Concours du second degré – Rapport de jury

Session 2009

AGRÉGATION EXTERNE

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

Rapport de jury présenté par André SCHAAF
Président de jury

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

SOMMAIRE

- **1. Présentation** **page 5**
- **2. Statistiques** **page 17**
- **3. Réglementation** **page 35**
- **4. Les écrits** **page 43**
- **5. Les travaux pratiques** **page 127**
- **6. Les oraux** **page 315**

1. PRÉSENTATION DU CONCOURS

1.1 - Le jury

1.2 - L’organisation du concours

1.3 - Le déroulement du concours 2009

1.1 - LE JURY

Liste des membres du jury (arrêté du 16 janvier 2009)

M. André SCHAAF	Professeur des universités de classe exceptionnelle / Académie de Strasbourg / Président
Mme Annie MAMECIER-DEMOUNEM	Inspectrice générale de l'Education nationale / Vice -Présidente
Mme Bénédicte RULIER	Professeur de chaire supérieure / Académie de Paris / Vice-présidente
M. Bernard AUGERE	Professeur de chaire supérieure / Académie de Toulouse.
M. Karim BENZERARA	Chargé de recherche au CNRS / Académie de Paris
M. Laurent BOPP	Chargé de recherche au CNRS / Académie de Versailles
M. François CARIOU	Professeur de chaire supérieure / Académie de Clermont Ferrand
M. Pierre CHAREYRON	Maître de conférences / IUFM, Lyon / Académie de Lyon
Mme Marie CHARPIN	Maître de conférences / Académie de Clermont Ferrand
M. Marc CORIO	Maître de conférences / Académie de Bordeaux
M. Michel CORSINI	Maître de conférences / Académie de Nice
M. Thierry DARRIBERE	Professeur des universités 1ère classe / Académie de Paris
M. Jacky DE MONTIGNY	Professeur des universités 1ère classe / Académie de Strasbourg
M. Patrick DE WEVER	Professeur des universités de classe exceptionnelle / Académie de Paris
M. Dominique DUNON	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 1ère classe / Académie de Strasbourg
M. Sylvain GLEMIN	Maître de conférences / Académie de Montpellier
M. Pascal GUILLOTTE	Professeur agrégé de classe normale / Académie de Caen

M. Philippe HUGUENEY	Maître de conférences / ENS Lyon / Académie de Lyon
M. Laurent JOLIVET	Professeur des universités de classe exceptionnelle / Académie d'Orléans-Tours
M. Johan KRAUSS	Professeur agrégé de classe normale / Académie de Nancy
M. Jean Marc LARDEAUX	Professeur des universités 1ère classe / Académie de Nice
M. Philippe LESUR	Professeur de chaire supérieure / Académie de Paris
M. Jean-François MAUFFREY	Maître de conférences / Académie d'Aix - Marseille
M Gilles MERZERAUD	Maître de conférences / Académie de Montpellier
Mme Anne–Hélène MONTSORO-BURQ	Professeur des universités 2ème classe / Académie de Paris
Mme Cécile NOIRET	Professeur agrégé de classe normale / Académie de Reims
Mme Carole PETIT	Maître de conférences / 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 Annie RAY	Maître de conférences / Académie de Grenoble
Mme Chrystèle SANLOUP	Maître de conférences / Académie de Paris
Mme Véronique THOR	Professeur de chaire supérieure / Académie de Paris
M. Hervé TOSTIVINT	Maître de conférences / Académie de Paris
Mme Nathalie TOURON	Professeur agrégé de classe normale/ Académie de Rennes
M. Frédéric TULLY	Maître de conférences / Académie de Paris

Participation aux épreuves et/ou auteurs du rapport

Épreuves écrites :

Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A

Augere Bernard, **Chareyron** Pierre**, Darribère** Thierry, **De Montigny** Jacky, **Dunon** Dominique**, Guillotte** Pascal, **Hugueney** Philippe, **Montsoro-Burq** Anne-Hélène**, Noiret** Cécile**, Poulizac** Jean-Alain, **Ray** Annie, **Rullier** Bénédicte, **Tostivint** Hervé.

Épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B

Cariou François, **Charpin** Marie, **Corio** Marc, **Gauer** François, **Glemin** Sylvain, **Krauss** Johan, **Mamecier-Demounem** Annie, **Monniaux** Guy, **Mauffrey** Jean-François, **Rybak** Fanny, **Thor** Véronique, **Tully** Frédéric.

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

Benzerara Karim, **Bopp** Laurent, **Corsini** Michel, **De Wever** Patrick, **Farison** Claude, **Gargaud** Muriel**, Jolivet** Laurent, **Lardeaux** Jean-Marc, **Lesur** Philippe, **Merzeraud** Gilles, **Petit** Carole , **Sanloup** Chrystèle, **Schaaf** André**, Touron** Nathalie.

Épreuves orales:

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

Augere Bernard, **Chareyron** Pierre**, Darribère** Thierry, **De Montigny** Jacky, **Dunon** Dominique, **Hugueney** Philippe, **Monsoro-Burq** Anne-Hélène, **Poulizac** Jean-Alain, **Ray** Annie, **Rullier** Bénédicte.

.

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

Cariou François, **Charpin** Marie, **Gauer** François, **Glémin** Sylvain, **Mamecier-Demounem** Annie, **Mauffrey** Jean-François, **Rybak** Nathalie, **Thor** Véronique, **Tully** Thomas.

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

Bopp Laurent, **Corsini** Michel, **De Wever** Patrick, **Gargaud** Muriel**, Jolivet** Laurent, **Lardeaux** Jean-Marc, **Lesur** Philippe, **Merzeraud** Gilles , **Sanloup** Chrystèle, **Touron** Nathalie, **Schaaf** André.

Commentaire d'ensemble et réalisation du rapport :

Schaaf André, **Mamecier-Demounem** Annie et **Rullier** Bénédicte..

1.2 - ORGANISATION ET MODALITES DU CONCOURS

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

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

Les modalités d'organisation du concours découlent de l'**arrêté du 15 juillet 1999 modifiant l'arrêté du 12 septembre 1988 modifié fixant les modalités des concours de l'agrégation NOR : MENP9901240A,** publié au J.O. N° 175 du 31 juillet 1999 page 11467.

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 secteur A, B ou C (durée : six heures maximum ; coefficient 3).

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

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

Le sujet est tiré au sort par le candidat (durée de la préparation : quatre heures ; durée de l'épreuve : une heure et vingt minutes maximum [présentation orale et pratique : cinquante minutes maximum ; entretien avec le jury : trente minutes maximum] ; coefficient 5).

4° Épreuve orale portant sur les programmes des connaissances générales ou sur le programme annexe de questions scientifiques d'actualité.

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

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

La présentation orale et pratique est suivie d'un entretien avec le jury ; l'entretien peut comporter des questions portant sur les connaissances générales et les questions scientifiques d'actualité de l'ensemble des secteurs (durée de la préparation : quatre heures ; durée de l'épreuve : une heure et dix minutes maximum [présentation orale et pratique : quarante minutes maximum ; entretien : trente minutes maximum] ; coefficient 4).

Ces modalités sont résumées dans le tableau 1

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

Tableau 1. Les modalités du concours

1.3 - LE DEROULEMENT DU CONCOURS 2009

1.3.1 Le calendrier.

Admissibilté : épreuves écrites

- lundi 20 avril 2009 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur A
- mardi 21 avril 2009 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur B
- mercredi 22 avril 2009 : épreuve portant sur le programme de connaissances générales du secteur C

Les résultats de l'admissibilité ont été publiés le mercredi 27 mai 2009.

Admission : épreuves pratiques

- vendredi 12 juin 2009 : réception des candidats et tirage au sort des sujets d'oral.

- samedi 13 juin 2009 : travaux pratiques portant sur le programme de spécialité (secteur A, ou B, ou C)

- dimanche 14 juin 2009 : travaux pratiques portant sur le programme général des deux autres secteurs.

Admission : épreuves orales

- du samedi 20 juin au jeudi 9 juillet 2009.

Les résultats de l'admission ont été publiés le jeudi 9 juillet 2009.

1.3.2 Le déroulement pratique des épreuves d'admission du concours

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

Les épreuves pratiques se sont déroulées au Département de Biologie de l'Université Pierre et Marie Curie (UPMC, bâtiment Atrium, 4 place Jussieu 75005 Paris) pour les candidats des secteurs A, (UMPC quai St Bernard 75005 Paris) pour les candidats du secteur B et au laboratoire de SVT du Lycée Saint-Louis (44 boulevard Saint-Michel, 75006 Paris) pour ceux du secteur C. D'excellentes conditions matérielles ont été offertes dans les locaux du bâtiment Atrium et du quai St Bernard grâce à l'obligeance de Monsieur Porcheron (directeur de la formation initiale), de Monsieur Grard (Intendant), de Monsieur Six (maîtres de conférences en biologie), de Monsieur Rulle, Monsieur Kamara et de Madame Derache (sécurité/Accès), de Madame Garnier (réservation des salles). Il en fut de même au lycée Saint-Louis grâce au soutien de Madame Cahn-Rabaté (proviseure de l'établissement), de Monsieur Reynaud (CASU), de Madame Peyroche (adjoint d'intendance). Ces épreuves ont pu être réalisées grâce au concours de la professeure Martine Maïbèche (responsable des salles de TP de biologie au quai St Bernard). Il est important de souligner que les candidats ont pu disposer pendant les épreuves pratiques du concours de calculatrices électroniques fournies gracieusement par la Société Texas Instrument grâce à l'obligeance de Monsieur El-Gersifi (responsable du service Grand-Est). 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 (aumônier 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) ainsi que par le lycée Newton de Clichy (proviseure : Mme Jallat , responsable de laboratoire : M. Legac).

