles contribuer à expliquer les caractéristiques des sols mises en évidence à la question précédente ? (cadre I.3)

cadre I.3

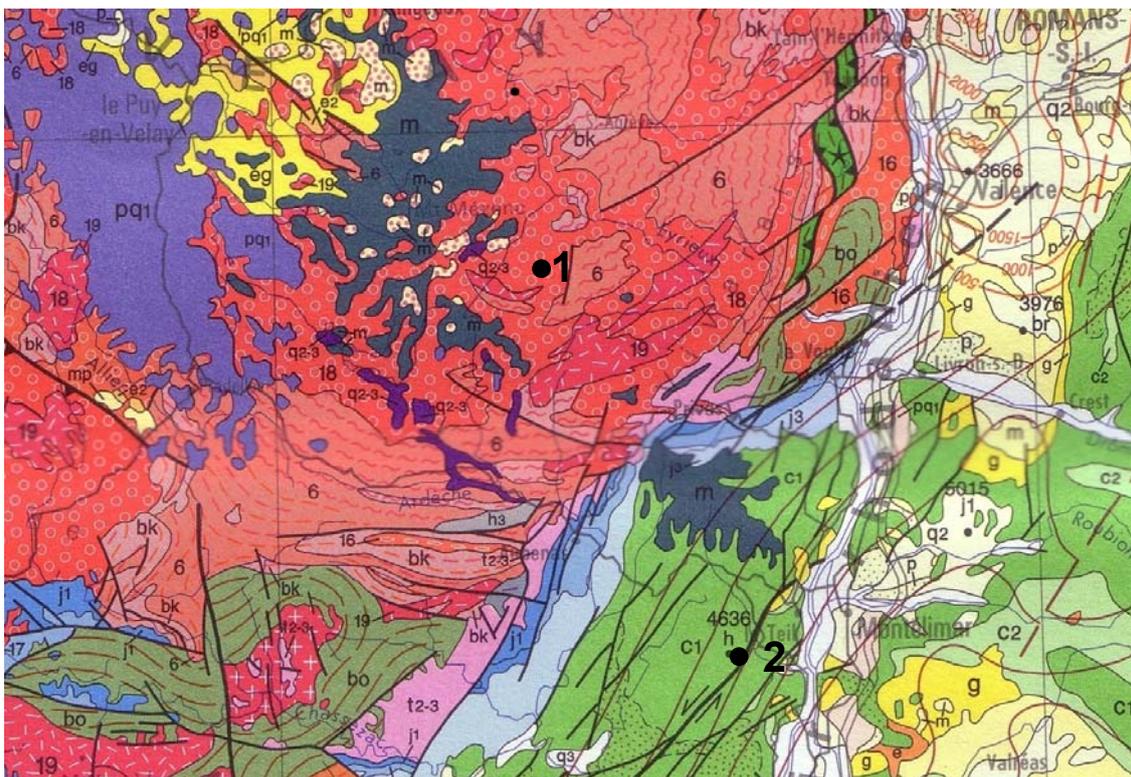
L'échantillon 1 a été prélevé sur une station d'altitude, dans des conditions de température assez basse. Les températures basses défavorisent le développement des bactéries au détriment des champignons. Ces derniers contribuent à l'acidité du milieu qui n'est pas tamponné car la roche mère siliceuse. L'acidité défavorise également les bactéries au dépend des champignons, renforçant le processus d'acidification. Enfin, les champignons sont des décomposeurs moins efficaces que les bactéries ce qui explique la moins bonne minéralisation du sol que dans l'échantillon 2.

Au contraire, l'échantillon 2 a été prélevé sur une station plus chaude et sur une roche mère calcaire (crétacé) jouant un rôle de tampon sur le pH. Température et pH élevés favorisent les bactéries au détriment des champignons, participant ainsi à une bonne minéralisation (présence de nitrate).

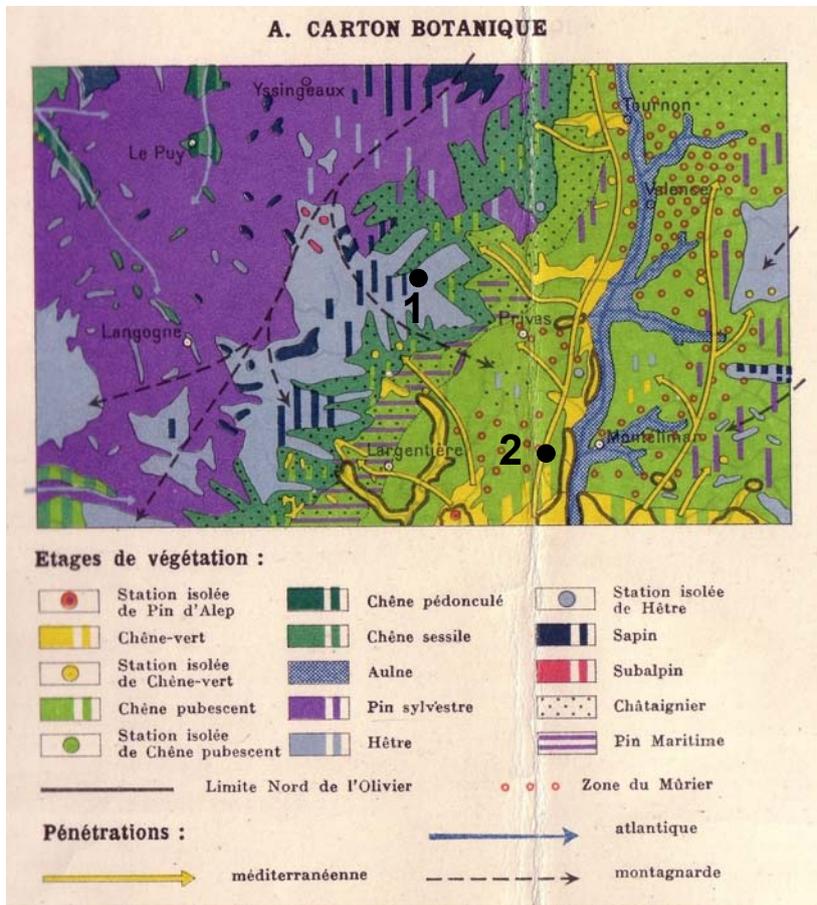
E. CARTON PLUVIOTHERMIQUE



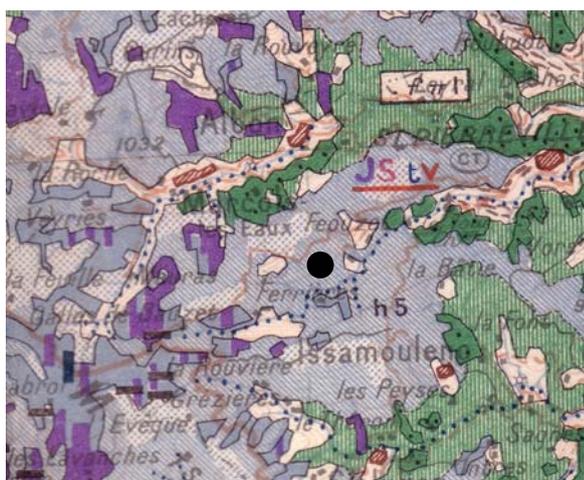
Extrait de la carte géologique de la France au 1 / 1 000 000^{ème}



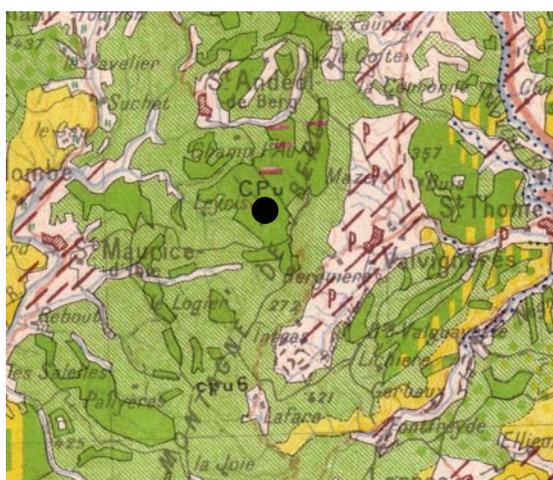
Les documents suivants sont issus de la carte de végétation du Puy-en Velay. Le carton botanique permet de localiser à l'échelle de la carte les deux stations (1 et 2) où les sols ont été échantillonnés. Les deux documents suivants sont des détails de la carte de végétation autour des deux localités échantillonnées (points noirs). Cinq plantes par localité ont été échantillonnées. Leurs caractéristiques autécologiques sont données sur la page suivante (d'après la flore forestière française).



Station 1



Station 2



Pour toutes les couleurs le détail de la légende est le suivant :

- | | | |
|------|--------|----------|
| Bois | Landes | Pelouses |
|------|--------|----------|

STATION 1

Arnica montana

XX						
X						
m						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

Héliophile
De l'étage collinéen à alpin
Périalpine

Gentiana lutea

XX						
X						
m						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

Héliophile ou de demi-ombre
De l'étage collinéen à alpin
Périalpine, alpine

Buxus sempervirens

XX						
X						
m						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

Demi-ombre
De l'étage méditerranéen
à montagnard inférieur
Supraméditerranéenne

Ruscus aculeatus

XX						
X						
m						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

Demi-ombre et d'ombre
Étage méditerranéen et collinéen
Méditerranéo-atlantique

Calluna vulgaris

XX						
X						
m						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

Héliophile ou de demi-ombre
Indifférente à l'altitude
Eurasiatique

Rubus idaeus

XX						
X						
m						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

Héliophile
De l'étage collinéen à subalpin
Eurasiatique, circumboréale

STATION 2

Heleborus foetidus

XX						
X						
m						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

Héliophile ou de demi-ombre
De l'étage collinéen à montagnard
Subméditerranéenne, subatlantique

Spartium junceum

XX						
X						
m						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

Héliophile
Étage méditerranéen et collinéen
Méditerranéenne

Genista anglica

XX						
X						
m						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

Héliophile
De l'étage collinéen à subalpin
Atlantique

Quercus pubescens

XX						
X						
m						
m						
f						
h						
hh						
H						
	AA	A	aa	a	n	b

Héliophile
Étage méditerranéen et collinéen
Subméditerranéenne

Nom :

Prénom :

Numéro de salle :

► **Question 4** : En quoi les caractéristiques pédologiques des stations peuvent-elles contribuer à expliquer la présence des espèces échantillonnées ? (cadre I.4)

cadre I.4

La station 1 correspond à une lande (carte de végétation) dans la série du hêtre sur sol acide (questions 2 et 3). Les 5 plantes échantillonnées sont soit spécifiques des sols acides (*A. montana*, *C. vulgaris*, *G. anglica*) soit les supportent bien (*G. lutea*, *R. idaeus*). Ces espèces exigent également des sols assez frais, qui correspondent bien à la série du hêtre.

La station 2 correspond à une forêt de chêne pubescent (carte de végétation) sur sol calcaire (questions 2 et 3). Les 5 plantes échantillonnées ont une nette préférence pour les sols calcaires. Ces espèces exigent également des sols assez secs que l'on trouve généralement dans les forêts pubescentes.

► **Question 5** : Quels sont les autres facteurs permettant d'expliquer cette présence ? (cadre I.5)

cadre I.5

Trois autres facteurs (pas nécessairement indépendants) permettent également d'expliquer la présence des plantes sur leur station respective :

- L'étage de végétation

La station 1 se situe dans l'étage montagnard qui est inclus dans la répartition de toutes les espèces. On peut cependant noter que ces espèces ne sont pas spécifiques de cet étage et que ce déterminant est assez faible.

La station 2 se situe dans l'étage subméditerranéen. Les 5 espèces y sont assez spécifiquement inféodées.

- Le type de végétation

La station 1 correspond à une lande, un milieu assez ouvert, ce qui explique la présence d'espèces principalement héliophiles.

La station 2 correspond à une forêt. En dehors de l'espèce dominante (*Quercus pubescens*), les espèces sont plus ou moins sciaphiles, ce que l'on peut trouver en sous-bois clair. Il y a cependant une exception *Spartium junceum* qui est héliophile. La carte de végétation de détail montre en fait des patches de forêt et de milieu ouvert. Il pourrait s'agir d'un milieu initialement plus ouvert (déboisé ?) en train de se refermer dans lequel resteraient quelques espèces héliophiles.

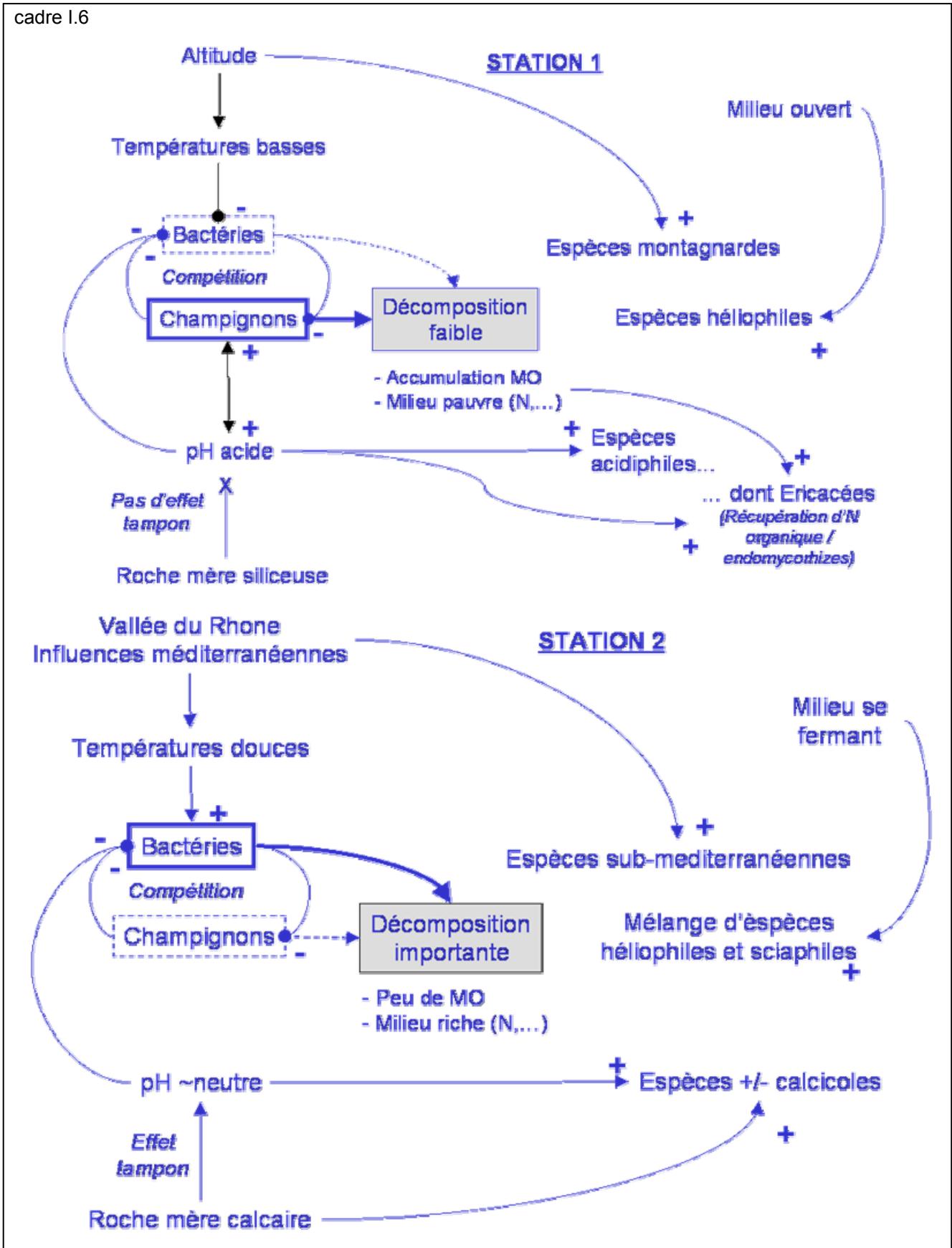
- Les influences biogéographiques

La station 1 a pu être colonisée à la fois par des espèces alpines et montagnardes du fait de l'altitude, mais également atlantiques par l'ouest.

La station 2 a pu être colonisée par des espèces méditerranéennes ayant remonté la vallée du Rhône (après dernière glaciation).

► **Question 6** : En intégrant les informations des questions précédentes, réalisez un schéma-bilan mettant en évidence les interactions entre le milieu, le sol et la végétation dans les deux stations. (cadre I.6)

cadre I.6



II. Étude comparée de deux animaux de la litière

Matériel fourni

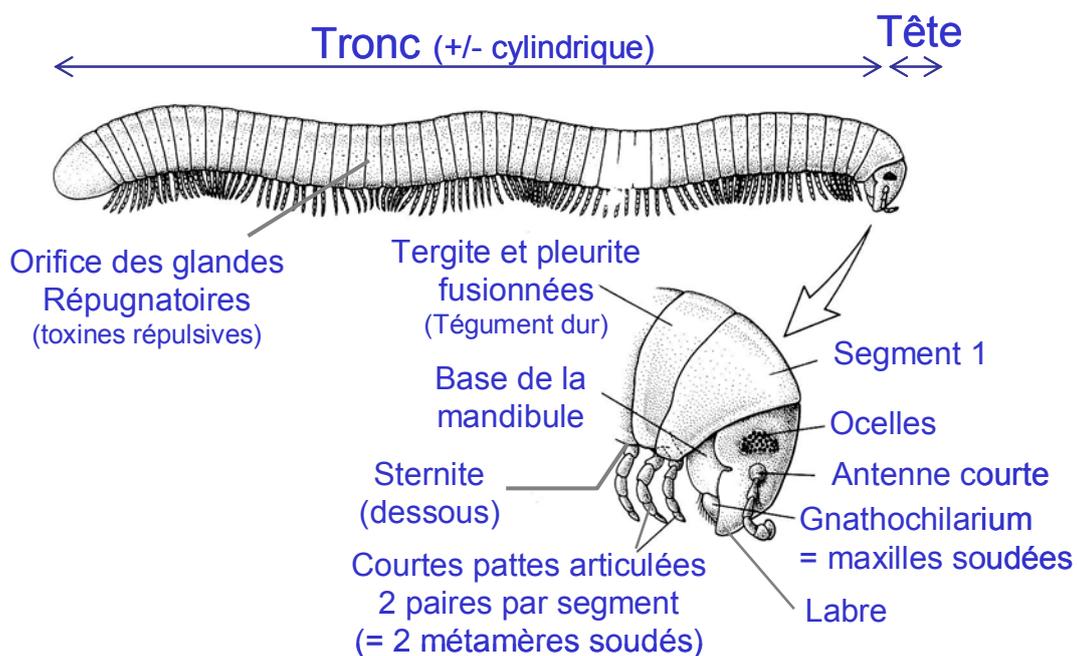
- Cuvette à dissection et épingles
- Lames et lamelles
- Loupe binoculaire, microscope, lampe

Les deux espèces d'animaux qui vous sont proposés ont été récoltées dans le même milieu (litière de forêt). L'objectif de cet exercice est de comparer la systématique, le mode de vie et le régime alimentaire de ces deux espèces, ainsi que leur impact sur les sols.

► **Question 1** : Réalisez une étude morphologique des deux espèces et réalisez les dessins d'observation appropriés (cadre II.1)

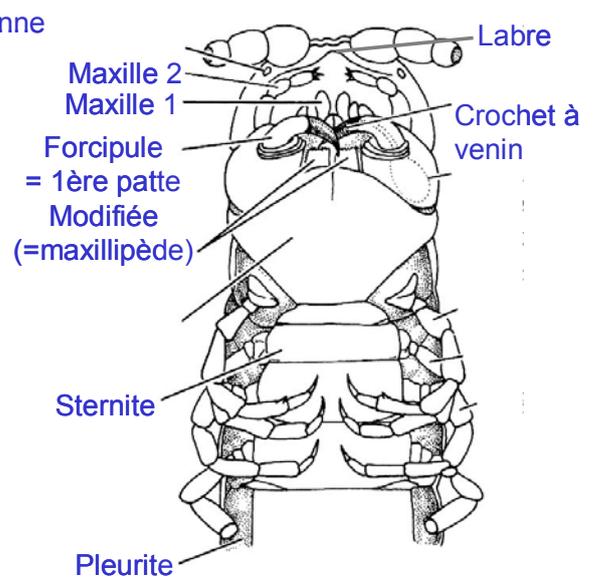
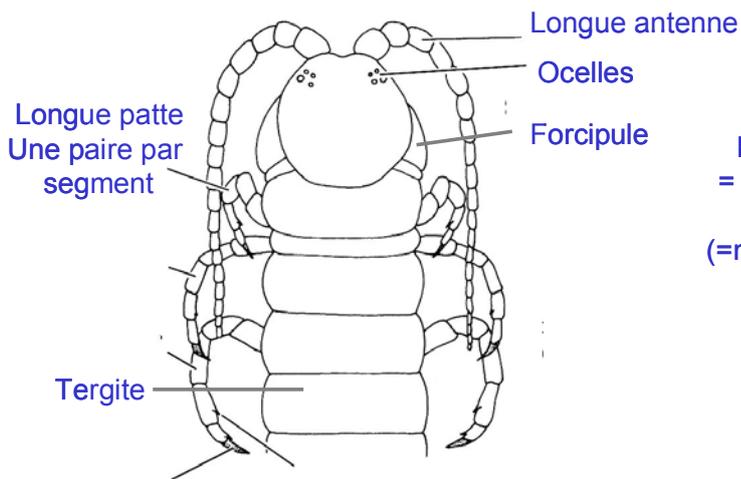
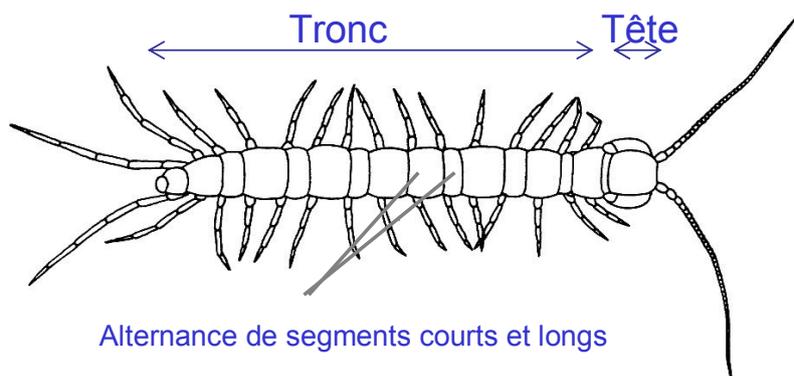
cadre II.1

Espèce 1



cadre II.1

Espèce 2

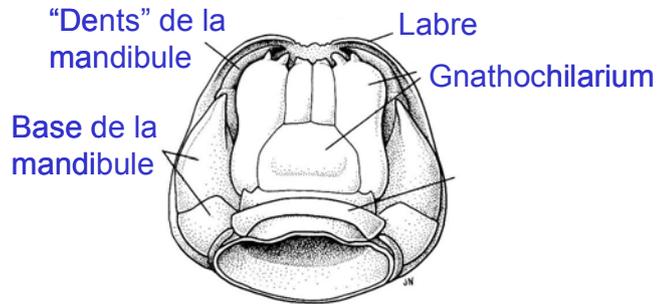
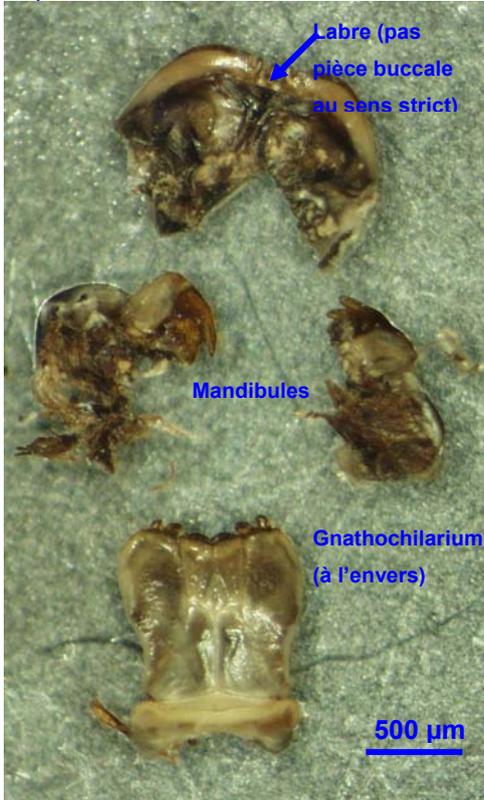


► **Question 2** : Réalisez une dissection des pièces buccales de ces deux espèces. Réalisez un dessin d'observation légendé de vos dissections (cadre II.2)

Appelez un examinateur pour évaluer vos dissections et l'adéquation avec votre dessin.

cadre II.2

Espèce 1



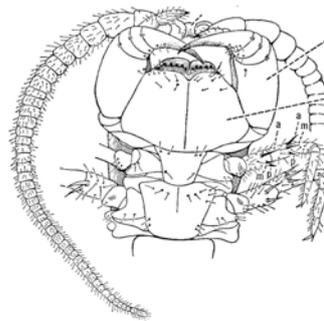
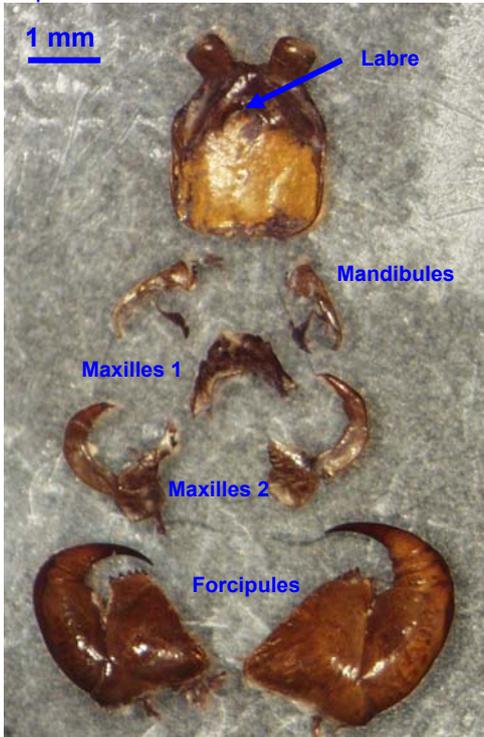
Gnathochilarium = maxilles soudées



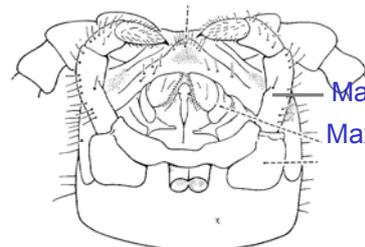
Mandibule de type broyeur



Espèce 2

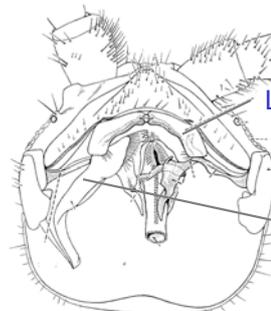


Forcípule : crochet à venin (Première paire de patte modifiée)



Maxille 2
Maxille 1

(Forcípules enlevées)



Labre

Mandibule

(Maxilles enlevées)



Détail mandibule

Remarque : le terme gnathochilarium ni les détails plus précis des pièces buccales n'étaient attendus. Les forcípules ne font pas partie des pièces buccales au sens strict mais leur présentation a été acceptée à cette question ou à la question précédente.

Nom :

Prénom :

Numéro de salle :

► **Question 3** : À l'aide d'un montage simple approprié, comparez le contenu du tube digestif de ces deux espèces (cadre II.3)

Appelez un examinateur pour évaluer votre montage

cadre II.3

Pour prélever du contenu du tube digestif de l'espèce 1, on peut simplement sectionner transversalement l'animal et prélever l'intérieur tube digestif (qui se retrouve ouvert) à l'aide d'une pointe montée ou d'une pince fine.

Pour l'espèce 2, il faut d'abord ouvrir dorsalement l'animal puis le tube digestif avant de faire un prélèvement.

Dans les deux cas, un prélèvement dans la partie antérieure de l'animal est préférable car les aliments y sont moins dégradés et plus facilement identifiables.

Espèce 1

- Nombreux éléments fragmentés identifiables
 - Fragments végétaux (trachéides, vaisseaux, parenchymes,...)
 - Fragments de champignons (spores, mycélium,...)
 - [Parfois micro-organismes du sol +/- identifiables (rotifères par ex.)]
- régime phytophage / détritivore

Espèce 2

- Pas ou très peu d'éléments identifiables, contenu assez homogène
- Fragments de cuticule → régime carnivore

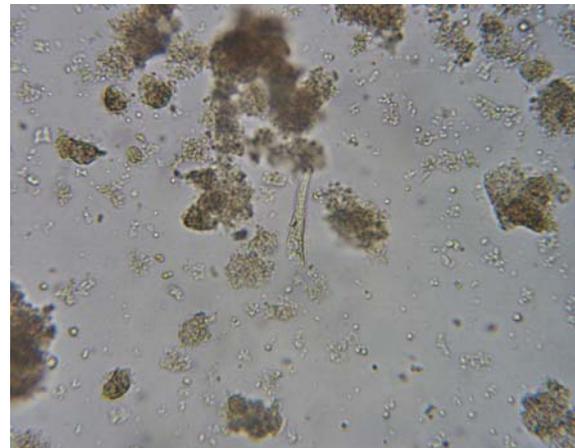
Vue d'ensemble



Détail de tissus végétaux



Vue d'ensemble



Détail morceau de cuticule



Nom :

Prénom :

Numéro de salle :

► **Question 4** : À partir des analyses précédentes, déterminez de façon raisonnée le groupe systématique des deux espèces étudiées. (cadre II.4)

cadre II.4

- Animaux à corps métamérisé possédant des appendices articulés → Arthropodes
- Une paire d'antenne, organisation du corps en tête + tronc, plus de huit paires de pattes → Myriapodes

Espèce 1 :

- 2 paires de pattes par segment (fusion de deux métamères) → Diplopodes
- [- corps cylindrique → lule]

Espèce 2 :

- 1 paire de pattes par segment, 1^{ère} paire transformée en crochets à venin = forcipule → Chilopodes
- [- 15 paires de pattes non grêles, alternance de segments courts et longs → Lithobie]

► **Question 5** : Comparez le mode de vie et le régime alimentaire des deux espèces étudiées tels qu'on peut les déduire des analyses précédentes. (cadre II.5)

cadre II.5

Espèce 1

- Corps cylindrique, Pattes très courtes : déplacements lents → mode de vie fouisseur
- Comportement de défense : mise en boule, [toxines répulsives]
- Pièces buccales de type broyeur, contenu du tube digestif (débris végétaux, de champignons, micro-organismes du sol,...) → détritivore phytophage (mycophage)

Espèce 2

- Antennes développées : organes sensoriels, pattes assez longues : déplacements rapides → comportement de prédateur
- Pièces buccales avec forcipules, absence d'éléments végétaux et fongiques dans le tube digestif (+ traces éventuelles de cuticules) → prédateur, carnivore

► **Question 6** : Quels peuvent être les rôles écologiques respectifs de ces deux espèces sur les sols ? (cadre II.6)

cadre II.6

Espèce 1

Le régime alimentaire de type détritivore phytophage de cette espèce lui fait jouer un rôle dans la fragmentation et la décomposition de la litière

Espèce 2

Cette espèce prédatrice n'a pas un effet direct sur le sol mais un effet indirect sur la régulation des populations de proies dont certaines jouent un rôle direct sur les processus de décomposition, de modification de la structure du sol,...

III. Les processus de décomposition

Matériel fourni

- Réactifs chimiques : acide acétique, carmino-vert, eau de javel, ~~bleu-coton-lactique~~
- Verrerie : lames, lamelles, verres de montre
- Microscope, loupe binoculaire, lampe

► **Question** : À l'aide d'observations macroscopiques et de montages microscopiques appropriés, ainsi que de deux micrographies (microscopie électronique à balayage) vous :

- déterminerez la nature des deux échantillons proposés (notés échantillon 1 et échantillon 2) et
 - expliquerez les processus biologiques ayant pu conduire à l'état de ces deux échantillons.
- Vous préciserez les protocoles des montages réalisés (cadre III.1).
 - Vous présenterez un ou plusieurs dessins légendés correspondants à vos observations (cadre III.2).
Appelez un examinateur pour évaluer vos montages et l'adéquation avec vos dessins.
 - Vous légenderez et donnerez un titre aux deux micrographies (cadre III.3).
 - Vous répondrez à la question posée dans le cadre III.4

cadre III.1

Observations macroscopiques : dégradation à la main des échantillons

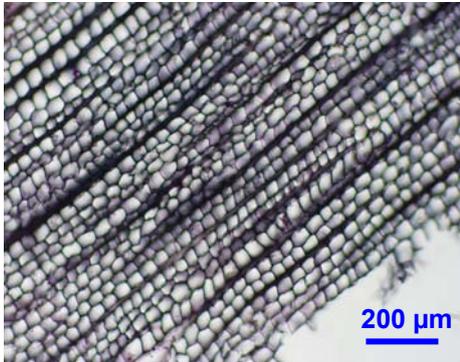
Réalisation de coupes anatomiques :

- Réalisations de coupes transversales et longitudinales
- Coloration au carmino-vert
 - Décoloration à l'eau de javel (~20 minutes)
 - Rinçage à l'eau
 - Passage dans l'acide acétique (~5 minutes)
 - Coloration au carmino-vert (~5 minutes)
- Montage entre lame et lamelle

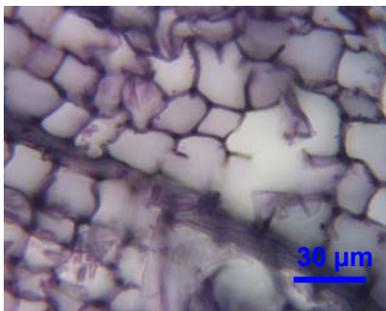
cadre III.2

Echantillon 1

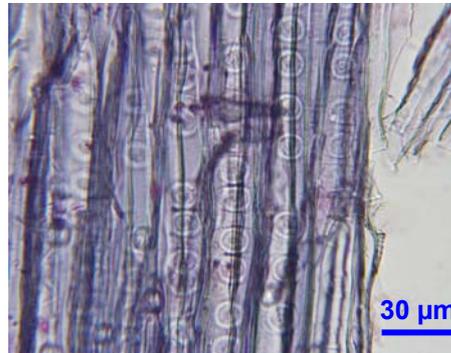
Coupe transversale



Bois homoxylé...



Coupe longitudinale

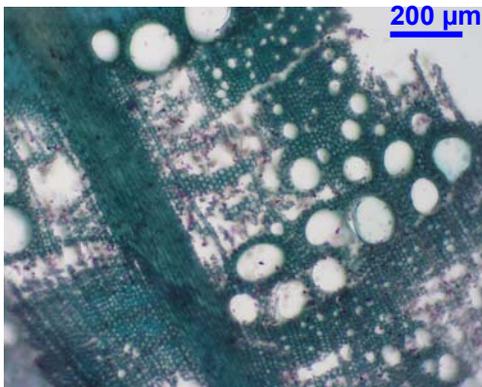


... avec trachéides à ponctuations aréolées → Gymnosperme

Dégradation des parois → bois en cours de décomposition (pourriture)

Echantillon 2

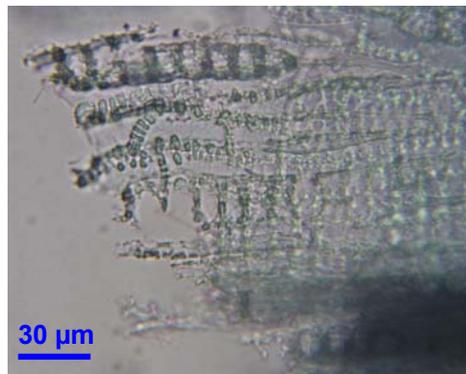
Coupe transversale



Bois hétéroxylé → Angiosperme

Avec traces de dégradation → bois en cours de décomposition (pourriture).

Coupe longitudinale

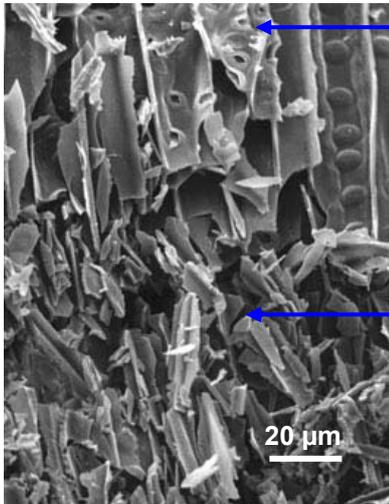


Détail des dégradations en C.L. : décomposition des imprégnations de lignine des vaisseaux et des trachéides

Remarque : du fait de l'état de dégradation plus ou moins important des échantillons, les colorations pouvaient être non standard et ne constituaient pas des arguments pertinents pour conclure sur les mécanismes précis de dégradation : par exemple il reste clairement de la lignine sur la pourriture blanche ! Les coupes permettaient essentiellement de déterminer la nature des bois (Gymnospermes, Angiospermes) et de mettre en évidence l'état dégradé des parois.

cadre III.3

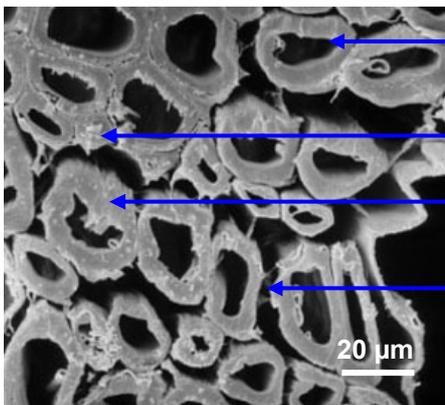
Échantillon 1



Ponctuation aréolée → caractéristiques des trachéides des Gymnospermes

Trachéides fragmentées en fragments courts ne conservant pas l'allongement des fibres de celluloses → dégradation de la cellulose

Échantillon 2



Trachéide

Fibres

Parois primaire et secondaire (riches en cellulose) plus ou moins intactes

Lamelle moyenne (forte imprégnation de lignine) dégradée → dégradation de la lignine → individualisation des trachéides et des fibres

cadre III.4

Les deux échantillons sont des échantillons de bois (xylème secondaire). Le premier présente les caractéristiques d'un bois homoxylé en C.T. et des trachéides avec des ponctuations aréolées en C.L. (ainsi que sur la photo en M.E.B.). Il s'agit donc d'un bois de Gymnospermes. Le deuxième échantillon présente des caractéristiques d'un bois hétéroxylé en C.T. que l'on retrouve en C.L. (trachéides, éléments de vaisseaux, fibres, parenchyme). Il s'agit donc d'un bois d'Angiospermes.

Ces deux échantillons montrent des traces de dégradation à l'œil nu (aspect typique des « pourritures »), en microscopie photonique et électronique (dégradation des parois des tissus). L'échantillon 1, de couleur brune, se désagrège en fragments plus ou moins cubiques, ce que l'on retrouve en M.E.B. La couleur brune est caractéristique de la lignine qui n'est pas (ou peu) dégradée. L'aspect fibreux conféré par la cellulose est perdu. L'état de l'échantillon provient d'une cellulolyse [par des champignons]. L'échantillon 2, de couleur blanche, se désagrège en fibres. La cellulose est donc pas (ou peu) dégradée et l'individualisation de ces fibres provient de la dégradation de la lignine qui imprègne la lamelle moyenne (M.E.B.). L'état de l'échantillon provient donc d'une ligninolyse [par des champignons].

Remarque : au carmino-vert, l'état dégradé fait que sur ces deux échantillons la cellulose essentiellement est colorée. Les coupes permettent de déterminer la nature des échantillons.

IV. Étude de deux associations racinaires

Matériel fourni

- Réactifs chimiques : bleu coton lactique, bleu de méthylène
- Verrerie : lames, lamelles, verres de montre
- Microscope

Dans cet exercice, vous étudierez deux associations racinaires :

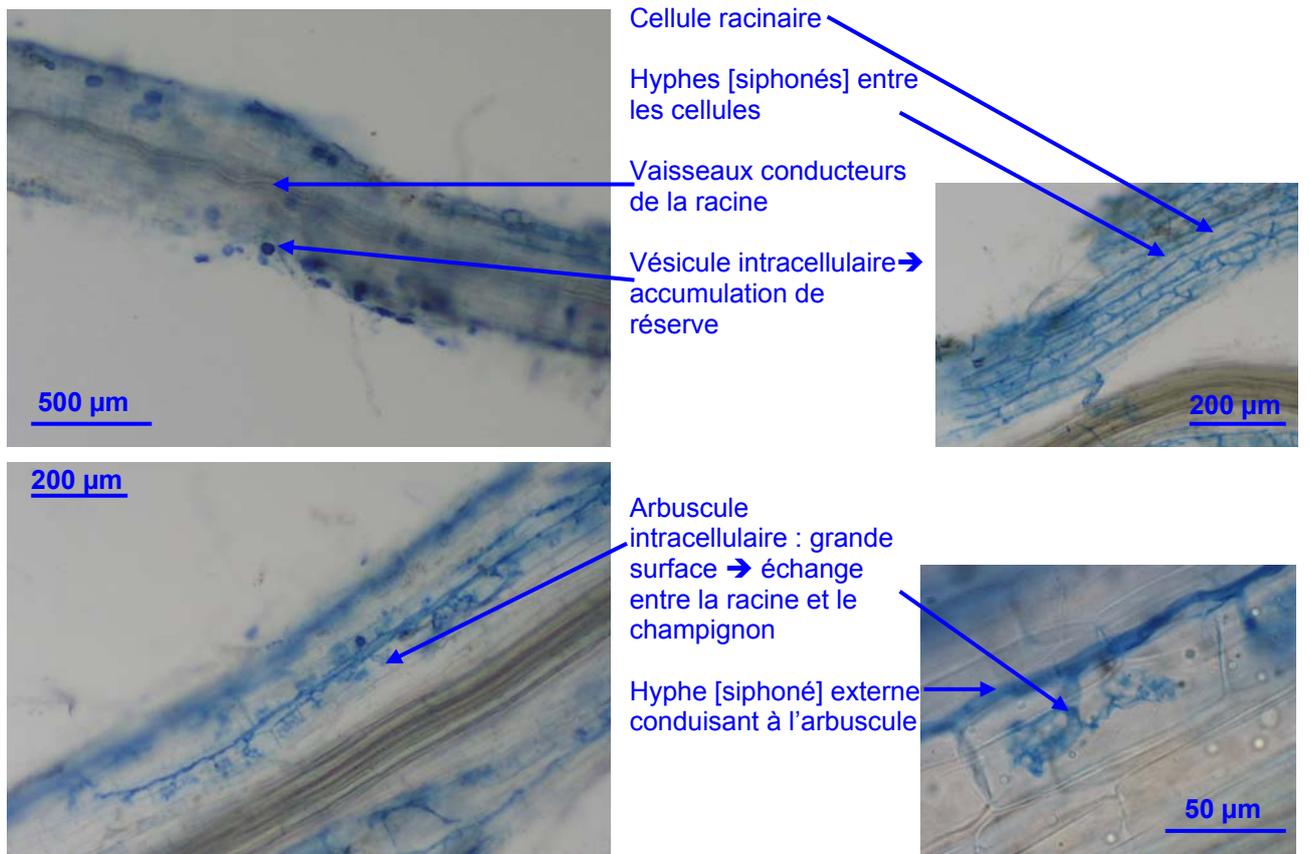
- échantillon 1 : au niveau d'une racine d'Angiosperme (espèce non spécifiée)
- échantillon 2 : au niveau d'une racine de Fabacée

Première association (échantillon 1)

► **Question 1** : Réalisez un montage de l'échantillon 1 proposé. ~~Colorez l'échantillon pendant quelques minutes dans du bleu coton lactique puis rincez à l'eau.~~ Echantillon déjà coloré. Montez la préparation entre lame et lamelle dans une goutte de sa solution (eau glycinée). Réalisez un dessin d'interprétation de votre observation en précisant la nature des structures observées et leur rôle possible (cadre IV.1)

Appelez un examinateur pour évaluer votre montage et l'adéquation avec votre dessin.

cadre IV.1



Racine colonisée par un champignon endomycorhizien à vésicules et arbuscules [donc Glomérormycètes]

Nom :	Prénom :	Numéro de salle :
-------	----------	-------------------

Dans la suite de cet exercice, on étudie l'effet de cette première association sur le bilan hydrique du romarin (*Rosmarinus officinalis*) en condition de stress hydrique (modifié d'après Blanco *et al. J. of Plant Physiology* 2004). Des plants de romarin de 7 mois ont été soumis à deux types de conditions croisées :

- en condition d'arrosage régulier ou sans arrosage pendant 14 jours
- avec ou sans association

Différentes caractéristiques ont été mesurées au bout des 14 jours de traitement sur 5 plants par traitement. Elles sont résumées dans le tableau suivant (les valeurs associées à la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% ; les valeurs associées à des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%. Lecture par colonne).