Les épreuves orales se sont déroulées au Lycée Saint Louis (44 boulevard Saint Michel, 75006 Paris) grâce à l'accueil de Madame Cahn-Rabaté, proviseure de l'établissement et au précieux concours de Monsieur Garel, proviseur adjoint, de Monsieur Reynaud, CASU, de Madame Peyroche, adjoint d'Intendance, et de Madame Mallet, agent chef. Une aide en matériel video a été apportée par Monsieur Lodier, responsable du laboratoire de Physique-Sciences industrielles. Le bon fonctionnement des épreuves orales a été permis grâce à l'aide de personnels techniques de loge et d'entretien : Mme Liotti Lucienne, Mme Mallet Micheline, Mme Tarlet Micheline, M. Lefebvre André, M. Mallet Patrick. Par ailleurs, un nombre très important d'ouvrages a été généreusement offert par quelques maisons d'édition et sociétés : Belin, Dunod, Ophrys, Vuibert, la CCGM et la SGF/BRGM. Le lycée Louis Le Grand (responsable de laboratoire : Mme Claire Petot), le lycée Henri IV (responsable de laboratoire : M. Éric Périlleux) et le lycée Arago (proviseur : Mme Ruben) ont prêté une partie du

matériel audiovisuel pour l'équipement des salles utilisées par les candidats pendant leurs épreuves orales. Les équipements EXAO ont été fournis par les établissements Jeulin et Sordalab.

Pour le bon fonctionnement des épreuves d'admission, le bureau du concours a pu s'appuyer sur une équipe technique de grande qualité, qui comportait :

- pour les travaux pratiques, six personnels du Département d'enseignement de Biologie de l'Université Pierre et Marie Curie (75005 Paris) :

  BARBERA Corinne : Adjoint Technique de Laboratoire (AJTL)
  BATARD Séverine : CCD
  DAHMANE Mustapha : Technicien de Laboratoire (TL)
  HORTAULT Gil : Adjoint Technique de Laboratoire (ADJT)
  REKAB Tahar : Agent Technique de Laboratoire (AGTL)
  VAZ Adao Domingos : Agent Technique de Laboratoire (AGTL)

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

  BEAUDOUIN Nadège : aide technique de laboratoire (lycée Jean-Paul Vernant - Sèvres)
  BOYER Rémy : assistant ingénieur (université Paris 8 - Saint Denis)
  CADOS Chantal : aide technique de laboratoire (lycée Janson de Sailly - Paris)
  CHAREYRE Sophie : technicienne de laboratoire (ENCPB - Paris)
  DAVION Jérôme : technicien de laboratoire (lycée Janson de Sailly - Paris)
  DRANE : Michèle, aide technique de laboratoire (lycée Jean Rostand – Villepinte)
  DUFOUR Marie-Odile : technicienne de laboratoire de classe supérieure (lycée Hoche - Versailles)
  EDOUARD Maria : aide de laboratoire (lycée Arago - Paris)
  JOVIC Margarita : aide technique principal de laboratoire (lycée d'Arsonval - Saint Maur des Fossés)
  MAYERES Valérie : technicienne de laboratoire (lycée Saint Louis – Paris)
  MORIM Isabel : aide de laboratoire (lycée Paul Bert - Paris)
  PALEZIS Corine : aide technique de laboratoire (lycée Lamartine - Paris)
  SINDE Monique : technicienne de laboratoire (lycée Louis le Grand - Paris)
  SOUEIX Yves **:** technicien de laboratoire (lycée Claude Bernard - PARIS).
  TREBEAU Armande : aide technique de laboratoire (lycée Saint Louis - Paris)
  VERNAY Nicole : Technicienne de Laboratoire de classe supérieure (lycée Chaptal - Paris)

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

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

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

Ce groupe a fait preuve de compétence, d'efficacité, d'une grande conscience professionnelle et d'un dynamisme de tous les instants, permettant ainsi un déroulement des épreuves des travaux pratiques du concours dans des conditions optimales malgré des contraintes matérielles qui imposaient un travail sur trois sites (lycée Saint-Louis, UPMC Atrium et UMPC quai Saint Bernard), en particulier le samedi 13 juin 2009 pour deux séances d'épreuves pratiques consécutives, d'une durée de six heures chacune. De plus, la même équipe a assuré dans un délai court (19 juin) la préparation des salles, des collections, de la bibliothèque et du matériel informatique nécessaires à l'oral sur le site du Lycée Saint-Louis.

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

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

Une partie du matériel (algues unicellulaires,…) a été fournie par Mr YEPREMIAN, Département de cryptogamie du Museum National d'histoire Naturelle. Le secrétariat du concours a été assuré par Monsieur Florent RULLIER (étudiant en licence 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. Statistiques du concours et commentaires de la présidence

2.1 Statistiques générales du concours 2009

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

2.3 Analyse des résultats et commentaires généraux

2.4 Bilan de l’admission

2.1 Statistiques générales du concours 2009

2.1.1 Des inscriptions aux admissions

	secteur A		secteur B		secteur C		TOTAL
	nombre	*%*	*nombre*	*%*	*nombre*	*%*	*nombre*
candidats inscrits	567	30,52%	859	46,23%	432	23,25%	1858
candidats présents	265	26,61%	496	49,80%	235	23,59%	996
candidats admissibles	59	30,10%	90	45,91%	47	23,97%	196
candidats admis	**31**	35,60%	**36**	41,38%	**20**	22,99%	**87**

Tableau 1 : Des inscriptions aux admissions – concours 2009

La totalité des postes mis au concours (87) a été pourvue.

Cette année, si l'on n'observe aucune sur-représentation des candidats de l'un ou l'autre secteur dans les admissibilités il n'en est plus de même pour les admissions : une forte cohorte de candidats ENS admissibles en secteur A (20 sur 32) a fourni un contingent important d'admis (17). Au niveau de la présence aux trois épreuves écrites, les candidats du secteur A sont les moins assidus tandis que ceux du secteur B sont les plus persévérants.

Tout au long du concours l'égalité de traitement des candidats selon les secteurs a été assurée par des harmonisations adaptées aux différentes épreuves écrites (TP inclus), reposant sur la qualité des prestations et non pas sur la recherche d'une répartition proportionnelle au nombre de candidats en lice.

	secteur A	secteur B	secteur C
total du 1er candidat admissible /120	80,23	77,63	73,88
barre d'admissibilité	38,00		
total du premier candidat admis /400	273,83	291,14	256,21
barre d'admission	**173,17**		

Tableau 2 : Totaux des premiers classés et barres

2.1.2 - Répartition par sexe

	Femmes				Hommes				Total			
	inscrites	présentes	admissibles	%	inscrits	présents	admissibles	%	inscrits	présents	admissibles	%
secteur A	356	175	37	21,14%	211	90	22	24,44%	567	265	59	22,26%
secteur B	606	347	64	18,44%	253	149	26	17,45%	859	496	90	18,15%
secteur C	248	139	26	18,71%	184	97	21	21,65%	432	236	47	19,92%
Total	***1210***	***661***	***127***	***19,21%***	***648***	***336***	***69***	***20,54%***	***1858***	***997***	***196***	***19,66%***

Tableau 3a : Répartition des admissibilités par sexe

Statistiquement, et c'est une nouveauté, les candidats réussissent mieux leur admissibilité que les candidates dans les secteurs A et C.

	Ratio F/H inscrits	Ratio F/H présents	Ratio F/H admissibles
secteur A	1,68	1,94	1,68
secteur B	2,39	2,33	2,46
secteur C	1,34	1,43	1,24
total	1,86	1,97	1,84

Tableau 3b : Ratios F/H à l'admissibilité

sexe	secteur A	secteur B	secteur C	total
F	18	23	10	51
H	13	13	10	36
total	31	36	20	87
ratio F/H	1,38	1,77	1,00	1,42

Tableau 3c : Ratios F/H à l'admission

2.1.3 - Répartition des candidats en fonction de l'age

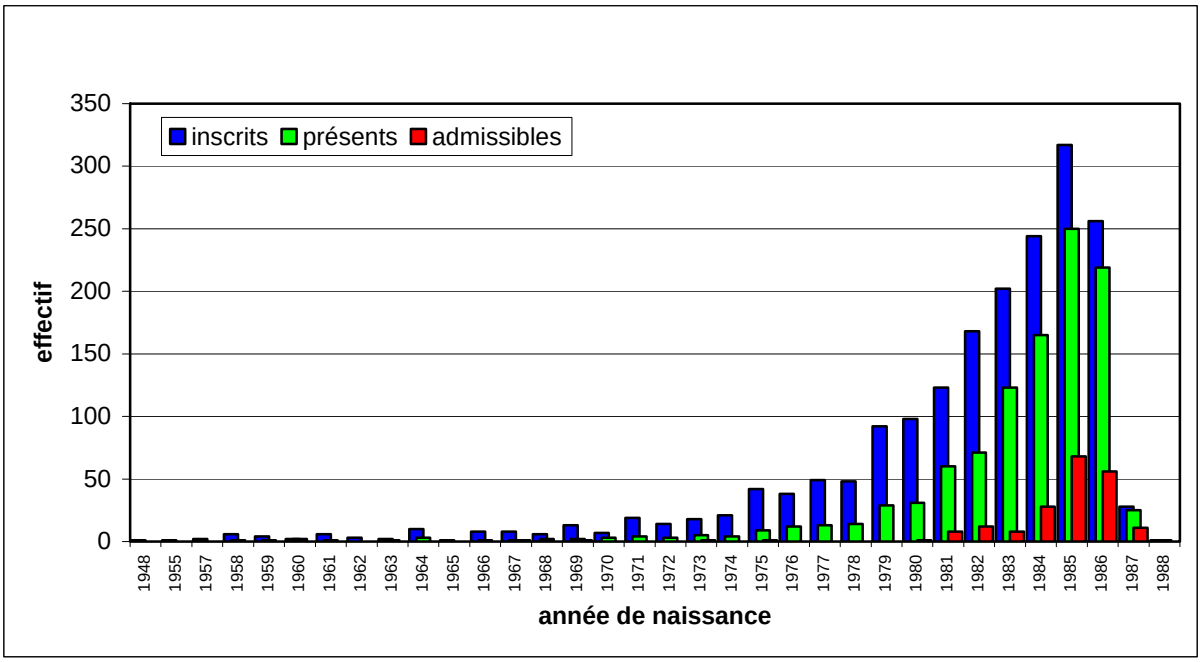


Figure 1 : Répartition en fonction de l'age à l'admissibilité

Si la moyenne d'age des inscrit(e)s est de 27 ans et 6 mois, celle des présent(e)s s'établit à 25 ans et 10 mois, tandis que celle des admissibles est de 24 ans et 6 mois ; celle des admis(e)s est de **24** ans et **3** mois.