		Poid sec (en g)	Teneur en eau (%)
Avec arrosage	Sans association	57,6 a	78 a
	Avec association	57,8 a	81 a
Sans arrosage	Sans association	43,9 c	50 c
	Avec association	52,8 b	65 b
		Potentiel hydrique foliaire (MPa)	Conductance stomatique (mmol.m ⁻² .s ⁻¹)
Avec arrosage	Sans association	-0,98 a	295 a
	Avec association	-0,97 a	300 a
Sans arrosage	Sans association	-3,7 c	100 c
	Avec association	-3,1 b	130 b

► **Question 2** : Quelles sont les différentes composantes du potentiel hydrique ? Lesquelles entrent en jeu à l'échelle du sol ? À l'échelle de la plante ? (cadre IV.2)

cadre IV.2

Le potentiel hydrique se compose du potentiel osmotique (l'opposé de la pression osmotique), du potentiel de turgescence (du aux forces de pression, des parois par exemple), du potentiel matriciel (du aux forces de tension superficielle), et du potentiel de gravité

A l'échelle du sol intervient essentiellement le potentiel matriciel (rôle des colloïdes du sol en particulier) et éventuellement le potentiel osmotique. Le potentiel de gravité entre en jeu également dans les phénomènes d'écoulement gravitaire (pas étudié ici).

A l'échelle de la plante, le potentiel de turgescence et le potentiel osmotique entre en jeu, et éventuellement le potentiel de gravité pour les arbres.

► **Question 3** : En supposant que la concentration en solutés foliaires dans une plante arrosée sans association (cf. tableau précédent) soit de 0,5 mol.l⁻¹, déterminez les différentes composantes de son potentiel hydrique à 20°C. (cadre IV.3)

On donne : $R = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ l} \cdot \text{MPa} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

cadre IV.3

$\Psi_H = P - \pi$ où $\pi = RTC$ avec T, la température en K et C la concentration en soluté en mol.l⁻¹.

ici $\pi = 1.22 \text{ MPa}$ et $\Psi_H = -0.98 \text{ MPa}$ (d'après le Tableau).

On en déduit que **P = 0.24 MPa**

Nom :	Prénom :	Numéro de salle :
-------	----------	-------------------

cadre IV.3

► **Question 4** : D'après les données du tableau, interprétez les conséquences d'un stress hydrique sur le fonctionnement hydrique des plants de romarin (cadre IV.4)

cadre IV.4

On compare ici les résultats avec et sans arrosage indépendamment de l'association.

En réponse à un stress hydrique (c'est-à-dire une diminution du potentiel hydrique du sol), le potentiel hydrique de la plante (ici mesure au niveau foliaire) diminue ce qui permet de maintenir une différence de potentiel compatible avec une entrée d'eau.

La diminution de la conductance stomatique permet de limiter les pertes en eau

Enfin, à une échelle plus intégrée, ceci se traduit par une diminution de la croissance (poids sec après 14 jours), l'eau étant un facteur limitant de la croissance.

► **Question 5** : D'après les données du tableau, interprétez le rôle de l'association dans le fonctionnement hydrique des plants de romarin. (cadre IV.5)

cadre IV.5

La comparaison des traitements avec et sans association en condition d'arrosage montre que l'association n'a aucun effet significatif en conditions hydriques favorables, et ce quelque soit le caractère étudié.

La même comparaison dans les traitements sans arrosage montre que l'association a un effet significatif, permettant de mieux supporter le stress hydrique :

- Grâce à l'association, la diminution du potentiel hydrique de la plante n'a pas besoin d'être aussi forte que sans association pour maintenir une bonne absorption d'eau¹
- Le stress hydrique étant moins sévère, la transpiration foliaire (conductance stomatique) est moins limitée
- Le flux hydrique plus important à l'échelle de la plante permet une meilleure croissance (poids sec après 14 jours)

¹ Le champignon endomycorhizien a de fortes capacités d'absorption d'ions, dont les ions phosphates, ce qui permet une meilleure absorption d'eau.

Deuxième association (échantillon 2)

Les documents suivants présentent des photos d'une coupe au niveau d'une excroissance racinaire présente sur l'échantillon 2. Ces photos ont été prises en microscopie optique.

► **Question 6** : Donnez un titre général et légendez ces photos en précisant dans les légendes le rôle des structures rencontrées (cadre IV.6)

cadre IV.6

Coupe longitudinale d'une nodosité de Légumineuse

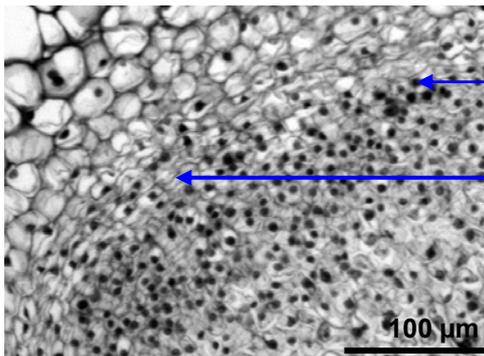
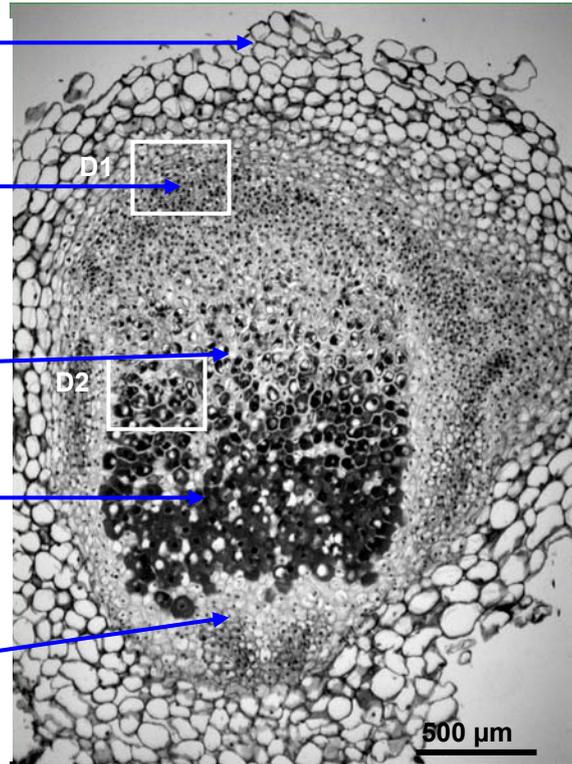
Zone corticale
→ protection de la nodosité

Zone méristématique
→ croissance de la nodosité
(cf. D1)

Zone de modification graduelle des cellules
(Zone d'infestation)

Zone centrale
(zone de fixation)
→ accumulation d'éléments (cf. question 7)

zone avec cellule sans contenu apparent (zone de sénescence)

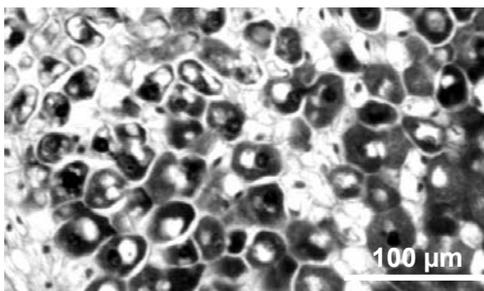


- Petites cellules à fort rapport nucléocytoplasmique

- Marque de division cellulaire

→ cellules méristématiques

D1



- Grosses cellules à cytoplasme dense

→ accumulation d'éléments (réserves, organites, ... ?)

D2

► **Question 7** : Afin de déterminer le contenu de ces excroissances, réalisez le protocole suivant. Ecrasez fortement une de ces excroissances sur une lame et colorez la préparation au bleu de méthylène. Observez préférentiellement le « jus » de la préparation. Concluez sur la nature des éléments rencontrés (cadre IV.7)

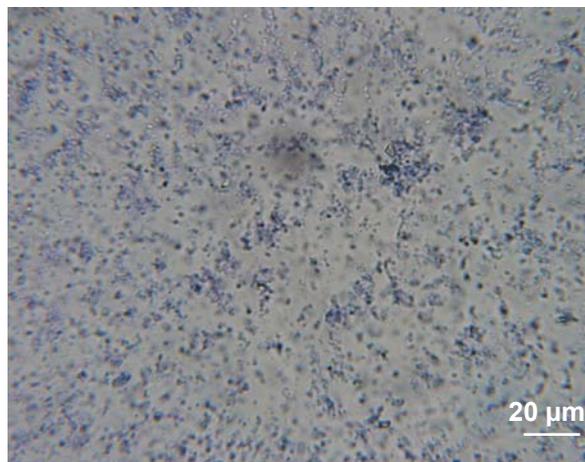
Appelez un examinateur pour évaluer votre montage.

cadre IV.7

L'observation du broyat de l'échantillon 2 révèle la présence de très nombreuses cellules individualisées en forme de bâtonnet ou parfois un peu ramifiées (forme de Y) de l'ordre de quelques microns. La forme en bâtonnet est caractéristique de bactérie mais la taille assez importante ($> 1 \mu\text{m}$) et les formes plus spécifiques traduisent des modifications de ces bactéries lors de l'association (bactéroïdes).

Ces bactéries sont logiquement présentes dans la zone centrale de la micrographie.

L'échantillon 2 correspond donc à une association entre une racine modifiée (nodosité) et des bactéries (fixatrices d'azote du genre *rhizobium*)



Remarque : l'observation pouvait être faite à un plus fort grossissement. Ici, c'est le matériel photographique qui limite la précision de la prise de vue.

L'effet de cette deuxième association sur la plante a été étudié chez une espèce de Fabacée, le haricot (*Phaseolus vulgaris*) (modifié d'après Ibijen et al. *The New Phytologist* 1996). La croissance des haricots a été réalisée en culture seule ou avec cette deuxième association. Au bout de deux mois, le poids sec et l'accumulation d'azote (quantité d'azote dans la plante – quantité d'azote initiale dans la graine) ont été mesurés sur 10 plantes par traitement. Les moyennes sont présentées dans le tableau suivant (les valeurs associées à la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% ; les valeurs associées à des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5%. Lecture par colonne).

	Poid sec (g par pot)	Accumulation d'azote (mg par pot)
Sans association	16 a	120 a
Avec association 2	22 b	300 b

► **Question 8** : Interprétez cette expérience (cadre IV.8)

cadre IV.8

L'association 2 permet une augmentation significative de la croissance des haricots (poids sec au bout de 2 mois) ainsi qu'une meilleure accumulation d'azote à la fois en quantité absolue (120mg vs 300 mg) mais également en quantité relative : 0.7% sans association contre 1.4% avec.

La meilleure accumulation de l'azote peut expliquer la plus forte croissance mais les résultats de cette expérience, uniquement corrélatif, ne permettent pas de répondre directement.

Nom :	Prénom :	Numéro de salle :
-------	----------	-------------------

Le même type d'expérience a été complété en cultivant les haricots avec l'association 1, étudiée dans la première partie. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant (les deux premières lignes sont les mêmes que dans le tableau précédent, même légende).

	Poid sec (g par pot)	Accumulation d'azote (mg par pot)
Sans association	16 a	120 a
Association 2	22 b	300 b
Association 1	17 a	130 a
Associations 1+2	27 c	380 c

► **Question 9** : Interprétez l'effet des deux associations sur la croissance du haricot (cadre IV.9)

cadre IV.9

L'association 1 n'a aucun effet direct sur la croissance ni sur l'accumulation de l'azote (les différences ne sont pas significatives, comparaison avec le témoin sans association)

Par contre, l'association 1 a un effet significatif sur ces deux caractères en présence de l'association 2 (comparaison de l'association 2 seule au traitement avec les deux associations)

L'association 1 n'a donc pas d'effet direct sur l'accumulation d'azote mais renforce l'effet de l'association 2. Il y a une synergie positive entre les deux associations

Bilan

► **Question 10** : Réalisez un tableau-bilan pour comparer la nature, l'organisation structurale et le rôle des deux associations racinaires étudiées (cadre IV.10)

cadre IV.10

	Association 1	Association 2
Nature	- Endomycorhize vesiculo-arbusculaire (Eumycète) [Glomeromycetes]	- Nodosité (Eubactérie, Rhizobium)
Organisation structurale	- Hyphes extracellulaires avec pénétration intra-cellulaire des vésicules et arbuscules - Pas de modification morphologique importante de la racine	- Bactéroïdes intracellulaires (déduction indirecte). - Modification morphologique importante de la racine : nodosité
Rôles	- Alimentation hydro-minérale de la plante (Rôle important en cas de stress hydrique) - Action synergétique avec l'association 2 sur l'assimilation d'azote - Favorise la croissance de la plante	- Favorise l'assimilation d'azote (Fixation d'azote atmosphérique) (- Action synergétique avec l'association 1 non testée) - Favorise la croissance de la plante

V. Structure génétique des populations de deux espèces de carabes de litière (Modifié d'après Brouat et al. *Molecular Ecology* 2003)

Carabus nemoralis et *Carabus punctatoauretus* sont deux espèces de carabes vivant au niveau de la litière et sont prédateurs de limaces et de vers de terre. *C. nemoralis* est considéré comme généraliste au niveau de l'habitat et se retrouve aussi bien en milieu forestier qu'en milieu ouvert. *C. punctatoauretus* est un spécialiste du milieu forestier. L'objectif de cet exercice est de comparer la structure génétique des populations de ces deux espèces différant par le niveau de spécialisation de l'habitat. Pour ce faire 26 localités distantes les unes des autres d'au moins 450 m ont été échantillonnées sur le plateau de Sault dans les Pyrénées. Ce plateau est couvert à 50% de forêts relativement continues entrecoupées de milieux ouverts. Pour chaque localité, au moins 50 individus des deux espèces ont été génotypés pour 10 locus microsatellites.

Diversité génétique au sein des populations

À partir des génotypes des individus pour ces marqueurs microsatellites, plusieurs statistiques de génétique des populations peuvent être calculées. Un exemple est traité dans ce qui suit. Pour l'espèce *C. nemoralis*, dans la localité Bv222, le marqueur Cn8/27 présente deux allèles (a1 et a2). Parmi les 50 individus échantillonnés, la distribution des trois génotypes est la suivante :

Génotype	Nombre d'individus
a1a1	33
a1a2	14
a2a2	3

► **Question 1** : Calculez la fréquence des allèles a1 et a2 et déduisez-en si cette population est à l'équilibre d'Hardy-Weinberg pour le marqueur Cn8/27. Détaillez les calculs. On donne la valeur du χ^2 à un degré de liberté au seuil de 5% : 3,84. (cadre V.1).

cadre V.1

Le nombre total d'individus est de 50, soit 100 copies de gènes (individus diploïdes). La fréquence des deux allèles est donc donnée par :

$$F(a1) = [2 \times Nb(a1a1) + Nb(a1a2)] / 100 = 0,8$$

$$F(a2) = [2 \times Nb(a2a2) + Nb(a1a2)] / 100 = 0,2$$

(Rq: on vérifie au passage que la somme fait bien 1)

On calcule ensuite le nombre d'individus de chaque génotype attendu sous l'hypothèse d'Hardy-Weinberg :

$$Nb(a1a1) = F(a1)^2 \times Nb \text{ ind total} : 0,8^2 \times 50 = 32 \text{ individus au lieu de } 33 \text{ observés}$$

$$Nb(a1a2) = 2F(a1)F(a2) \times Nb \text{ ind total} : 2 \times 0,8 \times 0,2 \times 50 = 16 \text{ individus au lieu de } 14 \text{ observés}$$

$$Nb(a2a2) = F(a2)^2 \times Nb \text{ ind total} : 0,2^2 \times 50 = 2 \text{ individus au lieu de } 3 \text{ observés}$$

Pour tester si ces proportions s'écartent significativement de l'équilibre d'Hardy-Weinberg, on réalise un test du χ^2 : $X^2 = \sum (N_{Obs} - N_{Théo})^2 / N_{Théo}$ suit une loi de χ^2 à un degré de liberté¹ :

$$X^2 = (33 - 32)^2 / 32 + (14 - 16)^2 / 16 + (3 - 2)^2 / 2 = 0,78 < 3,84$$

Nom :	Prénom :	Numéro de salle :
-------	----------	-------------------

cadre V.1

Il n'y a donc pas d'écart significatif (au seuil de 5%) à l'équilibre d'Hardy-Weinberg

¹ Il y a bien un seul degré de liberté et non pas deux car pour déterminer les proportions des 3 génotypes un seul paramètre peut être fixé librement, $F(a_1)$ ou $F(a_2)$.

Le résultat précédent est représentatif de l'ensemble des marqueurs et des populations pour les deux espèces. Sur l'ensemble des locus et en moyenne par population, l'hétérozygotie observée est de 0.69 [0.66-0.72] pour *C. nemoralis* et de 0.74 [0.70-0.78] pour *C. punctatoauretus* ; les valeurs entre crochets indiquent l'intervalle de confiance à 95 %.

► **Question 2** : Qu'en concluez-vous sur la diversité et la structure génétique intra-population des deux espèces ? (cadre V.2)

cadre V.2

Pour les deux espèces, dans chacune des populations, on ne détecte pas d'écart à l'équilibre d'Hardy-Weinberg. Localement, la reproduction se fait en panmixie, il n'y a pas de d'appariement préférentiel entre individus particuliers.

L'hétérozygotie observée est une mesure du niveau de polymorphisme dans les populations ici car elles sont panmictiques (donc H observée = H attendue). Elle n'est pas significativement différente entre les deux populations.

En conclusion, les deux espèces ne diffèrent ni par la quantité (niveau de polymorphisme) ni par la structure (pas d'écart à HW) de la diversité intra-population.

Structuration génétique entre les populations

En génétique des populations on étudie également la structuration de la diversité génétique entre les populations. On introduit en particulier l'indice F_{ST} qui permet de mesurer le degré de différenciation entre deux ou plusieurs populations. Si $F_{ST} = 0$, les populations ont des compositions génétiques identiques ; si $F_{ST} = 1$ les populations ont des compositions génétiques complètement différentes. L'indice F_{ST} est donc aussi une mesure de distance génétique entre populations.

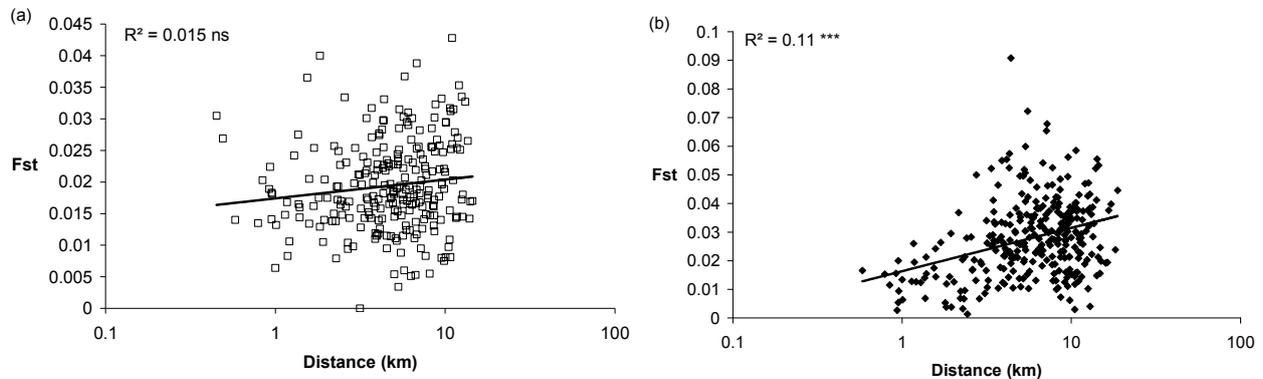
► **Question 3** : Les populations naturelles échangent des migrants. Comment le taux de migration devrait-il affecter l'indice F_{ST} ? (cadre V.3)

cadre V.3

Plus la migration est importante plus il y a d'échanges génétiques entre populations donc plus elles se ressemblent. Le F_{ST} diminue donc quand la migration augmente

Remarque : Dans le modèle de référence dit « en nombre infini d'îles », la relation est donnée par : $F_{ST} = 1/(1+4Nm)$ où N est la taille des populations et m le taux de migration. Ce résultat n'était pas exigible

Pour étudier l'impact de la distance géographique entre populations sur la distance génétique entre ces populations, le F_{ST} a été calculé pour toutes les paires de populations. Les distances géographiques et génétiques (F_{ST}) ont ensuite été corrélées dans les deux espèces. Les figures suivantes présentent ces résultats pour *C. nemoralis* (a) et pour *C. punctatoauretus* (b) :



Remarques :

- Les droites sont les droites de régression du F_{ST} sur le logarithme de la distance géographique.
- R^2 de la régression indique la proportion de variation du F_{ST} expliquée par la distance géographique.
- ns : régression non significative (au seuil de 5%). *** : régression significative ($p < 0.0001$)

► **Question 4** : Interprétez ces résultats. (cadre V.4)

cadre V.4

Le premier point à noter est la différence d'échelle entre les deux espèces : chez *C. nemoralis* le F_{ST} varie entre 0 et 0.05, chez *C. punctatoaureus* il varie entre 0 et 0.1. Globalement, la migration est donc moins importante dans la deuxième espèce.

Plus précisément, chez *C. nemoralis* il n'y a pas de relation significative entre la distance géographique et la distance génétique, les variations de la première n'expliquant qu'une très faible part (1.5%) des variations de la seconde. Chez cette espèce, la migration est donc suffisamment importante pour homogénéiser les populations entre elles, même à longue distance.

Au contraire, chez *C. punctatoaureus*, la relation entre les deux distances est significativement positive et 11% de la variation du F_{ST} est expliquée par les différences de distance entre populations. Plus les populations sont éloignées géographiquement moins elles échangent de migrants et moins elles se ressemblent génétiquement.

En conclusion, contrairement à la structure génétique intra-population, les deux espèces diffèrent par leur structure inter-population du fait des capacités de migration moins importantes chez l'espèce spécialiste (*C. punctatoaureus*) par rapport à l'espèce généraliste (*C. nemoralis*).

Pour évaluer l'impact de la fragmentation du milieu forestier sur la structure génétique des populations de ces deux espèces, la même analyse a été réalisée mais en considérant deux types de distances géographiques : une distance à travers les habitats forestiers et une distance à travers les habitats ouverts. Le tableau suivant donne, pour les deux espèces, la pente des régressions et le R² de la régression.

		Distance :	
		À travers l'habitat ouvert	À travers la forêt
<i>C. nemoralis</i>	pente de la régression	0,001 **	-0,0001 ns
	R²	0,08	0,001
<i>C. punctatoauratus</i>	pente de la régression	0,004 **	0,002 **
	R²	0,27	0,15

ns : régression non significative

** : régression significative ($p < 0,01$)

► **Question 5** : Interprétez ces résultats en relation avec la spécialisation de l'habitat de ces deux espèces (cadre V.5)

cadre V.5

La relation testée précédemment dépend en fait du type d'habitat : pour les deux espèces le milieu ouvert est un frein à la migration (augmentation de la pente de la régression et du R²). Cependant l'effet reste faible pour l'espèce généraliste (*C. nemoralis*).

Les patrons de migrations des deux espèces diffèrent également en milieu forestier. Les plus faibles capacités de migration du spécialiste (question précédente) ne sont pas simplement dues aux barrières dues aux zones ouvertes car l'effet de la distance sur la migration est également significatif en milieu forestier. Pour le généraliste il ne semble pas y avoir de barrière à la migration en milieu fermé.

Il n'y a donc pas de lien immédiat entre degré de spécialisation et effet de la distance géographique sur la migration. Cependant, l'habitat ouvert est plus défavorable à la migration du spécialiste que du généraliste.

Nom :

Prénom :

Numéro de salle :

► **Question 6** : Des biologistes de la conservation s'intéressent aux conséquences de la fragmentation de l'habitat forestier. Comment ces deux espèces pourraient-elles servir de bio-indicateur de l'évolution de la fragmentation de l'habitat forestier ? Quelle serait l'espèce la plus menacée par une fragmentation de l'habitat forestier ? (cadre V.6)

cadre V.6

L'étude précédente montre que la structure génétique inter-population (F_{st}) dépend du type d'habitat ; l'habitat ouvert étant un frein à la migration de ces espèces, la fragmentation de l'habitat pourrait donc être évaluée à travers des mesures de F_{st} chez ces espèces. Une augmentation de cet indice indiquant une augmentation de la fragmentation. Dans une telle approche, la relation F_{st} / distance géographique devrait être évaluée sans a priori sur la fragmentation (comme dans la question 4 et non pas comme dans la question 6). L'espèce spécialiste serait alors un meilleur bio-indicateur puisque la relation F_{st} / distance géographiques est globalement significative et que cette espèce est plus sensible à la fragmentation

L'effet de la fragmentation (milieu ouvert) sur la migration du généraliste est relativement faible alors qu'elle est plus forte pour le spécialiste. A moyen / long terme, la fragmentation pourrait donc conduire à un isolement accru des populations de l'espèce spécialiste. Localement, l'isolement peut conduire à une diminution de la dynamique démographique des populations (effet à relativement court terme), et à une augmentation de la dérive génétique conduisant à une diminution de la diversité génétique et des capacités d'adaptation ainsi qu'à l'accumulation d'allèles faiblement délétères (fardeau de mutation) (effet à plus long terme). L'espèce de spécialiste semble donc plus menacée par la fragmentation de l'habitat que l'espèce de généraliste.

Nom :	Prénom :	Numéro de salle :
-------	----------	-------------------

VI/ Reconnaissances raisonnées

Pour chaque échantillon, donnez la nature, le groupe systématique le plus précis possible, ainsi que le rôle écologique de l'espèce au sein d'un sol.

Ech°	Nature	Position systématique	Rôle écologique
1	Plante en pied	Oyat, <i>Ammophila arenaria</i> . Angiosperme, Monocotylédone, Poacée	Fixation des dunes permettant la mise en place d'un sol
2	Individu adulte	Géophile. <i>Geophila sp.</i> Arthropode, Myriapode, Chilopode	Prédateur de la faune du sol (larves, lombric,...)
3	Crottes sèches	Lapin <i>Oryctolagus cuniculus</i> Vertébré, Mammifère, Lagomorphe	Apport de matière organique (dont azote) à la litière
4	Individu adulte	Cloporte. [<i>Armadillo officinalis</i>] Arthropode, Crustacé, Isopode	Détritivore. Fragmentation / décomposition de la litière. Décomposition de la cellulose / microflore du tube digestif
5	Racine ectomycorhizée	Conifère ou Angiosperme + Asco ou Basidiomycète	Nutrition de la plante, shunt partiel des cycles de minéralisation / absorption de N et P organiques
6	Thalle	<i>Rhizocarpon geographicum</i> Ascolichen	Organisme pionnier, colonisation de roche nue avant la mise en place d'un sol
7	Feuilles mortes	Hêtre. <i>Fagus sylvatica</i> Angiosperme, Eudicotylédone, Fagacée	Apport de matière organique à la litière
8	Individu adulte	Machille (Plusieurs genres possibles) Arthropode, Insecte, Thysanoure	Détritivores. Fragmentation / décomposition de la litière
9	Aiguilles mortes	Pin d'Alep. <i>Pinus halepensis</i> Conifère. Pinacée	Apport de matière organique à la litière (plutôt acidifiante)
10	Actinorhize	Aulne. <i>Alnus betulus</i> Angiosperme, Eudicotylédone, Bétulacée + <i>Frankia sp.</i> Eubactérie, Actinomycète	Fixation d'azote atmosphérique. Nutrition azotée de l'arbre. Accumulation d'azote
11	Individu adulte	Courtillière. <i>Gryllotalpa gryllotalpa</i> Arthropode, Insecte, Orthoptère.	Fouisseur omnivore : rhizophage, prédateur de vers de terre, de larves du sol,...
12	Individu adulte	Lombric. <i>Lombricus terrestris</i> Annélide, Oligochète, Lombricidée	Agit sur la structure du sol (porosité, brassage,...)
13	Feuilles mortes	Chêne pubescent. <i>Quercus pubescens</i> Angiosperme, Eudicotylédone, Fagacée	Apport de matière organique à la litière
14	Larve mélolontoïde	Cétoine. <i>Cetonia sp.</i> Arthropode, Insecte, Coléoptère	Rhizophage
15	Individu adulte	Staphylin noir. [<i>Ocipus olens</i>] Arthropode. Insecte. Coléoptère	Détritivore (végétaux, cadavres, excréments). Participe à la formation de l'humus
16	Carpophore sur écorce	[<i>Schizophyllum commune</i>] Eumycète. Basidiomycète	Saprophyte. Décomposition du bois (pourriture)
17	Individu adulte	Glomeris. <i>Glomeris sp.</i> Arthropode, Myriapode, Diplopode.	Détritivore phytophage. Fragmentation/ décomposition de la litière

Nom :	Prénom :	Numéro de salle :
-------	----------	-------------------

18	Plante en pied	<i>Tortula ruraliformis</i> Mousse (Pottiacée)	Plante pionnière, rétention de fine particule permettant la mise en place d'un sol
19	Coquille	Escargot « petit gris » <i>Helix aspersa</i> Mollusque. Gastéropode. Pulmoné	Fragmentation de la litière, dépôt d'enzyme et de mucus
20	Individu adulte	Carabe [à reflets dorés. <i>Carabus [auronitens]</i> Arthropode, Insecte, Coléoptère.	Prédateur d'animaux de la litière (vers de terre, larves,...)

Remarques concernant les TP de spécialité du secteur B

Autour du thème des sols (présent en particulier dans le thème 15 de spécialité), le TP visait à aborder les différents domaines du secteur B : écologie (I), biologie des organismes (II, III, IV), physiologie (IV), génétique des populations (V), connaissances naturalistes (VI). Les notes s'échelonnent de 3,92 à 14,28. 107 candidats ont traité les six exercices, 32 n'en ont traité que cinq ce qui entraîne une baisse moyenne de la note de 18%, et quatre n'en ont traité que quatre, avec une moyenne inférieure de 30%. Ceci illustre clairement l'importance d'aborder tous les exercices et de gérer le temps en conséquence.

En tant qu'épreuve de travaux pratiques, le jury attendait une démarche où les observations, les manipulations et les analyses de documents permettaient d'aboutir à des conclusions argumentées. Un défaut fréquemment rencontré est une tendance à n'utiliser les documents proposés que comme prétextes à la restitution de notions théoriques au lieu d'être le point de départ d'une démarche interprétative des objets biologiques, essentielle pour de futurs enseignants de SVT. A plusieurs reprises le jury devait évaluer l'adéquation entre les préparations des candidats et leur restitution et conclusions sur le compte-rendu. Les réponses aux questions justes mais non déduites des observations, et donc issues de connaissances théoriques, n'ont pas été prises en compte.

Le jury a tenu compte de la qualité des manipulations et de leur présentation mais également de la rigueur et de la concision de la rédaction.

Sur la correction, les énoncés corrigés en bleu correspondent aux modifications apportées le jour même du TP.

Exercice 1

L'objectif de cet exercice était de mettre en relation des données diverses mimant ce qui pourrait être réalisé sur le terrain (manipulations simples, analyses de cartes, relevés floristiques).

La première question était volontairement ouverte pour tester les initiatives des candidats. Les expériences proposées ont souvent été peu ou pas décrites (alors que c'était demandé dans l'énoncé), ou, dans environ un cinquième des cas, totalement inappropriées (par exemple : test au HCl pour tester le pH !). Les analyses des caractéristiques des deux milieux ont été assez correctement traitées indépendamment les unes des autres (mais parfois avec des réponses ne correspondant pas à la bonne question). Cependant, les candidats ont eu des difficultés à mettre en relation les différentes questions pour élaborer une synthèse (questions 3 et 6). En particulier, la dernière question a été très mal traitée car de nombreux candidats ont présenté des schémas généraux théoriques sur l'influence de la roche mère, du sol, du climat,.... sans relation directe avec les caractéristiques des deux stations.

Exercice 2

L'objectif de cet exercice n'était pas de tester les connaissances a priori des candidats sur les Myriapodes mais de les faire réfléchir à partir des différentes observations, en particulier en terme de rapport structure/fonction. Cependant un minimum de connaissances sur les Arthropodes était requis.

Le jury attendait que les dissections des pièces buccales soient présentées de façon ordonnées et éclairées. Les pièces buccales ont été peu souvent extraites correctement et beaucoup de candidats ont pris les forcipules de la lithobie pour des mandibules. Les erreurs les moins acceptables concernent la position systématique des deux espèces : plusieurs candidats ont classé la lithobie dans les insectes en le justifiant par la présence d'une tête, d'un thorax et d'un abdomen, ainsi que de trois paires de pattes et de nombreuses fausses pattes. Un candidat a même conclu à annélides oligochètes pour le iule et annélides polychètes pour la lithobie !

Exercice 3

L'objectif de cet exercice était d'utiliser des manipulations et de mobiliser des connaissances classiques d'anatomie végétale dans un contexte un peu inhabituel.

18 candidats n'ont pas traités cet exercice. Beaucoup connaissaient la théorie des deux types de moisissures mais n'ont pas été capable de relier leur observation sur les coupes et les micrographies à leurs connaissances, certains ayant même cherché à faire coller la réalité à leurs présupposés théoriques. Le jury attendait que les candidats réalisent des coupes transversales et longitudinales ce qui a peu été fait.

Exercice 4

Dans cette exercice, deux observations simples (endomycorhizes et nodosités) permettait d'introduire des questions assez classiques de physiologie végétale.

Les montages d'endomycorhizes ont été bien réalisés, étant facilités par la coloration préalable. Les analyses de structures ont cependant été assez peu réussies car les candidats ont peu reconnu les structures au niveau de l'endomycorhize. Pour la nodosité, beaucoup de candidats, ayant compris qu'il s'agissait de nodosité, ont plaqué des légendes théoriques apprises au lieu de se baser sur l'observation et de justifier les structures. Les analyses des documents ont été relativement bien réussies. Pour la dernière question, la grande majorité des candidats, connaissant bien ce sujet, n'a eu aucun mal à remplir le tableau attendu, mais sans doute plus souvent à partir de notions apprises, qu'à partir des conclusions des précédentes questions. On remarquera le non respect assez fréquent de la consigne de l'énoncé, certains proposant un texte et plus souvent encore un ou des schémas, lorsqu'il était demandé un tableau-bilan.

Exercice 5

Cet exercice visait à tester la compréhension pratique de quelques éléments de génétique des populations, discipline du programme souvent perçue de façon abstraite et désincarnée.

20 candidats n'ont pas traité cet exercice mais certains l'ont très bien fait. Beaucoup de candidats n'ont pas compris Hardy-Weinberg : $p^2+2pq+q^2=1$ n'est pas la condition d'équilibre d'Hardy-Weinberg, cette relation est toujours vérifiée par définition de p et q !¹ La suite de l'exercice a été très inégalement traitée, les erreurs ne venant pas tant d'une méconnaissance de la génétique des populations que d'un manque de logique et d'une difficulté à interpréter les droites de régressions. Les régressions non significatives ont assez souvent été interprétées comme une absence de migration alors que les F_{st} étaient proches de 0 et que la plupart des candidats avaient bien compris à la question 3 qu'un F_{st} proche de 0 correspondait à une migration importante. Enfin il est important de noter une méconnaissance de l'interprétation des résultats de tests statistiques. Les différences non-significatives ont été souvent interprétées soit comme différentes malgré tout, soit comme « non-comparables ».

Exercice 6

Les reconnaissances proposées présentaient des niveaux de difficultés graduels (cf. correction). Certains candidats ont de bonnes connaissances naturalistes. Par contre certaines grosses confusions très étonnantes ont été pénalisées. Ne pas reconnaître de l'oyat est une chose, le confondre avec du blé (erreur fréquente) en est une autre (un candidat a même précisé que le blé était une plante pionnière fixatrice l'azote). De même il n'est pas normal de prendre des crottes de lapins pour des pelotes de réjection de rapace, des ectomycorhizes pour des algues (fucus, algue rouge), des actinorhizes pour des cônes de cyprès ou encore un lombric pour un nématode. Il faut également noter que le jury n'a pas accordé de point pour les positions systématiques très générales comme Métazoaire ou Embryophytes.

¹ ! Il est à noter que cette erreur a également été rencontrée fréquemment dans les copies d'écrit du B.

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

CONCOURS EXTERNE ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2007

TRAVAUX PRATIQUES DE SPÉCIALITÉ DU SECTEUR C

Durée totale : 6 heures

Subduction et processus associés

Ce document contient 27 pages de texte et de figures, dont deux planches A4 qui correspondent à un extrait de carte géologique et à sa légende, un calque et une feuille de papier millimétré.

Vous devez répondre directement sur les feuilles, dans les espaces prévus à cet effet, et rendre la totalité des pages numérotées dans le livret.

Les travaux proposés dans le cadre de cette épreuve pratique sont consacrés à la géologie du système « Amérique Centrale / Caraïbes » et de l'édifice alpin.

L'épreuve est constituée de 8 exercices :

- **Exercice 1** : barème 15 /100 – durée conseillée 45'.
- **Exercice 2** : barème 10 / 100 – durée conseillée 40'.
- **Exercice 3** : barème 10 / 100 – durée conseillée 35'.
- **Exercice 4** : barème 10 / 100 – durée conseillée 40' dont 20' de durée maximum d'observation.
- **Exercice 5** : barème 10 / 100 – durée conseillée 35'
- **Exercice 6** : barème 10 / 100 – durée conseillée 40'.
- **Exercice 7** : barème 10 / 100 – durée conseillée 35' dont 20' de durée maximum d'observation.
- **Exercice 8** : barème 25 / 100 – durée conseillée 90'.

AVANT DE RENDRE VOTRE COPIE, VERIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUE VOS NOM, PRENOM ET NUMERO DE SALLE EN TÊTE DE CHACUNE DES FEUILLES.

Nom ;

Prénom :

n° salle :

Exercice 1

durée conseillée : 45 minutes – barème : 15/100

À partir de l'analyse des documents 1 à 5, construire un schéma structural et cinématique du système «Amérique Centrale / Caraïbes ». Ce schéma sera construit sur le document 1B en utilisant la feuille de papier calque jointe au sujet. Vous prendrez soin de justifier votre résultat en répondant uniquement dans le cadre proposé ci-dessous.

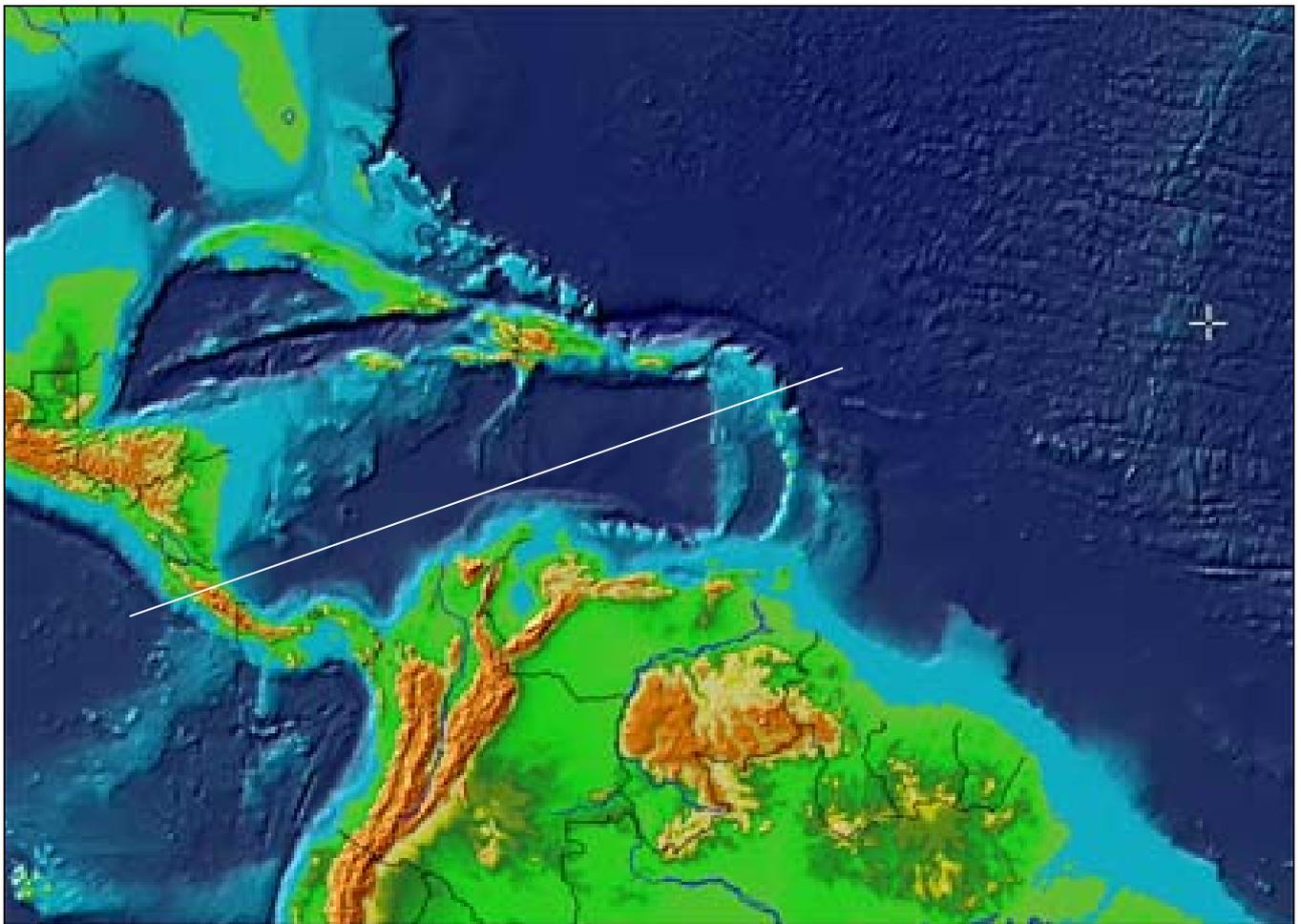
Nom ;

Prénom :

n° salle :



DOCUMENT 1 A : Carte géographique de la zone « Amérique Centrale / Caraïbes »

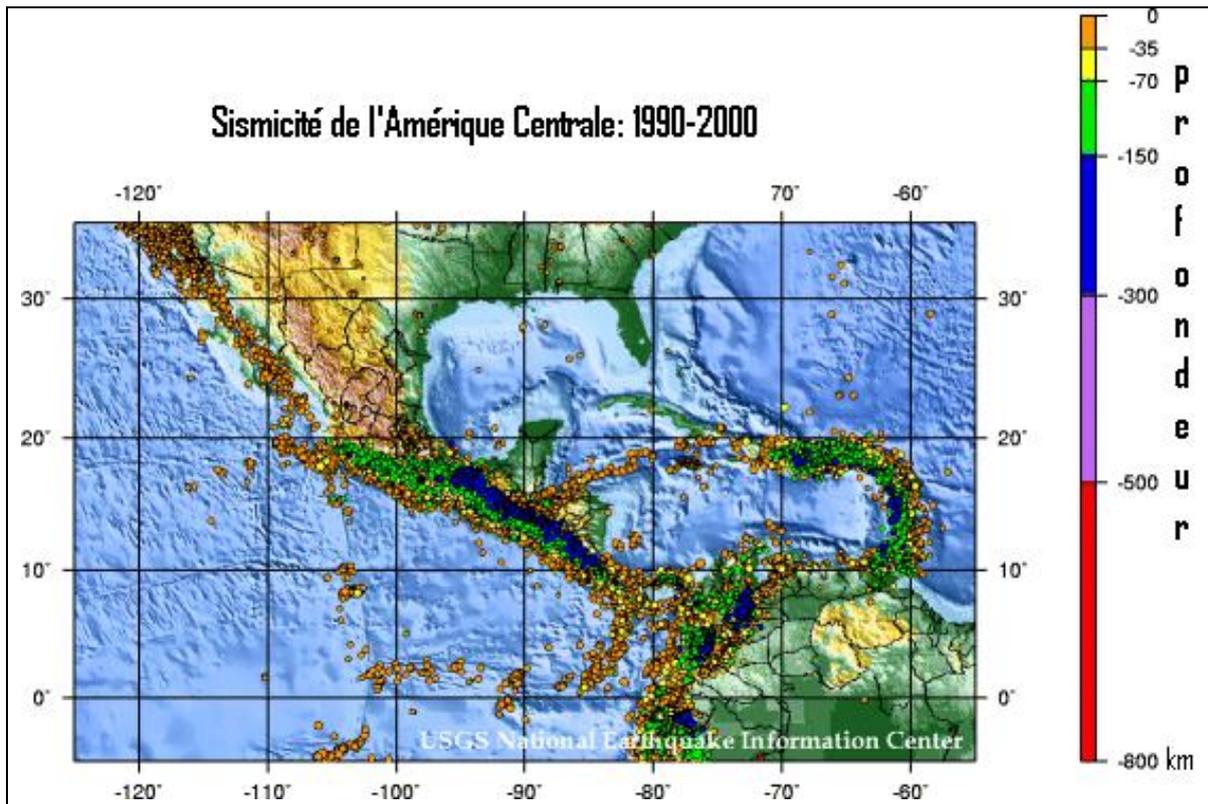


DOCUMENT 1 B : Topographie / bathymétrie de la zone « Amérique Centrale / Caraïbes »

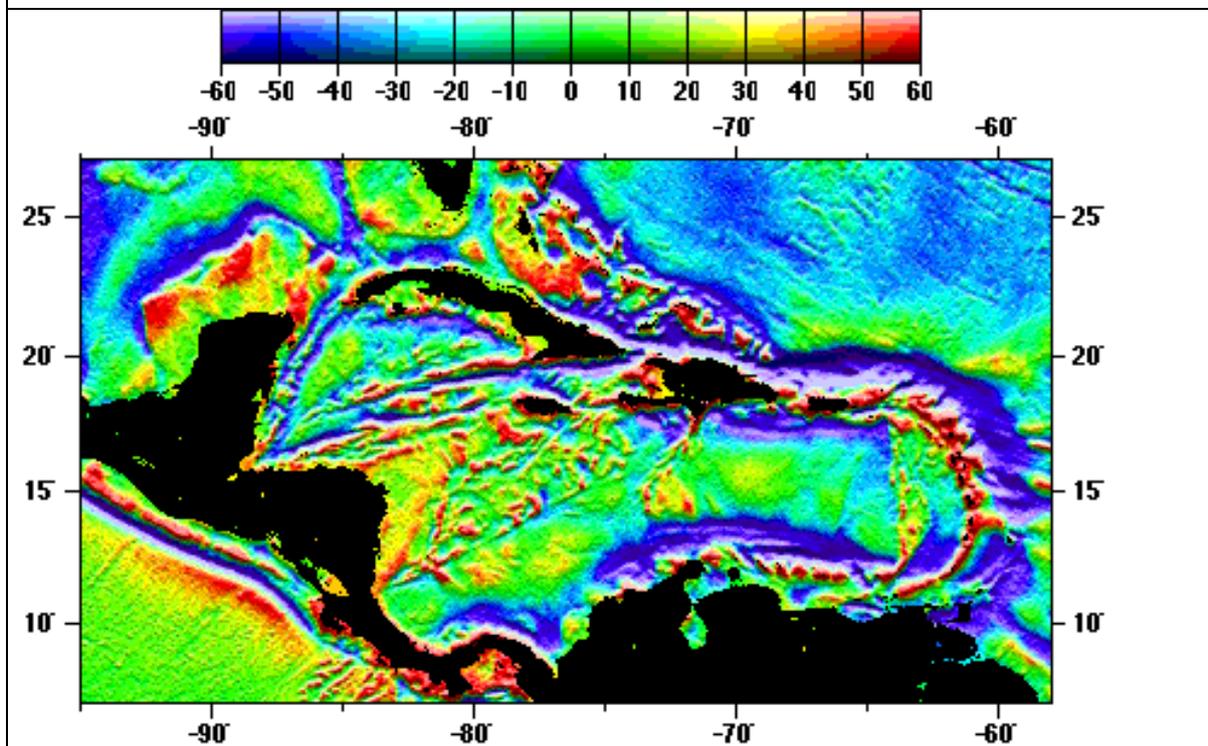
Nom ;

Prénom :

n° salle :



DOCUMENT 2A

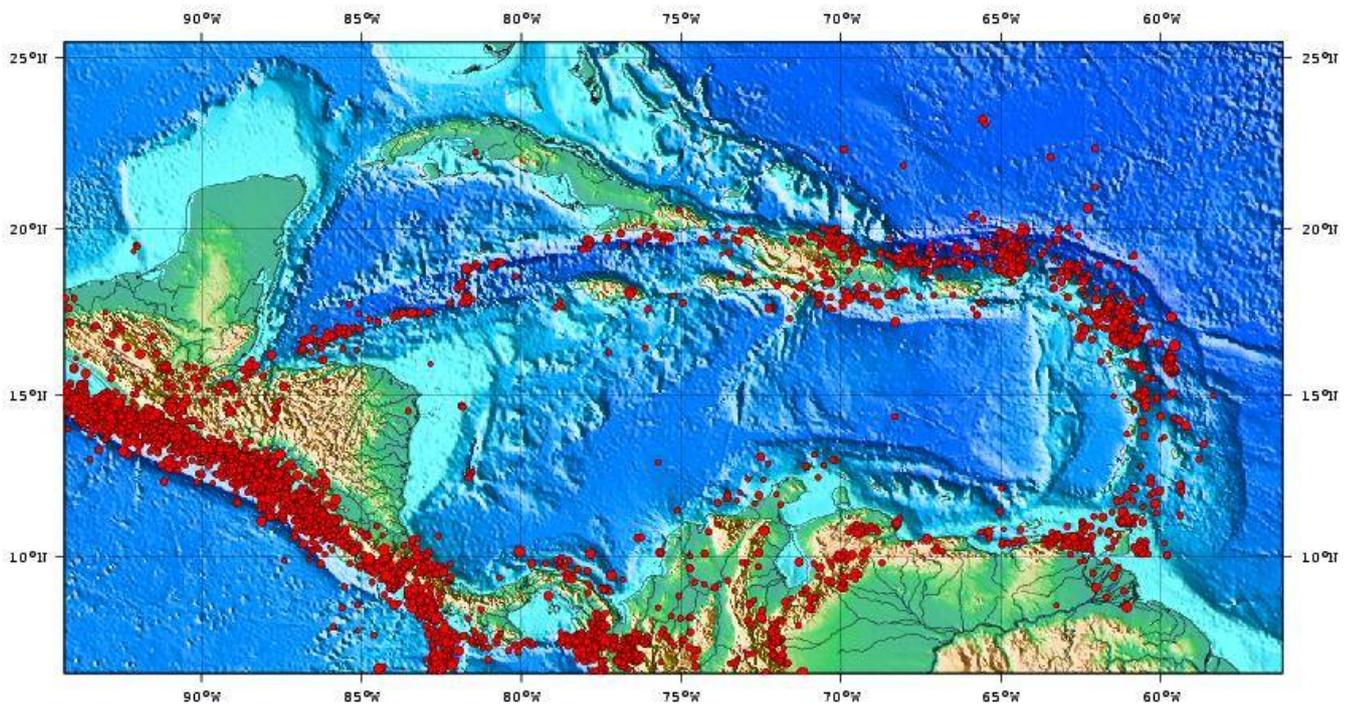


DOCUMENT 2B : Carte des anomalies de gravité à l'air libre : Amérique Centrale / Caraïbes

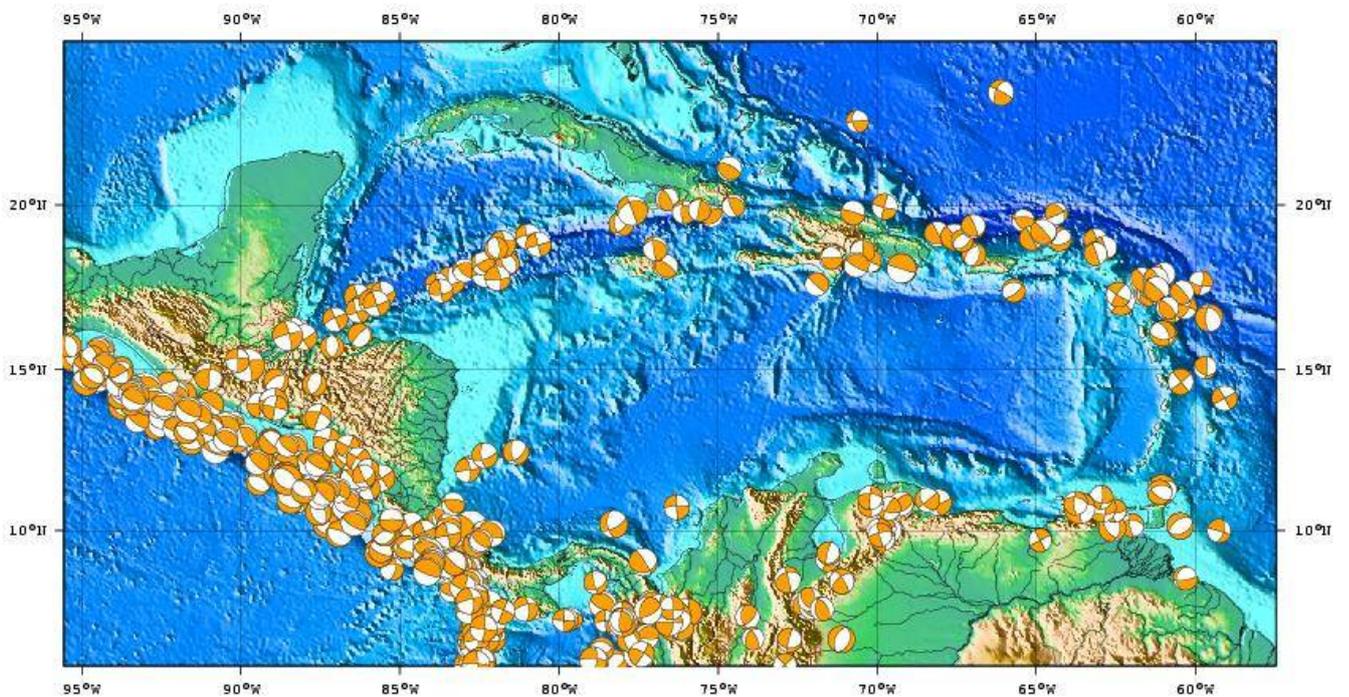
Nom ;

Prénom :

n° salle :

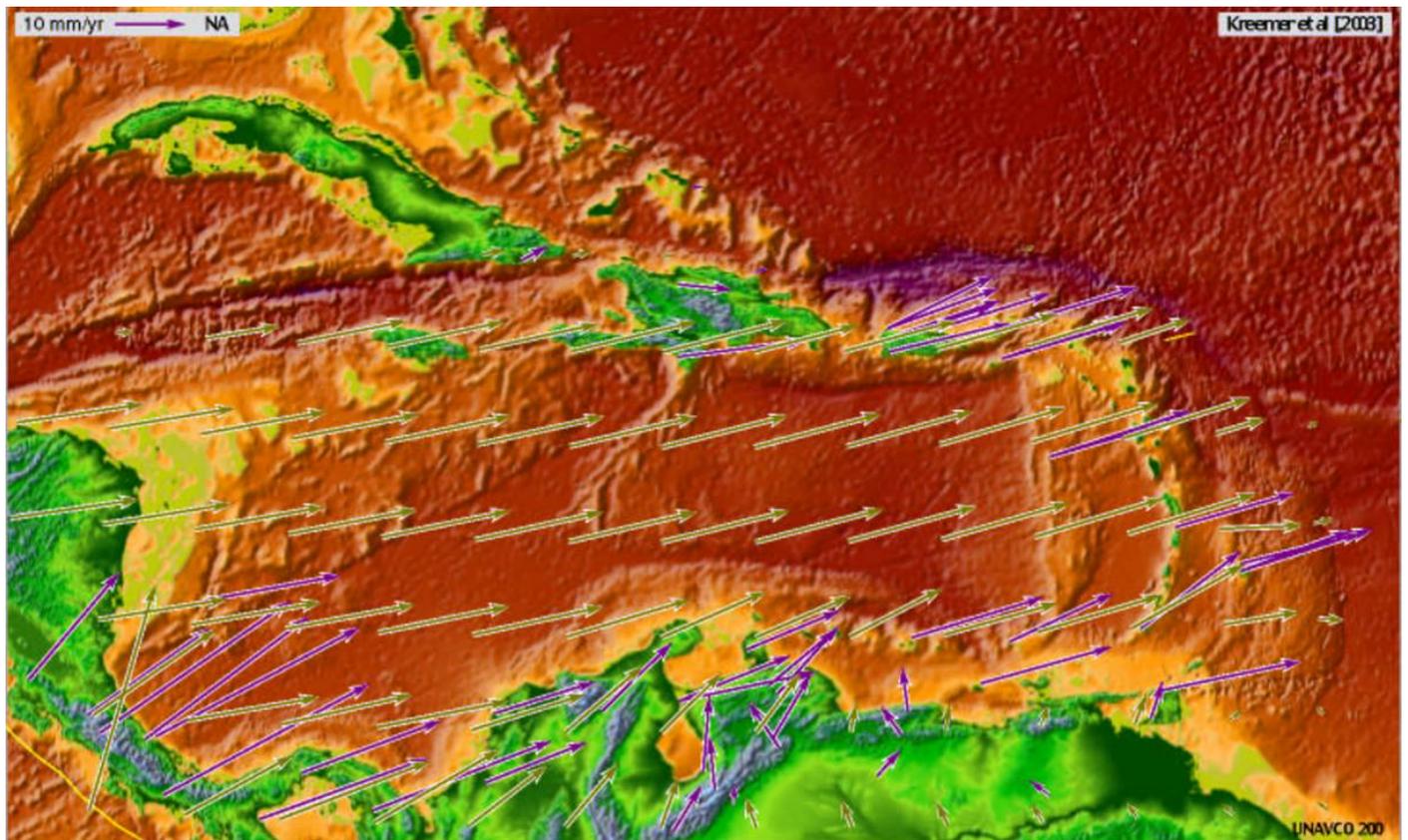


GMT 2004 Jun 18 16:26:33 Powered by GEOWIZARD



GMT 2004 Jun 18 17:08:32 Powered by GEOWIZARD

DOCUMENT 3 : Sismicité et mécanismes aux foyers dans la zone « Amérique/Centrale Caraïbes »



DOCUMENT 4 : Vitesses GPS dans le système « Amérique Centrale / Caraïbes »

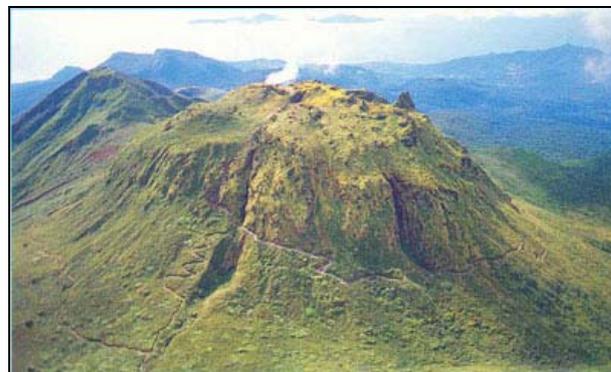
Nom ;

Prénom :

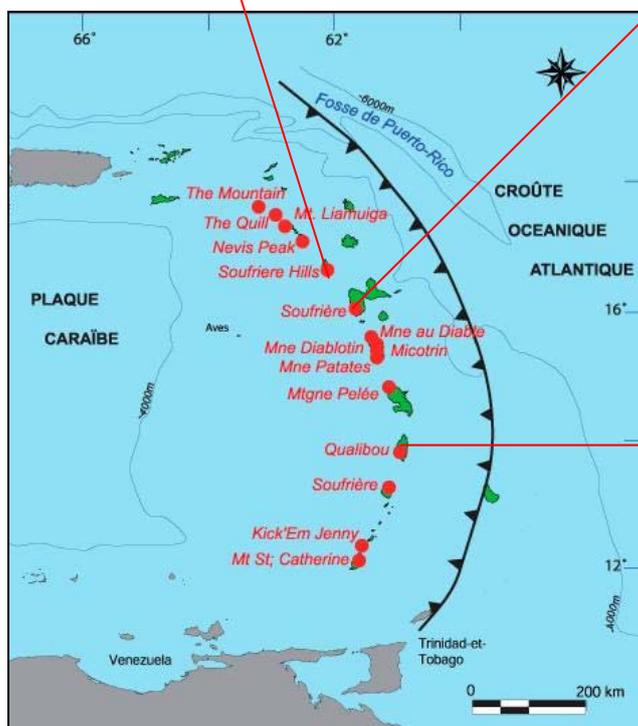
n° salle :



Montserrat



Guadeloupe



Ste Lucie

DOCUMENT 5 : Quelques structures géologiques remarquables des Petites Antilles

(les points rouges indiquent des objets équivalents)

Nom ;

Prénom :

n° salle :

Exercice 2

durée conseillée : 40 minutes – barème : 10/100

Les documents 6 à 9 présentent des échantillons et/ou des analyses chimiques de roches typiques de la province magmatique crétacée du système étudié. Dans le cadre ci-dessous, décrire et analyser les principales caractéristiques des échantillons présentés. Quelle conséquence en tirez-vous pour la nature de la plaque Caraïbes ?

Nom ;

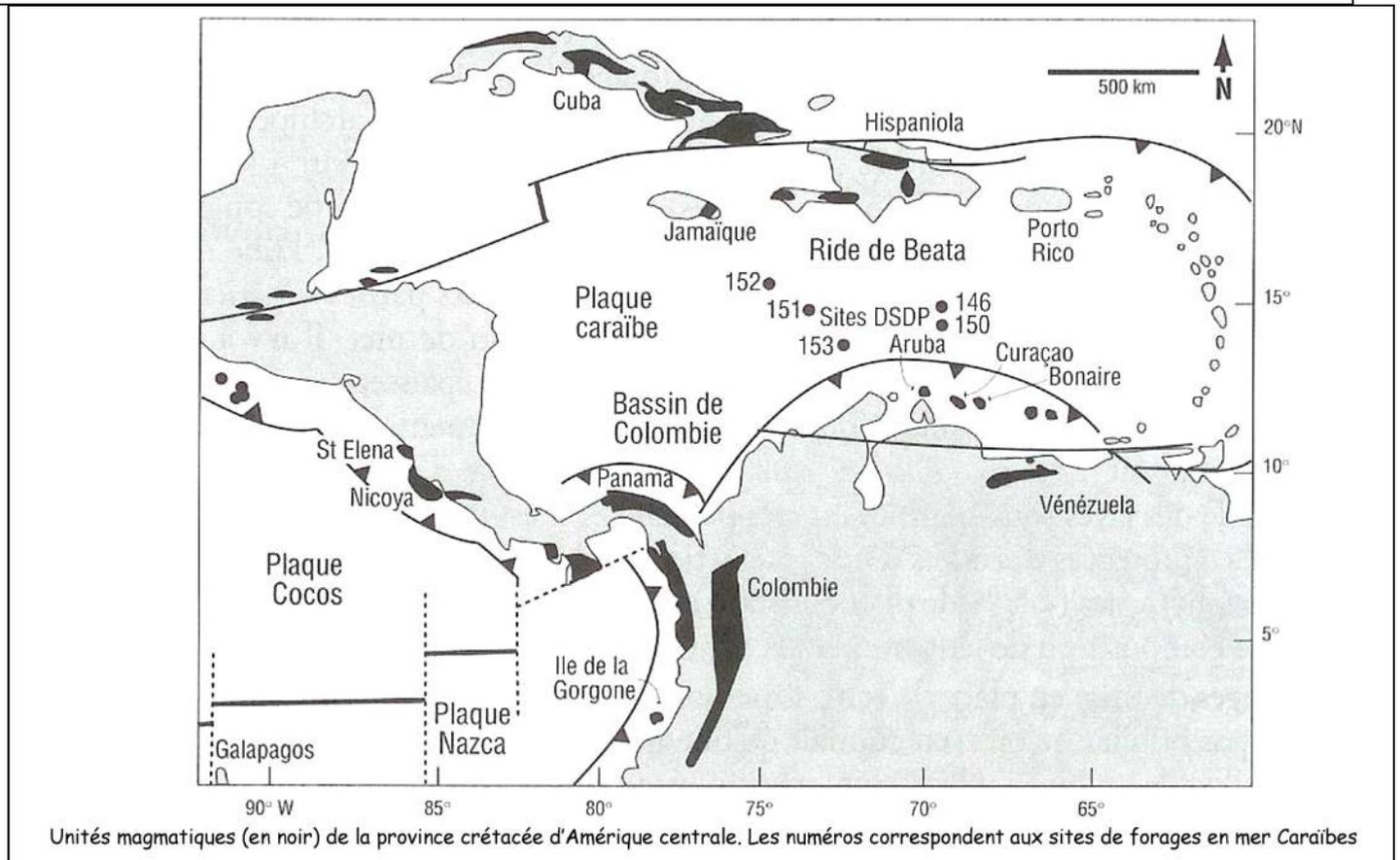
Prénom :

n° salle :

Nom ;

Prénom :

n° salle :



DOCUMENT 6



DOCUMENT 7 A : Échantillon macroscopique (lave). Île de la Gorgone

Nom ;

Prénom :

n° salle :



olivine

DOCUMENT 7 B : Échantillon microscopique (microscope polarisant, LPA) de la roche du document 7A. Île de la Gorgone



DOCUMENT 8 A : Affleurements de basaltes à Curaçao



DOCUMENT 8 B : Textures d'échelle centimétrique observables dans les laves de Curaçao

Eléments analysés	(% oxydes)	Site 146
SiO ₂		48,89
TiO ₂		1,23
Al ₂ O ₃		14,38
Fe ₂ O ₃ (fer total)		12,75
MnO		0,18
MgO		8,99
CaO		10,80
Na ₂ O		1,90
K ₂ O		0,72
P ₂ O ₅		0,18

DOCUMENT 9 : Analyse chimique de basalte du site 146

Nom ;

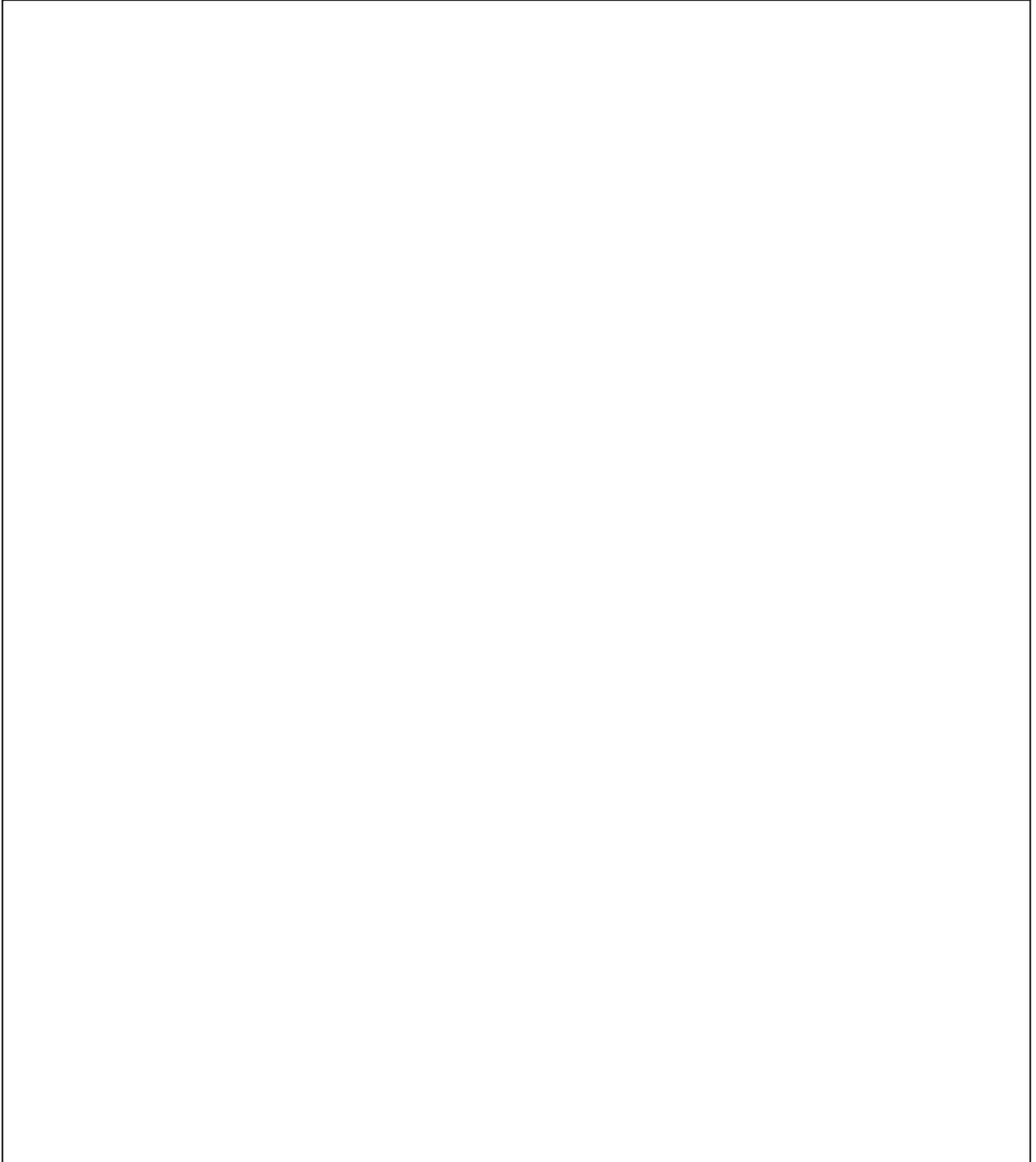
Prénom :

n° salle :

Exercice 3

durée conseillée : 35 minutes – barème : 10/100

En utilisant l'ensemble des données présentées dans les documents 1 à 9, dessiner, dans le cadre ci-dessous, une coupe synthétique, d'échelle lithosphérique, selon le tracé WSW-ENE (ligne blanche) indiqué sur le document 1B.



Nom ;

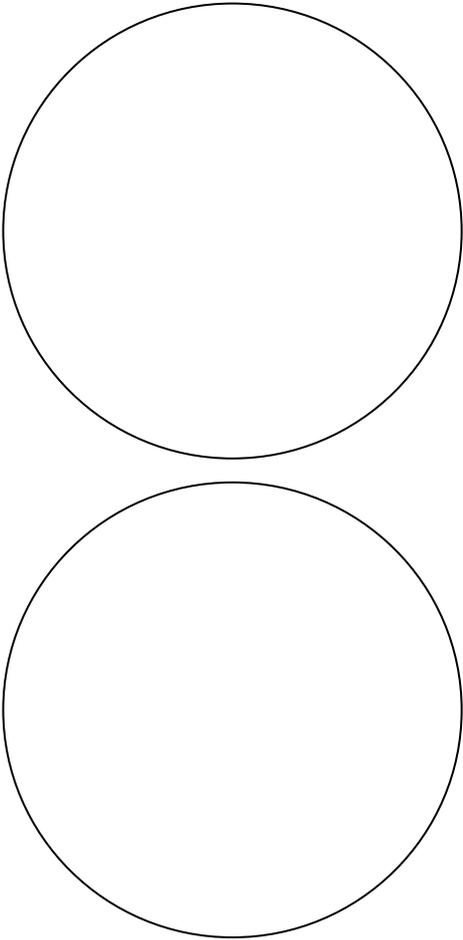
Prénom :

n° salle :

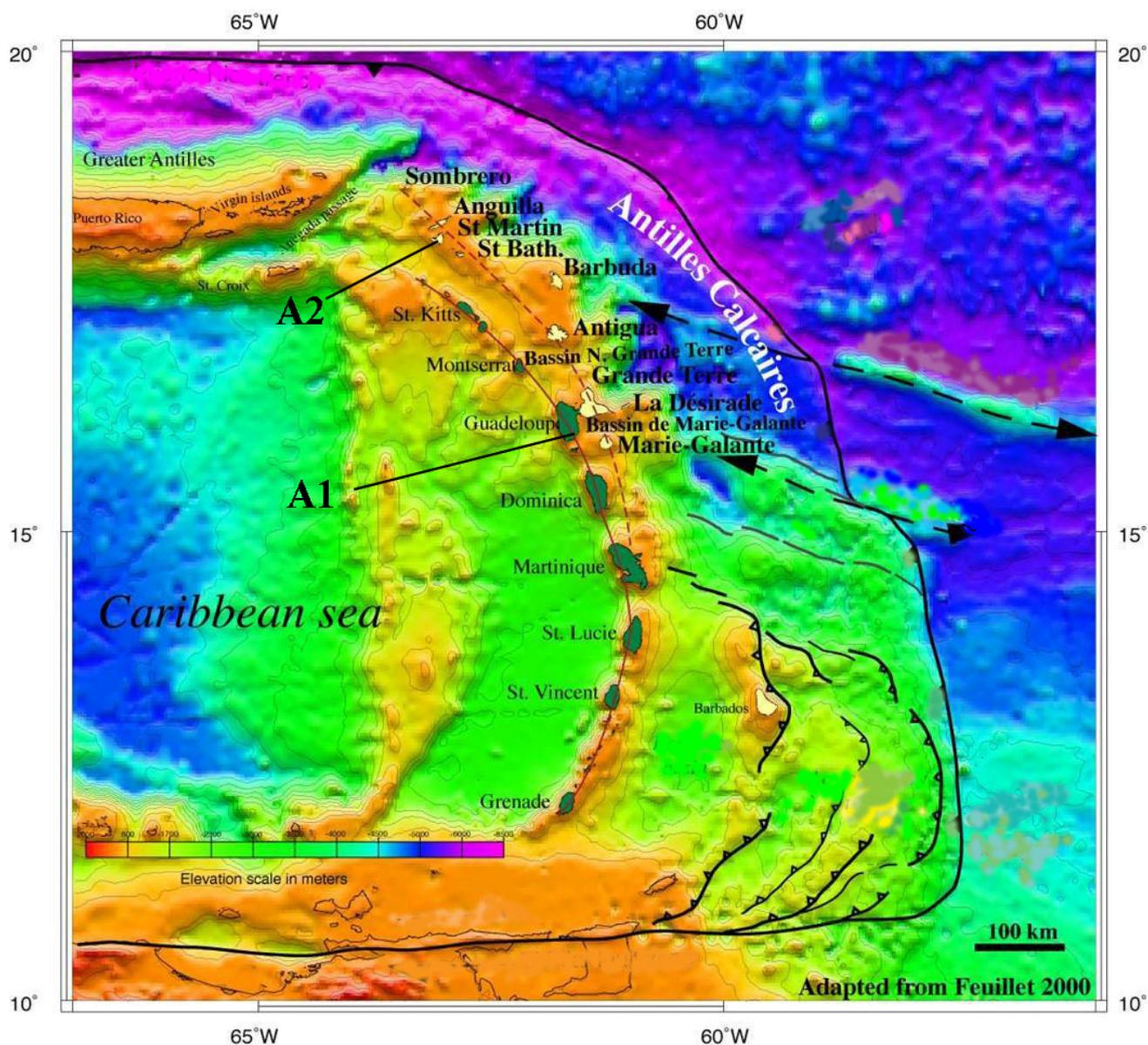
Exercice 4

*durée conseillée : 40 minutes (**dont 20 minutes d'observation au maximum**) – barème : 10/100*

Observer au microscope polarisant (poste1), décrire et identifier les échantillons A1 et A2 dont les localisations et les analyses chimiques sont données dans le document 10. Les réponses sont à inscrire dans le cadre ci-dessous.



The form consists of a large rectangular frame containing two large, empty circles stacked vertically on the left side. These circles are intended for the student to draw or write their observations and identifications for samples A1 and A2.



DOCUMENT 10 A : Localisation des échantillons A1 (Guadeloupe) et A2 (St-Martin) dans les arcs des petites Antilles. Les îles représentées en vert correspondent à un arc récent à actuel. Les îles représentées en blanc correspondent à un arc d'âge oligocène

Analyse chimique en % d'oxydes	échantillon A1	échantillon A2
SiO ₂	58,81	66,88
TiO ₂	0,83	0,57
Al ₂ O ₃	17,13	15,66
Fe ₂ O ₃	3,25	1,33
FeO	4,31	2,59
MnO	0,11	0,07
MgO	3,34	1,57
CaO	6,81	3,56
Na ₂ O	3,32	3,84
K ₂ O	1,53	3,07
P ₂ O ₅	0,09	0,21

DOCUMENT 10 B : Analyses chimiques des échantillons A1 et A2

Nom ;

Prénom :

n° salle :

Exercice 5

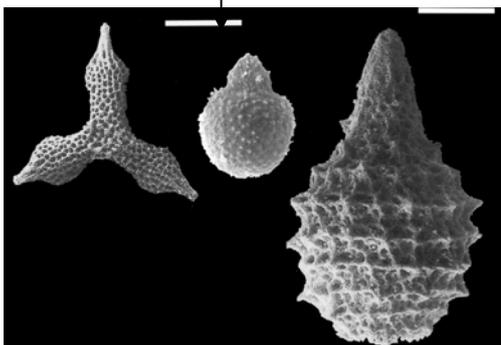
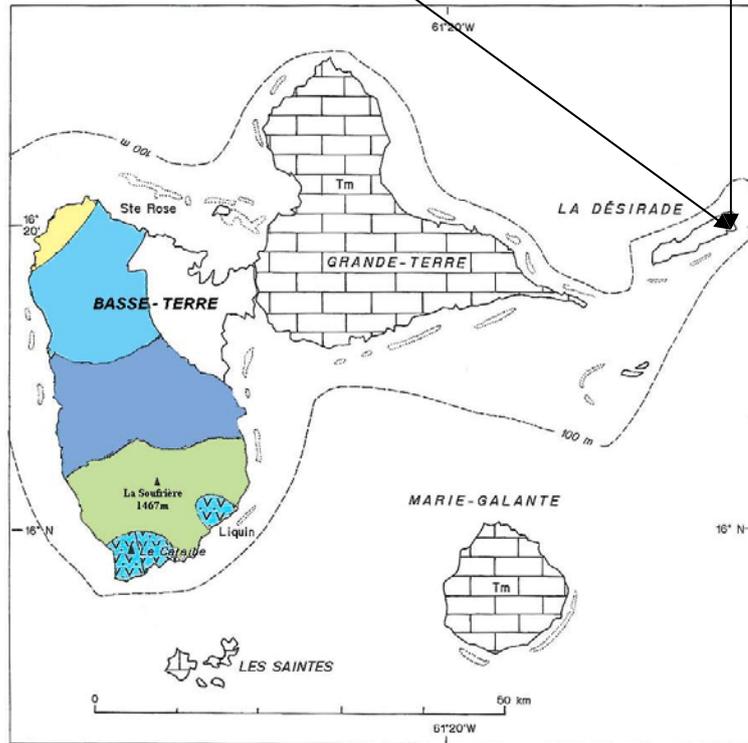
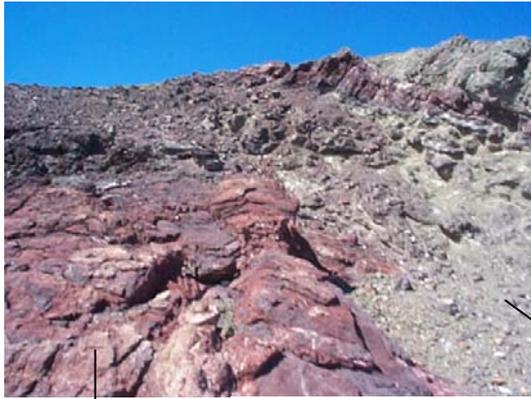
durée conseillée : 35 minutes – barème : 10/100

Le document 11 présente des affleurements caractéristiques de l'île de la Désirade. Identifier les formations géologiques présentées. Quelques microfossiles caractéristiques de ces affleurements sont présentés. Donner un nom aux microfossiles rencontrés dans cette lame. Préciser leur intérêt biostratigraphique.

Nom ;

Prénom :

n° salle :



DOCUMENT 11 : Carte géologique simplifiée de la Guadeloupe. Les différentes couleurs représentent les différents systèmes volcaniques de l'arc récent à actuel de Basse-Terre. Les photographies représentent des microfossiles caractéristiques de la Désirade (les traits blancs représentent 50 μ m).

Nom ;

Prénom :

n° salle :

Exercice 6

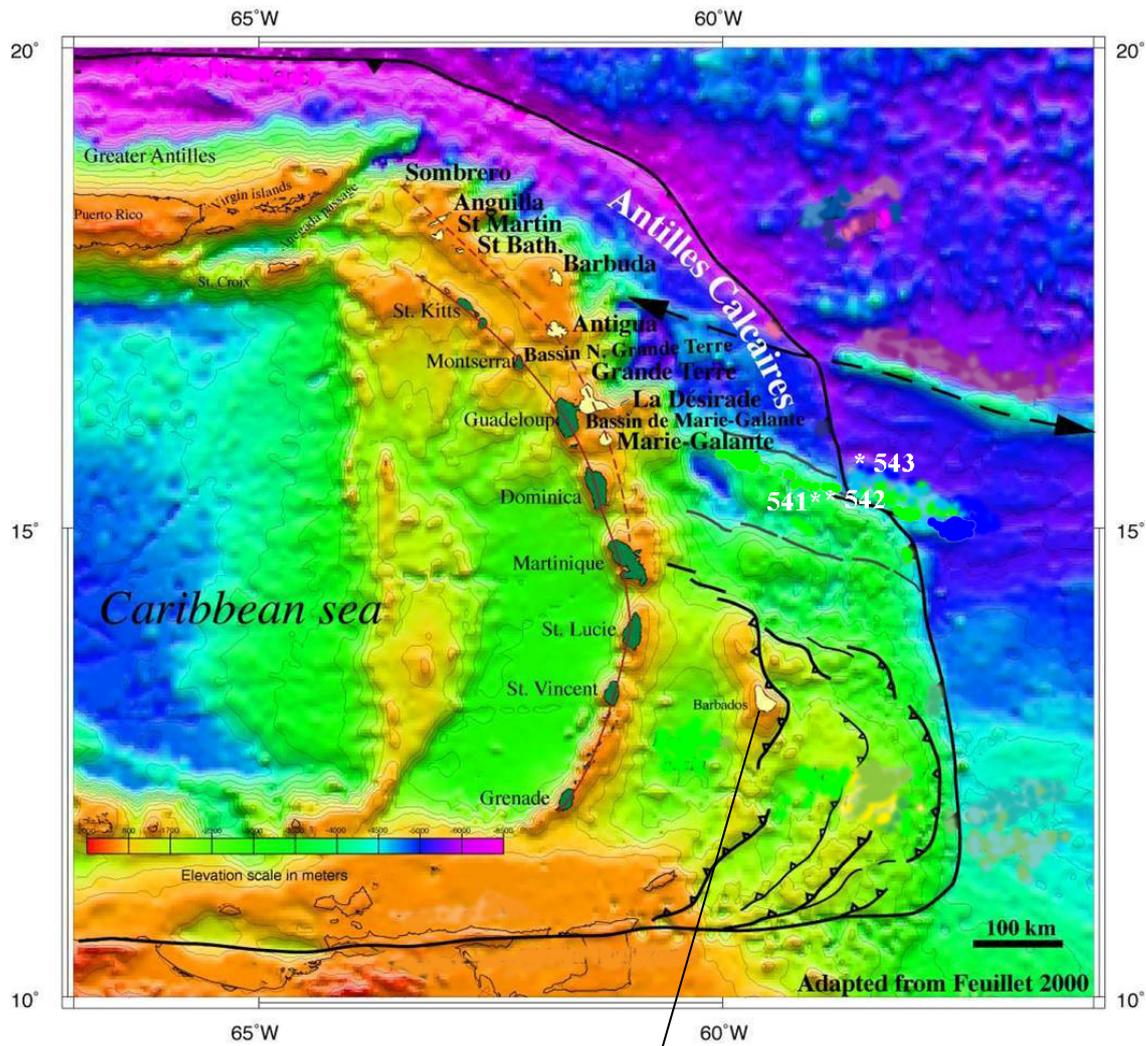
durée conseillée : 40 minutes – barème : 10/100

Les documents 12 et 13 présentent des données géophysiques, des résultats de sondages et des affleurements dans l'arc des Petites Antilles. Analyser et commenter, dans le cadre ci-dessous, ces documents en termes d'évolution tectono-sédimentaire.