2.1.4 - Répartition par profession

professions	inscrits	présents	admissibles	%
ELEVE.IUFM.DE 1ERE ANNEE	608	478	37	7,74%
ETUDIANT HORS IUFM	288	209	91	43,54%
CERTIFIE	360	104	11	10,58%
STAGIAIRE IUFM 2E DEGRE COL/LY	116	72	18	25,00%
ASSISTANT D'EDUCATION	107	52	2	3,85%
ELEVE D'UNE ENS	37	37	32	86,49%
SANS EMPLOI	70	24	1	4,17%
VACATAIRE DU 2ND DEGRE	37	13	0	0,00%
MAITRE AUXILIAIRE	35	13	0	0,00%
CONTRACTUEL 2ND DEGRE	53	12	0	0,00%
PERS ENSEIG TIT FONCT PUBLIQUE	26	8	2	25,00%
STAGIAIRE SITUATION 2E DEGRE	14	8	1	12,50%
SALARIES SECTEUR TERTIAIRE	19	4	0	0,00%
MAITRE D'INTERNAT	4	3	0	0,00%
CADRES SECT PRIVE CONV COLLECT	7	2	0	0,00%
FORMATEURS DANS SECTEUR PRIVE	6	2	0	0,00%
FONCT STAGIAIRE FONCT PUBLIQUE	3	2	1	50,00%
PERS FONCTION PUBLIQUE	3	2	0	0,00%
PROFESSEUR ECOLES	10	2	0	0,00%
CONTRACT MEN ADM OU TECHNIQUE	2	2	0	0,00%
AG NON TIT FONCT TERRITORIALE	1	1	0	0,00%
MAIT.OU DOCUMENT.AGREE REM TIT	1	1	0	0,00%
MAIT.OU DOCUMENT.AGREE REM MA	2	1	0	0,00%
ADJOINT D'ENSEIGNEMENT	2	1	0	0,00%
PLP	7	1	0	0,00%
STAGIAIRE IUFM PROF DES ECOLES	2	1	0	0,00%
SURVEILLANT D'EXTERNAT	2	1	0	0,00%
ARTISANS / COMMERCANTS	1	0	0	
PROFESSIONS LIBERALES	2	0	0	
SALARIES SECTEUR INDUSTRIEL	2	0	0	
EMPLOI-JEUNES HORS MEN	1	0	0	
PERS ADM ET TECH MEN	1	0	0	
ENSEIGNANT DU SUPERIEUR	6	0	0	
AG NON TITULAIRE FONCT PUBLIQ	4	0	0	
PERS ENSEIG NON TIT FONCT PUB	2	0	0	
ENSEIG NON TIT ETAB SCOL.ETR	2	0	0	
AG NON TIT FONCT HOSPITAL	1	0	0	
PERS FONCT HOSPITAL	1	0	0	
MAITRE OU DOCUMENT. DELEGUE	3	0	0	
INSTITUTEUR SUPPLEANT	1	0	0	
VACATAIRE APPRENTISSAGE (CFA)	2	0	0	
VACATAIRE INSERTION (MGI)	1	0	0	
PROFESSEUR ASSOCIE 2ND DEGRE	1	0	0	
CONTRACTUEL APPRENTISSAGE(CFA)	2	0	0	
CONTRACT ENSEIGNANT SUPERIEUR	3	0	0	
TOTAL	***1858***	***1056***	***196***	

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

PROFESSION	admissibles	admis	% admis
ETUDIANT HORS IUFM	91	40	43,95%
ELEVE.IUFM.DE 1ERE ANNEE	37	10	27,02%
ELEVE D'UNE ENS	32	26	81,25%
CERTIFIE	11	4	36,36%
STAGIAIRE IUFM 2E DEGRE COL/LY	18	6	33,33%
SANS EMPLOI	1	0	0%
STAGIAIRE SITUATION 2E DEGRE	1	0	0%
ASSISTANT D'EDUCATION	2	0	0%
PERS ENSEIG TIT FONCT PUBLIQUE	2	0	0%
FONCT STAGIAIRE FONCT PUBLIQUE.	1	1	100%
TOTAL	***196***	***87***	

Tableau 5 : Répartition des admis par profession

Comme nous l'avions déjà précisé dans nos rapports précédents, les candidats issus des ENS ne sont pas ceux qui souffrent de la baisse des nombres d'admissibles et de postes ; par contre leur poids relatif dans le concours augmente à l'admissibilité comme à l'admission du fait de la réduction du nombre de postes. Pour la session 2009 s'est surimposée une nouvelle contrainte : le nombre d'admissibles qui était de 2,5 fois le nombre de poste en 2008, est passé à 2,25 fois le nombre de poste en 2009, sur décision du MEN.

Les préparations universitaires maintiennent de très bons résultats.

Les candidats qui présentent le concours de façon anticipée (élèves IUFM 1ère année) comme les candidats isolés qui ne bénéficient pas d'un contexte de préparation ne réussissent que de façon parcimonieuse.

Ceci montre à quel point la préparation au concours est importante pour apporter aux candidats une indispensable maturité, renforcer les connaissances dans les différents secteurs et leur donner des méthodes pour les utiliser.

Le poids des candidats des ENS s'exerce d'ailleurs d'une façon inégale selon les secteurs.

	toutes professions				**élèves ENS**		**candidats hors ENS**			
	admissibles	%	admis	%	admissibles	admis	admissibles		admis	%
secteur A	59	30,10%	**31**	***52,54%***	20	**17**	39	23,78%	**14**	***35,90%***
secteur B	90	45,91%	**36**	***40,00%***	7	**6**	83	50,61%	**30**	***36,14%***
secteur C	47	23,97%	**20**	***42,55%***	5	**3**	42	25,61%	**17**	***40,47%***
	196		87		32	**26**	164		**61**	

Tableau 6 : Influence des élèves des ENS sur la répartition des admis par secteur

2.1.5 - Répartition par académie

ACADEMIE	INSCRITS	PRESENTS	ADMISSIBLES	% ADMISSIBLES /PRESENTS
AIX-MARSEILLE	86	41	11	26,83%
AMIENS	33	15	2	13,33%
BESANCON	31	13	0	0,00%
BORDEAUX	88	57	16	28,07%
CAEN	24	15	2	13,33%
CLERMONT-FERRAND	50	41	4	9,76%
CORSE	6	1	1	100,00%
DIJON	30	19	3	15,79%
GRENOBLE	62	40	11	27,50%
GUADELOUPE	24	9	1	11,11%
GUYANE	6	2	0	0,00%
LA REUNION	51	34	1	2,94%
LILLE	103	58	0	0,00%
LIMOGES	12	4	0	0,00%
LYON	145 (23)	104 (23)	51 (19)	49,04% (26,22%)
MARTINIQUE	8	3	0	0,00%
MAYOTTE	1	1	0	0,00%
MONTPELLIER	95	55	9	16,36%
NANCY-METZ	74	50	1	2,00%
NANTES	42	15	2	13,33%
NICE	48	22	1	4,55%
ORLEANS-TOURS	49	19	2	10,53%
PARIS - VERSAILLES - CRETEIL	370 (14)	186 (14)	50 (13)	26,88% (22,83%)
POITIERS	38	18	0	0,00%
POLYNESIE FRANCAISE	14	8	0	0,00%
REIMS	30	26	1	3,85%
RENNES	112	80	6	7,50%
ROUEN	59	29	3	10,34%
STRASBOURG	68	37	12	32,43%
TOULOUSE	90	53	6	11,32%
TOTAUX	***1858***	***1056***	***196***	

Tableau 7 : Résultats des admissibilités par académie

Pour les académies de Paris – Versailles - Créteil et de Lyon, le chiffre entre parenthèses donne le nombre et le pourcentage d'admissibles après déduction des candidats normaliens qui s'y sont inscrits au concours et dont on a souligné le poids dans les résultats.

En ne tenant pas compte d'académies comme la Corse (1 présent - 1 admis) ou celles présentant des candidats normaliens (PVC et Lyon) on notera que les meilleurs taux d'admissibilité sont réalisés dans les académies de :

- Strasbourg (32,43%),
- Bordeaux (28,07%),
- Grenoble (27,50%),
- Aix – Marseille (26,83%).