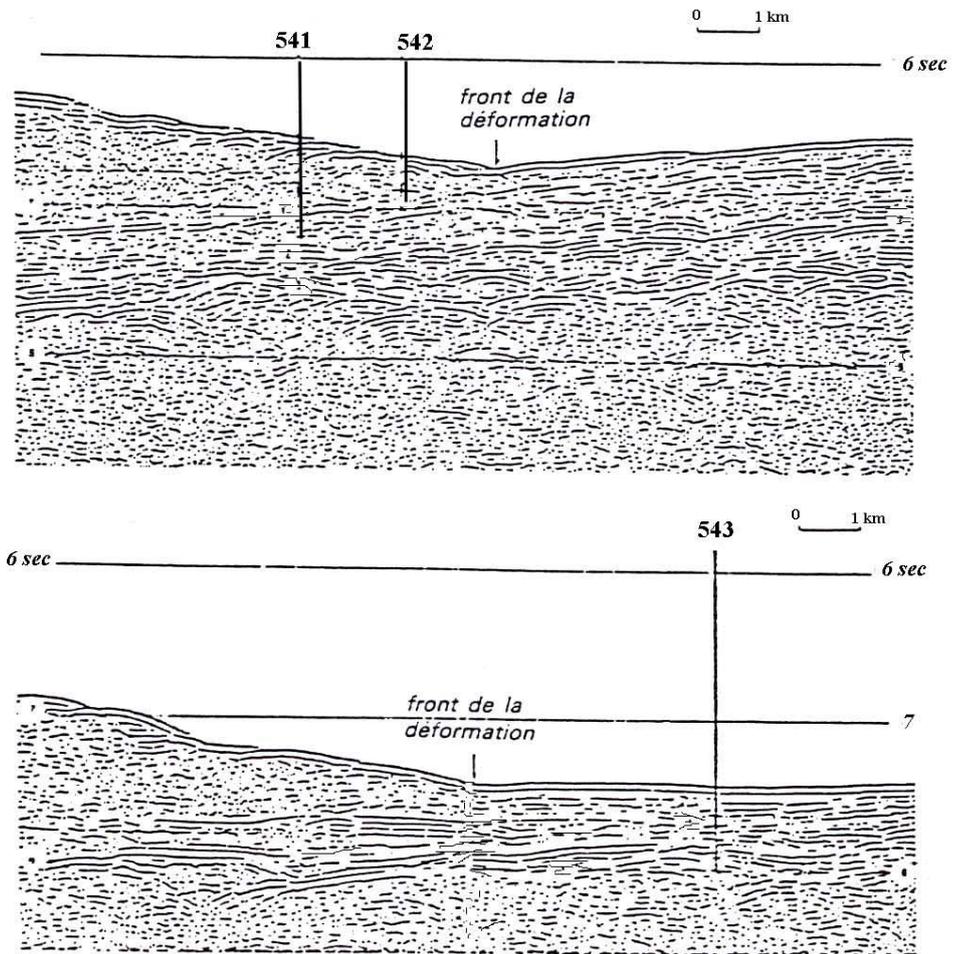
Nom ;

Prénom :

n° salle :

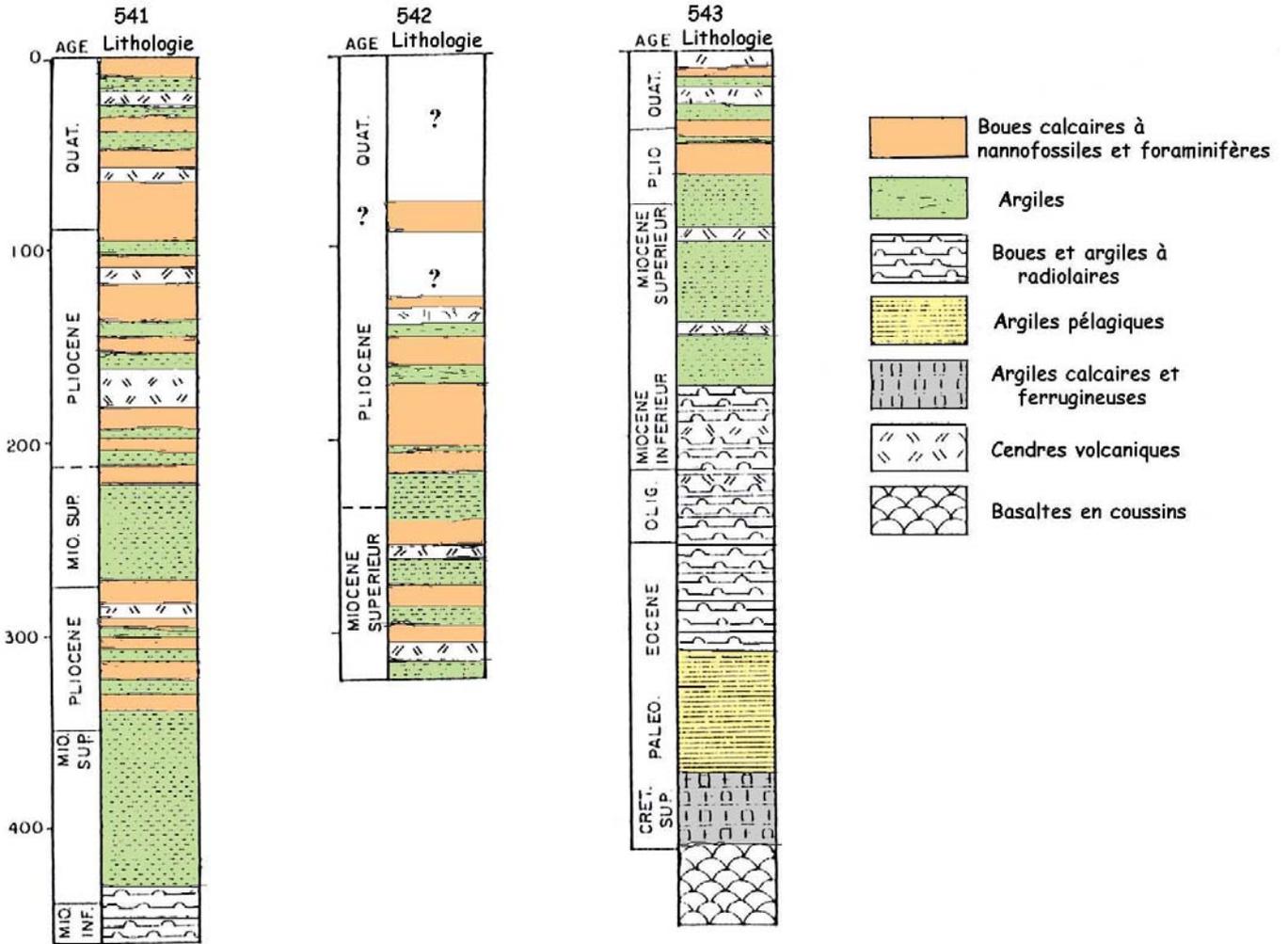


DOCUMENT 12 : Localisation des forages 541, 542 et 543 dans l'arc des Petites Antilles ; la photographie montre un affleurement dans l'île de la Barbade



Coupes obtenues par sismique-réflexion (d'après Mascle, Biju-Duval et N'Gokwey)

DOCUMENT 13 A : Données sismiques obtenues dans la zone des sites de forages 541, 542 et 543.



DOCUMENT 13 B : Données de forages des sites 541, 542 et 543.

Nom ;

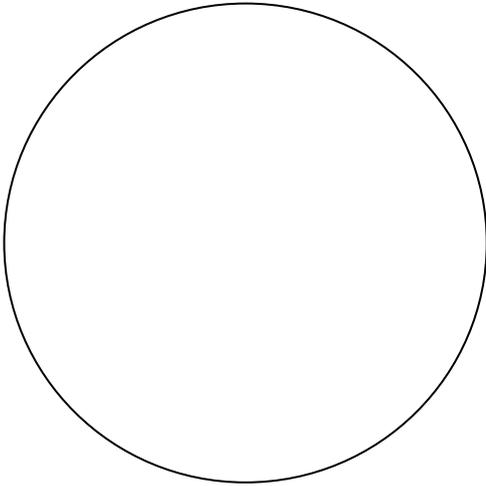
Prénom :

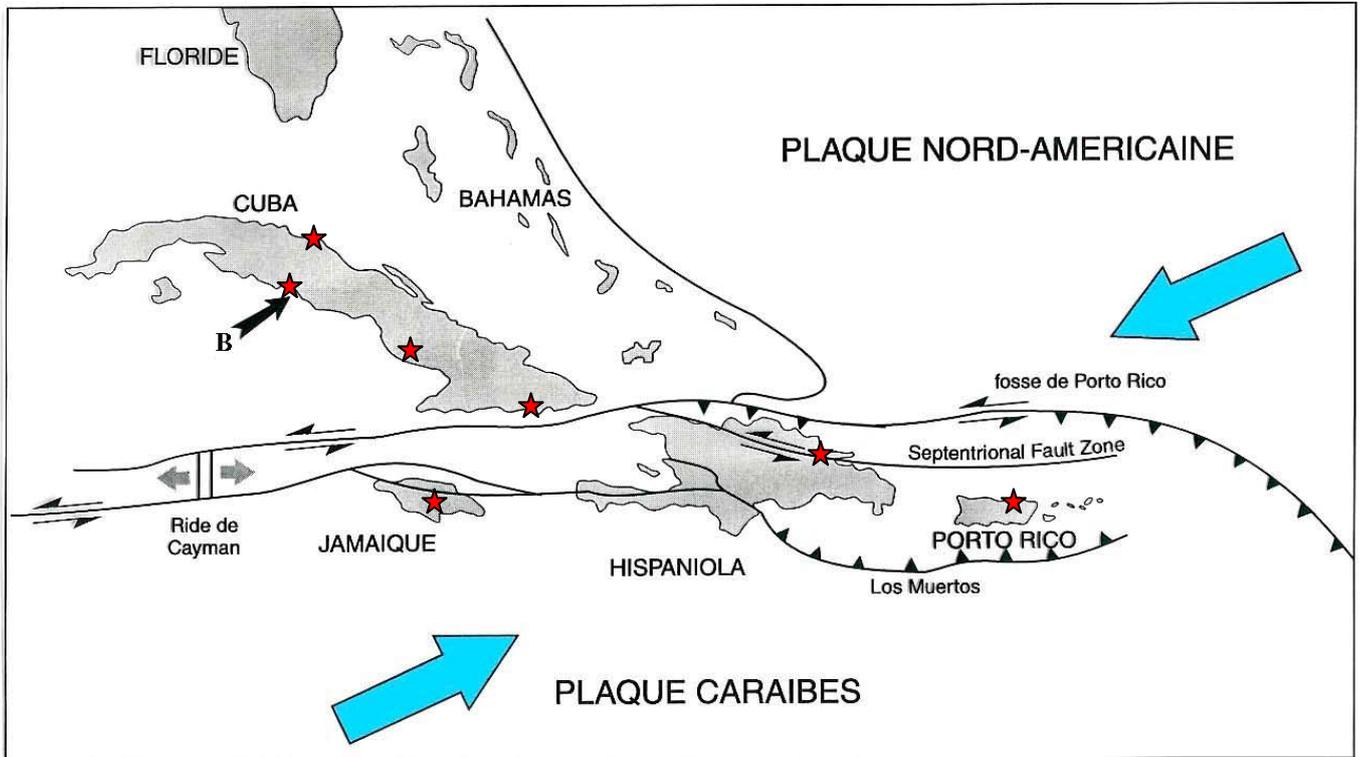
n° salle :

Exercice 7

*durée conseillée : 35 minutes (**dont 20 minutes d'observation au maximum**) – barème : 10/100*

Observer, au microscope polarisant (poste 2), décrire et identifier l'échantillon B dont la localisation est donnée par le document 14. Inscrire vos réponses dans le cadre ci-dessous.





DOCUMENT 14 : Carte structurale de la marge Nord-Caraïbes (Grandes Antilles) avec localisation de l'échantillon B. Les étoiles rouges indiquent les localisations d'échantillons identiques à B.

Nom ;

Prénom :

n° salle :

Exercice 8

durée conseillée : 90 minutes – barème : 25/100

Décrire et identifier l'échantillon C de roche qui vous est fourni. Cette roche a été échantillonnée dans les zones internes des Alpes occidentales sur le territoire couvert par la feuille de GAP au 1/250 000 (documents 15 A et B). Construire, sur le papier millimétré fourni, une coupe géologique selon le profil A-B représenté sur le document 15 A

Échantillon C



DOCUMENT 15 A : Extrait de la carte géologique de Gap au 1/250 000
DOCUMENT 15 B : Extrait de la légende de la carte géologique de Gap au 1/250 000

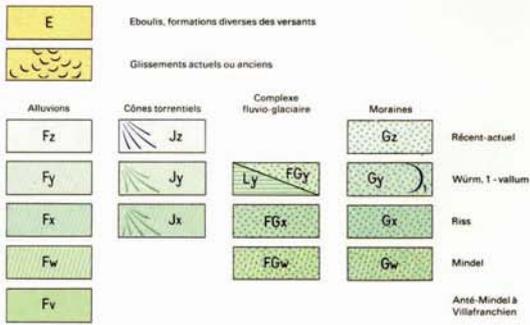
(pages suivantes)

Nom :

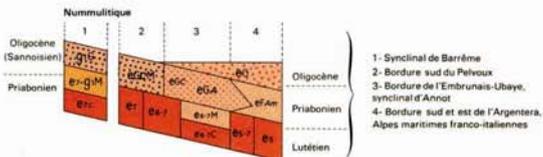
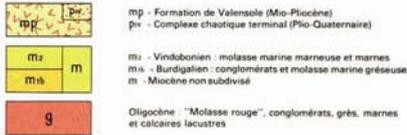
Prénom :

n° salle :

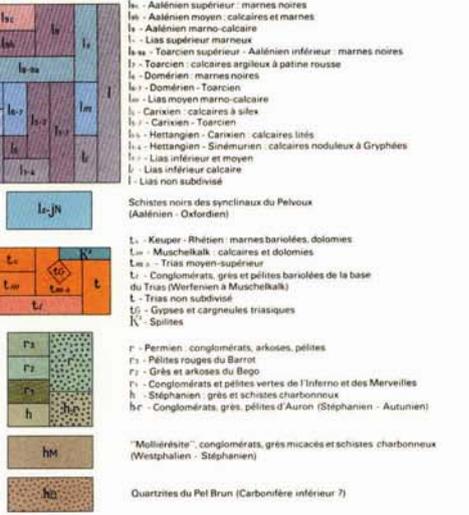
FORMATIONS SUPERFICIELLES ET QUATERNAIRES



ZONE EXTERNE



g₀ - Marnes, grès et conglomérats pyroclastiques
g₀M - Grès du Champsaur, faciès mouchet pyroclastique
g₀C - Grès du Champsaur, faciès flysch passant au Nord au flysch des Aiguilles d'Arves
g₀A - Grès d'Annot
g₀S - Schistes à blocs (olasthromes)
efAm - Flysch des Alpes maritimes
g₀M - **g₀M** - "Marnes bleues" à Globigérines
en - **es** - **en** - Conglomérats et calcaires à petites Nummulites
en - **es** - Calcaires à petites Nummulites et schistes à Globigérines
es - **es** - Calcaires à grandes Nummulites et marnes à Globigérines

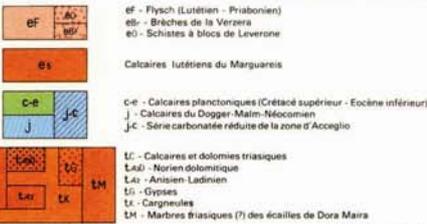


ZONE SUBBRIANÇOINNAISE

(s. l. y compris l'unité "paraautochtone" du col de Tende)



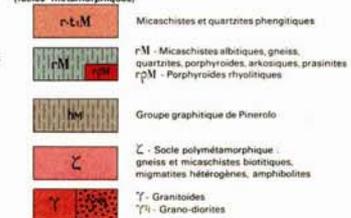
ZONE BRIANÇOINNAISE, MASSIF CRISTALLIN INTERNE DE DORA MAIRA ET SEMELLE SILICEUSE DES UNITÉS PIÉMONTAISES



Zone Briançonnaise externe



Briançonnais interne (faciès métamorphiques)



ZONE PIÉMONTAISE, DOMAINE LIGURE ET BASSIN NÉOGÈNE PADAN

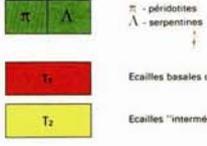


CFB - Pétilles noires et versicolores à nodules manganésifères

"Complexe de base des flyschs à Helminthoïdes" (Albien - Cénomanien ?)
S₁ - Schistes de Roche noire



ZONE DE LANZO



ENSEMBLES TECTONIQUES

Nom ;

Prénom :

n° salle :

Comparez les caractéristiques du prisme sédimentaire de la Barbade et des sédiments orogéniques éocènes et oligocènes de la région de Gap. En quoi l'étude du système « Amérique Centrale / Caraïbes » vous permet-elle de mieux contraindre l'évolution des Alpes occidentales ?

Remarques générales concernant les TP de spécialité du secteur C

Le sujet proposé bien que constitué de huit exercices indépendants avait pour ambition de permettre aux candidats, d'une part de dégager certains des paramètres caractéristiques du processus de subduction et, d'autre part d'aboutir à une vision synthétique du système « Caraïbes ».

Plusieurs des exercices proposés pouvaient être traités à différents niveaux. Ainsi, l'étude, en lame mince, d'un échantillon d'une roche grenue de l'île de Saint-Martin (échantillon A2, exercice 4) devait conduire tous les candidats à identifier une grano-diorite. Mais l'observation des nombreuses transformations « secondaires », affectant les phases magmatiques et conduisant à la cristallisation d'associations à chlorite-actinote-pumpellyite, pouvait permettre aux candidats d'identifier les transformations « hydrothermales » typiques du fonctionnement des arcs magmatiques. Dans le même ordre d'idées, la reconnaissance de textures spécifiques de l'olivine de type « spinifex » (exercice 2), combinée aux données géochimiques sur le magmatisme crétacé, devait conduire tous les candidats à identifier un magmatisme très particulier (taux de fusion partielle anormalement élevé, magmas très magnésiens). La confrontation de ces données avec les autres observations géologiques et géophysiques proposées pouvait permettre d'identifier le « Plateau Océanique Caraïbes », qui constitue l'essentiel de la plaque Caraïbes. Mais au delà, il pouvait être attendu d'une part de l'identifier dans la construction de la coupe d'échelle lithosphérique demandée (exercice 3) et d'autre part de lui attribuer un rôle dans la localisation des subductions intra océaniques.

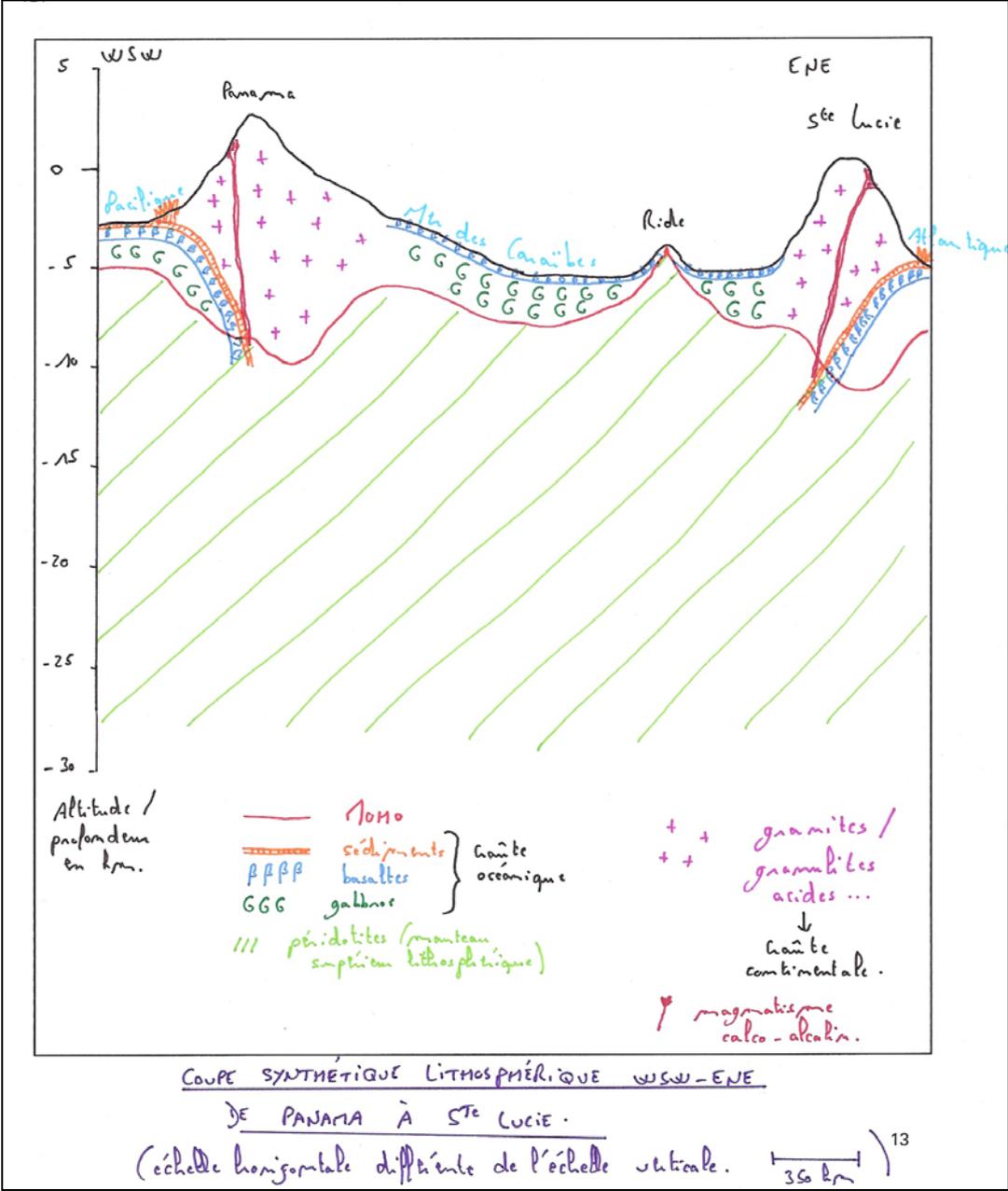
Ces différents niveaux de réponses possibles aux questions posées sont un « instrument » choisi par le Jury afin d'établir une réelle échelle de valeur dans la notation des copies des candidats.

Pour permettre aux candidats de traiter sur le fond les questions posées, il avait été choisi de construire un sujet avec un cadre horaire suffisamment large pour favoriser l'observation fine des données proposées dans les documents et la réflexion.

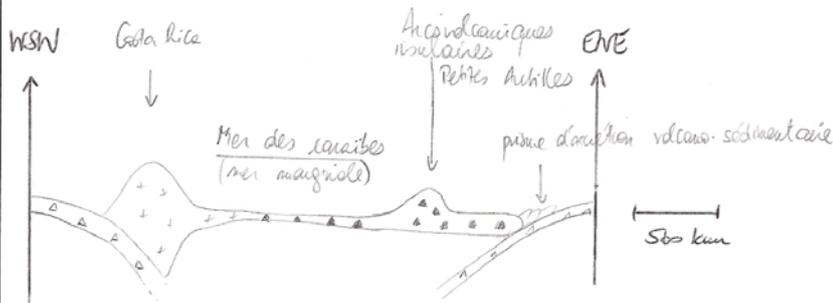
De façon générale les résultats obtenus s'échelonnent entre 3,5 et 15/20 avec une moyenne générale de l'ordre de 9,03/20. Cette moyenne générale reflète bien le niveau des connaissances d'ensemble des candidats dans le domaine des Géosciences qui est plutôt satisfaisant. Cependant ce résultat global masque de très grandes différences dans la culture et l'expertise par les candidats. Ainsi, les candidats possèdent-ils une formation correcte en minéralogie et pétrologie endogènes. Ils sont capables d'identifier très correctement des échantillons macroscopiques et/ou microscopiques et de confronter ces reconnaissances à des données géochimiques. Par contre les candidats montrent des faiblesses alarmantes dans la construction de coupes géologiques et ce quelles que soient les échelles proposées. Il est clair que cette épreuve révèle des lacunes dans la représentation réfléchie et donc la compréhension des grandes structures géologiques. L'analyse des réponses à l'exercice 5 (document 11), montre de plus que les candidats portent peu d'attention à l'observation des objets et structures géologiques : les basaltes, à structure de pillow-lavas, sont soit « inter stratifiés » soit géométriquement situés au dessus des radiolarites, ce qui n'a pas empêché la quasi-totalité des candidats de proposer un schéma interprétatif avec les radiolarites surmontant les basaltes.

La correction de l'exercice 1 (construction d'un schéma structural et cinématique) révèle, par ailleurs, que les candidats ont beaucoup de mal à construire une synthèse à partir d'informations géologiques, géochimiques et géophysiques variées. Pour bien illustrer ces propos, quelques coupes et schémas structuraux relevés dans les copies sont jointes ci-dessous. Il est clair pour les membres du Jury que ces faiblesses ne pourront être surmontées que si il est fait un effort de formation aux Géosciences à l'échelle de toute la filière universitaire SV-STU, donc du L1 au M1.

Ce que l'on a trouvé dans les copies comme coupe du domaine caraïbe...

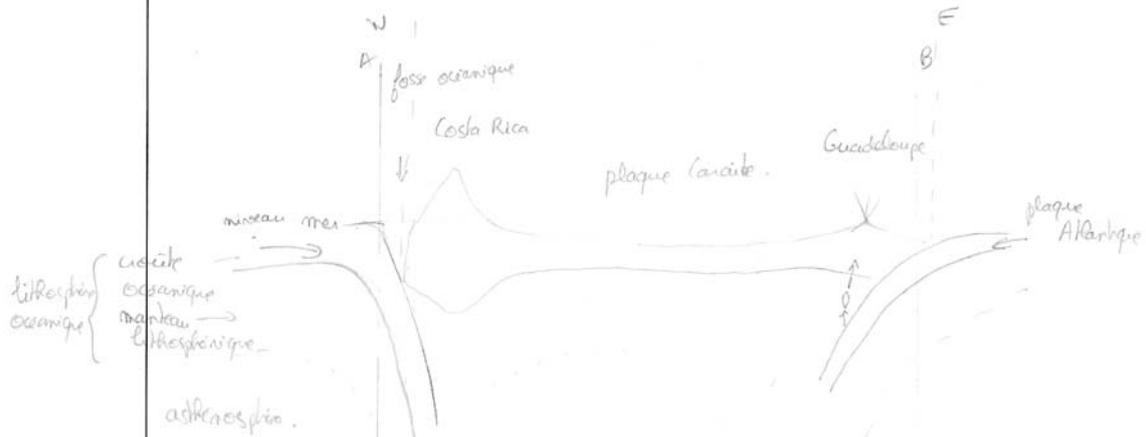


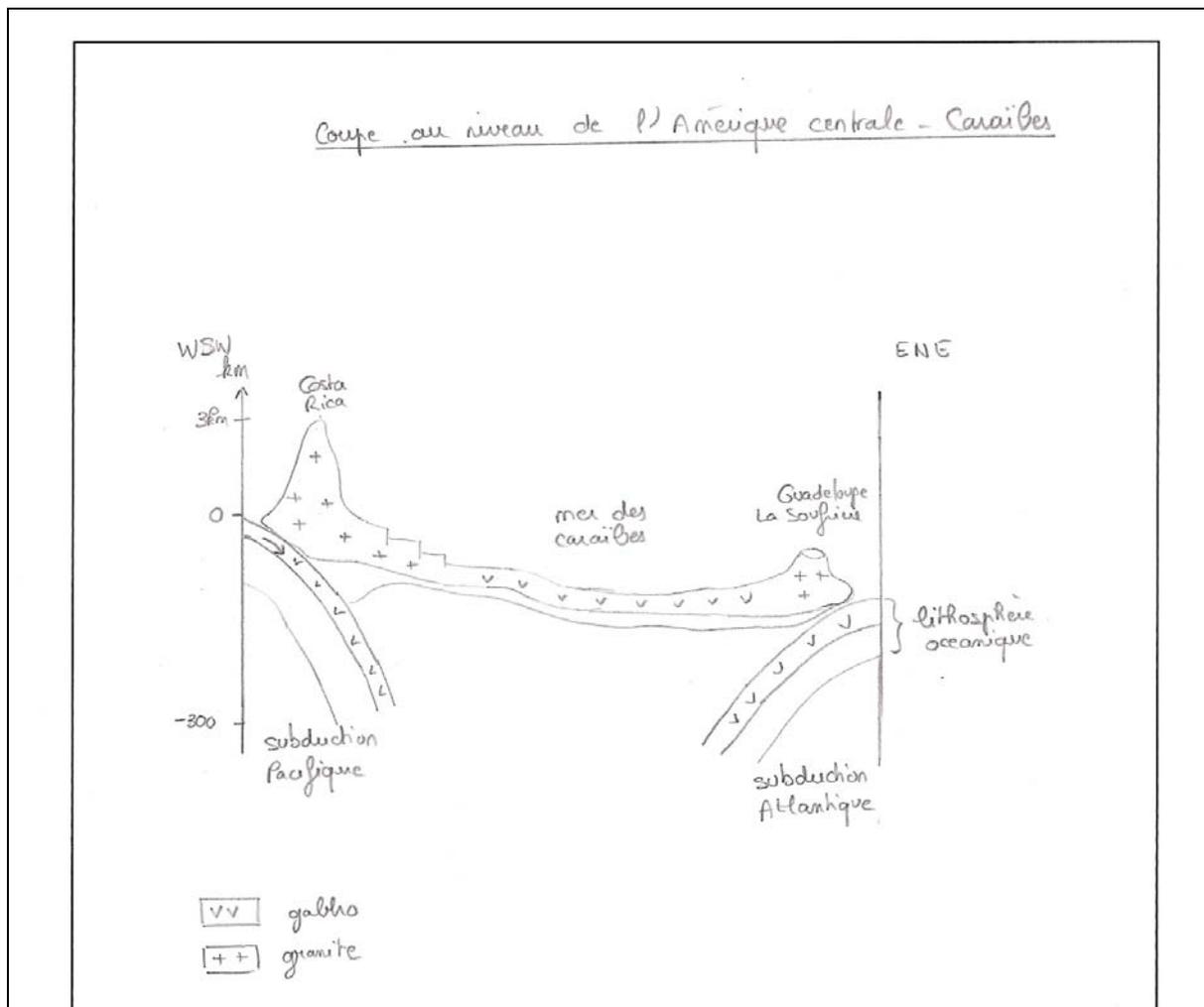
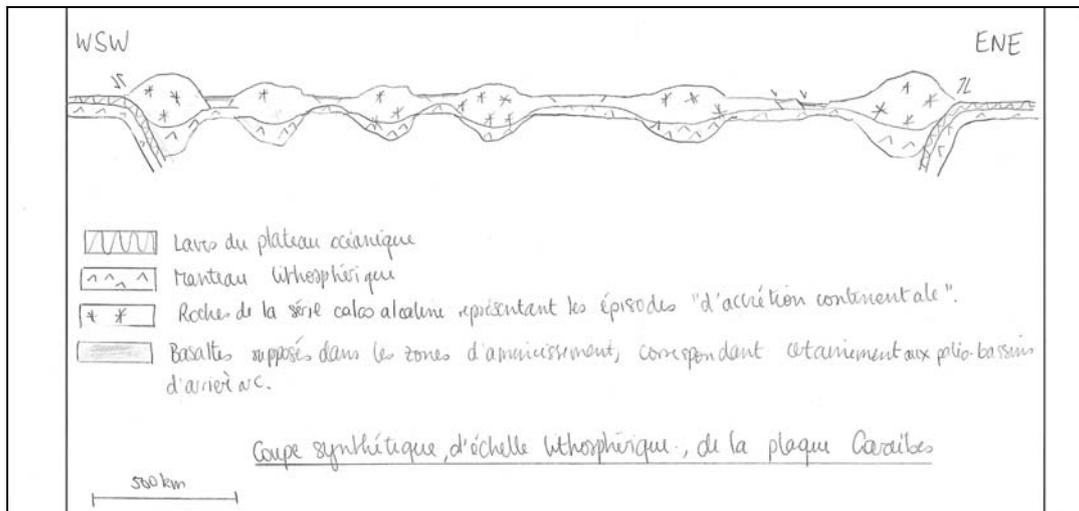
Coupe synthétique WSW-ENE de la zone "Amérique centrale / Caraïbes"



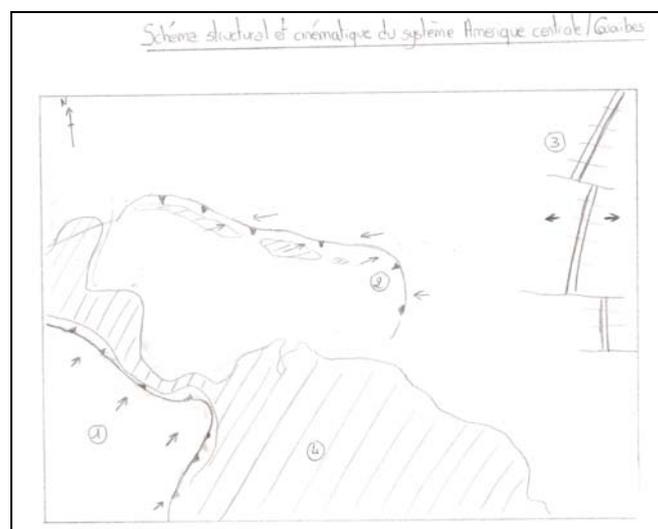
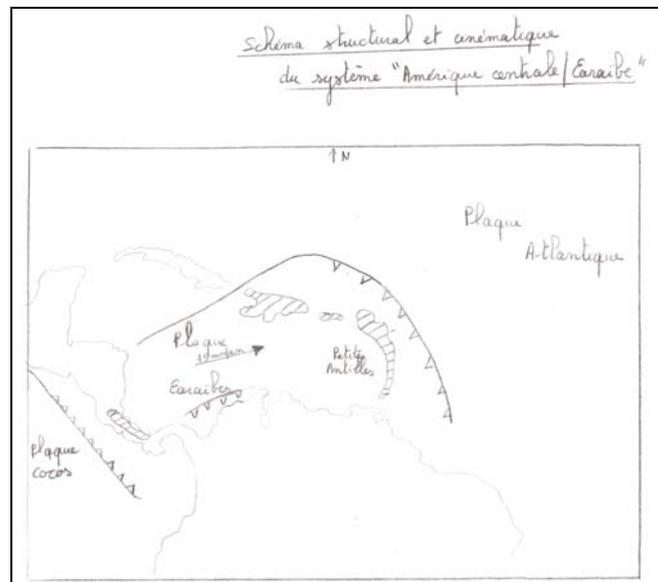
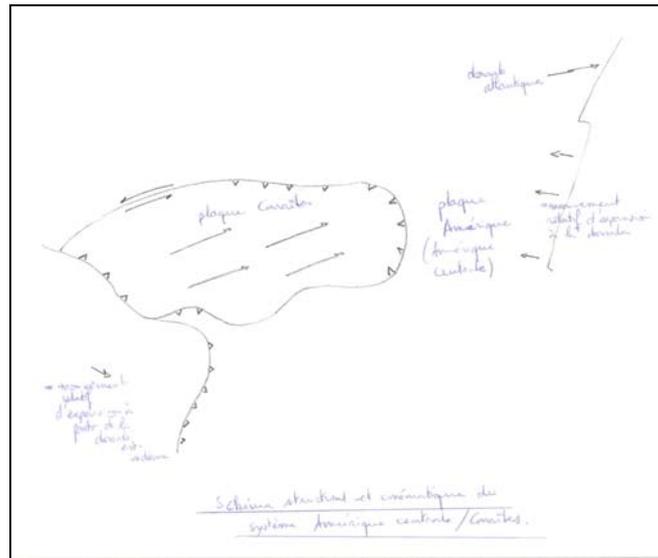
- ☐☐ Plaque océanique Cocos
- ☐☐ Plaque océanique Atlantique
- ☐☐ Plaque océanique Caraïbes
- ☐☐ Plaque continentale de lithologie continentale.

Coupe synthétique Ouest-Est de la zone Caraïbes

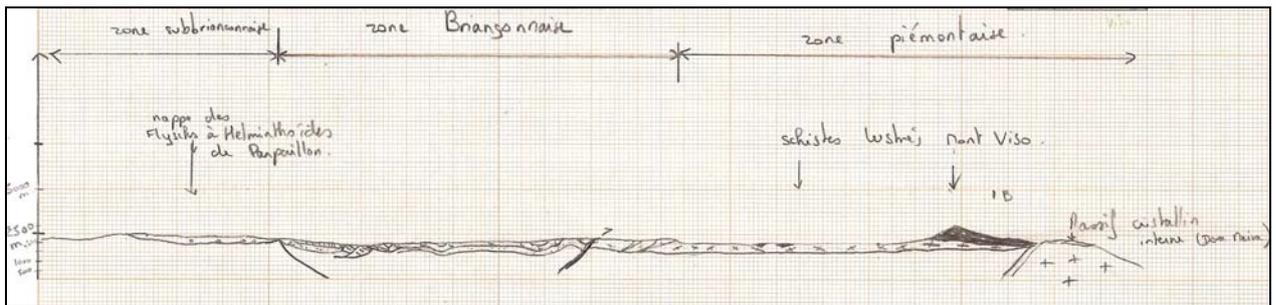
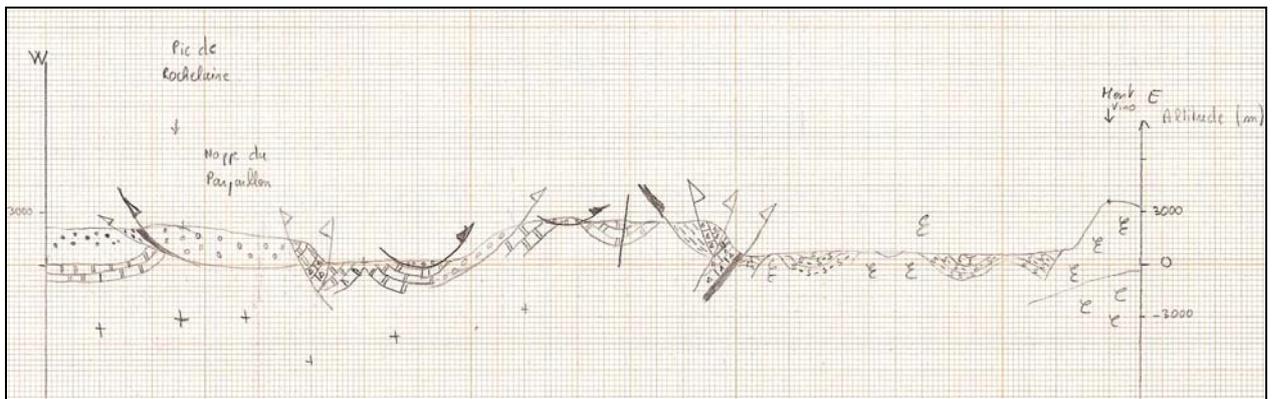
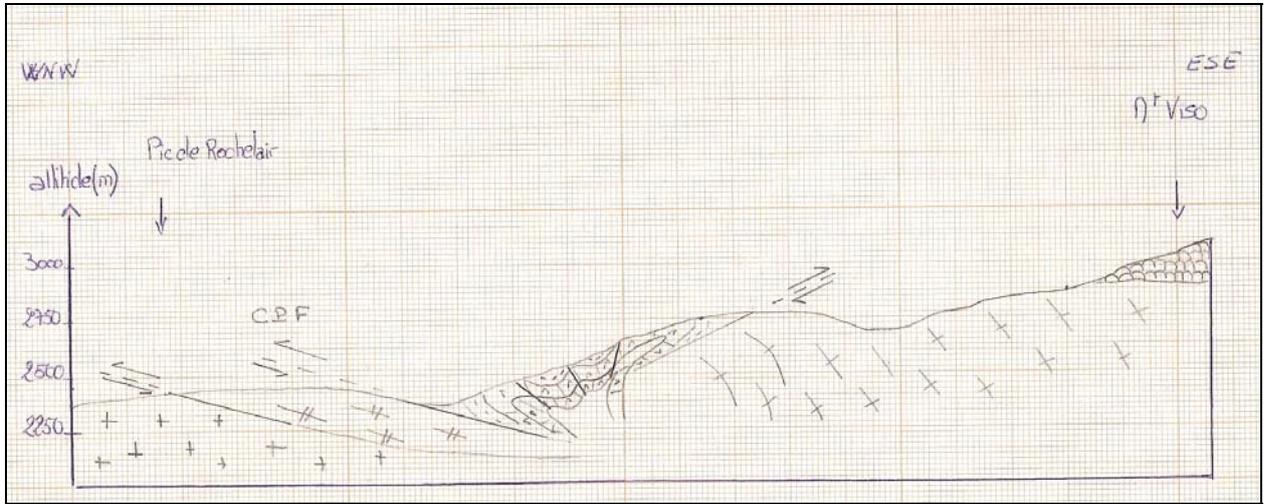




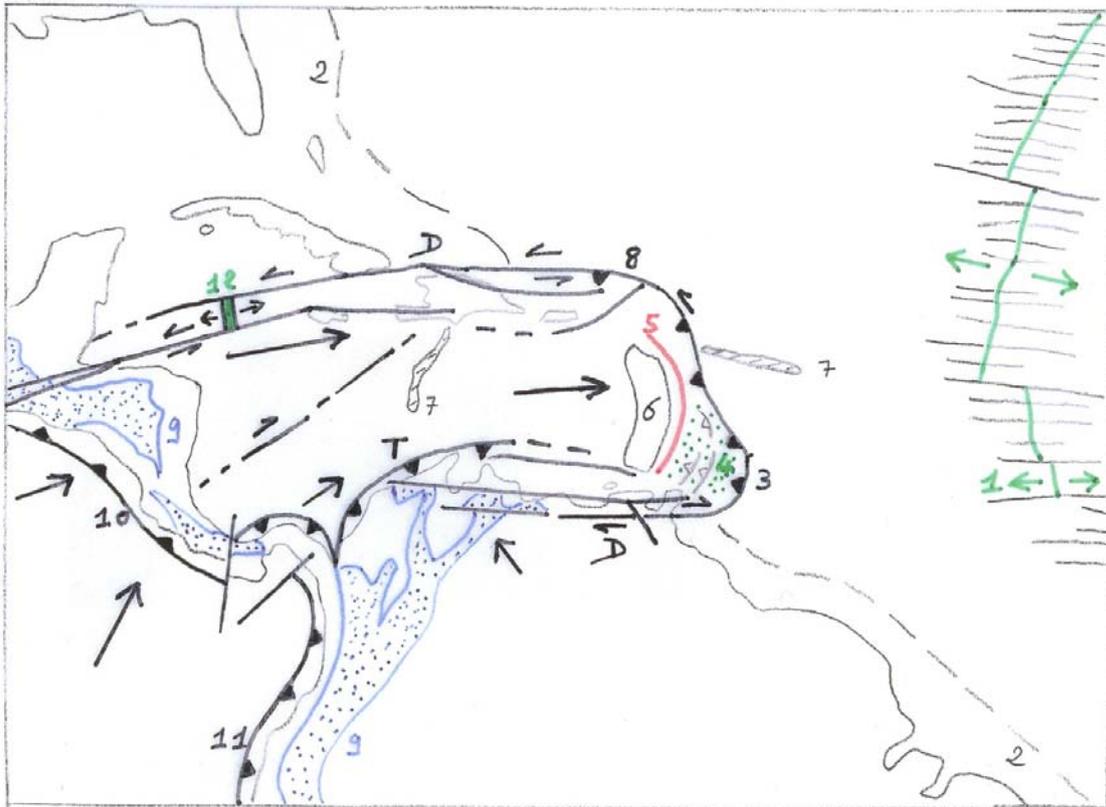
...comme schéma structural...



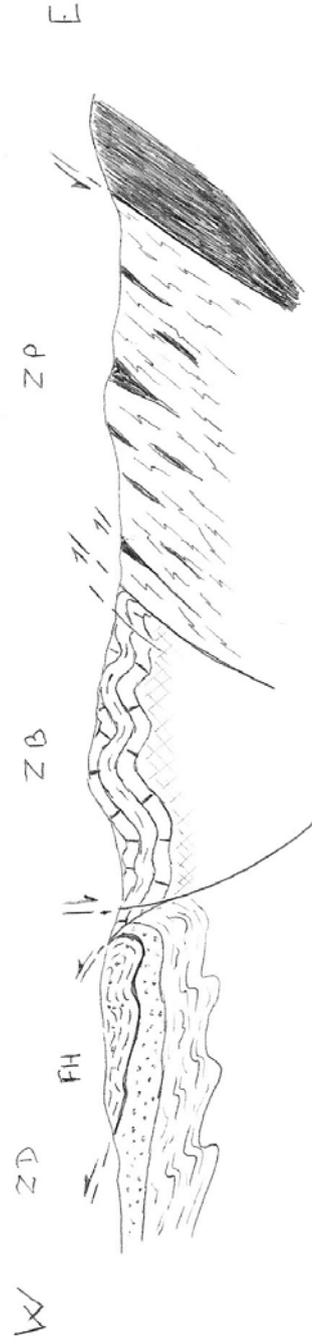
...comme coupe alpine...



...et ce que l'on aurait souhaité trouver



1. Dorsales médio-Atlantique et failles transformantes
 2. Marges passives
 3. Subduction des Petites Antilles
 4. Prisme d'accrétion de la Barbade
 5. Arc magmatique des petites Antilles
 6. Bassin Arrière-Arc
 7. Rides asismiques
 8. Subduction et fosse de Porto-Rico
 9. Cordillères d'Amérique centrale et du Sud
 10. Subduction et fosse d'Amérique centrale
 11. Subduction et fosse d'Amérique du Sud
 12. Dorsale (transtension)
- D : Frontière en décrochement
F : Frontière en transpression



ZD = Zone Dauphinoise
 ZB = Zone Briançonnaise
 ZP = zone Piemontaise

FH = Flysch à Helminthoïde

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2007

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DU SECTEUR A

CANDIDATS DES SECTEURS B ET C

Durée totale : 2 heures

Les pigments

Ce document contient 14 pages de texte et de figures.

Partie I : Étude des pigments oculaires de la drosophile par chromatographie : (6 points)

Partie II : Frottis sanguin : (5 points)

Partie III : Exercice : hémoglobine et drépanocytose : (9 points).

Attention ! Il est vivement conseillé de commencer par l'expérience de chromatographie (première partie) qui comprend une étape de migration de 40 minutes.

Les réponses aux questions figureront dans les cadres réservés à cet effet, et, le cas échéant, au verso des feuilles (dans ce cas signalez-le avec une mention TSVP). N'oubliez pas d'appeler les correcteurs pour vérifier préparations et dessins lorsque cela est demandé.

AVANT DE RENDRE VOTRE COPIE, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DE CE DOCUMENT, AINSI QUE SUR CHACUNE DES FEUILLES.

MÊME EN CAS DE NON RÉPONSE, RENDEZ LA TOTALITE DE VOS FEUILLES.

Nom :

Prénom :

n° salle :

Partie I : Étude des pigments oculaires de la drosophile par chromatographie.
Conséquences d'une mutation dans la chaîne de biosynthèse des pigments.

Le travail sera effectué à partir de deux souches différentes de drosophiles : la souche sauvage et une souche mutante (sépia).

Pour détecter les pigments présents dans les deux souches étudiées, une séparation par chromatographie de partage est réalisée selon le protocole suivant :

- Pour chaque souche, sectionner sur une lame de verre 5 têtes de drosophiles à l'aide d'un scalpel ;
- Broyer ces têtes sur la lame dans une goutte d'ammoniaque à 2 % en utilisant le bâtonnet fourni ;
- Prélever le liquide obtenu (il doit être fortement coloré) à l'aide d'un microcapillaire. Prendre soin de ne prélever que du liquide pour éviter de boucher le capillaire. Le liquide monte par capillarité ;
- Déposer ce liquide par petites touches le long du trait de crayon des chromatoplaques. **(Attention ! ne pas confondre avec le trait « creux » de l'autre côté de la microplaque).** Prendre une chromatoplaque pour la souche sauvage [+] et une pour la souche sépia [se];
- Mettre les chromatoplaques dans deux borels séparés contenant le solvant ;
- Faire migrer 40 minutes à l'obscurité (réaliser un emballage en papier d'aluminium) ;
- Examiner les chromatoplaques en lumière U.V. Pour cela, adressez-vous à l'examineur placé près du poste de lecture U.V. **Examiner vos résultats en mettant les lunettes de protection. Entourer au crayon les différentes taches obtenues et noter sur la chromatoplaque à côté de chaque tache la couleur observée. Appelez un examinateur pour faire contrôler vos chromatoplaques.**

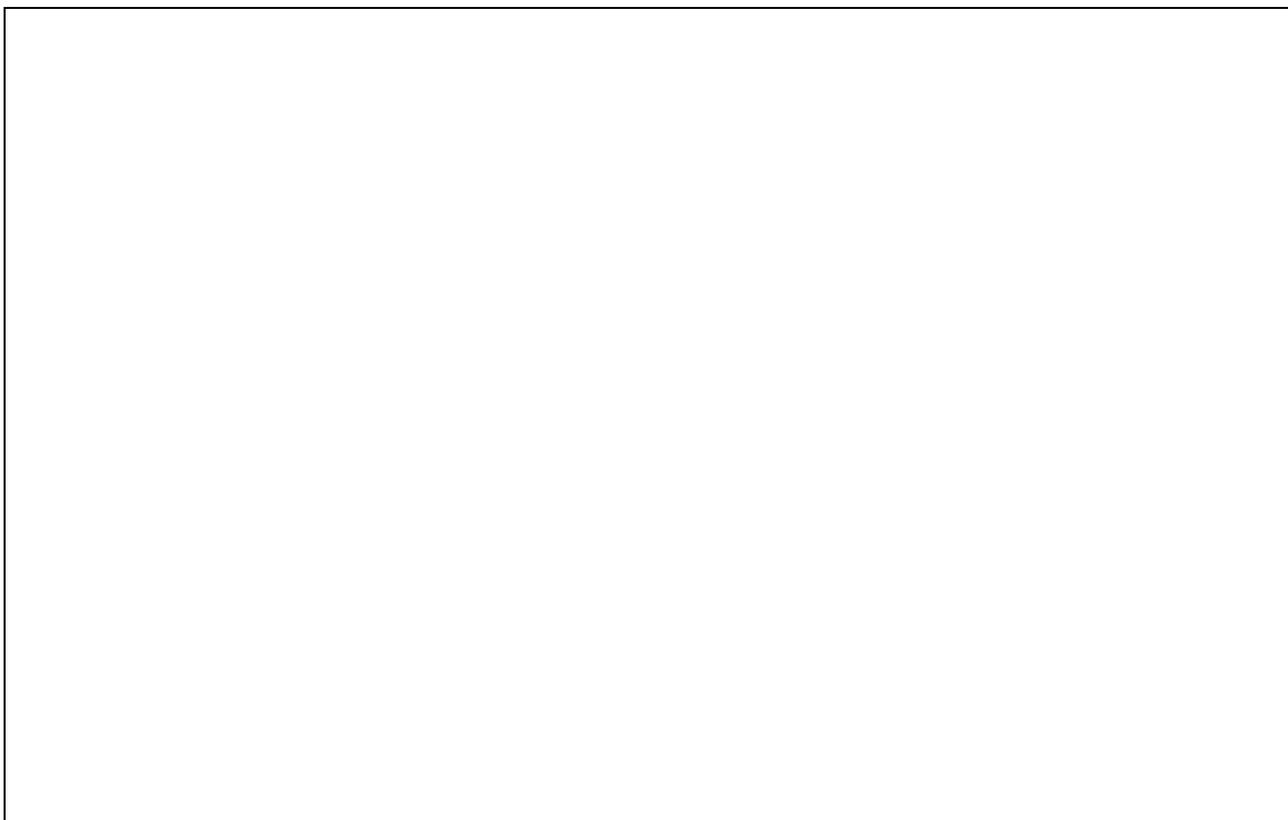
I.1 : Donner le principe de la chromatographie de partage sur couche mince.
Dans cette expérience, quelle est la phase mobile et quelle est la phase stationnaire ?

Nom :

Prénom :

n° salle :

I.2 : Placer les deux chromatoplaques dans l'enveloppe préparée à cet effet sur votre pailasse. Indiquer vos nom, prénom et numéro de salle sur cette enveloppe, fermer la et coller la dans le cadre ci-dessous, à l'aide des bandes adhésives fournies.



I.3 : Pour chaque chromatoplaque, indiquer dans le tableau suivant les taches observées en lumière U.V. Evaluer l'intensité des taches par les signes suivants : + faible intensité, ++ moyenne intensité, +++ forte intensité. Le nom du (ou des) pigment(s) correspondant à chacune des taches est indiqué dans la colonne de droite du tableau.

	Couleur de la tache	Souche sauvage	Souche sépia	Pigment
 Front du solvant	Orange			Drosoptérine
	Bleu/vert			Isoxanthoptérine + Xanthoptérine
	Jaune fluo			Sépiaptérine
	Bleu			2 amino-4 hydroptérine + Biotépine

Nom :

Prénom :

n° salle :

I.4 : Dédurre de ces observations le niveau de blocage métabolique correspondant à la mutation [sépia] en justifiant votre réponse. Indiquer le produit initial et le produit final de la chaîne métabolique de synthèse de ces pigments.

I.5 : Cette expérience permet-elle de placer dans l'ordre les composants de la chaîne de biosynthèse des pigments ? Justifiez votre réponse et formulez éventuellement des hypothèses.

Nom :

Prénom :

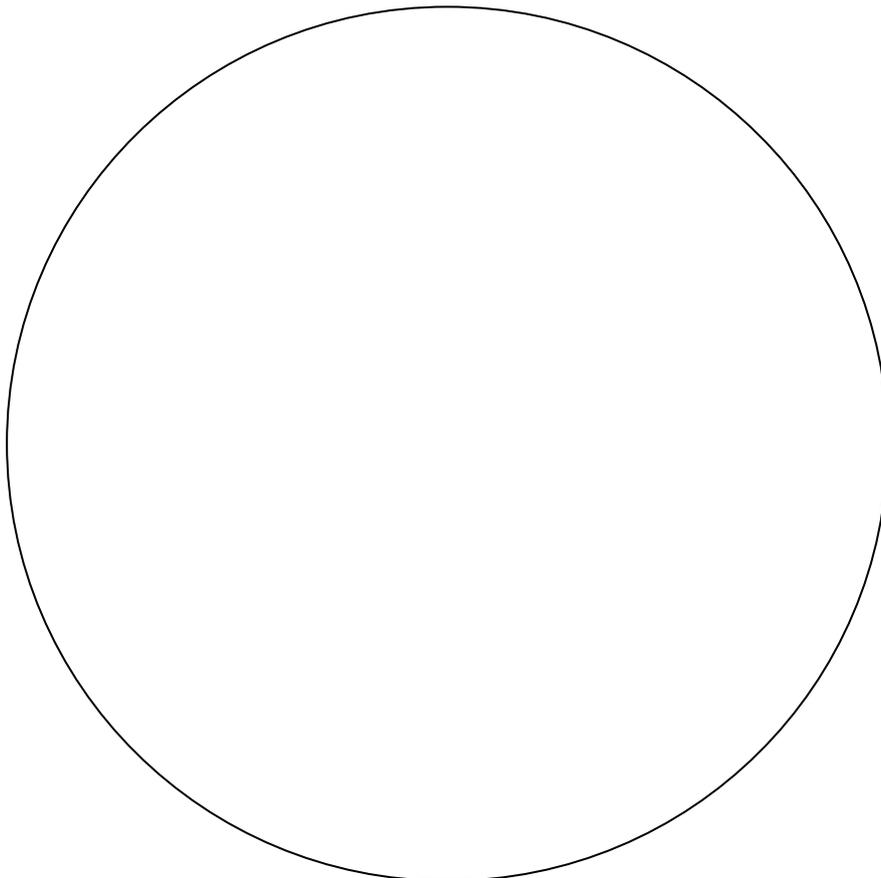
n° salle :

Partie II : Réalisation d'un frottis sanguin.

L'ensemble de l'expérience sera effectué avec des gants de protection.

- Déposer une goutte de sang sur une lame de verre à bords rodés 45°, à environ 0,5 cm du bord; étaler rapidement à l'aide d'une autre lame de verre; la goutte doit être étirée le plus loin possible.
- Agiter la lame jusqu'à séchage complet du frottis.
- Déposer la petite boîte de Pétri dans la grande et s'en servir comme portoir pour poser la lame dessus.
- Couvrir le frottis de 15 gouttes de colorant May-Grünwald; attendre 3 minutes, puis ajouter 15 gouttes de tampon phosphate ; attendre 1 minute; la grande boîte de Pétri permet de recevoir l'écoulement d'excès de colorant. Egoutter dans le récipient annexe.
- Couvrir la lame de 15 gouttes de Giemsa; attendre 1 minute, puis ajouter 15 gouttes de tampon phosphate. Attendre 1 minute. Egoutter dans le récipient annexe.
- Sécher à l'air.
- Observer directement au microscope.

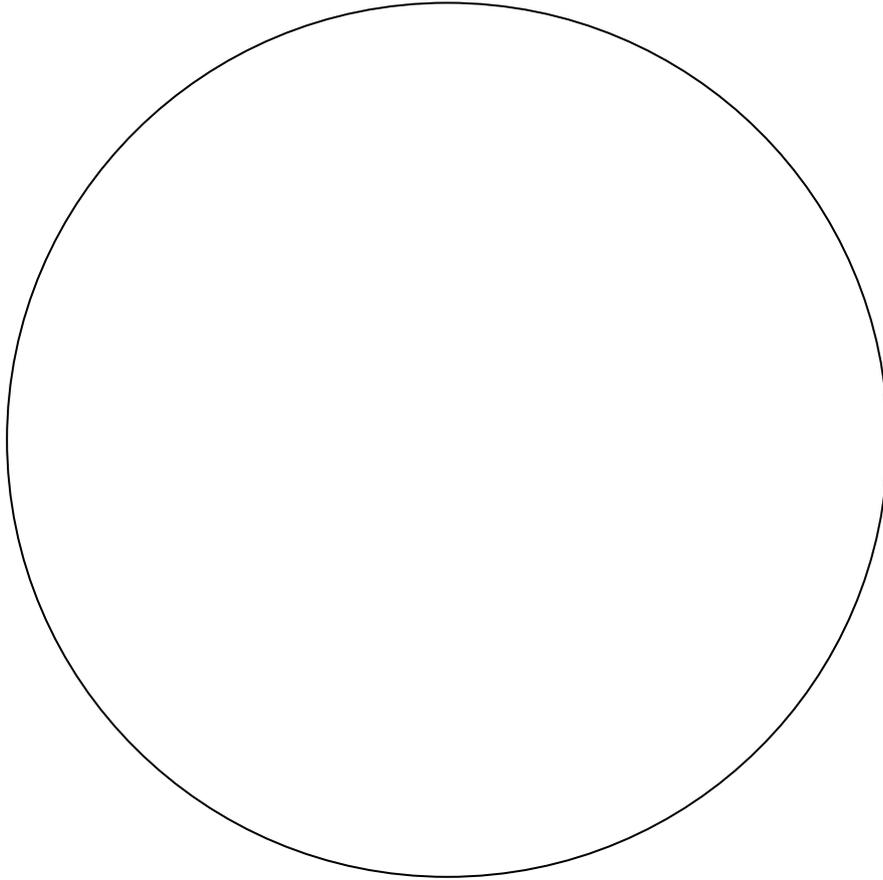
II.1 : Réaliser dans les 2 cercles ci-dessous, deux dessins légendés de 2 champs oculaires de votre frottis sanguin. Ces 2 champs seront choisis afin de montrer des éléments figurés différents. Faire vérifier par un examinateur, pour chacun des 2 champs, l'adéquation de vos dessins avec vos observations.



Nom :

Prénom :

n° salle :



II.2 : Indiquer, dans le cadre ci-dessous, les éléments figurés que vous n'avez pas pu observer.

--

Nom :

Prénom :

n° salle :

Partie III : Hémoglobine et drépanocytose

La drépanocytose (encore appelée anémie falciforme) est une maladie génétique monogénique à transmission mendélienne qui se manifeste par une anémie chronique. Cette maladie est due à une mutation ponctuelle dans le gène de la chaîne β de la globine (allèle β^S) qui provoque la substitution, dans cette chaîne, de l'acide glutamique en position 6 par une valine. Il en résulte une hémoglobine anormale (HbS) qui a tendance à polymériser lorsque la pression partielle en dioxygène diminue contrairement à l'hémoglobine normale (HbA) qui ne présente pas cette propriété. L'examen sanguin de patients atteints révèle que les globules rouges sont aplatis en forme de faucille et plus rigides que les globules rouges des individus sains.

Tableau montrant une partie des séquences nucléotidique et protéique de la β -globine au niveau de la mutation responsable de la drépanocytose.

	β -globine normale	β -globine mutée
Séquence d'ADN	-CCT-GAG-GAG-	-CCT-GTG-GAG-
Séquence d'acides aminés	- Pro - Glu - Glu -	- Pro - Val - Glu -

Le site de reconnaissance de l'enzyme de restriction MstII est CC*TNAGG avec N = A, C ou T et l' * représentant le site de coupure.

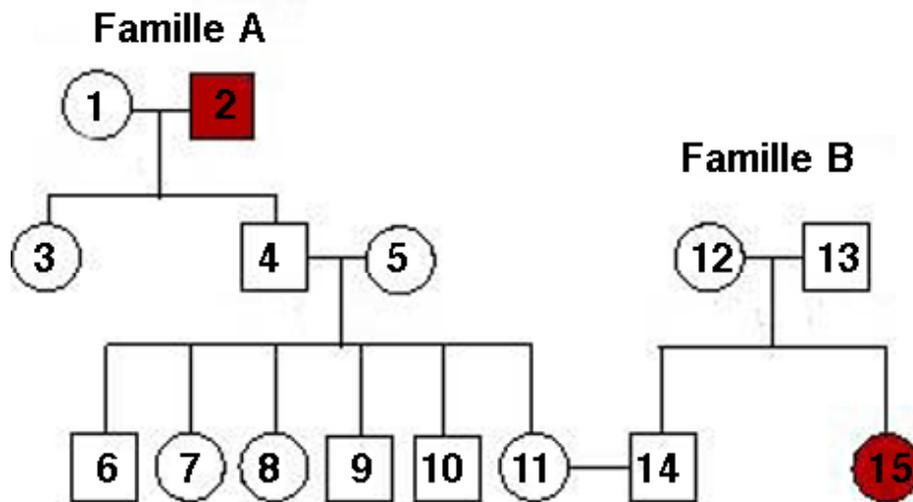
III.1 : Cette mutation modifie-t-elle la conformation de l'hémoglobine ? Justifier votre réponse.

Nom :

Prénom :

n° salle :

III.2 : L'arbre généalogique de deux familles dont certains membres ont été atteints d'anémie falciforme est représenté ci-dessous. Les individus sont identifiés par un numéro; les cercles correspondent aux femmes et les carrés aux hommes. Les personnes atteintes (2 et 15) par la maladie apparaissent en coloration foncée.



III.2.1 : D'après l'étude de ce document, préciser, en justifiant votre réponse, si la transmission de ce gène est liée au sexe et si l'allèle βS est récessif ou dominant.

Nom :

Prénom :

n° salle :

III.2.2 : Indiquer, dans le cadre ci-dessous, les génotypes possibles de chacun des membres des deux familles.

Individu 1 :

Individu 2 :

Individu 3 :

Individu 4 :

Individu 5 :

Individu 6 :

Individu 7 :

Individu 8 :

Individu 9 :

Individu 10 :

Individu 11 :

Individu 12 :

Individu 13 :

Individu 14 :

Individu 15 :

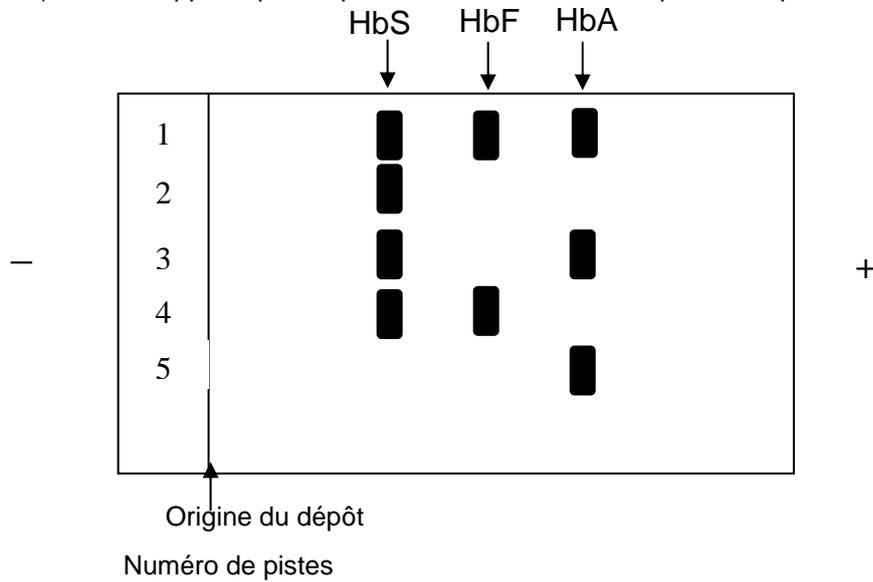
III.2.3 : En fonction des génotypes possibles des individus 11 et 14, donner la probabilité que leur enfant soit atteint de la maladie (justifier votre réponse).

Nom :

Prénom :

n° salle :

III.3 : L'hémoglobine d'individus adultes malades est analysée par électrophorèse et comparée à celle d'individus adultes sains. Chez les individus malades, deux types de profil de migration sont observés. Les patients du premier type (piste 2) ont tous des crises fréquentes et graves, alors que ceux du second type (piste 4) ne développent qu'exceptionnellement des crises qui sont le plus souvent bénignes.



Electrophorégramme sur acétate de cellulose à pH 8,6.

piste 1 : échantillon de référence contenant les HbF (hémoglobine fœtale), HbA et HbS.

pistes 2 et 4 : individus malades

pistes 3 et 5 : individus sains

Chez le patient 4, l'HbF représente 10 % de l'hémoglobine totale.

III.3.1 : Pourquoi les profils de migration des HbF, HbA et HbS sont-ils différents ?

Nom :

Prénom :

n° salle :

III.3.2 : Pour chaque individu, indiquer les allèles du gène β -globine présents.

Individu de la piste 2 :

Individu de la piste 3 :

Individu de la piste 4 :

Individu de la piste 5 :

III.3.3 : La technique d'électrophorèse appliquée à l'hémoglobine peut constituer un élément de diagnostic biologique de l'anémie falciforme. Elle n'est cependant pas informative dans le cas d'un diagnostic prénatal.

Pourquoi cette technique n'est-elle pas informative dans le cas d'un diagnostic prénatal ?

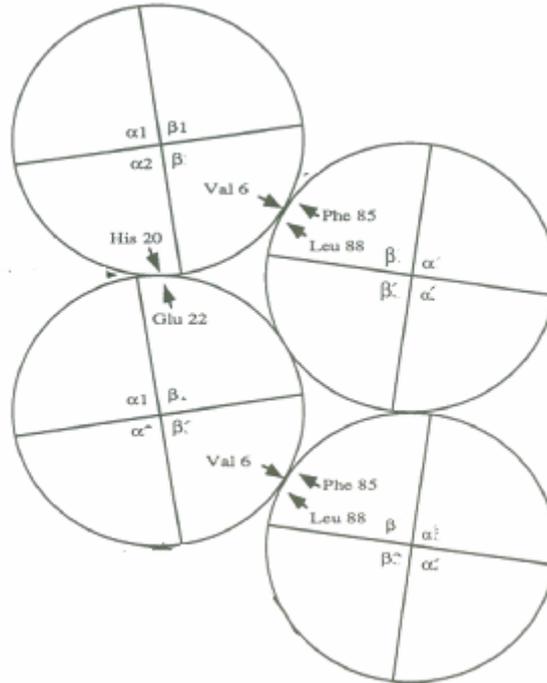
Proposer une méthode permettant d'effectuer un tel diagnostic.

Nom :

Prénom :

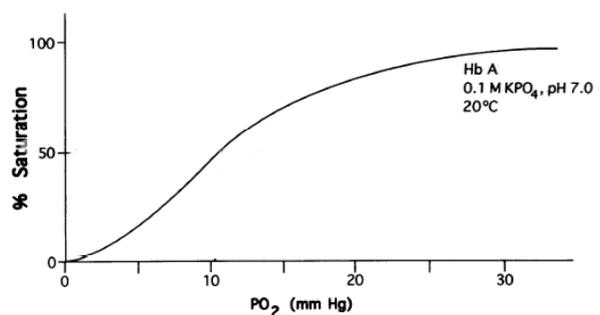
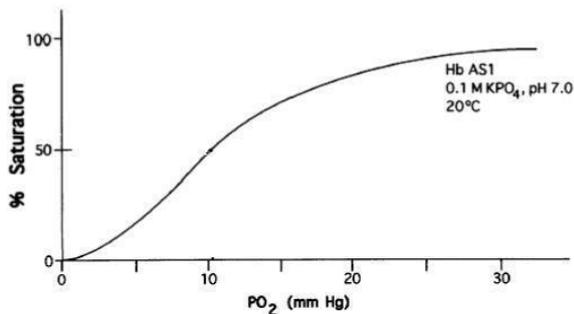
n° salle :

III.4 : La désoxyhémoglobine HbS est capable de former des polymères de type fibrillaire in vivo et in vitro. La structure de ces fibres est schématisée ci-dessous. Les points de contact entre les différents tétramères et les acides aminés impliqués sont indiqués par des flèches.



On introduit par transgénèse chez la souris un segment d'ADN codant une forme mutée de la β -globine humaine dans laquelle une alanine remplace l'acide glutamique 22 et une glutamine remplace la thréonine 87; cette nouvelle chaîne est nommée β AS1. Le transgène est placé sous le contrôle du promoteur de la β -globine de souris (lignée HbAS1).

Les caractéristiques du pouvoir fixateur d'oxygène de l'hémoglobine HbAS1 purifiée contenant la chaîne mutée sont analysées (ci-dessous, courbe de gauche) et comparées à celles de l'HbA (ci-dessous, courbe de droite).



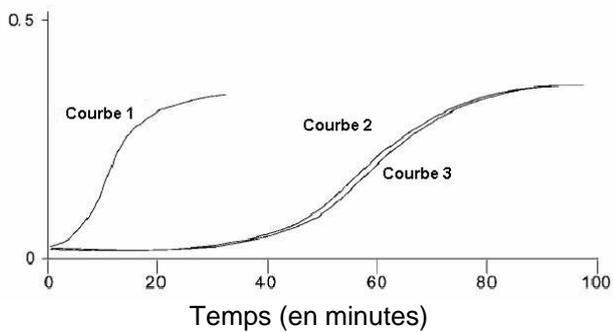
Nom :

Prénom :

n° salle :

La cinétique de polymérisation de différents mélanges d'hémoglobines sous forme désoxygénée est analysée in vitro par spectrophotométrie. Les résultats sont présentés dans la figure ci-dessous.

Absorption (700nm)



Courbe 1 : 100 % HbS

Courbe 2 : 75% HbS, 25% HbF

Courbe 3 : 75% HbS, 25% HbAS1

Dans les trois cas, la concentration totale en hémoglobine est de 60 mg/dL.

III.4.1 : Commenter et interpréter ces résultats.

Expliquer en quoi ces résultats permettent de comprendre les deux types de manifestations cliniques décrites lors de l'analyse par électrophorèse.

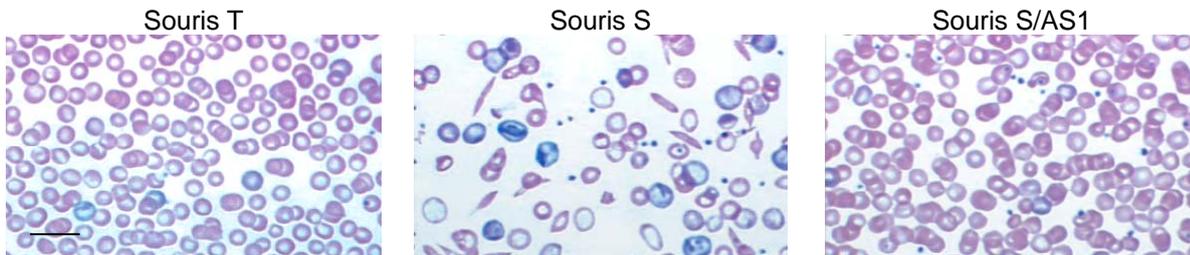
Nom :

Prénom :

n° salle :

III.4.2 : Deux lignées de souris transgéniques sont générées. Dans la lignée S, les gènes murins codant les chaînes α et β ont été remplacés par les gènes humains codant la chaîne α et la chaîne β mutée (β S). Les souris de la lignée S/AS1 comportent, en plus de ces modifications, un transgène codant pour la chaîne β humaine mutée β AS1.

Des frottis sanguins sont réalisés chez ces deux types d'animaux ainsi que chez des animaux non transgéniques (T). Les photographies ci-dessous résultent de l'observation de ces frottis au microscope optique.



Coloration May-Grünwald - Giemsa.

Échelle : trait sur le cliché de gauche = 18 μ m ; les 3 clichés sont à la même échelle.

Commenter et interpréter ces résultats.

Selon vous, quel peut-être l'intérêt de ce type d'étude ?

Empty rectangular box for student response.

Partie I : Etude des pigments oculaires de la drosophile par chromatographie
Conséquences d'une mutation dans la chaîne de biosynthèse des pigments.

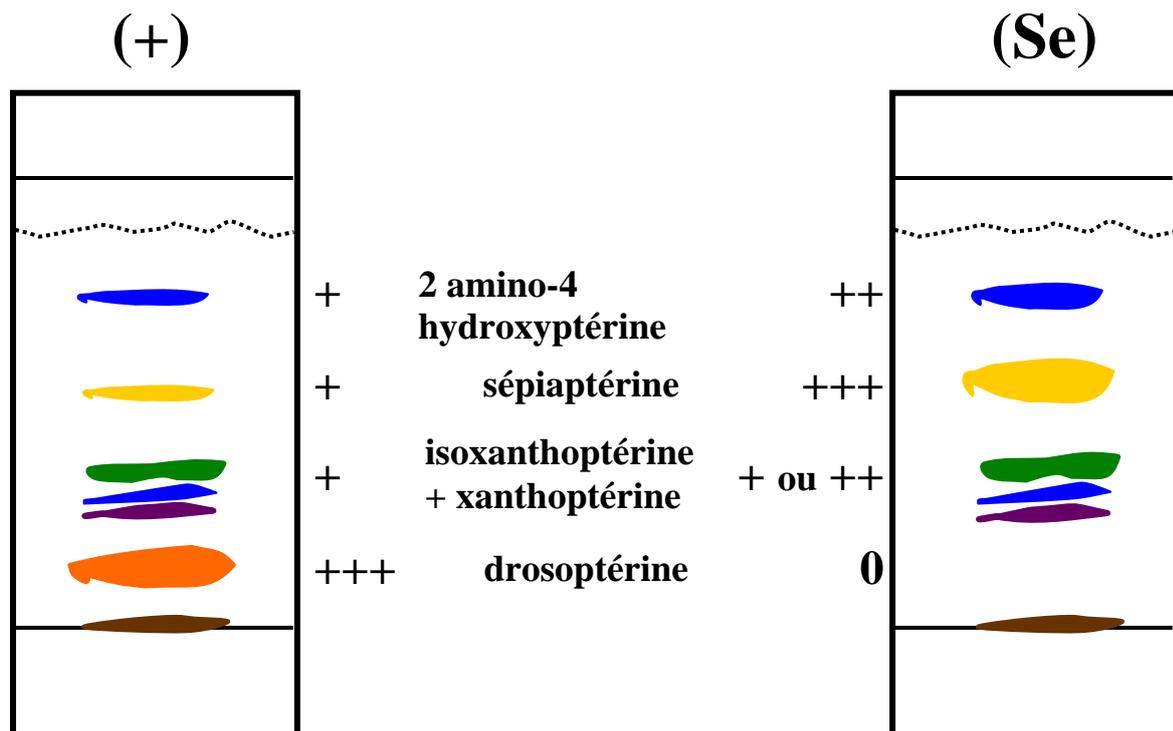
I.1 Donner le principe de la chromatographie de partage sur couche mince.

Dans cette expérience, quelle est la phase mobile et quelle est la phase stationnaire ?

La chromatographie de partage sur couche mince permet la séparation de molécules en fonction de leur solubilité relative dans un mélange de solvants.

- ↪ La phase aqueuse (ammoniaque) : fortement adsorbée par le support forme avec le support la phase stationnaire
- ↪ phase organique (propanol) : moins fortement adsorbée par le support que la phase aqueuse migre sur le support : phase mobile
- ↪ les molécules solubles dans la phase mobile(organique) migrent le plus loin

I.2 Indiquer au crayon vos initiales sur les chromatoplaques ; coller solidement les deux chromatoplaques sur votre copie dans le cadre ci-dessous, à l'aide de bandes adhésives (scotch fourni) placées sur les cotés des chromatoplaques



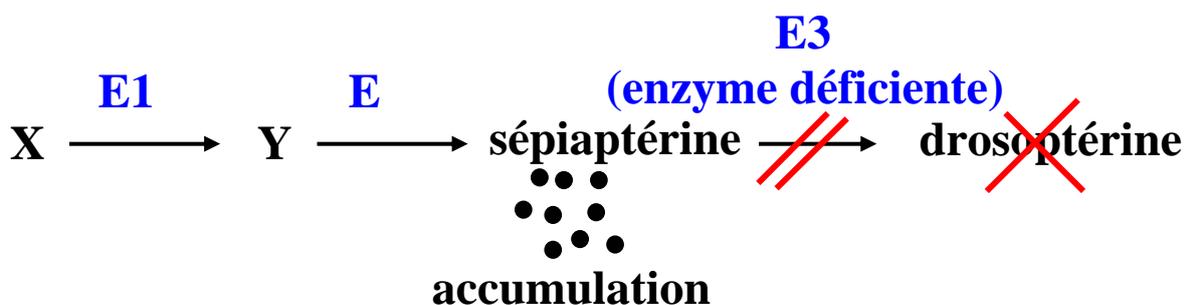
I.3. Pour chaque chromatoplaque, indiquer dans le tableau suivant les taches observées en lumière U.V. Evaluer l'intensité des taches par les signes suivants : + faible intensité, ++ moyenne intensité, +++ forte intensité. Le nom du (ou des) pigment(s) correspondant à chacune des taches est indiqué dans la colonne de droite du tableau.

ligne de départ	TACHE	COULEUR	SAUVAGE	SEPIA
)		
	drosoptérine	orange (en lumière visible)	+++	0
	isoxanthoptérine + xanthoptérine	violet bleu vert	+	+
	sépiaptérine	jaune (en lumière visible)	+	+++
	2 amino-4 hydroxyptérine + bioptérine	bleu bleu	+	+
front du solvant				

I.4. Déduire de ces observations le niveau de blocage métabolique correspondant à la mutation [sépia] en justifiant votre réponse. Indiquer le produit initial et le produit final de la chaîne métabolique de synthèse de ces pigments

↳ souche sauvage : **drosoptérine** en grande quantité => produit final (couleur orange)

↳ souche mutée : sépiaptérine en grande quantité -> pas de produit final (sépia)



I.5. Cette expérience permet-elle de placer dans l'ordre les composants de la chaîne de biosynthèse des pigments ? Justifiez votre réponse et formulez éventuellement des hypothèses.

Il est impossible de connaître le produit initial qui peut être soit isoxanthoptérine + isoptérine soit 2-amino-4-hydroptérine + Bioptérine. La technique ne permet pas de déterminer l'ordre de formation de ces 2 produits dans la chaîne de biosynthèse.

Partie II : Réalisation d'un frottis sanguin.

II.1. Réaliser dans les 2 cadres ci-dessous, deux dessins légendés de 2 champs oculaires de votre frottis sanguin. Ces 2 champs seront choisis afin de montrer des éléments figurés différents. Faire vérifier par un examinateur, pour chacun des 2 champs, l'adéquation de vos dessins avec vos observations.

Dans ce frottis sanguin il est possible d'observer des hématies, des polynucléaires, des lymphocytes et des monocytes.

II.2. Indiquer, dans le cadre ci-dessous, les éléments figurés que vous n'avez pas pu observer.

Le candidat indiquera les cellules qu'il n'a pas dessinées en II 1.
Il n'était pas possible au grossissement 400 d'observer des plaquettes.

Partie III : Hémoglobine et drépanocytose

III.1. Cette mutation modifie-t-elle la conformation de l'hémoglobine ? Justifier votre réponse.

L'hémoglobine (Hb) A est composée de deux chaînes alpha, deux chaînes beta et quatre hèmes. La mutation dans la chaîne beta provoque le remplacement d'un acide aminé fortement polaire par un acide aminé hydrophobe, ce qui perturbe les interactions entre acides aminés. L'organisation spatiale des chaînes beta étant affectée, la conformation de l'Hb est modifiée.

III.2.1. D'après l'étude de ce document, préciser, en justifiant votre réponse, si la transmission de ce gène est liée au sexe et si l'allèle βS est récessif ou dominant.

L'allèle beta S est récessif car il existe un couple sain (12 et 13) qui a au moins un enfant malade (15).

La transmission n'est pas liée au sexe. Si le gène était lié à l'X, le père de la fille 15 devrait être malade.

III.2.2. Indiquer, dans le cadre ci-dessous, les génotypes possibles de chacun des membres des deux familles.

S : allèle beta S A : allèle sauvage

Individu 1 : S/A ou A/A	Individu 9 : : S/A ou A/A
Individu 2 : S/S	Individu 10 : : S/A ou A/A
Individu 3 : S/A	Individu 11 : : S/A ou A/A
Individu 4 : S/A	Individu 12 : S/A
Individu 5 : A/A ou S/A	Individu 13 : S/A
Individu 6 : S/A ou A/A	Individu 14 : A/A ou S/A
Individu 7 : : S/A ou A/A	Individu 15 : S/S
Individu 8 : : S/A ou A/A	

III.2.3. En fonction des génotypes possibles des individus 11 et 14, donner la probabilité que leur enfant soit atteint de la maladie (justifier votre réponse).

Nous sommes dans le cas d'une transmission mendélienne.

Les parents (11 et 12) peuvent avoir les deux génotypes suivants : A/A ou S/A (cf. question précédente).

L'allèle beta S étant récessif, l'enfant ne sera atteint que si son génotype est S/S.

Les proportions des différents génotypes possibles des enfants sont indiquées ci-dessous.

Dans le cas 1 où les deux parents sont A/A: 100 % A/A

Dans le cas 2 où l'un des parents est A/A et l'autre S/A: 50% S/A et 50% A/A

Dans le cas 3 où les deux parents sont S/A: 25% A/A, 25% S/S, 50% S/A

La probabilité d'avoir un enfant malade est nulle dans les deux premiers cas, elle est de $\frac{1}{4}$ dans le troisième.

III.3.1. Pourquoi les profils de migration des HbF, HbA et HbS sont-ils différents ?

L'électrophorèse sur acétate de cellulose permet de séparer les différentes Hb selon leur charge électrique. Les HbS, A et F ont des caractéristiques de charge différentes. La substitution de la valine en position 6 dans la chaîne beta confère à l'HbS une charge électrique nette moins négative que celle de l'HbA. Elle migre donc moins rapidement vers l'anode (+) que l'HbA.

Le patient 4 exprime l'HbF, qui normalement n'est exprimée en quantité significative que par le fœtus. Il est à noter que ce patient, qui par ailleurs, n'exprime pas d'HbA ne présente qu'une forme atténuée des symptômes.

III.3.2. Pour chaque individu, indiquer les allèles du gène β -globine présents.

Individu de la piste 2 : S et S

Individu de la piste 3 : S et A

Individu de la piste 4 : S et S

Individu de la piste 5 : A et A

III.3.3. La technique d'électrophorèse appliquée à l'hémoglobine peut constituer un élément de diagnostic biologique de l'anémie falciforme. Elle n'est cependant pas informative dans le cas d'un diagnostic prénatal.

**Pourquoi cette technique n'est-elle pas informative dans le cas d'un diagnostic prénatal ?
Proposer une méthode permettant d'effectuer un tel diagnostic.**

La technique d'électrophorèse ne peut pas être utilisée comme diagnostic prénatal de la drépanocytose car l'embryon et le fœtus ne synthétisent pas la chaîne beta-globine. Celle-ci n'est synthétisée en quantité importante que plusieurs semaines après la naissance.

Le diagnostic prénatal doit par conséquent être basé sur l'analyse de la séquence nucléotidique codant la chaîne beta. Des cellules du fœtus sont prélevées et leur ADN est extrait. Puis, plusieurs méthodes sont possibles :

- séquençage de la région codante du gène à l'endroit de la mutation
- Analyse par RFLP (Restriction Length Fragment Polymorphism), technique qui permet de détecter des polymorphismes dans de petits fragments d'ADN. La mutation provoque l'apparition d'un site de restriction MstII (cf. page 8) qui peut être décelé par une l'analyse du profil de digestion enzymatique de la séquence d'ADN.

III.4.1. Commenter et interpréter ces résultats.

Expliquer en quoi ces résultats permettent de comprendre les deux types de manifestations cliniques décrites lors de l'analyse par électrophorèse.

Fixation de l'oxygène

Le pouvoir fixateur d'oxygène de l'HbAS1 est similaire à celui de l'HbA ($P_{50} = 10$ mm Hg).

Les mutations introduites n'ont pas d'effet sur le pouvoir fixateur d'oxygène de l'Hb.

Cinétique de polymérisation

Le temps requis pour atteindre une quantité d'HbS polymérisée donnée (mesurée par la valeur d'absorption) diffère en fonction des Hb présentes dans la solution. Il est plus long quand le mélange contient de l'HbF ou de l'HbAS1. La présence de HbF ou de HbAS1 diminue la vitesse de polymérisation de l'HbS.

L'HbS des patients portant deux allèles S de la beta-globine, polymérise lorsque la pression partielle en dioxygène diminue, ce qui provoque des crises fréquentes et graves. La persistance d'hémoglobine fœtale HbF chez certains de ces individus adultes aurait un effet inhibiteur sur la polymérisation de l'HbS, provoquant des crises moins fréquentes et moins violentes.

**Commenter et interpréter ces résultats.
Selon vous, quel peut-être l'intérêt de ce type d'étude ?**

L'analyse comparée des frottis montre que les souris S ont un nombre d'hématies inférieur à celui des souris T et S/AS1 et possèdent des hématies en forme de faucille. Ce type d'hématies n'est pas observé dans les frottis des souris T et A/AS1. Ces résultats montrent que l'expression de l'allèle betaS provoque une déformation des hématies caractéristique de la drépanocytose. Cet effet est annulé par l'expression de la chaîne betaAS1. Ceci pourrait résulter de l'inhibition de la polymérisation de la chaîne betaS par la chaîne betaAS1. Ce type d'étude fournit des éléments pouvant servir de base à la mise au point de stratégies de thérapie génique pour vaincre la drépanocytose.

Remarques générales concernant les TP de contre-option du secteur A

Le sujet était organisé en trois parties indépendantes. D'une manière générale, les deux parties qui comprenaient des expérimentations ont été traitées dans leur quasi-intégralité. La chromatographie des pigments oculaires de la drosophile a été dans l'ensemble correctement réalisée. En revanche, la connaissance du principe de cette technique est approximative. La notion de phases stationnaire et mobile n'est pas acquise. Enfin, très peu d'étudiants ont correctement interprété leur chromatoplaque et déduit le niveau de blocage de la chaîne métabolique correspondant à la mutation. Le frottis sanguin a pratiquement toujours été réalisé correctement, l'identification des cellules sanguines a été plus incertaine. Il semble que certains candidats ne connaissent pas les types cellulaires contenus par le sang. La grande majorité des candidats a abordé la troisième partie (exercice) mais seulement un petit nombre d'entre eux l'a terminée (questions III3 et III4 rarement traitées). Les réponses aux questions simples de génétique (III2) ont été en général satisfaisantes. En revanche, le principe de l'électrophorèse sur acétate de cellulose est mal maîtrisé. Très peu de candidats ont correctement donné les allèles du gène beta-globine présents chez le patient 4. L'analyse électrophorétique montrait que cet individu possédait deux allèles S. Or, la réponse la plus fréquente a été : un allèle S et un allèle F. L'HbF ne contenant pas de chaînes beta-globine, l'allèle F n'existe pas. Cette réponse était d'autant plus surprenante qu'à la question suivante, les candidats indiquaient, à juste titre, que la chaîne beta de l'Hb n'était pas exprimée par le fœtus. Nous rappelons que les réponses aux différentes questions d'un exercice doivent être cohérentes.

En conclusion l'aspect expérimental a été correctement réalisé mais les candidats ne savent pas observer et interpréter les résultats.