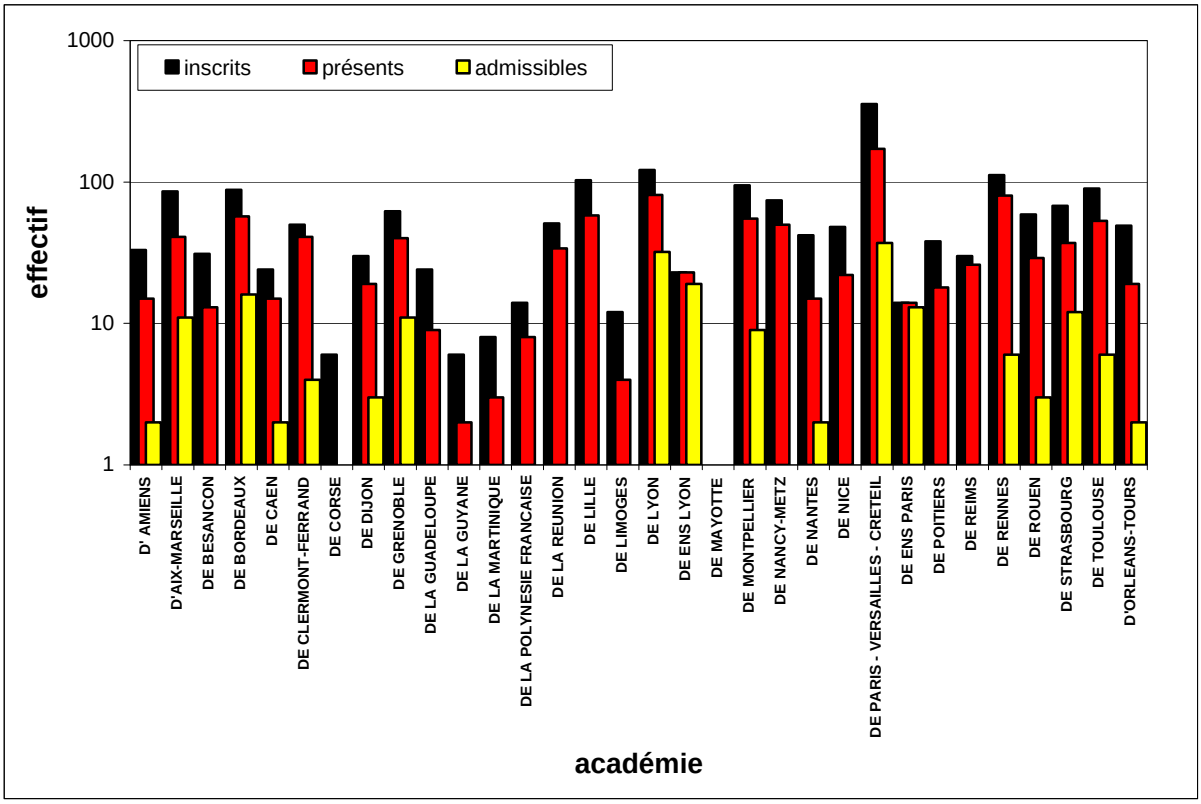


Figure 2 : Répartition globale des candidats par académie (inscrits – présents – admissibles)

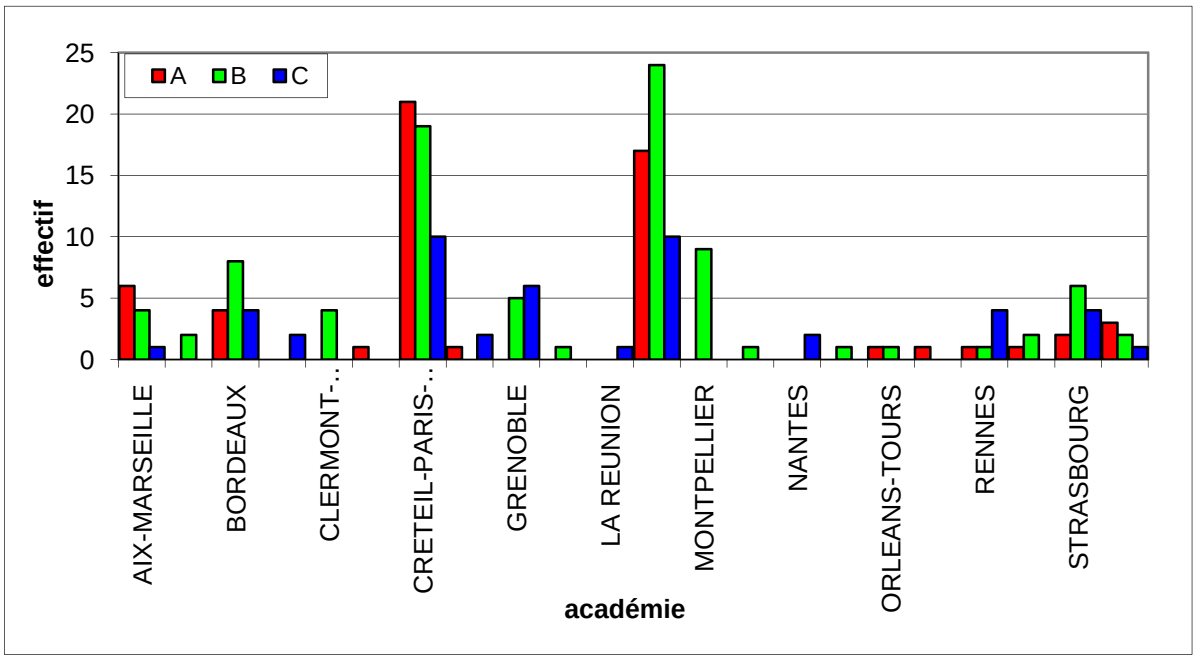


Figure 3 : Répartition des candidats admissibles par académie et par secteur

	A	B	C	total
AIX-MARSEILLE	6	4	1	**11**
AMIENS		2		**2**
BORDEAUX	4	8	4	**16**
CAEN			2	**2**
CLERMONT-FERRAND		4		**4**
CORSE	1			**1**
CRETEIL-PARIS-VERSAIL.	21	19	10	**50**
DIJON	1		2	**3**
GRENOBLE		5	6	**11**
GUADELOUPE		1		**1**
LA REUNION			1	**1**
LYON	17	24	10	**51**
MONTPELLIER		9		**9**
NANCY-METZ		1		**1**
NANTES			2	**2**
NICE		1		**1**
ORLEANS-TOURS	1	1		**2**
REIMS	1			**1**
RENNES	1	1	4	**6**
ROUEN	1	2		**3**
STRASBOURG	2	6	4	**12**
TOULOUSE	3	2	1	**6**
TOTAL	***59***	***90***	***47***	***196***

Tableau 8 : Répartition des admissibles par académie et par secteur

ACADEMIE	admissibles	admis	%
AIX - MARSEILLE	11	**5**	**45,45 %**
AMIENS	2	**0**	**0,00 %**
BORDEAUX	16	**8**	**50,00 %**
CAEN	2	**0**	**0,00 %**
CLERMONT - FERRAND	4	**0**	**0,00 %**
CORSE	1	**0**	**0,00 %**
DIJON	3	**1**	**33,33 %**
GRENOBLE	11	**3**	**27,27 %**
GUADELOUPE	1	**0**	**0,00 %**
LA REUNION	1	**0**	**0,00 %**
LYON	32	**12**	**30,77 %**
ENS LYON	19	**16**	**84,21 %**
MONTPELLIER	9	**3**	**33,33%**
NANCY - METZ	1	**0**	**0,00 %**
NANTES	2	**1**	**50,00 %**
NICE	1	**0**	**0,00 %**
ORLEANS - TOURS	2	**0**	**0,00 %**
PARIS - CRETEIL - VERSAILLES	37	**16**	**43,24 %**
ENS PCV	13	**10**	**76,92 %**
REIMS	1	**0**	**0,00 %**
RENNES	6	**3**	**50,00 %**
ROUEN	3	**2**	**66,66 %**
STRASBOURG	12	**8**	**66,66 %**
TOULOUSE	6	**1**	**16,66 %**
Total	**196**	**87**	

Tableau 9a : Répartition des admis par académie

ACADEMIE	admissibles	admis	%
ENS LYON	19	**16**	**84,21 %**
ENS PCV	13	**10**	**76,92 %**
ROUEN	3	**2**	**66,66 %**
STRASBOURG	12	**8**	**66,66 %**
BORDEAUX	16	**8**	**50,00 %**
NANTES	2	**1**	**50,00 %**
RENNES	6	**3**	**50,00 %**
AIX - MARSEILLE	11	**5**	**45,45 %**
PARIS - CRETEIL - VERSAILLES	37	**16**	**43,24 %**
DIJON	3	**1**	**33,33 %**
MONTPELLIER	9	**3**	**33,33%**
LYON	32	**12**	**30,77 %**
GRENOBLE	11	**3**	**27,27 %**
TOULOUSE	6	**1**	**16,66 %**

Tableau 9b : Classement 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	nombre de présents	nombre d'admissibles	nombre d'admis	liste complémentaire
1993	154	1439	819	233	148	
1994	154	1581	950	241	154	
1995	154	1770	1034	242	142	
1996	154	2041	1252	245	154	
1997	130	2273	1473	245	130	
1998	150	2416	1413	240	150	
1999	155	2477	1491	257	155	
2000	160	2678	1749	278	160	
2001	165	2924	1828	276	165	
2002	177	2521	1537	346	177	6
2003	198	2440	1553	378	198	
2004	160	2793	1733	334	160	
2005	160	2921	1827	334	160	
2006	105	3075	1707	257	105	
2007	105	2704	1489	259	105	
2008	87	2300	1420	217	87	
2009	87	1858	1056	196	87	

Tableau 10 : Évolution des effectifs du concours depuis 1993

Bien que le nombre d'inscriptions continue de subir une diminution drastique (- 442 en 2009 après -404 en 2008), 1056 candidats étaient présents à la première épreuve et seuls 996 ont composé pour les trois épreuves. On constate donc que cette défection nous ramène à des valeurs des années 1994-1995 où le nombre de postes proposé au concours était presque le double (154 pour 87 actuellement). Ces fortes pertes ne sont pas étrangères au découragement que provoque la parution systématiquement tardive du nombre de postes, le plus faible que l'on ait connu depuis plus de vingt années.