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2007

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DU SECTEUR B

CANDIDATS DES SECTEURS A et C

Durée totale : 2 heures

Impact d'un parasite sur son hôte

Le crabe vert ou crabe enragé *Carcinus moenas* est extrêmement commun sur toutes les côtes de France. Ce crabe inoffensif sur les côtes européennes car « contrôlé » par des prédateurs et des parasites, a été exporté dans d'autres mers. Importé en 1900 en Australie, son aire de répartition englobe maintenant le nord de la Tasmanie, l'état de Victoria et l'est de l'Australie du Sud. Il a été introduit plus récemment sur les côtes du Pacifique de l'Amérique du Nord (Californie centrale et Colombie britannique) et au Japon (baie de Tokyo). Il dévore les mollusques juvéniles et s'attaque aux espèces utilisées en aquaculture (huîtres, palourdes, etc.). L'ensemble de la chaîne trophique de la zone intertidale des régions concernées est bouleversé.

Pour lutter contre l'invasion de ce crabe, il est envisagé d'introduire dans les zones envahies, son parasite principal la sacculine (*Sacculina carcini*) qui est un Crustacé Cirripède Rhizocéphale endoparasite. Pour évaluer l'efficacité de cette possibilité de lutte biologique on va étudier quels impacts la sacculine provoque sur son hôte. Ces actions peuvent toucher la forme, l'anatomie, les fonctions de nutrition ou de reproduction, les fonctions de relation... Pour cela on va comparer deux crabes : un crabe A sain et un crabe B infesté par la sacculine.

Ce sujet comporte 5 parties indépendantes et une synthèse. La pagination, la durée conseillée et le barème d'évaluation sont indiqués ci-dessous :

<u>I - Étude écologique :</u>	page 2 (15 mn ; 2 points)
<u>II - Étude morphologique des deux crabes proposés :</u>	page 3 (15 mn ; 3 points)
<u>III - Étude anatomique des deux crabes proposés :</u>	page 4 (30 mn ; 5 points)
<u>IV - Étude histologique des gonades :</u>	page 6 (25 mn ; 4 points)
<u>V - Étude sérologique de l'hémolymphe des deux crabes :</u>	page 8 (30 mn ; 4 points)
<u>VI - Synthèse de cette étude :</u>	page 10 (5 mn ; 2 points)

La réalisation de la manipulation de la partie V du devoir nécessite 45 minutes ; elle doit être mise en route dès le début de l'épreuve.

Il est rappelé que toute manipulation impliquant un contact direct avec de la matière biologique doit être réalisée avec des gants de protection.

Répondre directement sur les feuilles du sujet dans les espaces prévus à cet effet.

Rendre la totalité du document, en indiquant vos nom, prénom, numéro de place et de salle en haut de chaque page.

Nom :	Prénom :	n° salle :	n° place :
-------	----------	------------	------------

I - Étude écologique

Différents échantillons végétaux ont été prélevés dans la Baie de Pen Poull (Bretagne) sur un site où *Carcinus moenas* est abondant.

→ Réaliser la détermination de ces 5 échantillons et les replacer dans la classification phylogénétique.

N° échantillon	Nom de genre et d'espèce	Place dans la classification
1	<i>Laminaria saccharina</i>	Lignée brune Straménopile Phaeophycées Ordre des Laminariales
2	<i>Fucus serratus</i>	Lignée brune Straménopile Classe des Phaeophycées Ordre des Fucales
3	<i>Lithothamnium calcareum</i>	Lignée verte Rhodobionte Ordre des Corallinales
4	<i>Chondrus crispus</i>	Lignée verte Rhodobionte Ordre des Gigartiniales
5	<i>Sargassium muticum</i>	Lignée brune Straménopile Classe des Phaeophycées Ordre des Fucales

→ Indiquer dans le cadre ci-dessous les caractéristiques physiques de ce milieu que l'on peut déduire de l'analyse de cette récolte d'échantillons.

cadre 1

Substratum caillouteux (non sableux) → fixation des algues *Fucus*, Laminaires

Dynamique du milieu : mode moyennement à peu battu → agitation de l'eau (*Fucus serratus*) dans cuvette : moins battu → pour *Lithothamnium*

Topographie : avec cuvettes (qui contiennent toujours de l'eau)

Profondeur de l'eau : médiolittoral inférieur → Médiolittoral moyen pour *Fucus*
Infralittoral pour *Lithothamnium* → dans cuvette → remontée possible
Infralittoral pour Laminaires

→ en limite inférieure de la zone de balancement des marées

Température : entre 8 et 15°C → pas trop froid (Laminaires comme *L. saccharina*)

Eau assez limpide pour photosynthèse

Salinité et pH : moyennes (pas d'indice de désalure ou sursalure, → pas d'apport d'eau douce)

II - Étude morphologique des deux crabes proposés

Vous disposez de deux crabes fraîchement tués *a priori de même âge* : crabe A et crabe B (fourni en démonstration)

→ **Faire une étude morphologique comparative des deux crabes ; compléter le tableau 1 ci-dessous en allant jusqu'à la détermination de leur sexe.**

Tableau 1

Caractères envisagés :	Caractères spécifiques du crabe A	Caractères communs	Caractères spécifiques du crabe B
Etude face dorsale : forme générale taille	Céphalothorax, de couleur verte, organes sensoriels, 10 pattes	Identiques Rien de particulier sauf → croissance de A > croissance de B En considérant un âge équivalent → croissance moindre pour le crabe B → moins de mues	Plus petit
Etude face ventrale: structure particulière forme de l'abdomen fixation de l'abdomen au céphalothorax segmentation de l'abdomen présence de soies appendices	Rien Triangulaire pointu Caractéristique d'un crabe mâle Oui par « bouton pression » Non Peu ou pas de soies sur le bord de l'abdomen PI1 et PI2 présentes PI3, PI4, PI5 absentes Apophyse génitale à la base de P5	→ une structure particulière abdominale ventrale colorée pour crabe B Dimorphisme abdominal De type sexuel Crabe A = crabe mâle Crabe B = crabe femelle	Une masse compacte lisse visible ventralement abdominale adhérente à l'exosquelette de couleur jaune Arrondi, moins pointu Ressemblant à celui d'un crabe femelle Non La masse jaune distend la fixation Oui → type femelle Des soies → type femelle PI1 et PI2 présentes PI3, PI4, PI5 absentes Apophyse génitale à la base de P5
sexe :		Des gonopodes mâles → 2 Crabes mâles	
Conclusion :		Contradiction entre les caractéristiques sexuelles du crabe B : des gonopodes mâles et un abdomen de type femelle → ambiguïté du sexe → féminisation de l'abdomen ou masculinisation des gonopodes du crabe B	

On précise que, dans une population de crabes verts, tous les crabes sacculinés présentent finalement un abdomen comparable à celui observé sur le crabe B.

Nom :	Prénom :	n° salle :	n° place :
-------	----------	------------	------------

→ Indiquer dans le cadre 2 les hypothèses explicatives envisageables pour expliquer les différences morphologiques constatées entre ces deux crabes A et B.

Cadre 2

-1- **Hermaphrodisme** chez crabe vert :

-2- **Hermaphrodisme successif** chez crabe vert :

soit : ♂ **mâle qui devient femelle** → acquisition segmentation et soies de l'exosquelette de l'abdomen, arrondissement par croissance de l'abdomen (→ pb croissance uniquement lors des mues)

il manque croissance des PI3, PI4, PI5

ou soit : ♀ **femelle qui devient mâle** ♂

→ perte segmentation et soies de l'exosquelette de l'abdomen, rétrécissement et changement de forme de l'abdomen (→ pb croissance uniquement lors des mues), perte des PI3, PI4, PI5

- 3- **MAIS : Les crustacés Décapodes sont classiquement uniquement gonochoriques → autre hypothèse**

Inversion sexuelle induite : cause pathologique ou parasitaire ou environnementale (composition toxique de l'eau)

Masse jaune ? ? ? ? → **liée à cette INVERSION du SEXE ? ? ?**

On a 2 crabes de même âge → le crabe B a moins grandi : sa croissance a été perturbée par quelque chose

→ **La masse jaune : un parasite → la sacculine évoquée en introduction**

Ce **parasite qui se développe trophiquement aux dépens de son hôte, perturbe la croissance du crabe** et pourrait être aussi responsable de l'ambiguïté du sexe associée

Ici avec seulement 2 crabes on ne peut normalement pas trancher le sens d'inversion du sexe :

(si le crabe B est un crabe qui était de sexe mâle **et qui s'est féminisé** ou si il était **femelle et est devenu masculinisé**)

CEPENDANT on nous indique que tous les crabes parasités ont un abdomen de type B donc un abdomen de type femelle

L'inversion du sexe ne se fait que dans le sens sexe **mâle qui se féminise** ; les crabes femelles parasités conservent leurs caractéristiques femelles

→ **inversion du sexe avec féminisation morphologique (au moins) du crabe B, initialement mâle, par la Sacculine**

III - Étude anatomique des deux crabes proposés

On cherche à préciser l'origine des modifications morphologiques provoquées par l'infestation par la sacculine.

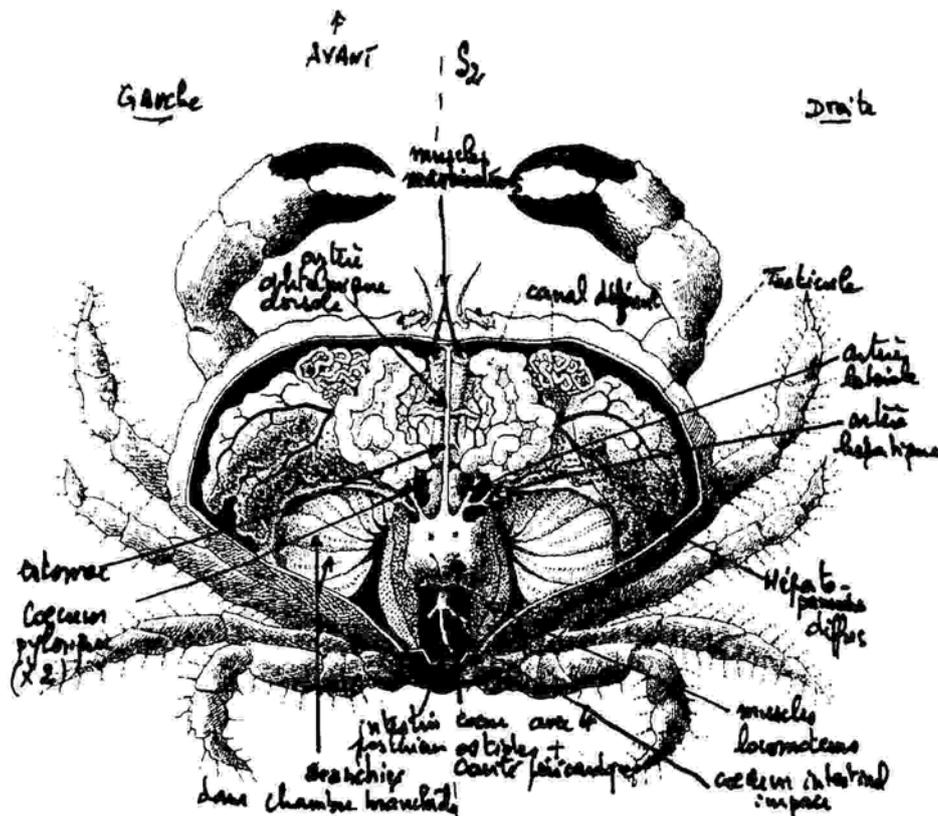
On se propose de faire une étude comparative des principaux appareils pour repérer d'éventuelles modifications internes de leur fonctionnement en relation avec la présence de la sacculine et les relier aux modifications morphologiques repérées.

1- Étude du crabe sain

→ **Faire un dessin annoté de la dissection « organes en place » du crabe sain dans le cadre 3 ci-dessous.**

Lorsque la dissection et le dessin seront réalisés, appeler un examinateur qui vérifiera la conformité du dessin.

cadre 3



2- Étude du crabe infesté

→ **Repérer sur la photographie fournie la présence de la sacculine au niveau des organes internes du crabe infesté et porter le résultat de vos observations dans le tableau 4 en adoptant les conventions suivantes :**

- +++ Présence de ramifications parasitaires très nombreuses, aspect de l'organe très modifié
- ++ Présence de ramifications parasitaires nombreuses, aspect de l'organe assez modifié
- + Présence de ramifications parasitaires , mais aspect de l'organe peu modifié

tableau 4

Organes observés	crabe B / crabe A
Tégument	+ <i>Sacculine soudée au tégument</i>
Branchies	+
Muscles	+
Tube digestif	++
Glande digestive	+
Cœur et vaisseaux	+
Gonades et glandes associées	+++ (<i>comprimés → tendent à dégénérer avec le temps</i>)
Glande antennaire :	+
Système nerveux et neuroendocrine :	+++

3- Résultat de cette étude anatomique comparative ::

→ **Conclure dans le cadre 5 en précisant quels organes vous semblent les plus affectés par la sacculine.**

cadre 5

La Sacculine envahit tout le corps du Crabe notamment :

Les **testicules**, les **glandes androgènes**, le **système nerveux**, l'**appareil digestif**

Les **organes ne changent pas vraiment d'aspect** (couleur, forme) mais peuvent être plus réduits et régressés par **compression mécanique et compétition trophique**

- Il est possible aussi que la Sacculine produise des toxines , des molécules exocrines ou endocrines qui diffusent dans le corps du Crabe → il faudrait faire une étude de la **composition sanguine** pour le mettre en évidence

→ **En vous appuyant sur ce constat, noter dans le cadre 6 quelles hypothèses sur l'origine des perturbations provoquées par la sacculine restent possibles.**

cadre 6

- Les testicules → **perturbation de l'activité reproductrice**

Cependant chez le crabe vert le testicule ne devient pas ovaire (comme par exemple cela peut s'observer chez *Pachygrapsus marmoratus* , un autre crabe cible de la Sacculine)

- Les glandes androgènes qui chez le Crabe sont à l'origine du déterminisme du sexe mâle et des caractères sexuels secondaires → **perturbation des sécrétions hormonales** → **modification des caractères sexuels secondaires** → **féminisation morphologique**

- Le système nerveux → perturbation neurohormonale en parallèle avec celle de la glande androgène

→ arrêt des mues → **blocage de la croissance** → crabes restent petits par rapport aux crabes témoins de même âge

→ modification du comportement (on décrit que les crabes mâles sacculinés ont un comportement de femelles) → **féminisation comportementale**)

- L'appareil digestif : → **compétition trophique** pour les nutriments digérés par le crabe → moins de métabolites pour le crabe car la Sacculine les détourne à son profit → **croissance et activité reproductrice ralentie ou stoppée**

Hypothèses sur l'origine des perturbations :

- **Blocage de la croissance** , perturbation de l'activité reproductrice et inversion du sexe (féminisation **morphologique** essentiellement, pas d'inversion du sexe gonadique) dus à des **perturbations neurohormonales** et une **concurrence trophique** provoqués par la Sacculine

IV - Étude histologique des gonades

On veut comparer l'activité gonadique des deux crabes

1) Observation des gonades

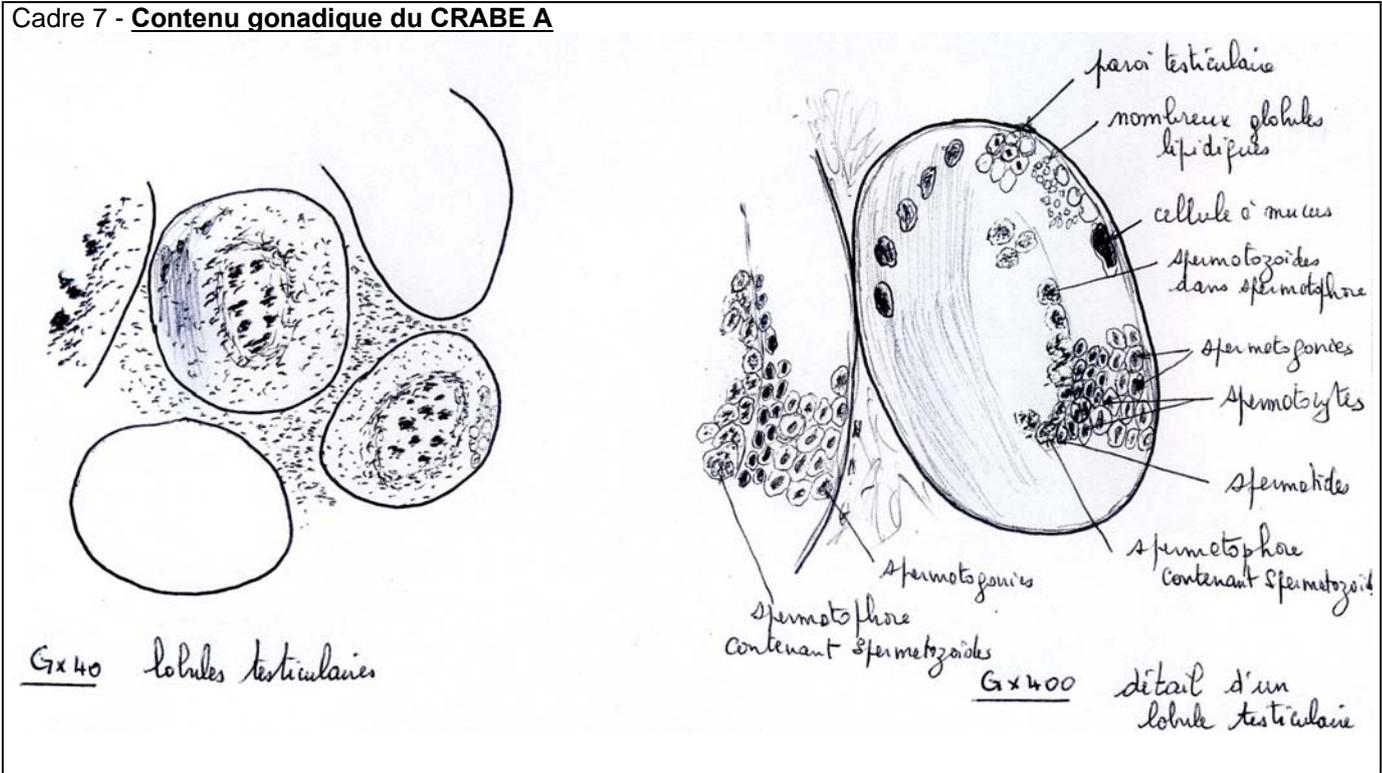
Pour le crabe A, prélever la gonade et la placer dans un verre de montre.

→ réaliser une coupe sommaire afin d'en représenter le contenu dans le cadre 7.

Pour faire votre montage microscopique vous disposez d'un sérum physiologique pour invertébré marin et d'un flacon de bleu de méthylène .

Lorsque la préparation et le dessin sont réalisés, appeler un examinateur qui vérifiera la conformité du dessin .

Cadre 7 - Contenu gonadique du CRABE A



Chez le crabe B, les gonades sont de taille réduite et mal individualisées.

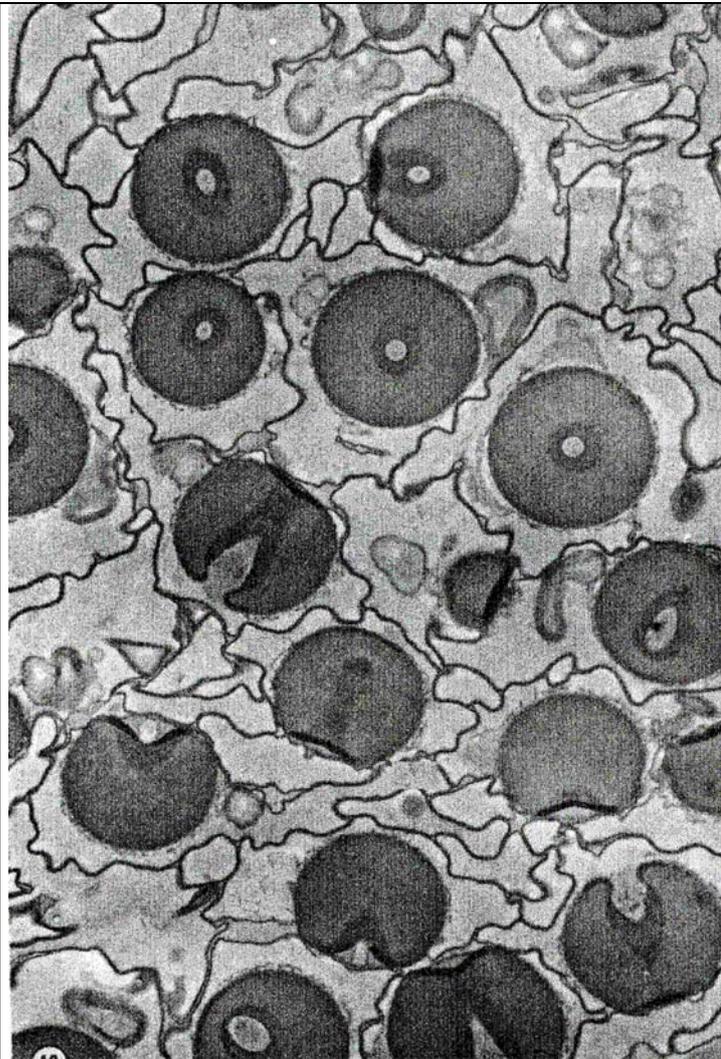
→ Faire une conclusion argumentée sur l'activité des gonades du crabe A, dans le tableau 8

Tableau 8

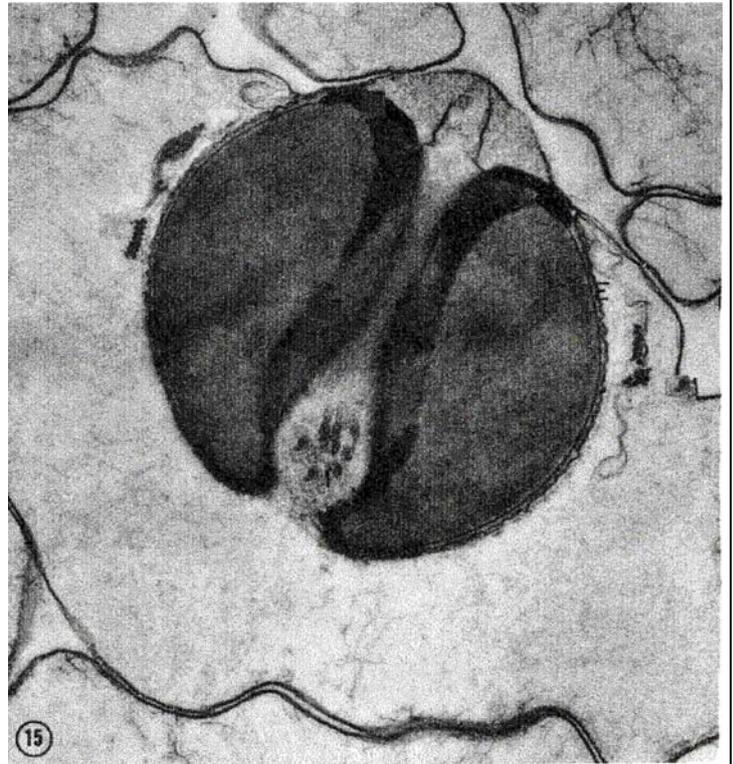
Critères	<p>- La paroi des lobules testiculaires présente une différenciation cellulaire. On distingue des cellules de différentes tailles qui se rapportent aux différentes étapes de la gamétogenèse : spermatogonies, spermatocytes (cellules de grande taille), spermatides (cellules de petite taille)</p> <p>- On distingue de très nombreuses très petites cellules regroupées en paquet ; ces cellules sont très mobiles lorsqu'elles sont libres dans le milieu (désorganisation des spermatozoaires), d'allure sphérique, à gros noyau (quand on les colore). Ces cellules très actives sont des spermatozoïdes.</p>
Conclusion	<p>Le crabe A est mature ; il présente des testicules fonctionnels et en activité à cette époque de l'année.</p>

2) Analyse d'électronographies de gonades de crabe

a - Des coupes histologiques fines de gonades ont été préparées et observées au microscope électronique à transmission. Voici deux clichés à deux grossissements différents d'une gonade de crabe de type A.



n°1 : MET : X 10 000 : groupe de gamètes matures dans la gonade. Suman Langreth, *The Journal of Cell Biology*, volume 43, 1969



n°2 : MET : X 20 000 : détail d'un gamète mature. Suman Langreth, *The Journal of Cell Biology*, volume 43, 1969

→ Faire un schéma permettant d'interpréter le cliché 2 dans le tableau 9 et conclure sur les particularités de ces gamètes.

Tableau 9

<p>Cliché n° 2 :</p>		<p>Conclusion :</p> <p>→ gamète mâle : un spermatozoïde non flagellé au sein d'un spermatophore</p> <p>2 structures particulièrement développées</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le noyau périphérique un élément volumineux dense considéré comme l'équivalent d'un acrosome
----------------------	--	--

Nom :	Prénom :	n° salle :	n° place :
-------	----------	------------	------------

b- Les séries de clichés réalisés sur des préparations de gonade de crabe de type B présentent des résultats variables.

La plupart des gonades ne présentent pas de gamètes. Toutefois certaines gonades peuvent en présenter ; dans ce cas les gamètes sont de même type que ceux du crabe de type A mais en moindre quantité.

→ **Conclure sur l'impact de la sacculine sur la reproduction du crabe et formuler une hypothèse explicative sur son origine ; répondre dans le cadre 10.**

cadre 10

La Sacculine affecte la reproduction du Crabe mais les gonades conservent un fonctionnement de type mâle. **De plus elle ne bloque pas systématiquement la spermatogénèse** des crabes mâles → son impact sur la gamétogénèse est secondaire = **indirecte**

→ il n'y a pas d'inhibition endocrinienne ou d'effet toxique net ; cependant l'impact parasitaire augmente avec la croissance de la Sacculine

L'impact de la Sacculine sur la reproduction semble plutôt se faire par le biais d'une compétition trophique

V - Étude sérologique de l'hémolymphe des deux crabes

1) Comparaison des hémolymphe des crabes A et B

Réaliser une électrophorèse des hémolymphe des deux crabes A et B.

Matériel disponible :

- le crabe A et l'hémolymphe du crabe B, dans un tube Eppendorf
- 1 seringue munie d'une aiguille
- 1 tube à prélèvement contenant de l'EDTA
- 2 micro pipettes avec dispositif d'aspiration en plastique
- une bande support cellogel placée dans un becher rempli de tampon Tris-Véronal (pH 9,2)
- 2 feuilles de papier filtre
- des étiquettes pour repérer les tubes
- une cuve à électrophorèse remplie à moitié de tampon Tris-Véronal (pH 9,2) (pour 2 candidats)
- un portoir pour bande de cellogel (pour 2 candidats)
- une plaque pour révélation avec canaux indépendants *par candidat*
- rouge Ponceau
- acide acétique à 5%

Pour le prélèvement sur le crabe A :

- Maintenir la patte P1 pliée.
- A l'aide d'une seringue piquer au niveau de la membrane articulaire, incliner l'aiguille parallèlement à l'article de la patte et aspirer doucement.
- Placer l'hémolymphe aspirée dans le tube contenant l'EDTA ; agiter le tube.

Protocole pour la réalisation des deux dépôts :

- sortir la bande de cellogel du bécher et la sécher (*sans froter*) avec du papier filtre
- repérer la face absorbante (*surface mate*)
- Prélever chaque hémolymphe avec une micro pipette
- Sur la face mate de la bande de cellogel, à 2 cm du bord d'une des 2 extrémités, déposer une goutte d'hémolymphe en appuyant doucement sur la tétine. Ne pas mettre la goutte trop près du bord latéral de la bande de cellogel (prévoir au moins un écart d'1/2 cm).
- Déposer la 2^{ème} goutte de même volume que la première et **au même niveau sur la même bande de cellogel** ; prendre soin d'avoir un intervalle de 1 cm entre les 2 gouttes déposées et de garder une distance d'au moins un 1/2 cm avec le bord latéral.

Migration :

- Fixer soigneusement sans secousse, à plat, la bande de cellogel préparée sur le portoir.
- Placer le portoir dans la cuve à électrophorèse , l'extrémité portant le dépôt du côté cathode (borne noire).
- Brancher

Laisser migrer au moins 45 minutes

Nom :	Prénom :	n° salle :	n° place :
-------	----------	------------	------------

Révélation des résultats de l'électrophorèse avec le Rouge Ponceau

- Utiliser la plaque à révélation qui porte 6 canaux numérotés
- Remplir les canaux de la plaque avec :
 - Canal 1 = Rouge Ponceau
 - Canal 2 = acide acétique à 5%
 - Canal 3 = acide acétique à 5%
 - Canal 4 = acide acétique à 5%
- Colorer la bande de cellogel par trempage de la bande durant 5mn dans le Rouge Ponceau.
- Éliminer l'excès de colorant par passage de la bande dans au moins 3 bains successifs d'acide acétique à 5%.

Présentation du résultat

- **Entourer les traces colorées obtenues avec un crayon, ainsi que l'emplacement des dépôts initiaux ; préciser les types de dépôt par A ou B**
- **Entourer les traces colorées obtenues avec un crayon**
- **Noter votre nom sur le côté de la bande de cellogel**
- **Fixer votre bande d'électrophorèse dans le cadre 11 ci-dessous**

cadre 11

(bande d'électrophorèse)

2) Analyse des résultats :

- **Indiquer dans le cadre 12 ce que révèle votre migration électrophorétique**

cadre 12

L'électrophorèse est une technique très employée pour séparer les **molécules chargées** comme les **protéines** d'après leur masse et leur charge électrique. Après migration, on effectue une fixation sur le support, souvent directement par coloration avec un colorant des protéines qui se trouvent toutes simultanément révélées. Ici le colorant est le Rouge Ponceau. L'excès de coloration est enlevé par l'acide acétique.

Pour l'électrophorèse réalisée avec ce matériel très simple et une migration de courte durée, la révélation fait apparaître **systématiquement au moins** :

- 1 tache colorée en rouge pour l'électrophorèse de l'hémolymphe du crabe A → tache correspondant à la protéine majeure de l'hémolymphe : la cuproprotéine
- 2 taches colorées en rouge pour l'électrophorèse de l'hémolymphe du crabe B
 - 1 tache au même niveau que celle du crabe A → correspondant à la cuproprotéine
 - 1 tache supplémentaire qui a migré plus vite et qui est à relier à la présence du parasite → protéine plus petite et/ou relativement plus chargée

- **En déduire l'impact de la Sacculine sur son hôte et son origine éventuelle ; répondre dans le cadre 13.**

cadre 13

La Sacculine modifie la composition de l'hémolymphe et donc probablement le métabolisme du Crabe.

On peut s'interroger sur l'origine de cette ou ces protéines circulantes supplémentaires : protéine d'origine parasitaire ou produite par l'hôte en réponse à la présence de ce parasite (protéines immunitaires).

On ne peut pas trancher sur ces différentes origines possibles

Pour préciser l'origine métabolique de cette ou de ces protéines supplémentaires il faudrait faire - entre autre vérification - dans les mêmes conditions une **électrophorèse de l'hémolymphe de la Sacculine** et comparer les résultats (position relative des tâches)

VI – Synthèse de cette étude

→ Représenter sur un schéma dans le cadre 14 le bilan des actions de la sacculine sur son hôte que vous avez mises en évidence et préciser s'il y a « castration parasitaire ».

cadre 14

Modifications endocrines et neuro-endocrines immédiates qui entraînent :

- dans un premier temps,

→ **modifications métaboliques**

→ **arrêt croissance** → arrêt des mues (pas d'ecdysone = hormone de mue) → le parasite ne peut plus être rejeté

- dans un 2^{ème} temps,

→ modifications de la plupart des fonctions

certaines diminuent : **activité reproductrice**

d'autres augmentent : **protéogénèse**, lipogénèse, ...

→ **modifications morphologiques** (féminisation) en relation avec une modification de l'activité

endocrine de la glande androgène

De façon rigoureuse **on ne peut pas parler de « castration parasitaire »** même si on le lit parfois dans le cas de ce parasitisme Crabe vert – Sacculine car l'arrêt de la fonction testiculaire n'est pas systématique et est secondaire à un désordre métabolique

→ Conclure à l'issue de cette étude dans le cadre 15, si l'introduction de la sacculine dans les régions envahies par le crabe vert en Australie ou aux USA vous semble un moyen efficace pour contrôler les populations du crabe invasif ? Argumenter votre réponse

cadre 15

Oui cela semble un moyen efficace car ce parasite retarde la croissance et l'acquisition de la maturité sexuelle des crabes puis limite sa prolifération

En Europe comme il est dit dans l'introduction la Sacculine est le principal agent de contrôle des populations de crabe

Mais attention danger : la Sacculine n'a pas un hôte strictement spécifique (ex *Pachygrapsus* et d'autres crabes et crevettes ou autres Crustacés peuvent être infestés...)

Attention aux élevages de Crustacés (Crevettes, ...) → en voulant les protéger on peut risquer de les infester

On risque aussi de décimer d'autres populations sauvages de crustacés

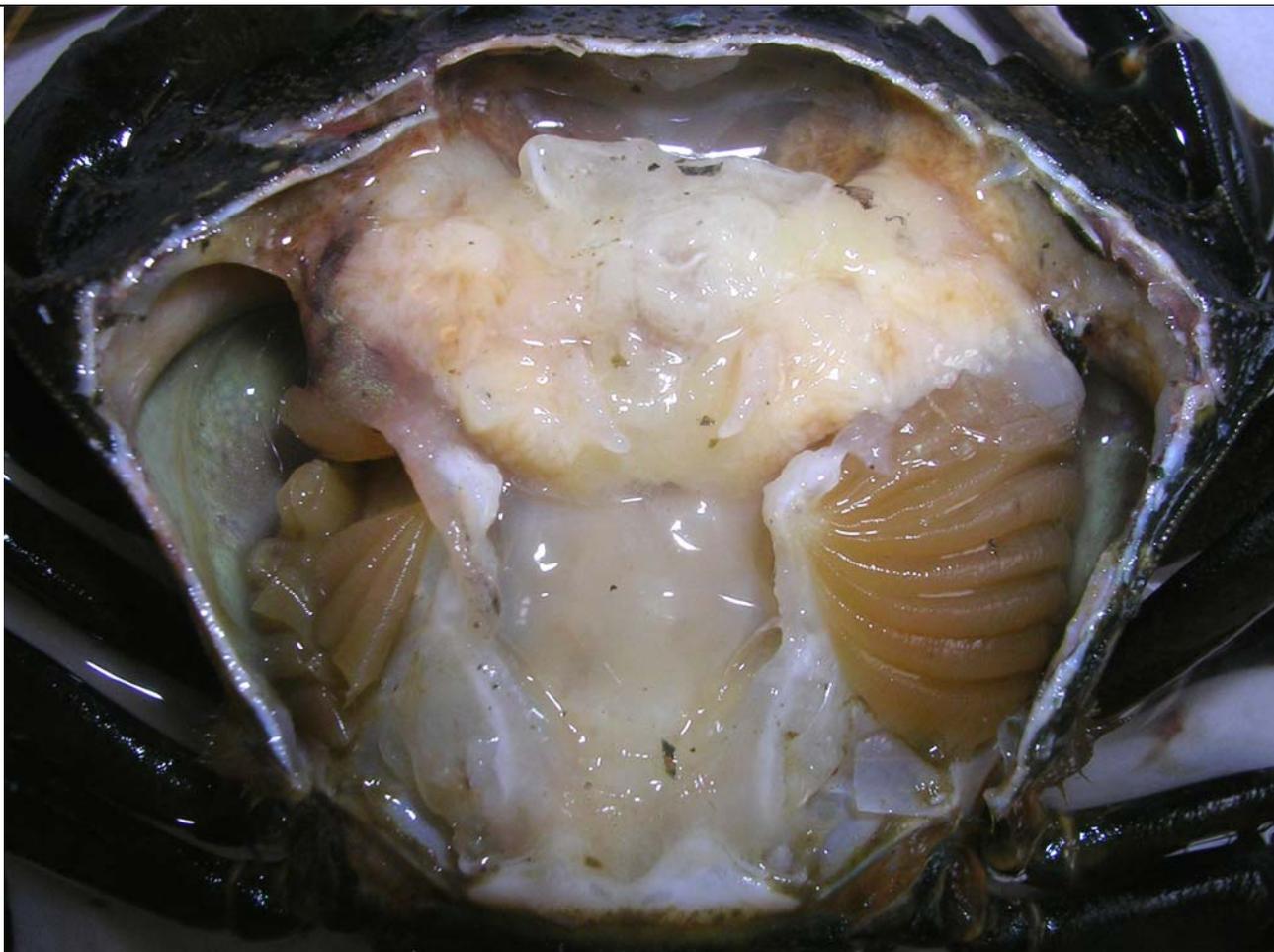
→ **alors ATTENTION** → des études fines d'IMPACT sont nécessaires...

Nom :

Prénom :

n° salle :

n° place :



Crabe infesté par la sacculine

Remarques générales concernant les TP de contre-option de secteur B

Le sujet portait sur l'**impact** d'un parasite : la Sacculine, Crustacé Cirripède Rhizocéphale **sur un de ses hôtes** le crabe enragé *Carcinus moenas*.

Le sujet essentiellement expérimental comportait 6 parties dont 5 indépendantes. Il était indiqué de commencer impérativement par la partie 5 qui demandait la réalisation d'une électrophorèse demandant un délai de migration de 45 minutes.

Le thème choisi permettait aux candidats d'exprimer différentes compétences pratiques :

- analyser minutieusement la morphologie comparée de 2 animaux et formuler des hypothèses par rapport à la problématique du sujet :

- mettre en évidence certaines structures par dissection
- faire des montages histologiques pour caractériser l'activité d'un organe
- rendre compte d'observations à l'aide de dessins légendés
- savoir suivre un protocole et manipuler avec soin et précision
- raisonner sur différents résultats obtenus et en faire une synthèse validant ou non les hypothèses formulées.

Les candidats ont en général abordé toutes les parties même si elles n'ont pas été toujours réussies. Une rédaction et une présentation soignée ont été appréciées.

Partie I : Etude écologique

Cinq échantillons d'algues étaient proposés afin de caractériser le milieu de vie de *Carcinus moenas*. Leur nom de genre et d'espèce, ainsi que leur place dans la classification phylogénétique étaient demandés.

Il s'agissait de : 1- *Laminaria saccharina* 2- *Fucus serratus* 3- *Lithothamnium calcareum* 4- *Chondrus crispus* 5- *Sargassium muticum* permettant de caractériser la **limite inférieure** de la zone de **balancement des marées**, mode moyennement à peu battu.

Aucun dessin n'était attendu ici. Les échantillons ont été inégalement reconnus par les candidats mais avec des tentatives de classification phylogénétique.

Partie II : Etude morphologique des 2 crabes proposés

Il s'agissait de comparer **2 crabes mâles de même âge**, l'un sain servant de référence, l'autre parasité par la sacculine de taille plus petite, au niveau de critères ciblés. On constatait :

- une «féminisation » morphologique du crabe parasité notamment de l'abdomen qui amenait à s'interroger sur l'existence d'un hermaphrodisme successif chez le crabe , d'une castration parasitaire ou d'une inversion sexuelle induite par le parasite.
- une croissance moindre du crabe féminisé faisant envisager un ralentissement ou un blocage des mues en raison soit d'une compétition trophique, soit d'un désordre hormonal.

Les candidats ont repéré les différences morphologiques attendues et la présence de la sacculine sur le crabe parasité mais n'ont pas toujours bien conclu sur le sexe des crabes et sur le rôle du parasite dans ces transformations. Certains trop peu nombreux ont émis l'hypothèse d'une inversion sexuelle ou d'une castration parasitaire par la sacculine .

D'après les réponses fournies la plupart des candidats semble n'avoir jamais abordé ce genre de modifications dans le cadre des relations interspécifiques chez les animaux et ne pas connaître la sacculine.

Partie III : Etude anatomique des 2 crabes proposés

Il était proposé par le biais d'une **dissection** du crabe sain **fraîchement tué** et d'une photographie de crabe parasité de **constater l'envahissement de l'ensemble** des organes du crabe parasité par les racines suçoirs de la sacculine (rhizocéphale).

Les perturbations provoquées par la sacculine peuvent ainsi être mécanique, trophique, neuro-endocrine, toxique et expliquer son impact sur la croissance et la féminisation du crabe.

La dissection n'a pas posé de difficultés aux candidats, par contre elle s'est faite le plus souvent à sec ou dans l'eau du robinet. Trop peu de candidats ont utilisés l'eau de mer pourtant à la disposition de chacun. Disséquer dans l'eau de mer permettait la survie prolongée des organes et plus particulièrement des spermatozoïdes dans les testicules .

Les dessins ont été le plus souvent conformes à la dissection, par contre le soin et la présentation regroupée des légendes ont été négligés. Titre et échelle n'ont pas toujours été précisés.

Le jury déplore que le plan d'organisation du crabe et la position des gonades ne soient pas connus. Il y a eu beaucoup de confusion entre hépatopancréas et testicules, entre testicules et ovaires localisés de façon aléatoire sur les dessins.

Partie IV : Etude histologique des gonades

Les candidats devaient faire un montage histologique de testicule du crabe sain à leur disposition et constater qu'il était mature et fonctionnel : de nombreux spermatozoïdes mobiles étaient présents. La coloration au bleu de méthylène était possible. Elle permettait de repérer leur allure globuleuse particulière et le volume important du noyau mais les tuait rapidement.

Les électronographies présentées permettaient de préciser la forme particulière non flagellée de ces spermatozoïdes et de faire un schéma interprétatif de leur ultrastructure.

Les candidats ont eu des difficultés à repérer les testicules. Ils ont peu souvent appelé les examinateurs pour faire vérifier leur prélèvement et leur montage. Les préparations réalisées présentaient le plus souvent de l'hépatopancréas. Les globules lipidiques certes très nombreux ont été confondus avec des gamètes.

Les préparations proposées étaient souvent mal centrées et mal éclairées, rendant difficile l'observation et l'évaluation.

Le jury regrette qu'à ce niveau du devoir la gonade ait pu être encore appelée ovaire alors que les électronographies correspondant au crabe disséqué par les candidats présentaient des gamètes porteur d'attribut comme l'acrosome, c'est à dire des spermatozoïdes.

Cette partie a été la moins bien réussie de l'épreuve. Les candidats ont été gênés par la méconnaissance de l'emplacement des gonades du crabe et par le montage de testicule d'animaux marins altéré par un séjour dans de l'eau douce.

Cette partie se terminait par une donnée indiquant que le crabe sacculiné pouvait présenter des spermatozoïdes mais en quantité faible. Ce constat permet de déduire qu'il n'y a pas de castration parasitaire totale directe du crabe et fait évoquer plutôt une insuffisance trophique limitant l'activité testiculaire. Peu de candidats sont arrivés à cette conclusion.

Partie V : Etude sérologique de l'hémolymphe des 2 crabes

Les candidats avaient à faire une électrophorèse comparative des protéines de l'hémolymphe prélevée sur le crabe sain avant la dissection avec celles de l'hémolymphe de crabes sacculinés proposée dans un Eppendorf. Le protocole permettant le prélèvement et la réalisation de l'électrophorèse était fourni.

L'électrophorèse de ces deux hémolymphe montre une tâche dense nette, au même niveau, correspondant à une protéine qui a peu migré. Cette tâche correspond à un type de protéine abondante et commune aux deux hémolymphe (il s'agit d'une cuproprotéine). L'hémolymphe de crabe sacculiné comporte en plus une ou plusieurs tâches attestant la présence de protéines circulantes supplémentaires dans le crabe parasité. Il peut s'agir d'anticorps sécrétés par le crabe ou d'autres protéines, produites par le crabe ou la sacculine.

Les résultats des candidats ont été variables attestant de qualités manipulatoires différentes.

Les dépôts ont été le plus souvent peu concentrés et trop étalés.

Les électrophorèses des candidats ont révélé nettement des tâches colorées mais pas toujours bien individualisées. Elles ont été interprétées de façon plus ou moins appropriée. En particulier une erreur assez surprenante a été lue dans plusieurs copies où les candidats notaient des différences d'intensité des tâches colorées et en tiraient des interprétations physiologiques alors que l'hypothèse de dépôts différant en quantité ou en volume n'était pas proposée

Les candidats surpris par l'exercice au début de l'épreuve finalement l'ont assez bien réussi.

Partie VI : Synthèse de cette étude

Cette dernière partie n'a pas été abordée par tous les candidats.

Pourtant il ne s'agissait que de récapituler les principales données recueillies dans les parties précédentes et d'aboutir à la conclusion que l'impact de la sacculine est multiple mais essentiellement de nature métabolique ; les troubles de la fertilité sont importants mais indirects. La castration n'est pas forcément totale.

La sacculine peut être utilisée dans la lutte biologique contre *Carcinus moenas* dans les régions où il est une espèce invasive, à condition de faire de soigneuses études d'impact préalables sur les milieux considérés.

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVE D'ADMISSION – session 2007

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DU SECTEUR C

CANDIDATS DES SECTEURS A et B

Durée totale : 2 heures

GÉOLOGIE DES AQUIFÈRES

Ce livret contient :

- 18 pages numérotées de 1 à 18,
- une planche en couleurs (p. 3) correspondant à un extrait de carte géologique,
- une planche en couleurs (p. 4) correspondant à un extrait de légendes de la carte et à un profil topographique.

Répondez directement sur les feuilles dans les espaces prévus à cet effet.

Même en cas de non réponse, rendez la totalité de vos feuilles en indiquant vos nom, prénom et numéro de salle en tête de chaque nouvelle partie.

L'épreuve est constituée de trois parties :

- une épreuve de pétrographie et cartographie (**partie I**),
barème : 8/20,
durée conseillée : 50 minutes, **dont 10 minutes au poste d'observation.**
- une épreuve de sédimentologie (**partie II**),
barème : 7/20,
durée conseillée : 40 minutes.
- une épreuve de géochimie (**partie III**),
barème : 5/20,
durée conseillée : 30 minutes.

Les trois parties sont indépendantes

AVANT DE RENDRE VOTRE COPIE, VERIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMERO DE SALLE EN TÊTE DE CHAQUE PARTIE.

Nom :

Prénom :

n° salle

Partie I : Épreuve de cartographie et pétrographie

Le **document 1 A** est un agrandissement à 1/25 000, de la carte géologique de Toulon (à 1/50 000), centré sur la région du Beausset.

De nombreuses sources émergent à flanc de coteau dont les plus importantes sont cartographiées.

Les **échantillons A** et **B** fournis sont représentatifs des formations notées t_{6-4} et t_{9-7} . **Le temps de passage au poste d'observation est de 10 minutes maximum.**

I – 1 : Déterminez en détaillant votre raisonnement, la nature et les conditions de formation des roches présentées.

Échantillon A

Faible densité, pas d'effervescence à HCl, rayable à l'ongle : gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$)

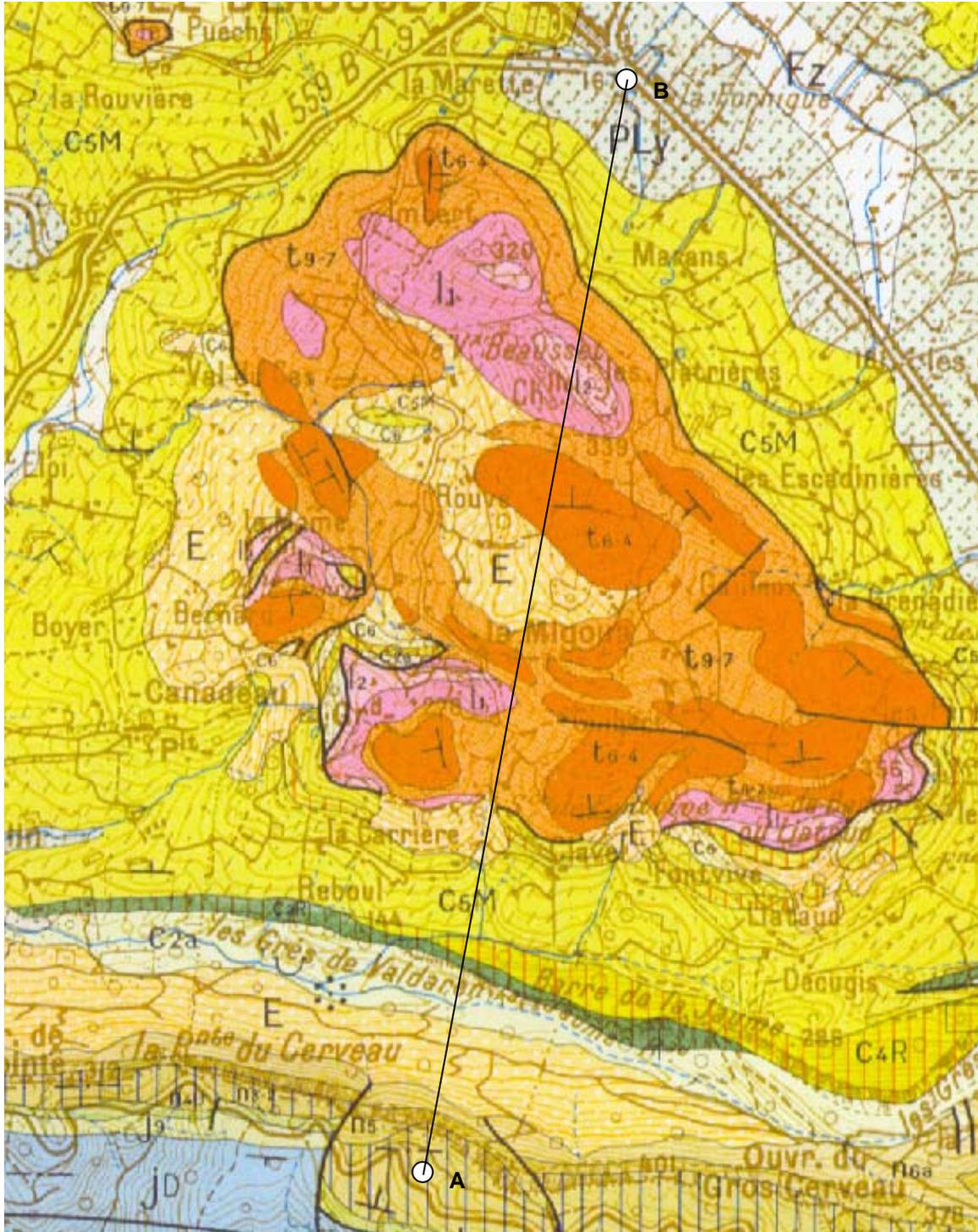
Précipitation par évaporation de l'eau en domaine marin ou en domaine lacustre aride

Échantillon B

Structure bréchique ; effervescence à HCl ; altération différentielle : on peut penser à une association de dolomie (meilleure résistance à la dissolution) et de calcite (dissolution plus rapide) : cargneule

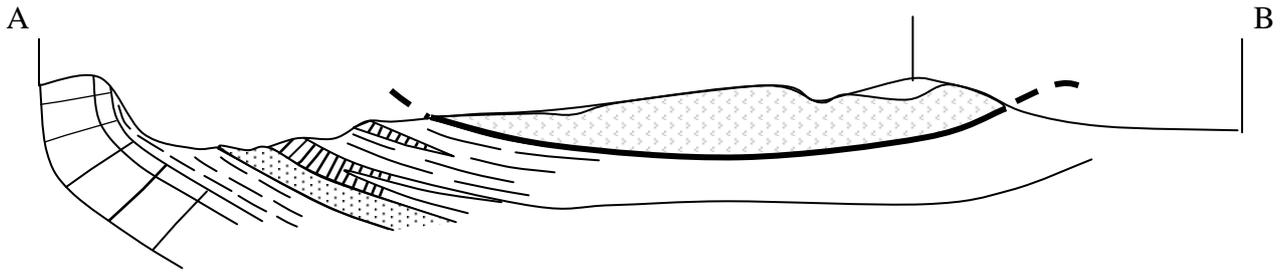
Bréchification d'une dolomie par les contraintes tectoniques exercées ou par fracturation hydraulique

1 – 2 : À partir du profil topographique fourni (document 1B page 4), réalisez la coupe indiquée selon AB.



Document 1A : extrait agrandi à 1/25 000 de la carte géologique de Toulon à 1/50 000

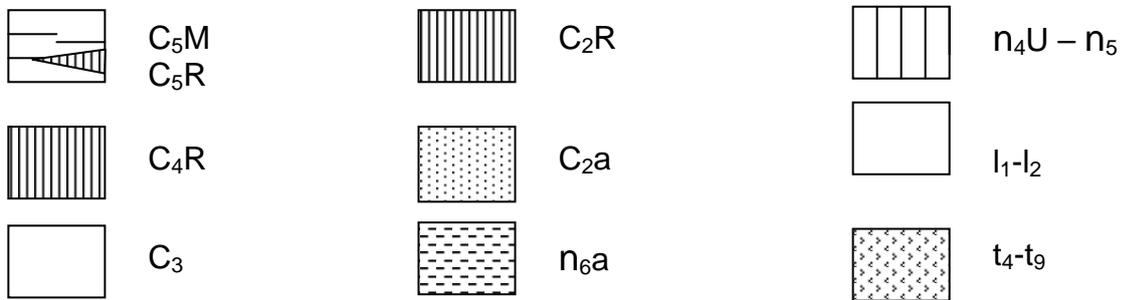
Le Vieux Beausset



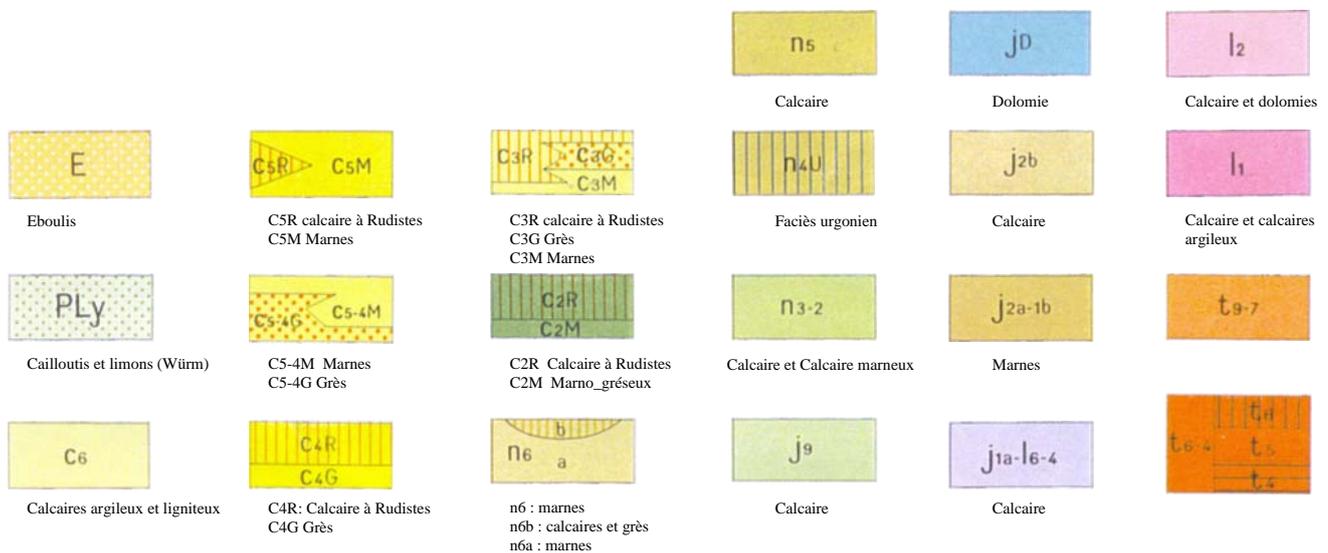
Une klippe à semelle triasique chevauche les marnes santoniennes.

Le Turonien (C₃) n'affleure pas au niveau de la coupe mais est signalé à la limite Est de l'extrait de carte.

Les calcaires à faciès Urgonien (n₄U), les calcaires à Rudistes (C₂R, C₄R et C₅R), les calcaires et dolomies du lias (l₂) arment les reliefs.



Document 1B : profil topographique réalisé suivant AB



Document 1C : légende de l'extrait de carte présenté (document 1 A)

Nom :

Prénom :

n° salle

I – 3 : Précisez les propriétés des roches déterminées en relation avec la structure géologique et avec les caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques du secteur.

Relations avec la structure géologique

- Le gypse par déshydratation et libération d'eau facilite le chevauchement.
- La dolomie sus-jacente, d'abord homogène, peut subir une fracturation hydraulique. La précipitation ultérieure de calcite cimente la roche bréchifiée.

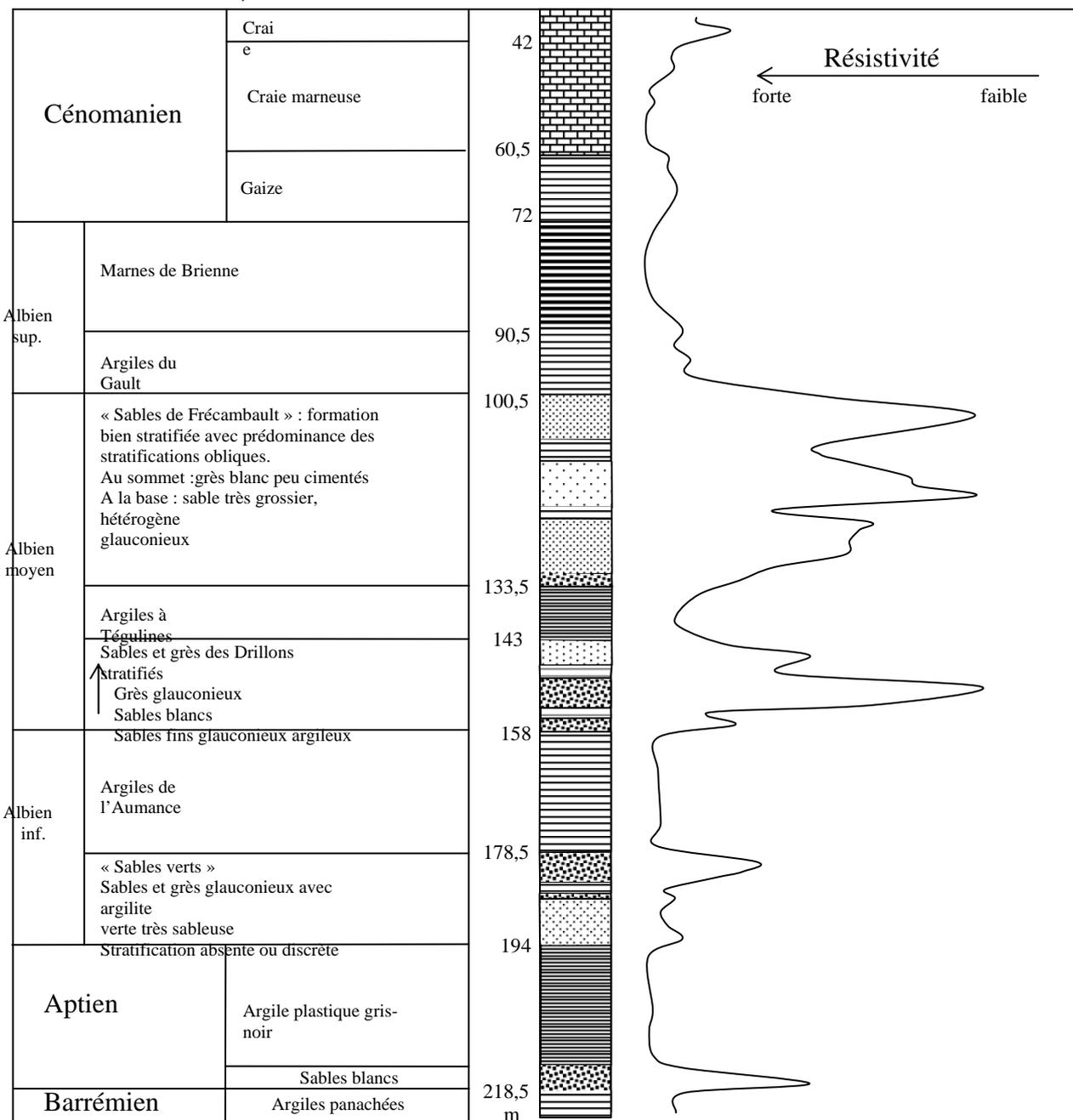
Relations avec les caractéristiques hydrologiques et hydrogéologiques

- Très faible densité du réseau hydrographique et nombreuses sources à la base du chevauchement témoignent d'une infiltration et d'une circulation souterraine des eaux à mettre en relation avec :
 - les propriétés de dissolution des deux roches,
 - la présence de formations marneuses imperméables (C5M) sous le chevauchement)

Partie II : Épreuve de sédimentologie

À la périphérie du Bassin de Paris affleurent largement des formations albiennes où alternent des argiles plus ou moins gréseuses et des couches sablo-gréseuses. L'ensemble du **document 2** fournit des informations relatives à ces formations.

II - 1 : Par l'analyse de chacune de ces informations et en utilisant vos connaissances, reconstituez les conditions de dépôt de ces formations (répondez dans les cadres accompagnant chacun des documents).



Document 2A : colonne lithostratigraphique et enregistrement de la résistivité des terrains réalisé lors de la diagrapie d'un forage.

Interprétation du document 2A

La colonne lithostratigraphique nous montre la prédominance d'une sédimentation détritique tout au long de l'Albien, l'alternance sable – argile témoignant de variations dans l'hydrodynamisme du milieu. Une sédimentation carbonatée s'installe progressivement dans la partie terminale de l'Albien pour aboutir à la sédimentation biocarbonatée de la craie cénomaniennne.

Les niveaux sables verts doivent leur couleur à la présence de glauconie (interstratifié smectite – glauconite, riche en Fe).

La glauconie est présente dans les faciès sableux qui facilitent les échanges entre eau du milieu de sédimentation (eau de mer dans la très grande majorité des cas) et eau porale favorisant ainsi l'épigénisation de clastes.

Actuellement la glauconie se forme essentiellement en milieu de plateforme océanique, (dans le domaine intertropical surtout) à des profondeurs de 150–250 m, en milieu marin ouvert et à faible taux de sédimentation. La présence de matière organique est nécessaire au maintien de conditions réductrices qui contrôlent les réactions de solubilisation du fer.

L'absence de stratification, ou une stratification discrète, dans les sables verts, est attribuable au maintien de conditions hydrodynamiques identiques sur de très longues périodes.

Les stratifications obliques des sables de Frécambault témoignent au contraire d'oscillations dans les directions de distribution du matériel.

Maille (µm)	>630	630 - 400	400 - 315	315 - 250	250 - 125	125 - 100	100 - 62,5	62,5 - 40	40 - 31,5	31,5 - 20	<20
Sables verts	1%	2%	7%	11%	73%	3%	1%				
Sables de Frécambault			2%	0,5%	2,5%	5%	22%	28%	19%	16%	3%

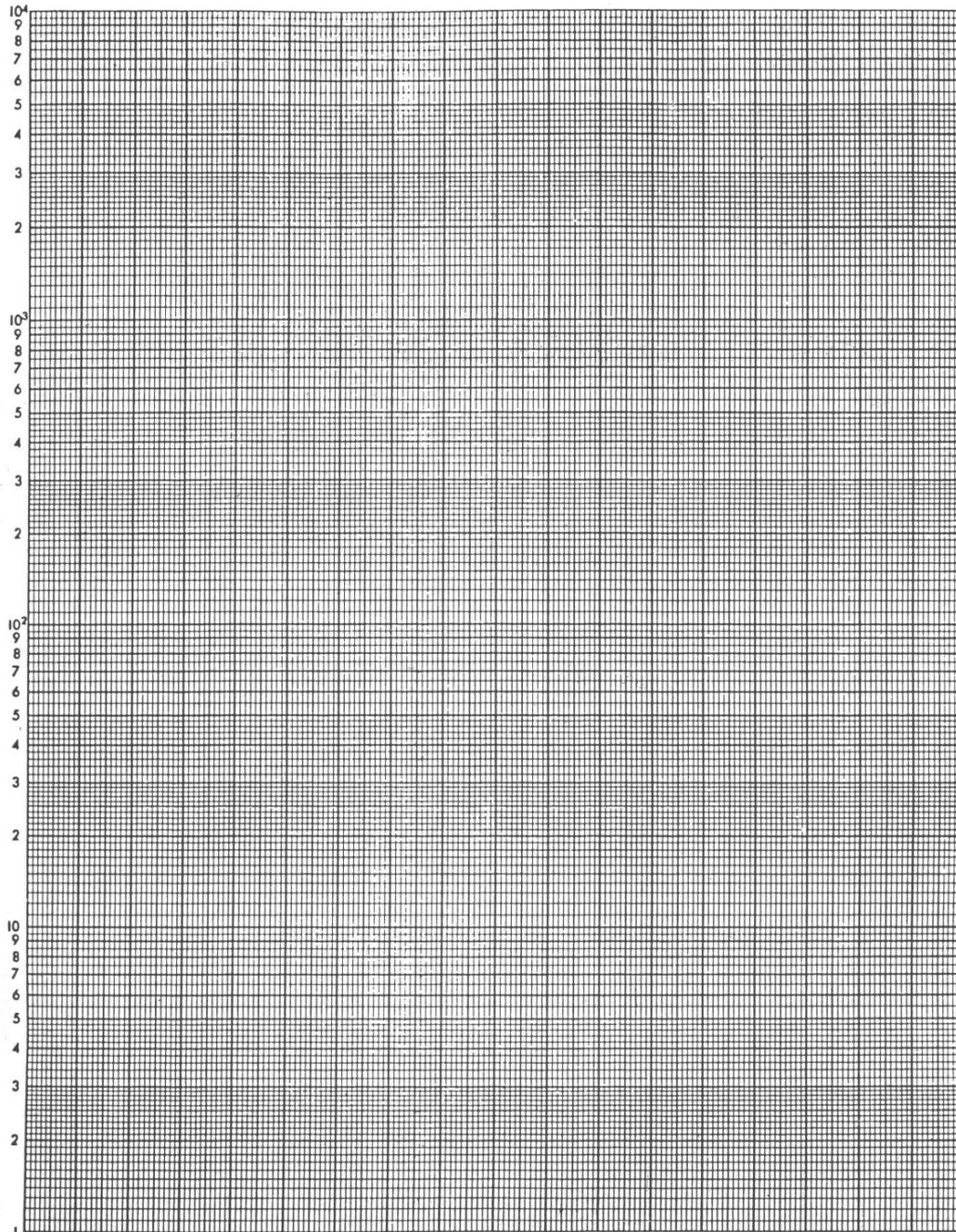
Document 2B : résultat des analyses granulométriques des niveaux sableux représentatifs de la formation aquifère.

Nom :

Prénom :

n° salle

À partir du document 2B réalisez les courbes granulométriques cumulatives des deux sables étudiés (sur le papier semi-log fourni ci-dessous)



Interprétation des courbes cumulatives

Courbes cumulatives : elles peuvent être négatives ou positives

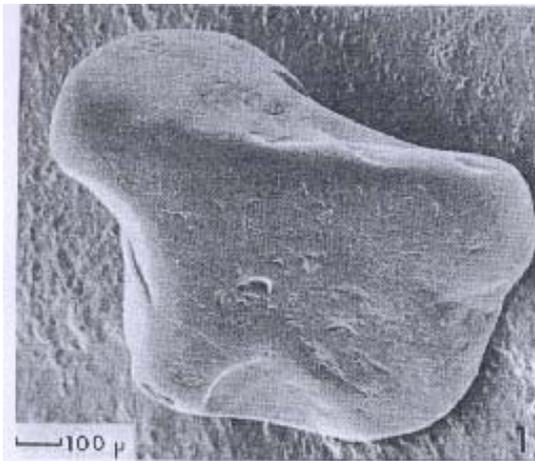
Interprétation des données

La médiane M_e qui correspond à 50% des particules est de $190 \mu\text{m}$ pour les sables verts et $46 \mu\text{m}$ pour les sables de Frécambault.

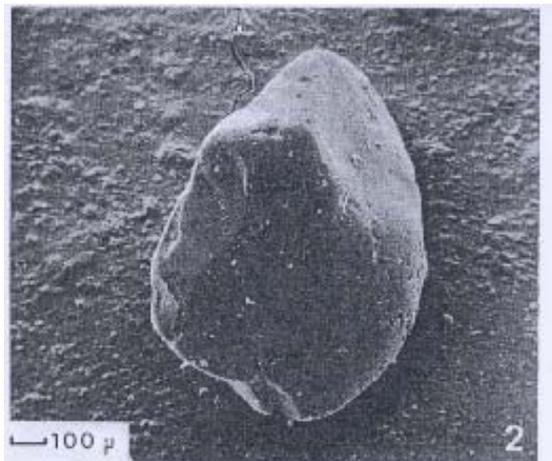
Les moyennes $(M) = (Q_{25} + Q_{75}) / 2$ sont respectivement de $180 \mu\text{m}$. et $51 \mu\text{m}$

L'indice de classement, $S_0 = (Q_{75}/Q_{25})^{1/2}$, est meilleur pour les sables verts (1,0) que pour les sables de Frécambault (1,4)

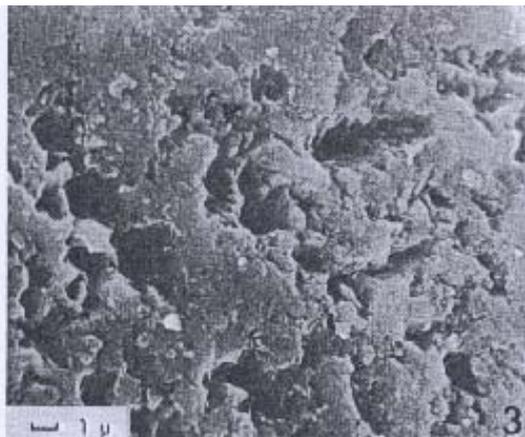
Ces caractères présentent des analogies avec les sables marins actuels.



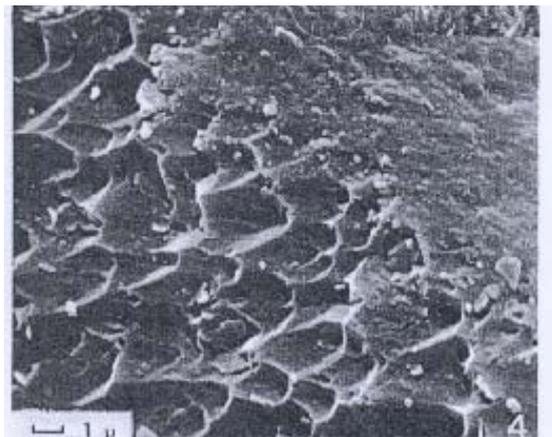
Grain de type n° 1 (x 110)



Grain de type n° 2 (x 65)



Détail du grain n° 1 (x 5 500)



Détail du grain n° 2 (x 5 800)

Document 2C1 : photographies morphoscopiques (au MEB) de deux types de grains de quartz

	morphoscopie de type n° 1	morphoscopie de type n° 2
Sables verts	63 – 73 %	<2%
Sables de Frécambault	40 – 50 %	5%

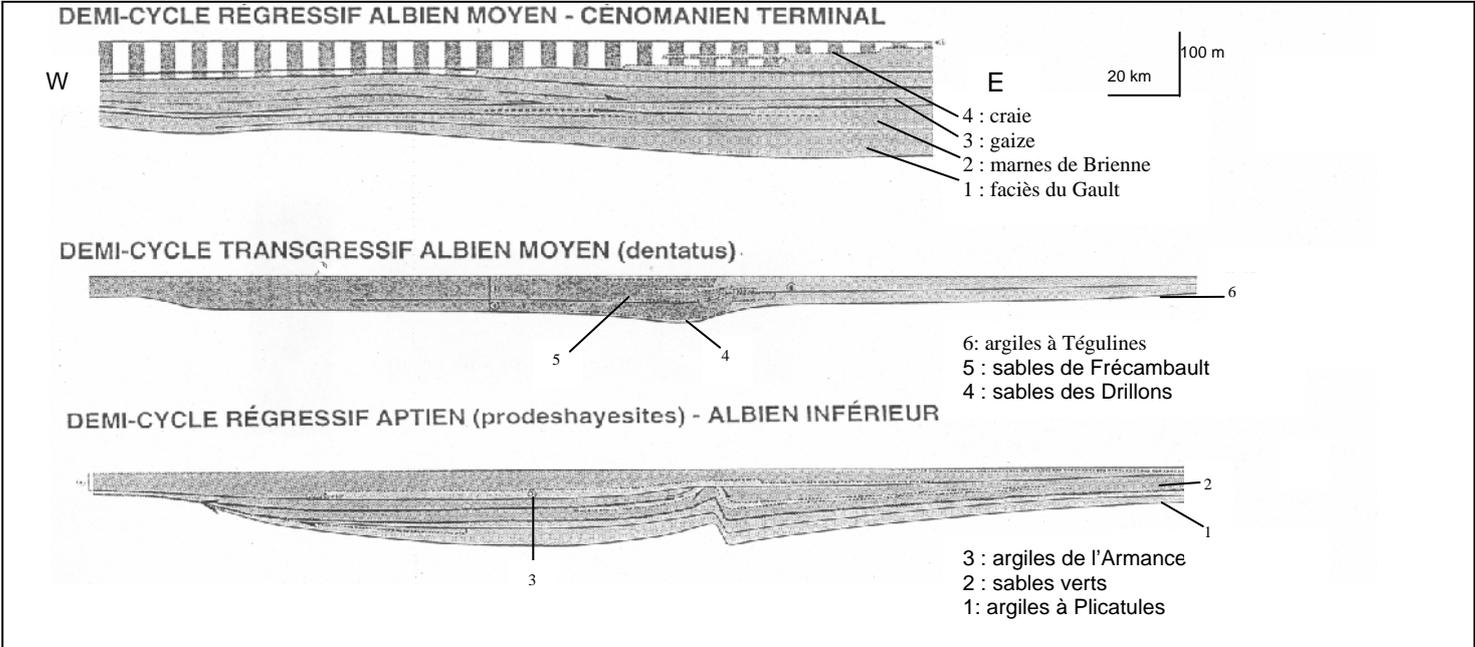
Document 2C2 : répartition des morphoscopies dans les différents niveaux sableux

Interprétation du document 2C

Type 1 : émoussé, luisant : la surface du grain est polie au cours du transport par l'eau.

Type 2 : rond, mat : des cupules se forment à la surface du grain au cours de son transport par le vent.

Les sables de Frécambault auraient été plus souvent exondés que les sables verts et soumis à une éolisation . La bathymétrie était donc très faible



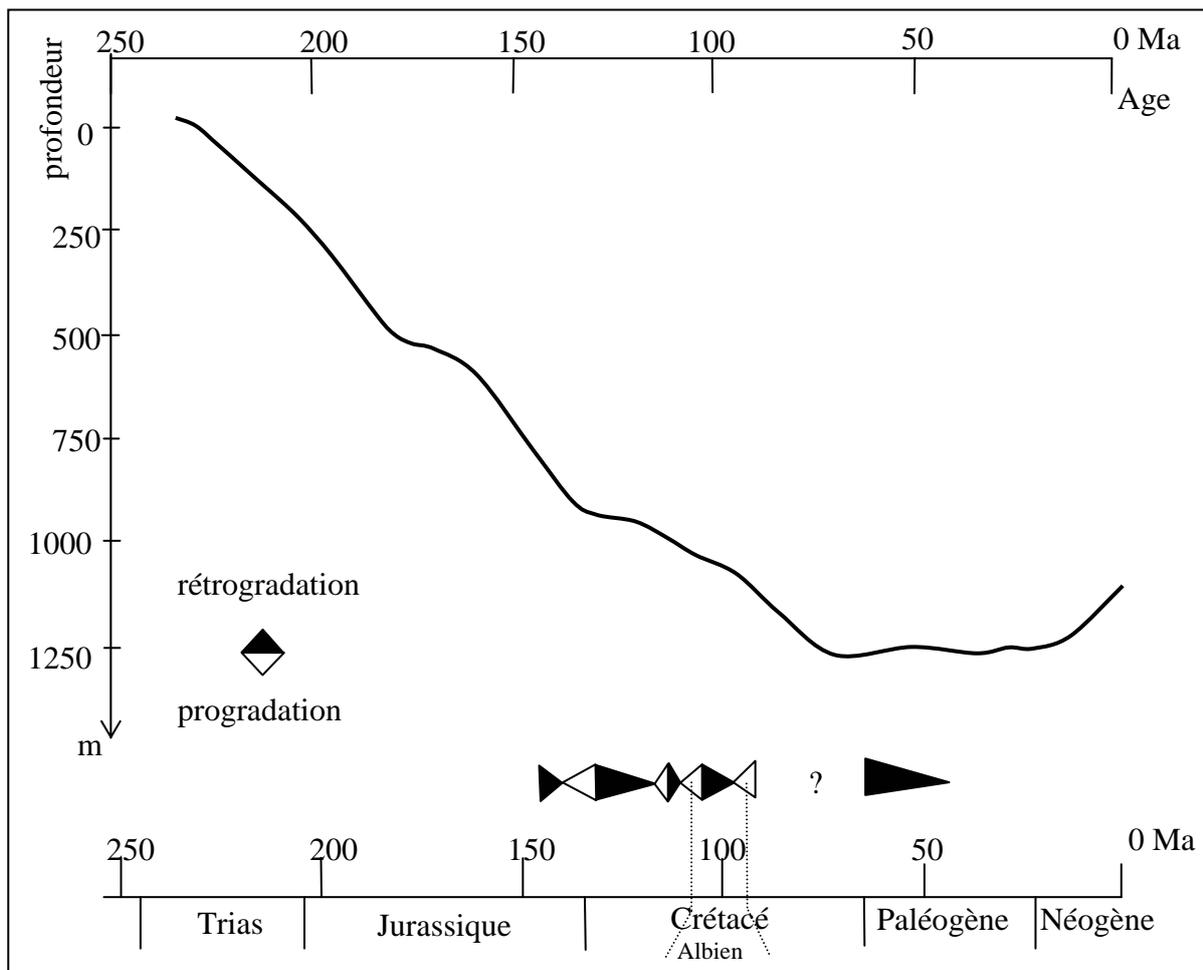
Document 2D : reconstitution 2D selon un profil E-W des dépôts albiens

Interprétation du document 2D

L'Albien inférieur se caractérise par une flexuration synsédimentaire du bassin et une progradation des dépôts vers l'Ouest sur un substratum non horizontal.

A l'Albien moyen (zone à *dentatus*) la sédimentation détritique est plus grossière à l'Ouest (passage latéral de faciès). La zone de flexuration reste le secteur de dépôt maximal. Très forte composante en aggradation.

Dans la partie supérieure de l'Albien moyen, le pôle de subsidence s'est décalé vers l'Est (marnes de Brienne, faciès du Gault) puis, à partir de la gaize, la sédimentation prograde vers l'Est. La base du faciès crayeux est diachrone.



Document 2E : courbe d'accommodation du Bassin de Paris

Interprétation du document 2E

À la forte subsidence du Trias et du Jurassique, succède un brusque arrêt à la base du Crétacé.

Au cours de l'Albien, le différentiel d'accommodation mis en évidence est nécessairement de nature tectonique. Le contrôle tectonique à l'échelle de 8-40 et 1-4 Ma est à rattacher aux mouvements aux limites de plaques (ouverture de l'Atlantique Nord ?)

Nom :

Prénom :

n° salle

II – 2 : Quelles sont les conséquences pour l'aquifère et la nappe d'une telle évolution spatiale et temporelle des dépôts ?

Synthèse et conséquences pour l'aquifère des sables albiens du Bassin de Paris

L'évolution spatiale et temporelle des dépôts albiens (doc. 2D) est à l'origine d'un aquifère multicouche (faible résistivité des niveaux sableux correspondant aux niveaux aquifères (doc. 2A).

L'abondance de l'eau et sa vitesse de circulation au sein de l'aquifère dépendront fortement de l'abondance d'argile au sein des faciès sableux et du degré de cimentation des grès (exemple des sables et grès des Drillons doc. 2A).

Les eaux, circulant dans des sables et grès quartzeux seront peu chargées en CaCO_3 (eaux douces).

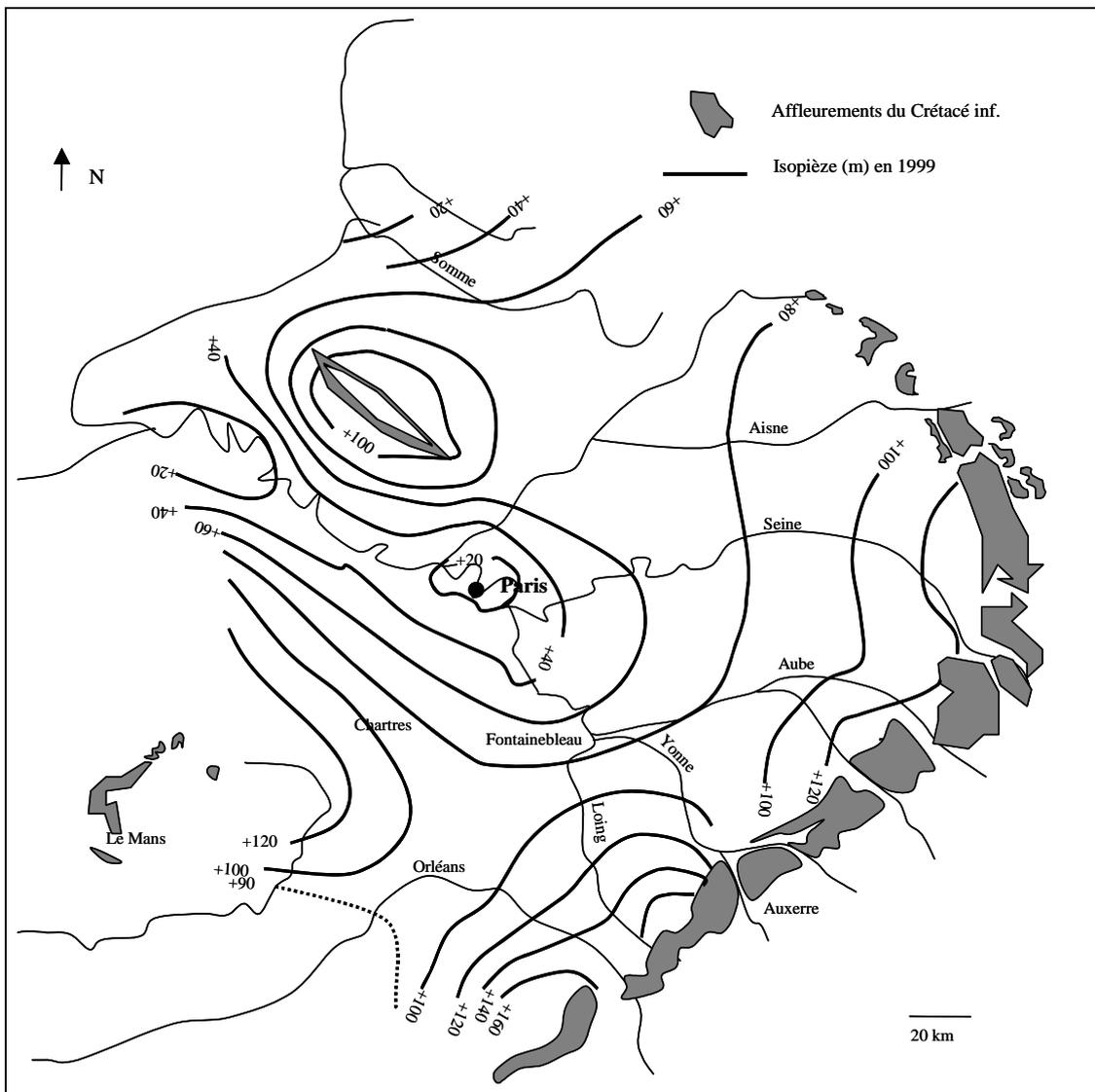
Partie III : Cartographie et géochimie de la nappe des sables albiens

Partie III A : Cartes isopièzes

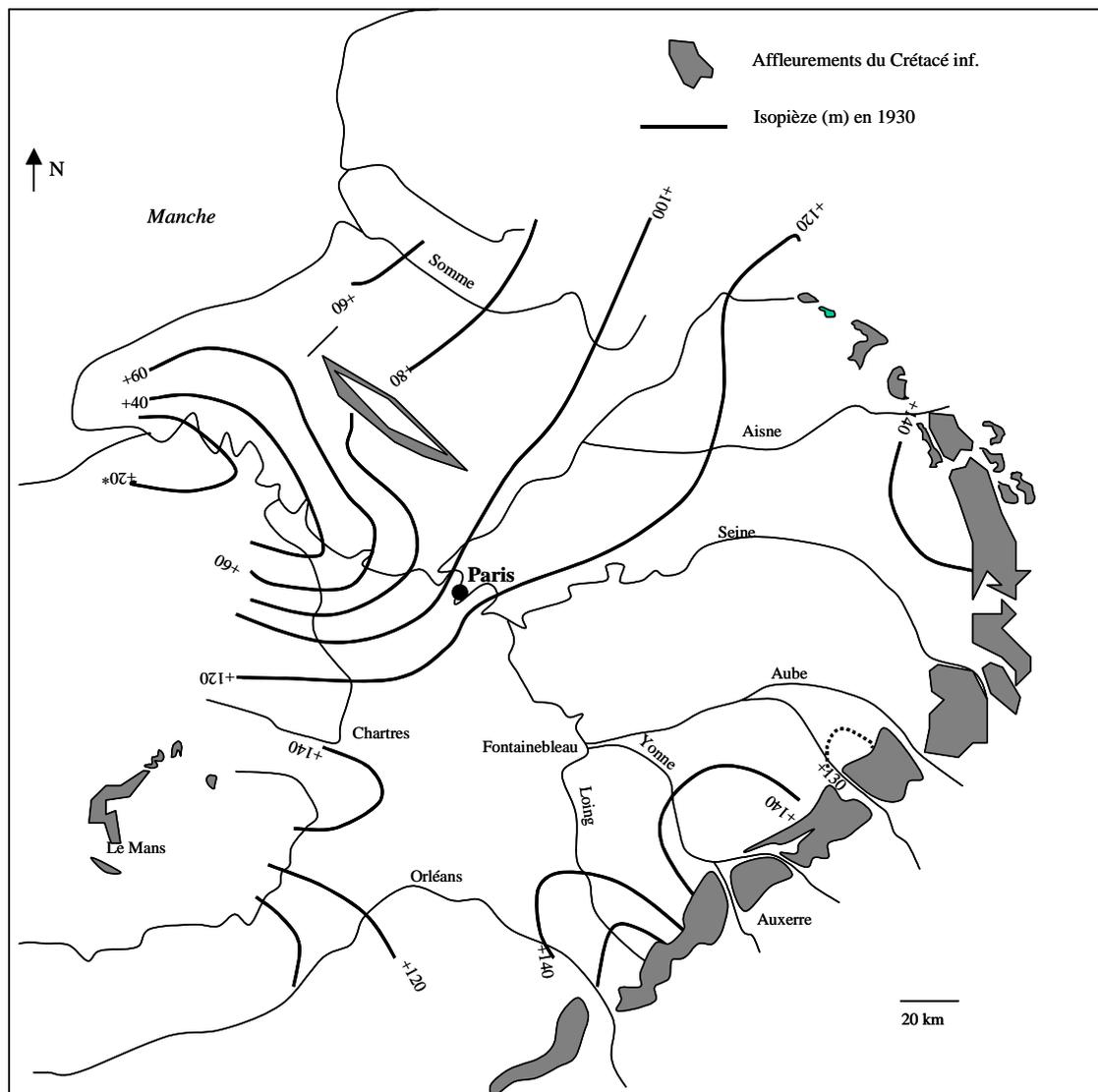
La nappe de l'Albien est exploitée dans la région parisienne : en 1840 le niveau statique de la nappe atteinte par le puits de Grenelle, à Paris, était à + 120m.