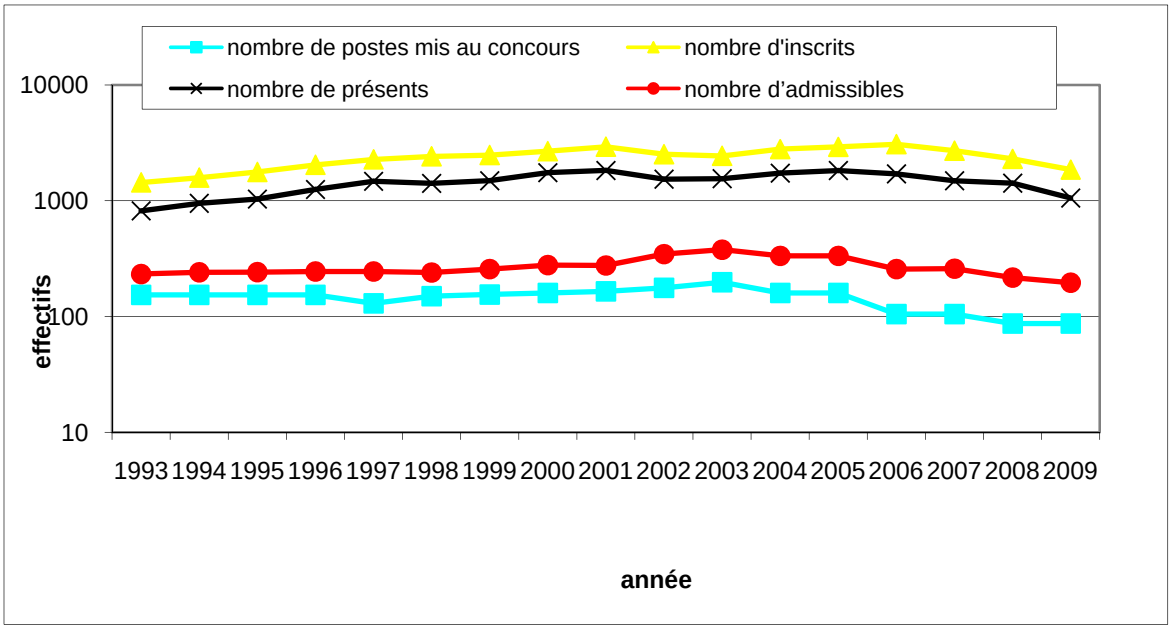


Figure 5 : Évolution des effectifs du concours depuis 1993

2.2.2 – Évolution par secteur

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

Tableau 11 : Évolution de la répartition des inscriptions par secteur

Le profil des inscriptions par secteur s'inscrit dans la continuité, avec une prédominance du secteur B (*biologie et physiologie des organismes et biologie des populations, en rapport avec leur milieu de vie*) dont les inscriptions et les présences ne s'érodent pas. Depuis 2007 on observe une remontée des inscriptions en secteur C (sciences de la Terre et de l'univers, interactions entre la biosphère et la planète Terre) et une diminution des inscriptions, à peu près équivalente, en secteur A (biologie et physiologie cellulaires, biologie moléculaire ; leur intégration au niveau des organismes).

La répartition par secteur des élèves des ENS est fortement déséquilibrée : 20 en A, 7 en B et 5 en C.

Au vu des résultats, on peut continuer de s'interroger sur les raisons réelles de ce choix préférentiel du secteur B, beaucoup de candidats qui le choisissent ne pouvant être vraiment qualifiés de « spécialistes ». S'il s'agit d'un geste tactique, on en comprend mal le sens dans la mesure où les résultats attestent du fait que le jury ne pratique pas de « quotas » par secteur. On ne peut donc qu'encourager les candidats à s'inscrire sans autre calcul dans leur domaine de plus grande compétence.

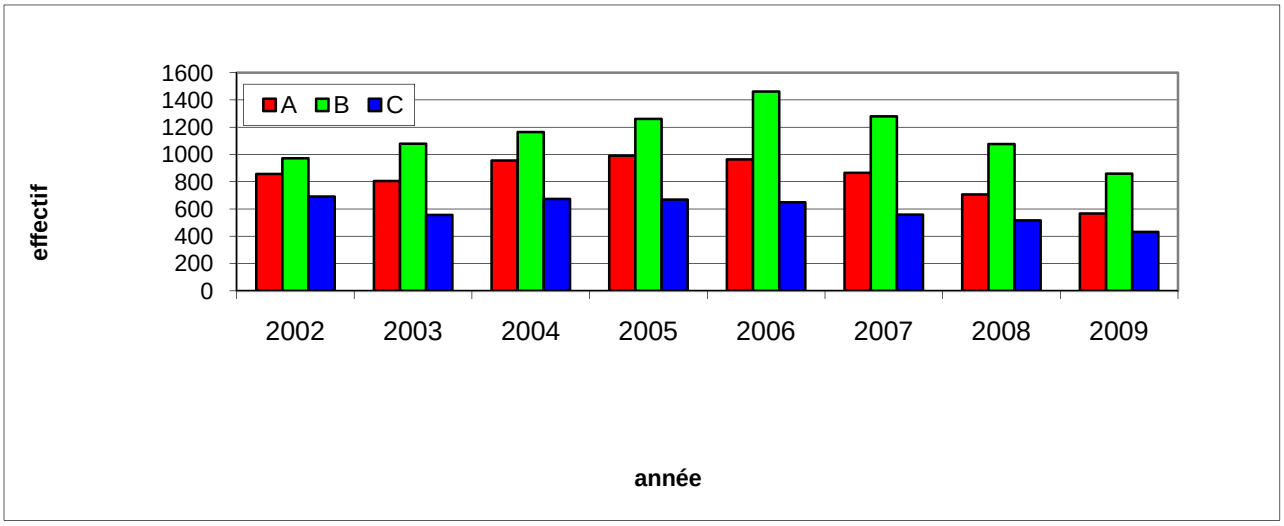


Figure 6 : Évolution de la répartition des inscriptions par secteur entre 2002 et 2009

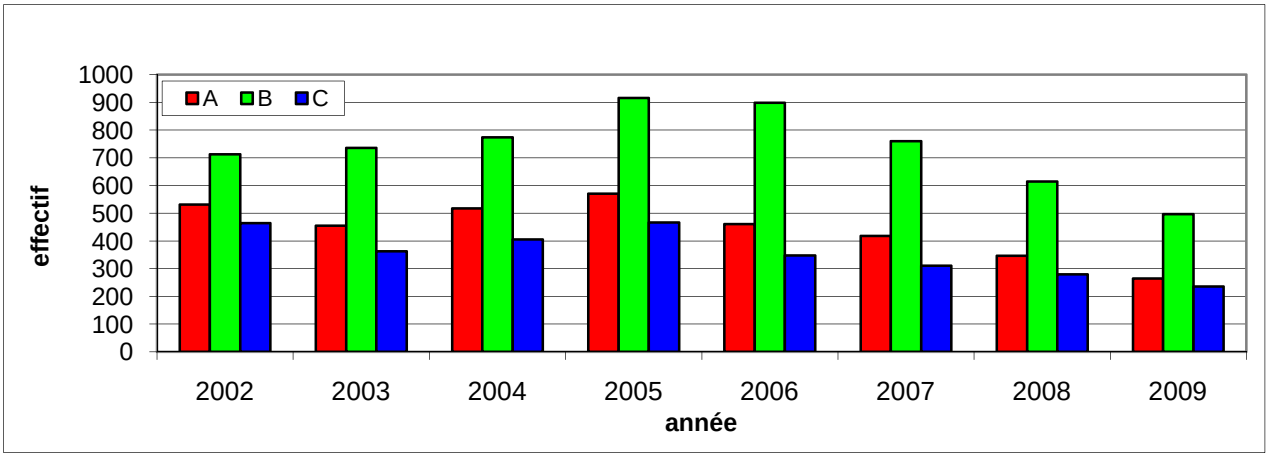


Figure 7 : Évolution de la répartition des présents aux trois épreuves par secteur entre 2002 et 2009

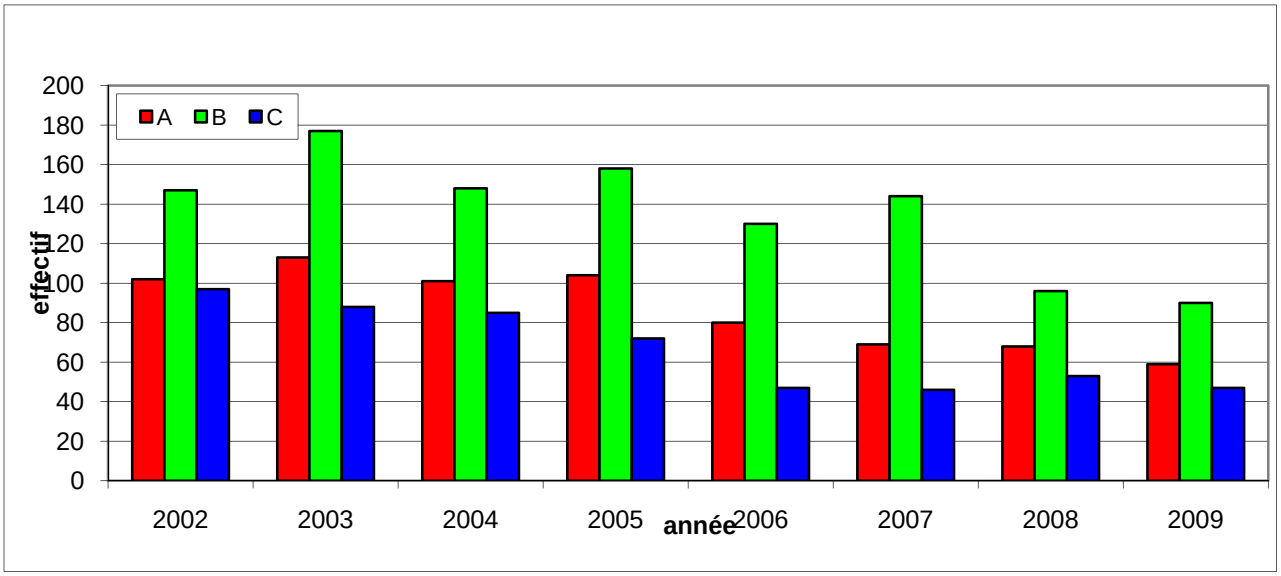


Figure 8 : Évolution de la répartition des admissibles par secteur entre 2002 et 2009

2.3 Statistiques portant sur les résultats de l'écrit

Dans les trois épreuves, la totalité de l'échelle de notation de 0,01 à 20 a été utilisée.