Les cartes isopièzes simplifiées (**document 3A**) ont été reconstruites par kriegeage à partir de 99 mesures du niveau piézométrique pour la nappe actuelle et 26 niveaux connus pour la nappe en 1930.

III – 1 : Représentez quelques lignes de flux de la nappe sur les documents 3A1 et 3A2



Document 3A1 : carte simplifiée des isopièzes en 1999



Document 3A2 : carte simplifiée des isopièzes en 1930

III – 2 : Quelles sont les conséquences d'une telle évolution pour la dynamique de la nappe ?

Les lignes de flux sont perpendiculaires aux isopièzes.

En 1930, l'écoulement des eaux se fait depuis le SE.

En 1999 un cône de dépression du toit de la nappe est repérable sous Paris : surexploitation de la nappe, les apports ne compensant plus les prélèvements. Les lignes de flux sont modifiées : sous Paris la nappe draine des eaux du SE mais aussi du Sud, du SW et même du Nord.

Partie III B : Vitesse de circulation des eaux

Le radiocarbone, ^{14}C , est un isotope radioactif produit par le rayonnement cosmique dans la haute atmosphère, dont la période est de 5730 ± 40 ans.

Les eaux souterraines piègent le CO_2 atmosphérique.

On désigne par A_0 l'activité initiale, c'est à dire la concentration en ^{14}C du carbone minéral dissous (au moment où l'eau est isolée du réservoir de CO_2 du sol) en pourcentage de carbone moderne (pcm) (avec $100 \text{ pcm} = 13,56 \pm 0,07$ désintégrations par minute et par gramme de carbone).

Si l'on estime que seule la décroissance radioactive détermine l'activité résiduelle en ^{14}C , on écrit :

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (\text{on rappelle que } \lambda = 1.21 \cdot 10^{-4} \text{ an}^{-1}, \text{ égale à } (\ln 2)/T)$$

Des mesures de l'activité du ^{14}C ont été réalisées en différents points de la nappe. Le **document 3B** (p. 17) localise les forages retenus dans cet exercice.

III – 3 : D'après le tableau ci-dessous, calculez l'âge apparent des eaux au niveau des trois forages

puits	A_t
As3	72,4 pcm
As7	21,6 pcm
As13	1,3 pcm

Notez ici vos résultats :

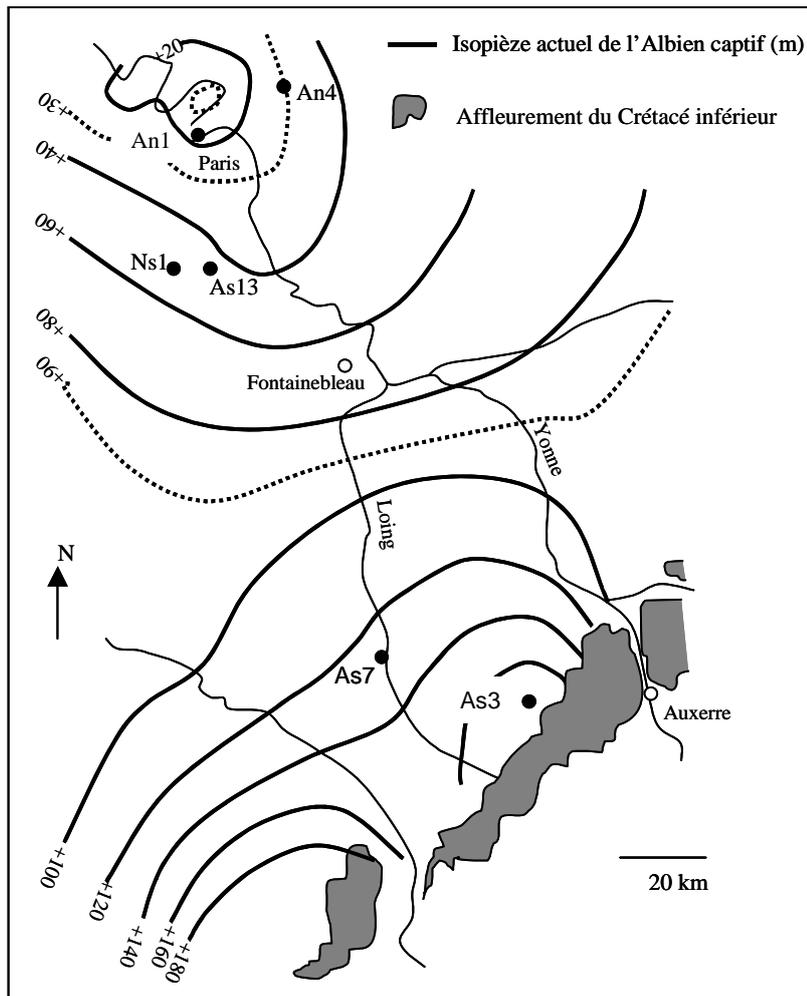
L'équation chronométrique s'écrit aussi $t = 1/\lambda \times \ln (A_0 / A_t)$

L'application numérique conduit à des valeurs de l'ordre de :

As3 : 2 600 ans,
As7 : 12 600 ans,
As 13 : 35 800 ans.

sans qu'il soit possible de préciser l'intervalle d'incertitude.

Il existe donc une recharge de la nappe à partir des affleurements des sables albiens du SE.



Document 3B : localisation des forages

III – 4 : Il est néanmoins nécessaire d'effectuer un certain nombre de corrections après application de cette formule pour passer de l'âge apparent à l'âge vrai. Pourquoi ?

On doit corriger les âges obtenus par la mesure de l'activité de ^{14}C :

- La production de ^{14}C dans l'atmosphère a varié au cours du temps : correction à apporter au A_0
- L'interaction entre les carbonates et l'eau exige des corrections (sur la base de $\delta^{13}\text{C}$). Cet effet doit être limité ici car l'eau circule dans des sables.

(Remarque : après corrections, les âges calculés ci-dessus deviennent : 500 +/- 900 ans pour As3, 10800 +/- 1000 ans pour As7 et 30 500 +/- 5200 ans pour As13).

Nom :	Prénom :	n° salle
-------	----------	----------

Partie IIIC : Origine des eaux pompées sous la région parisienne

Les âges vrais des eaux de la nappe mettent en évidence des anomalies qui laissent supposer une alimentation *per ascensum* à partir des eaux de la nappe néocomienne sous-jacente (puits Ns1 considéré comme représentatif), à côté des apports des eaux de l'aquifère de l'Albien provenant du Sud-Est (puits As13), ou du Sud (puits An1) (on estime que les apports albiens du Sud-Ouest participent à la hauteur de 1% seulement).

Le puits An1 a été retenu comme représentatif du mélange des eaux (localisation des forages sur le **document 3B**).

Le tableau ci-dessous résume les données géochimiques obtenues pour trois éléments mesurés.

puits	aquifères	Na (mmol.L ⁻¹)	Mg (mmol.L ⁻¹)	F (μmol.L ⁻¹)
As13	Albien (Sud)	0,27	0,30	9,5
An4	Albien (Est)	2,11	0,28	22
Ns1	Néocomien	1,22	0,57	100
An1	Albien mélange	0,73	0,36	32

III – 5 : Ecrivez l'équation de mélange

Équation de mélange :

$$99 * [\text{Na}]_{\text{An1}} = a [\text{Na}]_{\text{As13}} + b [\text{Na}]_{\text{An4}} + c [\text{Na}]_{\text{Ns1}}$$

a, b, c étant les pourcentages respectifs de participation de chacun des pôles.

III- 6 : Calculez la participation des eaux du Néocomien.

L'équation a trois inconnues mais l'on dispose des concentrations de trois éléments pour résoudre cette équation

Les calculs aboutissent aux valeurs suivantes :

- a = 63 %
- b = 14 %
- c = 23 %

Ainsi, 23% des eaux prélevées à Paris dans l'Albien proviennent de l'aquifère néocomien sous jacent.

Remarques générales concernant les TP de contre-option du secteur C

Les travaux pratiques de géologie des séries A et B comportaient 3 parties indépendantes s'organisant autour d'un thème commun : l'hydrogéologie.

Aucun piège dans cette épreuve, qui par son classicisme, et par la diversité des connaissances abordées devaient permettre à chacun de faire valoir ses qualités d'observation, de raisonnement et de synthèse

Une première partie concernait la circulation d'eau en milieu karstique et servait de support à l'épreuve de cartographie et de pétrographie.

L'extrait de carte de Toulon (1/50 000) était centré sur la très classique et historique klippe du Beausset. La simple mise en page aurait dû attirer l'attention des candidats sur cet accident tectonique parfaitement circonscrit et dont le trait de faille, souligné par une semelle triasique, met en contact le Trias et des terrains du Crétacé supérieur.

Cette question fut très discriminative : un candidat sur quatre, au plus, a su reconnaître le chevauchement...et un autre quart n'a même pas abordé la question. C'est l'occasion pour le jury de rappeler l'importance de cet exercice qui synthétise la compréhension des phénomènes géologiques dans l'espace et dans le temps.

Deux échantillons étaient présentés : gypse et cargneule triasiques.

La démarche est ici bien rodée : tous les critères d'identification sont utilisés (ongle, verre, fer, effervescence, goût...). Ainsi le gypse a-t-il été largement reconnu – il était là pour rassurer-. La cargneule n'a pas eu le même succès : rares sont les candidats qui l'ont identifiée et son mode de formation n'a été qu'exceptionnellement évoqué.

Le retour à l'observation de la carte -faible densité du réseau hydrographique et présence de sources localisées à la base du chevauchement - devait conduire à l'hypothèse d'une circulation karstique, rarement proposée.

La deuxième partie permettait d'étudier les caractères sédimentologiques de l'aquifère albien du Bassin de Paris ; ceci à différentes échelles d'observation et avec des techniques d'investigation variées. Au-delà des problèmes de connaissance de base (notion de résistivité d'une formation, confusion entre histogramme et courbe cumulative, notions de progradation et rétrogradation), attirons l'attention des candidats sur quelques erreurs fondamentales mises en évidence par cet exercice :

- décrire n'est pas interpréter,
- on doit se détacher des schémas livresques pour coller à l'observation (ex : stratigraphie séquentielle),
- il est intéressant de quantifier (ex : valeurs des moyenne, médiane, tri à partir de la courbe cumulative),

- une synthèse n'est pas une simple ré-écriture des conclusions qui précèdent

Ainsi connue l'organisation spatiale de l'aquifère, la troisième partie abordait la dynamique de la nappe.

6. COMMENTAIRES DES ÉPREUVES ORALES

6.1 Commentaires généraux concernant les épreuves orales

6.2 Liste des leçons

6.1 Commentaires généraux concernant les épreuves orales

Le premier contact avec le sujet pour le candidat se limite à quelques mots : le titre de la leçon. Ces mots ne forment jamais une question. Pourtant, un exposé scientifique n'a de sens que s'il permet, dans une démarche raisonnée d'apporter une (ou des) réponse(s) à une question clairement énoncée. En conséquence, bien qu'il semble évident que des connaissances solides et générales soient nécessaires pour appréhender les leçons, le jury ne saurait que conseiller aux candidats de passer plus de temps à soigner l'analyse du sujet. En particulier, une analyse rigoureuse des termes employés dans le titre doit permettre de dégager une problématique scientifique à partir du sujet proposé. Cette problématique servira alors à justifier le plan adopté. L'introduction ne sert donc pas à annoncer un plan, mais à annoncer une idée directrice ou une méthode de travail que le plan soutiendra.

Cette idée directrice devra guider le candidat tout au long de sa leçon en ne perdant pas de vue sa problématique initiale. En effet, un exposé scientifique n'est pas une simple présentation de connaissances illustrées liées à un titre, mais une progression logique avec des arguments articulés qui permettent de construire progressivement au long de la leçon une réponse à une problématique proposée dans l'introduction.

Ce n'est qu'une fois que le candidat a dégagé l'angle sous lequel il souhaite aborder sa leçon que l'utilisation des ouvrages s'avère utile. En effet, les ouvrages ne devraient servir qu'à préciser les connaissances du candidat et/ou à les illustrer, mais en aucun cas à les remplacer. Certains exposés se limitent à une juxtaposition d'idées glanées dans les ouvrages, sans qu'aucun fil directeur apparaisse, tandis que l'entretien révèle que le candidat avait les connaissances nécessaires pour élaborer un exposé logique. Il est donc indispensable que le candidat s'accorde le temps de réflexion utile à la compréhension du sujet et à la construction de l'exposé avant d'avoir recours aux ouvrages. Pour être utilisés à bon escient, les ouvrages doivent être préalablement connus par les candidats. Il est donc fortement conseillé aux candidats de consulter fréquemment les ouvrages, revues et média proposés dans la liste du concours, et de ne pas se limiter aux ouvrages « généralistes ». Un livre découvert le jour de la leçon ne peut en effet être employé efficacement.

Une démarche scientifique rigoureuse est, bien entendu, attendue sur tous les sujets, y compris ceux qui touchent de près les activités humaines et peuvent être médiatisés, tels que la biodiversité, l'exploitation des ressources, les variations du climat etc. A ce niveau de recrutement, les candidats ne peuvent pas se contenter de descriptions journalistiques, mais doivent s'appuyer sur des faits scientifiques concrets, afin de construire un raisonnement. Lors de certaines leçons, en particulier celles concernant le comportement animal, les candidats ont tendance à adopter une point de vue et un vocabulaire très finalistes, voire anthropomorphiques 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.

Le jury souhaiterait souligner l'importance de la démarche expérimentale et inviter les candidats à soigner les manipulations (dissections, EXAO, exploitation de cartes, calculs etc.) et notamment à ne pas hésiter à manipuler pendant la leçon, de façon à bien relier les notions exposées à des objets concrets.

Le jury a également été frappé par la difficulté, pour de nombreux candidats, à exploiter des principes physiques, chimiques et biochimiques de base, indispensables à la compréhension au premier ordre des phénomènes biologiques et géologiques 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 la sélection naturelle 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 et que 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 dominés

La dimension pédagogique de la leçon ne doit pas être minimisée : au-delà des qualités scientifiques du candidat, le jury cherche à savoir s'il est capable de les partager, et donc de devenir un orateur littéralement au service de son message. Le jury a apprécié l'attitude de la majorité des candidats, une maîtrise du temps en général correcte, une relative aisance à l'oral qui permet à la plupart des candidats de conserver une certaine distance vis-à-vis de leurs notes, et en général, un effort concernant l'utilisation du tableau, du rétroprojecteur et des autres supports. Toutefois, le jury tient à rappeler qu'il prête une attention toute particulière à la tenue du tableau, la qualité des transparents produits par le candidat, l'utilisation et le bon réglage des appareils d'observation (mise au point, luminosité, grossissement etc.), la pertinence des termes employés, la précision des exemples, la richesse et la qualité de l'expression orale et écrite (orthographe). Le jury a, à plusieurs reprises, relevé des « tics de langage » qui, lorsqu'ils sont trop fréquents nuisent à la fluidité de l'exposé. En particulier, de nombreux candidats font un usage abusif de « en fait » ou de « donc ».

L'approche pédagogique ne doit pas non plus être caricaturée. En particulier, la réalisation de tableaux ou schémas bilan n'est pas une fin en soi et doit servir un objectif de synthèse des idées. Réécrire les mots du plan sous forme de tableau n'a par exemple aucun intérêt. De même, les candidats doivent être attentifs à exploiter vraiment le matériel sorti et ne pas se contenter de le présenter rapidement au cours de leur exposé.

Épreuve de spécialité

L'épreuve orale, dite de spécialité, est une épreuve exigeante, souvent redoutée. En effet, cette épreuve recouvre les thèmes de l'option choisie par le candidat. Les champs disciplinaires concernés sont donc ceux qui doivent au mieux permettre au candidat de montrer sa valeur scientifique, et ses aptitudes pédagogiques pour énoncer clairement des notions de haut niveau. A travers ces quelques lignes, le jury voudrait partager avec les futurs candidats quelques considérations pour les aider à se

préparer le plus efficacement possible à cet exercice très particulier. Nous rappelons dans les commentaires généraux à quel point il est fondamental que la leçon s'enracine autour d'une problématique clairement énoncée par le candidat et se développe autour d'un raisonnement qui utilisera les connaissances du candidats, les données collectées dans les ouvrages et le matériel sorti comme des arguments -des outils- à son service et non pas comme un objectif en soi. Ceci est bien évidemment particulièrement important dans le cas de la leçon de spécialité.

La leçon se présente tout d'abord sous la forme d'un titre. Parfois, les titres sont très explicites et renvoient à des thèmes classiques connus de la majorité des candidats ; parfois également ils abordent des thèmes à priori plus délicats à cerner, et pour lesquels les candidats estiment leurs connaissances initiales plus limitées. Paradoxalement, les leçons à priori plus difficiles peuvent souvent être mieux traitées par les candidats que les leçons à priori classiques, car leurs connaissances initiales ne pouvant servir de refuge, ils sont forcés de rentrer dans une démarche de raisonnement pour construire une leçon qui leur permettra de présenter un exposé de 50 minutes. Ce constat nous oblige à répéter qu'il est indispensable de passer du temps, de prendre du recul pour construire sa leçon, pour qu'elle devienne un exposé personnel mettant en avant les qualités scientifiques et pédagogiques du candidat, et non pas ses seules capacités mnésiques.

Accompagnant le titre de la leçon, des documents imposés sont fournis par le jury en nombre restreint. Ils sont là, bien sûr, pour être exploités au cours de la leçon mais également pour aider 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 orienter, au moins partiellement la problématique de sa leçon. En revanche, les documents ne couvrent en général pas tous les aspects du sujet. Il est donc impensable que l'intégralité de l'exposé soit construite 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. Ces possibilités restent d'ailleurs beaucoup trop rarement utilisées. Cependant, le matériel demandé, doit être exploité avec la même rigueur que le matériel imposé, et 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. En secteur B, les observations sur du matériel frais sont souvent trop rares. Pour les observations microscopiques, il faut privilégier l'observation directe d'une coupe plutôt que sa présentation en diapo ou sur une photo ou encore sur un dessin d'ouvrage. 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.

Au cours de la leçon, la démarche scientifique doit s'appuyer sur une analyse rigoureuse des objets et expériences proposés par le jury et apportés par le candidat. Cette démarche doit commencer par une description des objets, spécimens et faits expérimentaux, ensuite 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 recopiés dans des ouvrages, et donc écrits dans un autre contexte que celui de la leçon. Trop souvent aussi, la présentation de la théorie précède l'exploitation (en général sommaire) des documents, ce qui est tout à fait 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 donc 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 ensuite 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. Or, trop souvent, ce programme n'est pas correctement maîtrisé par les candidats, voire pas connu du tout, certains candidats n'ayant jamais entendu parler de certains termes même de ce programme.

Épreuve de contre-option

Le domaine du sujet de la leçon correspond au programme général du secteur C pour tous les candidats issus des secteurs A et B, et au programme général des secteurs A ou B pour tous les candidats issus du secteur C. À l'issue de la leçon, le jury interroge le candidat, dans un premier temps dans le domaine de la leçon, avec élargissement à d'autres parties du programme de la première contre-option, puis dans la deuxième contre-option.

Le jury déplore le nombre élevé de leçons souvent très théoriques et trop peu ou maladroitement illustrées. Quand les candidats choisissent d'illustrer leur leçon, c'est malheureusement trop souvent en multipliant les exemples plutôt qu'en en traitant un nombre limité de façon complète. La démarche de l'observation des faits (observations et/ou expériences) jusqu'à l'obtention d'un modèle ou d'une théorie n'est que trop rarement mise en avant.

Le choix de manipulations/expériences a aussi révélé une grande naïveté chez de nombreux candidats : toutes les expériences / manipulations, surtout les plus simplistes, ne sont pas démonstratives vis-à-vis des questions posées par l'intitulé de la leçon.

Enfin, le jury a noté la difficulté pour beaucoup de candidats à se remobiliser lors de la deuxième partie de l'entretien, qui concerne la deuxième contre-option. Le jury rappelle que cette deuxième partie débute toujours par une ou plusieurs questions simples qui doivent permettre au candidat de se re-concentrer dans un autre champ disciplinaire.

6.2 LISTE DES LEÇONS.

6.2.1 Leçons portant sur le programme de spécialité A

- Activation et répression transcriptionnelle chez les eucaryotes
- *Agrobacterium*
- Aspects moléculaires et cellulaires de la fécondation chez les vertébrés
- Bioénergétique de la cellule musculaire
- Composition et fonctions de la paroi de la cellule végétale face aux contraintes environnementales
- Contrôle des voies métaboliques chez les végétaux et applications
- Déterminismes moléculaire et biochimique de la xylogénèse et de la racine
- Dialogue chimique et moléculaire entre racines et microorganismes du sol
- Effets de la température sur les cellules méristématiques : vernalisation et dormance
- Exercice physique et métabolisme énergétique
- Faire une cellule musculaire : de la détermination à la différenciation
- Fonctionnement des récepteurs membranaires et les principales voies de signalisation dans la cellule animale
- Génie génétique et production de protéines recombinantes
- Hormones stéroïdes et développement
- Induction du mésoderme
- La cellule musculaire
- La migration des cellules : cancer et développement
- La spécificité des anticorps
- La thérapie cellulaire : méthodes et applications
- La thérapie génique
- La transduction membranaire du signal hormonal
- La transgénèse animale et ses applications

- L'ATP dans la cellule animale
- L'ATP synthase
- Le glycogène: structure, métabolisme d'un polymère de réserve animal.
- Le transfert d'électrons dans la membrane des thylakoïdes
- Les aquaporines
- Les biotechnologies végétales
- Les cellules embryonnaires animales communiquent et s'informent
- Les cellules présentatrices des antigènes
- Les cellules souches animales
- Les cellules souches dans l'organisme humain
- Les défenses des plantes et amélioration par l'Homme
- Les différentes fonctions des mitochondries
- Les événements cellulaires, moléculaires et métaboliques lors de la métamorphose chez les amphibiens
- Les facteurs de transcription
- Les glucides et leur intérêt biologique dans la cellule animale
- Les immunoglobulines
- Les interactions nucléo-cytoplasmiques programment la vie de la cellule
- Les membranes cellulaires structure-fonction dans la cellule animale
- Les messages qui construisent le système nerveux
- Les migrations cellulaires dans l'embryon
- Les modifications conformationnelles des protéines
- Les mouvements d'eau entre les cellules et leur milieu
- Les récepteurs canaux
- Les récepteurs membranaires à activité enzymatique
- Les relations entre rhizobium et les cellules racinaires de fabacées
- Les réserves de la cellule fécondable des vertébrés
- Les réserves des ovocytes
- L'oxydation phosphorylante mitochondriale
- Lumière et chloroplaste

- L'utilisation de la transgénèse pour l'étude des pathologies humaines
- Métabolismes associés chez les plantes : rôles pour la plante et utilisations par l'homme
- Mitochondries et respiration cellulaire
- Ordre et désordre des interactions au sein du système immunitaire humain
- Perméabilité membranaire: les transporteurs dans la cellule animale.
- Pigments photosynthétiques et photosystèmes
- Plante et bactéries : aspects cellulaires, moléculaires et intégration au niveau de la plante
- Plante et froid : aspects cellulaires, moléculaires et intégration au niveau de la plante
- Plante et phytovirus
- Qu'est-ce qu'un virus ?
- Régulation génétique de la formation des pièces florales chez les angiospermes
- Régulation transcriptionnelle de l'expression des gènes
- Rubisco et assimilation du CO₂ dans les chloroplastes
- Structure et fonctions de la vacuole chez les organismes végétaux
- Transgénèse végétale
- Transport des molécules entre le noyau et le cytoplasme
- Variabilité génétique et amélioration des céréales

6.2.2. Leçons portant sur le programme de spécialité B

- Anthropisation des milieux et gestion des populations animales
- Autogamie et allogamie
- Autotrophie et hétérotrophie au carbone chez les végétaux
- Biologie et physiologie des végétaux des milieux secs
- Biomasse et productivité dans les écosystèmes
- Choix du partenaire et sélection sexuelle chez les Vertébrés
- Coelome et métamérie
- Conséquences de la fécondation chez les Angiospermes : les fruits et les graines
- Dispersion chez les végétaux
- Diversité des cycles des parasites

- Diversité des modalités de la reproduction chez les Embryophytes
- Diversité structurale et fonctionnelle des organes excréteurs des invertébrés
- Du stade végétatif au stade reproductif chez les angiospermes (Induction et ontogénèse florale)
- Espèces et spéciation
- Evolution des liquides circulants chez les animaux
- Facteurs du milieu et morphogénèse chez les végétaux
- Gènes du développement et évolution des plans d'organisation
- Hasard et évolution (les mécanismes moléculaires ne seront pas traités)
- Hérité biparentale et hérité cytoplasmique
- Induction et ontogénèse florale chez *Arabidopsis thaliana*
- Interactions entre espèces et structuration des communautés
- L'oeil des Mammifères
- La biodiversité : définitions, évaluation, dynamique, conséquences
- La circulation de l'eau dans la plante
- La co-évolution hôte parasite
- La compétition
- La dissémination : spores, graines et fruits
- La diversité des algues
- La diversité des modes de vie des Champignons
- La lactation et l'alimentation du nouveau-né chez les Mammifères
- La métamorphose : transition écologique
- La mise en place du comportement chez les animaux
- La nutrition des embryons chez les Métazoaires
- La perception de la lumière chez les animaux
- La recherche de la nourriture chez les animaux
- La réponse de l'organisme humain à l'effort physique
- La reproduction asexuée chez les végétaux
- La reproduction asexuée chez les végétaux : modalités et conséquences écologiques
- La reproduction des plantes à fleurs

- La respiration des animaux aquatiques
- La respiration pulmonaire chez les Vertébrés
- La sélection naturelle : de Darwin à la notion de fitness
- La sélection sexuelle
- La transmission des parasites
- La vie dans la zone intertidale
- La vie dans l'écosystème récifal
- La vie dans les écosystèmes aphotiques
- La vie dans un étang
- La vie de la feuille
- La vie de la racine
- La vie de l'arbre
- La vie en groupe : avantages et inconvénients
- La vie fixée
- La vie planctonique
- L'activité cardiaque dans l'organisme humain
- L'adaptation humaine à l'altitude
- Le bilan hydrique chez les animaux terrestres
- Le bois et son importance dans la vie de l'arbre
- Le choix de l'habitat chez les animaux
- Le coeur chez les Metazoaires
- Le comportement territorial
- Le contrôle photopériodique de la reproduction chez les Mammifères
- Le maïs : biologie, physiologie, génome et évolution
- Le placenta humain
- Le plan d'organisation des Vertébrés et milieu de vie
- Le polymorphisme génétique et son maintien
- Le rein : organe de l'équilibre hydrominéral (chez les Mammifères)
- Le rôle des micro-organismes dans le cycle de l'azote

- Le rôle des mutations dans l'évolution
- Le sexe chez les animaux
- Le système nerveux des Arthropodes et des Vertébrés
- Le tégument des Insectes
- L'écosystème forestier
- L'équilibre hydrique chez les végétaux terrestres
- L'équilibre hydro-électrolytique des Métazoaires en relation avec leur milieu de vie
- Les animaux et la mauvaise saison
- Les animaux et le froid
- Les appendices des Arthropodes
- Les blés : biologie, physiologie, génome et évolution
- Les bourgeons dans la vie de la plante
- Les convergences évolutives
- Les corrélations entre organes chez les Angiospermes
- Les fonctions branchiales
- Les innovations dans la lignée verte en liaison avec la colonisation du milieu aérien
- Les Insectes, des animaux aériens
- Les interactions hôte-parasite
- Les interactions prédateurs-proies
- Les interactions symbiotiques
- Les interactions végétaux chlorophylliens-champignons
- Les légumineuses et leur biologie
- Les Mammifères, des animaux aériens
- Les mécanismes photosynthétiques de type C4 et CAM et leur intérêt écologique
- Les modalités de la prise alimentaire
- Les mutualismes
- Les parasites : moteurs de l'évolution
- Les perturbations et le fonctionnement des écosystèmes
- Les principes d'une classification phylogénétique

- Les relations gamétophytes/sporophytes chez les Embryophytes
- Les relations insectes-végétaux
- Les relations sources puits chez les végétaux terrestres
- Les réponses des végétaux à la sécheresse
- Les rôles des vaisseaux sanguins
- Les sèves et leur circulation
- Les soins parentaux chez les Vertébrés : coûts et bénéfices
- Les squelettes des animaux
- Les stomates : interface avec l'environnement
- Les stratégies face aux prédateurs chez les animaux
- Les stratégies parasitaires
- Les structures de soutien chez les animaux
- Les successions écologiques
- Les surfaces d'échanges chez les végétaux terrestres
- Les surfaces d'échanges gazeux en milieu aérien chez les animaux
- Les symbioses microorganismes-Angiospermes
- Les systèmes à contre-courant
- Les systèmes d'appariement chez les Mammifères et les Oiseaux
- Les traitements de l'information visuelle chez les Mammifères (de la rétine au cortex strié)
- Les tropismes
- Les yeux des animaux
- Les zonations écologiques
- L'importance de la vie ralentie chez les végétaux
- L'organisation sociale chez les Hyménoptères
- L'organisation sociale chez les Vertébrés
- L'origine endosymbiotique de la cellule eucaryote
- L'oxygène dans la vie des végétaux
- Nutrition azotée chez les végétaux terrestres
- Origine et évolution des plastes

- Osmorégulation et ionorégulation en milieu aquatique
- Pheromones et vie sociale chez les Insectes
- Polarités et symétries chez les Métazoaires
- Pollen et pollinisation
- Relations respiration-circulation
- Reproduction sexuée, reproduction asexuée
- Respiration et milieu de vie
- Respiration et milieu de vie chez les Arthropodes
- Sélection naturelle et sélection artificielle
- Soins aux jeunes et conflits intra-familiaux (parent-jeune, compétition entre les jeunes, parasitisme)
- Transferts de matière et d'énergie dans les écosystèmes
- Un mode de vie original: le parasitisme
- Unité et diversité des Annélides
- Unité et diversité des appareils racinaires
- Unité et diversité des Arthropodes
- Unité et diversité des Mollusques
- Unité et plasticité du rameau feuillé des Angiospermes

6.2.3. Leçons portant sur le programme de spécialité C

- Chaînes hercyniennes et chaînes alpines
- Chimie et minéralogie du manteau
- Cinématique actuelle en Méditerranée
- Cinématique dans le Pacifique
- Différents types de bassins sédimentaires d'après l'analyse de la carte géologique au millionième
- Énergie solaire et climat
- Evolution de la biodiversité au cours du temps
- Flux de chaleur et géotherme
- Gites métallifères associés à l'orogénèse hercynienne

- Intérêts des microfossiles
- La biostratigraphie : principes, méthodes et applications
- La circulation océanique
- La croûte océanique
- La différenciation de la Terre
- La mesure du temps en géologie
- La sismicité de la France dans son cadre géologique
- La stratigraphie séquentielle
- La variabilité climatique naturelle du Quaternaire
- Le noyau
- L'échelle des temps géologiques
- Les cycles du carbone
- Les eaux souterraines : exploitation et protection
- Les glaciations
- Les marges continentales de la France métropolitaine
- Les mécanismes de déformation des roches : du cristal à la plaque lithosphérique
- Les météorites
- Les mouvements verticaux de la lithosphère
- Les phénomènes géologiques associés aux décrochements crustaux
- Les planètes du système solaire
- Les plateformes carbonatés
- Les points chauds
- Les rifts continentaux
- Les transferts de matière du continent à l'océan
- Les variations relatives du niveau de la mer
- Métamorphisme et orogénèse
- Modifications anthropiques des enveloppes externes
- Nature et structure de la lithosphère continentale à partir de la carte géologique de France
- Origine et évolution des magmas terrestres

- Rôle de la vie dans la formation des roches
- Sismologie, gravimétrie et connaissance du globe
- Sismologie, minéralogie et connaissance du globe
- Structures superficielles et profondes dans les Alpes
- Subduction et devenir des plaques subduites
- Transferts thermiques et mouvements de grande échelle dans les enveloppes du globe

6.2.4. Leçons portant sur le programme de connaissances générales de contre – option C.

- Aléa et risque sismique
- Aléa et risque volcanique
- Chronologie absolue : principes et applications
- Circulations atmosphérique et océanique
- Comportement rhéologique des matériaux géologiques et structures associées
- Croûte océanique et croûte continentale
- Déformation ductile et déformation cassante
- Evolution de la biosphère et coupure des temps géologiques
- Extension cénozoïque en France métropolitaine
- Formation des enveloppes terrestres
- Formation et évolution d'une chaîne de collision
- Importance de la convection de géodynamique interne et externe
- La collision continentale
- La composition de la Terre
- La croûte océanique : structure et mise en place
- La différenciation magmatique
- La formation des Alpes
- La lithosphère : propriétés thermiques et mécaniques
- La lithosphère continentale
- La lithosphère océanique
- La mesure du temps en géologie

- La mobilité de la lithosphère
- La sédimentation en domaine océanique
- La sédimentation marine : nature des sédiments, origine et facteurs de mise en place
- La sédimentation sur les marges passives
- L'accrétion océanique/L'expansion des fonds océaniques
- Le cycle externe de l'eau
- Le manteau terrestre
- Le noyau terrestre
- Le volcanisme dans les DOM-TOM et sa signification géodynamique
- Le volcanisme tertiaire et quaternaire en France métropolitaine
- L'échelle des temps géologiques
- L'effet de serre
- L'énergie solaire reçue par la Terre : devenir et effets
- L'érosion des continents et la sédimentation terrigène
- Les basaltes
- Les bassins houillers en France
- Les bioconstructions carbonatées
- Les différents types de métamorphisme et leur signification géodynamique à partir de la carte de France au millionième
- Les dorsales océaniques
- Les échanges océan-atmosphère
- Les enregistrements des paléoclimats
- Les évaporites
- Les grands cycles orogéniques à partir de la carte de France au millionième
- Les granitoïdes
- Les magmas : origine et évolution
- Les marges continentales actuelles de la France métropolitaine
- Les marqueurs de la cinématique des plaques à différentes échelles de temps
- Les marqueurs de la collision continentale
- Les marqueurs géologiques et géochimiques des glaciations

- Les métamorphismes alpins
- Les météorites
- Les rifts continentaux
- Les structures géologiques en zone de convergence
- Les subductions
- Les variations du niveau marin
- L'univers et les grandes étapes de la formation du système solaire
- Métamorphisme et conditions de pression et de température
- Mobilité horizontale et verticale de la lithosphère océanique
- Modelé et relief en terrain calcaire
- Modifications anthropiques des enveloppes externes
- Originalité de la Terre dans le système solaire
- Origine et évolution des Hominidés
- Paléomagnétisme et cinématique lithosphérique
- Planètes telluriques et planètes gazeuses
- Récifs et sédimentation péri-récifale
- Rôle de la vie dans la genèse des roches
- Sismologie et structure du globe
- Transferts de matières du continent à l'océan
- Accumulation sédimentaire et géodynamique
- Aléa et risque sismique
- Aléa et risque volcanique
- Altération et érosion des continents
- 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 (évolution de la matière organique exclue)
- Énergie solaire et bilan énergétique de la Terre
- 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
- Géologie de l'Europe à partir de supports cartographiques au choix du candidat
- Géologie de l'océan Atlantique
- Géologie de l'océan Indien
- Géologie de l'océan Pacifique
- Glaciers et sédiments associés
- Gravimétrie et structure du globe à différentes échelles
- Importance de la convection de géodynamique interne et externe
- Influence de la lithologie et du climat sur le modelé du paysage
- La biosphère au Paléozoïque
- La biostratigraphie
- La chaleur interne de la Terre
- 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 composition de la Terre
- La croûte océanique : structure et mise en place
- La déformation cassante
- La différenciation magmatique

- La distribution d'énergie solaire à la surface de la Terre et ses conséquences
- La dynamique mantellique
- La formation des Alpes
- La fusion partielle de la croûte continentale
- La lithosphère : propriétés thermiques et mécaniques
- La lithosphère continentale
- La lithosphère océanique
- La mesure du temps en géologie
- La mobilité de la lithosphère
- La mobilité verticale de la lithosphère
- La Pangée
- La reconstitution des paléoenvironnements océaniques
- La reconstitution d'un paléoenvironnement au choix du candidat
- La rythmicité dans les processus sédimentaires
- La sédimentation biogène
- La sédimentation en domaine océanique
- La sédimentation marine : nature des sédiments, origine et facteurs de mise en place
- La sédimentation marine épicontinentale
- La sédimentation sur les marges passives
- La stratigraphie séquentielle
- La Terre comparée aux autres planètes telluriques
- L'accrétion océanique/L'expansion des fonds océaniques
- Le champ magnétique terrestre : origine et évolution
- 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 manteau terrestre
- Le métamorphisme : marqueur géodynamique
- Le métamorphisme lié à l'orogénèse alpine

- Le noyau terrestre
- Le paléomagnétisme : marqueur de la géodynamique océanique et continentale
- Le volcanisme dans les DOM-TOM et sa signification géodynamique
- Le volcanisme tertiaire et quaternaire en France métropolitaine
- L'échelle des temps géologiques
- L'effet de serre
- L'énergie interne du globe et sa dissipation
- L'énergie solaire reçue par la Terre : devenir et effets
- L'érosion des continents et la sédimentation terrigène
- Les basaltes
- Les bassins houillers en France
- Les bassins sédimentaires observés sur la carte de France au millionième dans leur cadre géodynamique
- Les bioconstructions carbonatées
- Les courants océaniques
- Les différents types de marges continentales
- Les différents types de métamorphisme et leur signification géodynamique à partir de la carte de France au millionième
- Les données géologiques sur l'origine de la vie
- Les dorsales océaniques
- Les dynamismes éruptifs
- Les échanges océan-atmosphère
- Les enregistrements des paléoclimats
- Les évaporites
- Les glaciations
- Les grandes accumulations sédimentaires détritiques
- Les grandes lignes de l'histoire géologique des Alpes à partir de cartes géologiques au choix du candidat
- 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 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 grands ensembles structuraux de la France à partir de la carte géologique au millionième
- Les granitoïdes
- Les magmas : origine et évolution
- Les marges continentales actuelles de la France métropolitaine
- Les marges passives
- Les marqueurs de la cinématique des plaques à différentes échelles de temps
- Les marqueurs de la collision continentale
- Les marqueurs géologiques et géochimiques des glaciations
- Les métamorphismes alpins
- Les météorites
- Les microfossiles : utilisation biostratigraphique
- 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 subductions
- Les variations climatiques à différentes échelles de temps
- Les variations climatiques du quaternaire
- Les variations du niveau marin
- L'univers et les grandes étapes de la formation du système solaire
- Magmatisme et géodynamique

- Métamorphisme et conditions de pression et de température
- Mobilité horizontale des continents au cours du phanérozoïque
- Mobilité horizontale et verticale de la lithosphère océanique
- Modifications anthropiques des enveloppes externes
- Originalité de la Terre dans le système solaire
- Origine et évolution des Hominidés
- Paléomagnétisme et cinématique lithosphérique
- planètes telluriques et planètes gazeuses
- Récifs et sédimentation péri-récifale
- Réservoirs, flux et processus impliqués dans le cycle de l'eau
- Rifting et ouverture océanique
- Sismologie et structure du globe
- Structure et composition du manteau
- Transferts de matières du continent à l'océan
- Utilisation biostratigraphique et paléoécologique des fossiles
- Utilisation des roches dans la construction

6.2.5. Leçons portant sur les programmes de connaissances générales

des contre options A et B

- Excrétion et milieu de vie
- Fruits et graines
- Génotype et phénotype
- Importance biologique des lipides
- La classification phylogénétique du vivant
- La compartimentation cellulaire
- La croissance et le développement chez les Insectes
- La culture in vitro des végétaux
- La lignée verte et son adaptation au milieu aérien
- La métamérie dans le règne animal

- La mitochondrie
- La nutrition des autotrophes
- La procréation médicalement assistée
- La réponse hormonale
- La transduction des signaux extracellulaires
- La vie dans la zone intertidale
- La vie fixée chez les animaux
- La vie planctonique
- L'adhérence intercellulaire
- Le cancer
- Le cytosquelette
- Le méristème apical caulinaire d'une Angiosperme
- Le message nerveux
- Le neurone
- Le passage de la mauvaise saison chez les animaux
- Le potentiel transmembranaire et ses variations
- L'eau et la cellule
- L'eau et la vie cellulaire
- Les auxines
- Les cellules musculaires
- Les chromosomes Eucaryotes
- Les coenzymes
- Les échanges de matière entre la cellule et son environnement
- Les enzymes et le métabolisme cellulaire
- Les formes d'énergie dans les cellules
- Les hormones
- Les interactions cellulaires et moléculaires lors de la fécondation
- Les surfaces d'échanges chez les végétaux terrestres
- Mutations géniques et chromosomiques

- Qu'est-ce qu'une enzyme ?
- Recherche de nourriture et prise alimentaire chez les Insectes
- Respiration et milieu de vie
- Stabilité et variabilité de l'ADN
- Virus de l'immunodéficience humaine

7. CONCLUSIONS

La session de l'année 2007 de l'Agrégation de Sciences de la vie – sciences de la Terre et de l'univers a été caractérisée par une stabilité du nombre de postes mis au concours (105 postes) et une réduction importante du nombre d'inscrits (2704 au lieu de 3075 en 2006). La diminution du nombre d'inscrits (- 371) se répercute sur le nombre de présents aux trois épreuves en proportion tout à fait identique à celle de l'année dernière (à peu près 45% d'abandons). La proportion des candidats de secteur B baisse légèrement (- 1,6%) au profit essentiellement du secteur A (+ 1,1%). L'avenir dira s'il s'agit de l'amorce d'un rééquilibrage logique des choix privilégiant les spécialités des candidats plutôt que de choix tactiques dont il avait été fait mention dans les rapports précédents.

Lors de la délibération d'admissibilité, comme pour la session 2006, le jury a décidé de convoquer un maximum de candidat(e)s aux épreuves d'admission. 259 candidat(e)s ont donc été convoqué(e)s à Paris le 15 juin.

Pour les épreuves écrites, une normalisation *intra-secteur* a été effectuée, mais aucune normalisation *inter-secteur* n'a été nécessaire car les moyennes des notes de chacun des trois secteurs, pour l'ensemble des candidat(e)s ayant composé, ne sont pas significativement différentes.

Une normalisation a été effectuée pour les épreuves de Travaux Pratiques (distributions statistiques différentes), mais aucune normalisation n'a été effectuée pour les épreuves orales (impossibilité technique d'application).

Les résultats d'admission montrent une atténuation de la tendance, observée depuis plusieurs années, d'un « bonus » pour le secteur A et d'un « malus » pour le secteur C, car la proportion des candidat(e)s normaliens s'est légèrement modifiée par rapport à la session 2006 (11 A, 2B et 5 C admissibles). Le durcissement du concours, vu la réduction du nombre de postes, montre une fois de plus que le gros du bataillon des agrégé(e)s est fourni par les préparations universitaires susceptibles d'apporter aux candidat(e)s une synthèse actualisée des connaissances et des méthodes de travail efficaces. La répartition des admis(e)s par académie (voir chapitre 2) montre de grandes hétérogénéités au niveau des secteurs. Il faut enfin noter le rajeunissement de la promotion 2007 : l'âge moyen des candidats présents est de 27 ans environ, celui des candidats admissibles d'un peu moins de 25 ans, celui des admis d'un peu moins de 24 ans. Les reçus ont tous entre 22 et 28 ans.

Fait à Paris, le 13 juillet 2007

André SCHAAF

Professeur des Universités

A handwritten signature in black ink, reading "André SchAAF". The signature is written in a cursive style with a horizontal line through the middle of the name.