2.3.1 Résultats généraux par épreuve

	épreuve A	épreuve B	épreuve C
moyenne	4,37	4,47	4,35
écartype	2,45	2,78	2,96
médiane	3,95	3,81	3,74
3ème quartile	5,80	6,19	6,02
minimum	0,01	0,02	0,06
maximum	13,15	16,92	16,08

Tableau 12 : Statistiques sur les résultats des épreuves écrites (candidats présents)

	épreuve A	épreuve B	épreuve C
moyenne	7,57	8,35	8,58
écartype	2,12	2,43	2,55
médiane	7,60	8,05	8,27
3ème quartile	9,16	9,68	9,85
minimum	2,32	3,36	2,74
maximum	12,69	16,92	16,08

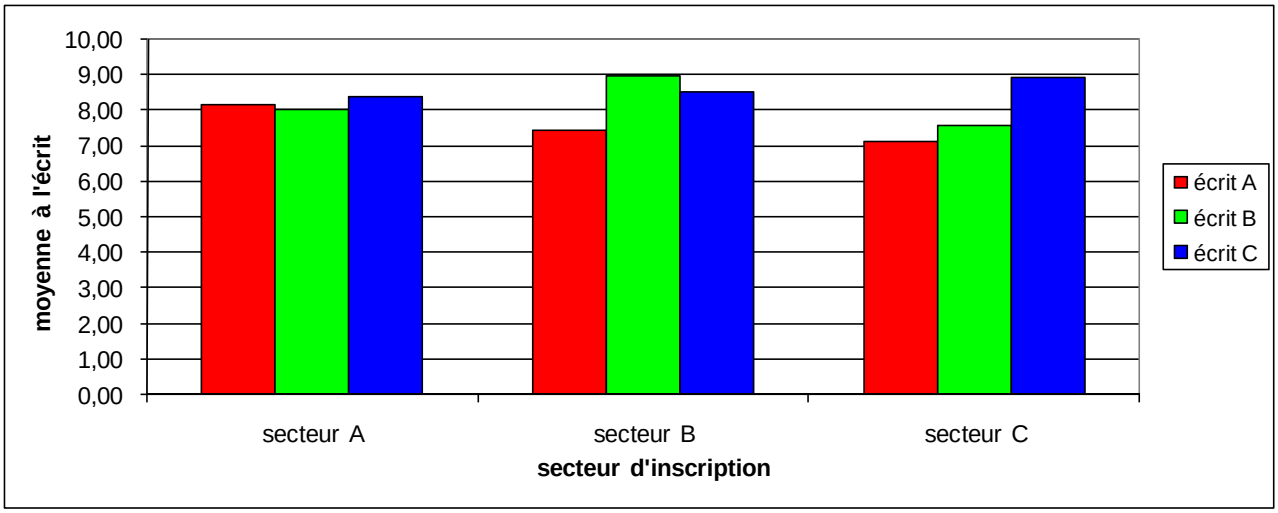
Tableau 13 : Statistiques sur les résultats des épreuves écrites (candidats admissibles)

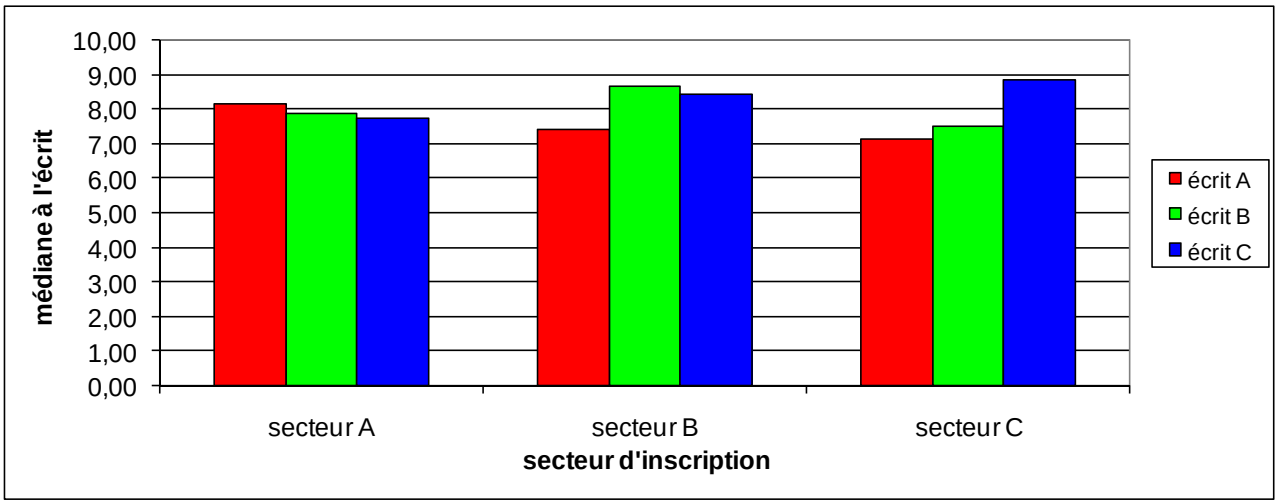
2.3.2 Résultats d'écrit par secteur

candidat(e)s 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	8,15	8,03	**8,39**	7,43	**8,98**	8,53	7,13	7,56	**8,94**
écart-type	1,88	2,20	2,55	2,12	2,60	2,44	2,31	2,08	2,77
médiane	8,14	7,87	7,74	7,39	8,67	8,41	7,13	7,48	8,83
3ème quartile	9,55	9,24	9,55	9,08	10,11	9,83	9,03	9,02	10,68
minimum	4,64	3,86	3,84	2,32	4,80	2,74	2,97	3,36	4,22
maximum	12,69	**15,30**	14,40	12,06	**16,92**	15,65	12,24	13,72	**16,08**

Tableau 14 : Analyse par secteur d'inscription des résultats des épreuves écrites

Normalement les candidats prennent un léger avantage statistique dans l'épreuve écrite correspondant à leur secteur, détectable surtout par l'analyse des médianes et des troisièmes quartiles. Moyennes et notes maximales suivent cette logique. Dans cette session 2009 les candidat(e)s du secteur A dérogent à la règle.





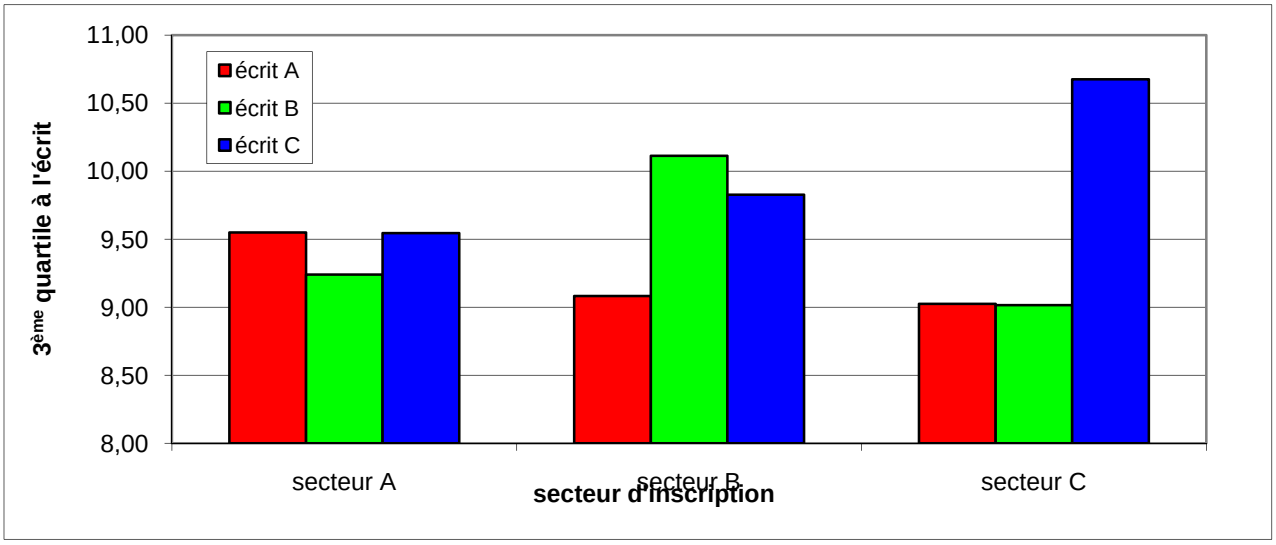


Figure 10 : Analyses des résultats d'écrit par secteur

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		
Épreuve de spécialité	***TP A***	***TP B***	***TP C***
moyennes	9,66	9,81	9,87
écart-type	2,36	2,18	2,27
note maximale	14,47	14,91	16,20
note minimale	4,97	4,36	4,80

Tableau 15 : Statistiques portant sur les épreuves de travaux pratiques de spécialité

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

	TP de contre-option		
Contre-option candidats secteurs	***TP contr. A B + C***	***TP contr. B A + C***	***TP contr. C A + B***
moyennes	7,75	8,16	8,16
écart-type	2,21	1,91	2,54
note maximale	14,43	13,76	15,23
note minimale	2,21	2,87	3,68

Tableau 16 : Statistiques portant sur les épreuves de travaux pratiques de contre-option

2-5 Statistiques sur les épreuves orales d'admission

	spécialité			**contre-option**		
	A	**B**	**C**	**ab-ac**	**ca**	**cb**
moyenne	9,65	8,42	8,17	8,49	9,07	8,92
écartype	4,58	3,80	4,96	3,73	3,70	3,17
minimale	2,00	3,25	1,50	2,22	2,44	2,67
maximale	20,00	19,00	19,25	17,11	20,00	14,89

Tableau 17 : Statistiques portant sur les épreuves orales

3. REGLEMENTATION ET ORGANISATION PRATIQUE

3.1 Textes officiels

3.2 Programme du concours 2009

3.3 Modalités et objectifs des épreuves écrites

3.4 Modalités et objectifs des épreuves pratiques

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

3.6 Programme du concours 2010

3.7 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 2008 découlent de l'arrêté publié dans le BO n° 3 du 17 mai 2007.

3.2 Programme 2009

(publié dans le BO n° 4 du 29 mai 2008)

Programme de connaissances générales

Pour la session 2009 le programme de connaissances générales publié au B.O. spécial n° 5 du 19 mai 2005 est modifié ainsi qu'il suit :

Le paragraphe 2.6 « L'homme face aux maladies » devient le paragraphe 7.7.

Programme de spécialité pour la session 2009

Pour la session 2009 le programme de spécialité publié au B.O. spécial n° 3 du 17 mai 2008 est modifié ainsi qu'il suit :

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 (modifié ci-dessus) et sur les 15 thèmes suivants regroupés en trois domaines et étudiés de façon approfondie en envisageant le niveau des connaissances et celui des approches méthodologiques et techniques. Cette démarche thématique permet d'approfondir globalement les éléments des rubriques 1, 2 et 6 du programme de connaissances générales sans les reprendre exhaustivement en indiquant à chaque fois les attendus et les limites.

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

Interactions

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

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

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

3 - Interactions au sein du système immunitaire humain

4 - Interactions cellulaires au cours du développement animal

Signalisations et différenciations cellulaires

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

5 - Détermination et différenciation des cellules

6 - Réplication de l'ADN : mécanisme et contrôles

7 - Mutations et cancers

8 - Ca2+ et signalisations cellulaires

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

10 - Les phytohormones

11- Le contrôle du cycle cellulaire

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

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

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

13 - Biotechnologies des cellules souches embryonnaires et adultes animales

14 - Génomique et amélioration végétale

15 - Ingénierie cellulaire et métabolique

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

Plan d'organisation, phylogénie et évolution

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

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

9 - Importance des réarrangements inter et intra-génomiques dans les processus évolutifs

10 - Construction des arbres phylogénétiques : méthodes de maximum de vraisemblance, notion de

bootstrap et problèmes (enracinement, variations des taux d'évolution)

11 – les espèces domestiquées : domestication et apport à la compréhension des mécanismes de l'évolution

Écologie fonctionnelle et évolutive

12 – Stratégies et comportements reproducteurs chez les animaux : aspects fonctionnels et évolutifs

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

14 - Les déplacements des Métazoaires : perception de l'environnement, orientation spatiale et guidage.

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

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

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

1 - Géodésie et géodynamique (interne et externe)

2 - Les radiochronomètres : choix et limites des méthodes

3 - Le traçage isotopique des transferts dans les enveloppes externes

4 - Les transitions de phase : mécanismes et conséquences dynamiques

5 – Flux et transferts de chaleur dans les enveloppes internes et externes de la Terre

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

7 - Les variations climatiques naturelles du Cambrien à l'actuel

8 - Crises et renouvellement de la biosphère

9 - Réservoirs et flux de carbone dans le système Terre

10 – Évolution tectono-métamorphique de la chaîne paléozoïque d'Europe occidentale

11 - Les gîtes métallifères associés à la convergence des plaques

12 – Les vitesses des processus géologiques

13 - Les provinces magmatiques géantes

14 - La sismicité dans le système Alpes-Méditerranée

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

Programme annexe de questions scientifiques d'actualité 2009

1 – L'obésité

2 – Les nouvelles questions sur la place de l'Homme dans l'évolution : apports de la génomique, de l'écologie comportementale et des sciences cognitives.

3 - Ressources minérales et énergétiques.

ministère Éducation nationale

EAE SVT 1
Repère à reporter sur la copie

SESSION 2009

CONCOURS EXTERNE DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGRÉGÉS

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

ÉPREUVE 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.

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.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

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.***

Tournez la page S.V.P.

La compartimentation cellulaire.

AGREGATION DE SV-STU : Ecrit secteur A

LA COMPARTIMENTATION CELLULAIRE

Commentaires généraux

Bilan

Le sujet intitulé « La compartimentation cellulaire » est un sujet classique du secteur A. Ce concept, développé au XX° siècle, notamment par Christian de Duve est donc familier des étudiants. Pour être traité correctement, ce vaste sujet requérait un effort de réflexion et de synthèse important de la part des candidats. Il s'agissait dans un premier temps d'identifier les grands concepts qui devaient être présentés : spécialisation des compartiments, genèse des organites, trafic inter-organite, coopération et coordination des compartiments, les différents rôles de la compartimentation (stockage, protection, conversions énergétiques, transferts d'information), ainsi que la signification évolutive des compartiments. Dans un deuxième temps il s'agissait de sélectionner les connaissances indispensables pour définir les compartiments, mettre en place l'organisation cellulaire, démontrer et illustrer les concepts identifiés.

Dans ce contexte, les attendus du sujet peuvent être classés en catégories suivant leur qualité de traitement par les candidats. La partie classique et descriptive du sujet correspondant aux définitions et à l'analyse fonctionnelle des compartiments a été la mieux traitée. La deuxième catégorie correspond à des éléments abordés par une grande majorité des candidats mais de façon hétérogène et souvent imprécise. Il s'agit des membranes, des conversions énergétiques, de la spécialisation des compartiments, de la coordination et la coopération des organites, les rôles de stockage et de protection de la compartimentation, la séparation des réactions chimiques, et la théorie endosymbiotique. Enfin la troisième catégorie correspond à des thèmes peu fréquemment abordés et souvent traités de façon très médiocre : méthodes d'étude des compartiments, origine et distribution des organites dans la cellule, le trafic interorganite comprenant les transports membranaires, l'adressage des protéines et le transport vésiculaire. Une mention particulière doit être faite sur le rôle de la compartimentation dans le transfert d'information qui n'a quasiment jamais été traitée correctement ni même mentionnée. Au final, la moyenne de l'épreuve est de 4,35/20 avec un écart type de 2,32/20. Ce sujet de synthèse a permis de discriminer de façon graduée les performances des candidats.

Les conseils du jury

Le jury rappelle qu'un sujet de synthèse comprend trois parties, bien identifiées, introduction, développement et conclusion.

Concernant l'**introduction**, il convient de distinguer trois temps qui sont l'introduction au sujet qui amène le lecteur à s'intéresser au thème proposé et définit les mots clés, l'introduction du sujet qui pose une ou plusieurs problématiques et la présentation du plan qui doit faire émerger le fil

conducteur de la réflexion. Les copies ont montré un effort réel en ce sens mais les maladresses constatées démontrent que cette démarche doit encore être affinée.

L'analyse ultrastructurale de cellules eucaryotes révèle un grand nombre de territoires différents, régions spécialisées ou organites. Certains sont communs aux cellules animales et végétales (noyau, réticulum, appareil de Golgi, mitochondries), d'autres sont spécifiques à l'une ou l'autre des cellules (grains de zymogènes pour la cellule du pancréas par exemple, chloroplastes et vacuoles pour la cellule du parenchyme palissadique). Ces organites baignent dans un espace, le cytosol, qui constitue aussi un compartiment. Ces organites sont aussi appelés compartiments mais ces deux termes ne sont pas synonymes et il était nécessaire de les définir. Un compartiment est un secteur cellulaire (**contenu**) délimité par une membrane (**contenant**). Ainsi un organite comme la vacuole ou la vésicule golgienne sont aussi des compartiments alors que la mitochondrie et le chloroplaste sont des organites mais pas des compartiments. Mitochondrie et chloroplaste sont des organites comportant respectivement deux (matrice et espace intermembranaire) et trois (stroma, lumen des thylakoïdes et espace intermembranaire) compartiments. Les cellules sont des systèmes thermodynamiques ouverts qui échangent matière et énergie avec leur environnement. Elles sont le lieu de réactions métaboliques, catalysées par des enzymes, qui se déroulent dans des conditions physico-chimiques précises. Dès lors, un lien peut être fait entre ces compartiments et la séparation des activités cellulaires qui s'y déroulent. Il convenait d'identifier ces compartiments, de comprendre leur organisation fonctionnelle et de s'interroger sur les modalités du maintien de cette compartimentation, haut niveau d'organisation qui présente un coût énergétique pour la cellule.

Concernant le **développement** du sujet, Le jury est ouvert sur les choix des plans choisis par les candidats, mais il est attaché à la mise en œuvre d'une démarche construite et argumentée, sous tendue par un certain nombre d'expériences, généralement connues par les candidats d'ailleurs. Toutefois, la rigueur expérimentale est trop souvent déficiente, les schémas sont approximatifs. Nous rappelons qu'il s'agit d'une épreuve scientifique dont la forme, généralement correcte d'ailleurs, doit être au service du fond en donnant du sens.

La diversité spatiale et fonctionnelle des compartiments révélée par l'observation et l'expérimentation était attendue. L'existence de **compartiments à simple membrane** (cytosol, RE, appareil de Golgi, vésicules), à **deux membranes** (noyau qui stocke l'information génétique), **d'organites eux-mêmes compartimentés, siège du métabolisme énergétique** (mitochondries, chloroplastes) devait être explicitement montrée. La présentation des méthodes d'isolement et d'étude des membranes permettait de comprendre l'organisation fonctionnelle des membranes limitant ces compartiments. Il s'agissait de montrer l'existence d'un équipement en protéines aux fonctions variées qui seront détaillées dans la suite de la démonstration. Les méthodes permettant d'étudier la dynamique cellulaire étaient indispensables pour expliciter les mécanismes complexes qui s'y déroulent.

Toutes les structures cellulaires, même les plus stables, se réorganisent au cours du cycle de vie de la cellule et nécessitaient de présenter les méthodes d'étude de la dynamique cellulaire. **La genèse et le maintien de la compartimentation** devaient être abordés en montrant notamment que le

transport membranaire des petites molécules maintient la composition des compartiments cellulaires. Les mécanismes impliqués argumentés par une approche expérimentale étaient attendus. Enfin, le devenir des compartiments lors de la division cellulaire devait être présenté.

Les cellules eucaryotes présentent donc une division spatiale des fonctions. Cette séparation rend nécessaire la mise en place d'un niveau supplémentaire de communication et d'échanges entre les compartiments permettant le maintien de l'organisation fonctionnelle de la cellule. Ainsi, **l'interdépendance fonctionnelle des compartiments permettant le fonctionnement cellulaire** pouvait se décliner en différentes parties. Il fallait montrer que le compartiment nucléaire constitue un lieu de synthèse et de maturation des transcrits et que cette compartimentation assure le contrôle qualité des ARNm matures exportés. De même, la mise en évidence expérimentale d'un flux polarisé de matière entre les compartiments à simple membrane permettait d'aborder la biosynthèse et la maturation des biomolécules. Le suivi de la dynamique moléculaire par la GFP conduisait à aborder la problématique de l'adressage des protéines dans les différents compartiments ainsi que les mécanismes spécifiques d'adressage et de transport vésiculaire.

Un schéma bilan montrant l'interdépendance entre le compartiment nucléaire et le compartiment réticulum et dérivés aurait été souhaitable. Le flux membranaire nécessitant de l'énergie métabolique, les candidats pouvaient alors logiquement montrer en quoi la **compartimentation participe à l'approvisionnement énergétique en permettant la création de gradients électrochimiques**. La mise en évidence qu'un gradient de pH, responsable de la synthèse d'ATP mitochondrial et chloroplastique, débouchait alors sur les mécanismes de couplages et de conversions énergétiques membranaires. C'était l'occasion de montrer l**es rôles biologiques des organites compartimentés.** Ainsi, **l**es mitochondries constituent les centrales énergétiques des cellules eucaryotes tandis que les chloroplastes sont le siège de la photolithotrophie.

La cellule est donc fragmentée en espaces clos, spatialement isolés, permettant de **séparer des actions cellulaires et d'isoler des produits de nature variée**. **Les compartiments séparent des réactions chimiques**. Le cytosol est le lieu de la glycolyse, la matrice mitochondriale est le siège de création du pouvoir réducteur tandis que dans le stroma chloroplastique se réalise la réduction du carbone minéral. **La compartimentation isole les composés pouvant interférer avec le cytosol.** C'est le cas des lysosomes, compartiments hydrolytiques de protection cellulaire ou des vésicules synaptiques qui assurent la fabrication et le stockage des neurotransmetteurs. **Certains compartiments permettent la mise en réserve**, à long terme comme les plastes qui stockent l'amidon ou à court terme comme le réticulum sarcoplasmique qui séquestre le Ca^{2+} ou les vacuoles qui accumulent de l'eau. Ce stockage **permet la croissance cellulaire par auxèse et le mouvement par turgescence** lors du fonctionnement stomatique. Enfin, **cette séparation des fonctions participe aux transferts d'information au niveau de la cellule.** La compartimentation participe au contrôle de l'expression génétique en régulant notamment l'accès des facteurs de transcription au compartiment nucléaire, à travers la régulation de la libération du Ca++, un second messager ubiquiste, elle intervient dans la transduction de signal intracellulaire, enfin les voies de biosynthèse-sécrétion et d'endocytose jouent des rôles majeurs dans les communications intercellulaires.

La **Conclusion** troisième et dernière phase de la rédaction est l'occasion de dresser un bilan des grandes idées développées mais aussi d'ouvrir vers d'autres aspects en prolongement du sujet. Ainsi les problèmes du maintien de rapport S/V au cours de la vie cellulaire et de l'équilibre endocytose/exocytose pouvaient être précisés. La comparaison avec les procaryotes qui ne sont pas compartimentées (sauf les cyanobactéries) et qui, pourtant, présentent une diversité métabolique tout en occupant un grand nombre de milieux permet de souligner que la compartimentation n'est toutefois pas indispensable à la vie cellulaire. Une variation de la compartimentation dans l'espace (chloroplastes du mésophylle foliaire et de la gaine périvasculaire des plantes en C4 par exemple) et dans le temps (vésicules de transcytose, vésicules de réserve et d'exocytose des neuroT) montre **qu'il existe un équilibre subtil entre le renouvellement des surface intracellulaires et une « homéostasie cellulaire** ». Il existe aussi une coopération avec le compartiment nucléaire et les organites compartimentés lors de l'expression génétique. C'est le cas du compartiment stromatique pour certains gènes de la rubisco et du compartiment matriciel pour les gènes de la cytochrome oxydase.

Une analogie fonctionnelle de la membrane des bactéries avec la membrane interne de la mitochondrie pour la synthèse d'ATP, un modèle de fonctionnement des ATP synthases des procaryotes, mitochondries et chloroplastes identiques conduit à s'interroger sur les organites semi autonomes et la **théorie endosymbiotique** concernant leur origine. L'étude de la compartimentation permet aussi de discuter de la phylogénie des organismes de la lignée verte dont le chloroplaste possède deux membranes (endosymbiose primaire) et de ceux de la lignée brune dont les chloroplastes sont à quatre membranes (endosymbiose secondaire). L'hérédité cytosolique liée aux organites compartimentés pouvait aussi être abordée. Enfin, une mise en perspective de **la compartimentation à différentes échelles de l'organisme** des organes à la régionalisation des compartiments (nucléoles, radeaux lipidiques, adressage d'ARNm cytosoliques aux pôles cellulaires) permettait de donner une dimension supplémentaire à ce sujet.

Les éléments principaux du sujet sont présentés dans le document suivant.

Préambule :

Ce document ne saurait être un corrigé type du sujet de l'écrit du secteur A de la session 2009. En effet, les sujets proposés à l'agrégation sont des sujets très vastes qui ne peuvent être traités de façon exhaustive dans un corrigé type. L'écrit d'agrégation permet de prouver la capacité du candidat à traiter d'un sujet en biologie cellulaire avec la rigueur et le raisonnement permettant de mettre en évidence les grands principes liés au sujet.

Sommaire

I- POSITIONNEMENT DU SUJET

I- ANALYSE FONCTIONNELLE DES DIFFERENTS COMPARTIMENTS CELLULAIRES

II- GENESE ET MAINTIEN DE LA COMPARTIMENTATION

III- LES RÔLES DE LA COMPARTIMENTATION CELLULAIRE

CONCLUSIONS

Bibliographie

- Alberts et al., Biologie Moléculaire de la Cellule, , 2004
- Raven, Johnson, Losos, et Singer. « Biologie » Edition De Boeck, 2007
- Pollard et Earnshaw « Biologie cellulaire » Elsevier, 2004
- Karp, Biologie cellulaire et moléculaire » Edition de Boeck, 2004

LA COMPARTIMENTATION CELLULAIRE

I- Positionnement du sujet

Les questions auxquelles doit répondre ce sujet sont multiples :

- de nombreuses cellules eucaryotes produisent des enzymes ou des molécules qui devraient perturber leur propre physiologie. Comment la cellule est-elle protégée de ces molécules ?

- comment définir les compartiments cellulaires ?

- comment sont maintenues et renouvelées les structures subcellulaires au cours du temps ?

- comment les cellules sécrétrices assurent elles-leur fonction ?

Trois thèmes généraux émergent à partir de ces différentes questions. Le premier thème correspond à la présentation de l'organisation ultrastructurale de la cellule en organites et compartiments et des fonctions des différents compartiments. Ce thème classique et descriptif est le mieux connu des candidats. Il était possible de se baser sur des éléments du développement des techniques de la biologie cellulaire au cours XIX° et au XX° siècle qui a permis de déterminer la structure des membranes cellulaires et d'identifier les organites cellulaires délimités par ces membranes (Tableau 1, Figure 1). Notamment, les expériences historiques de Christian de Duve dans les années 1950 conduisant à l'identification des lysosomes, ont permis de déterminer de façon exemplaire comment les cellules sont protégées des enzymes de dégradation confinées dans les lysosomes.

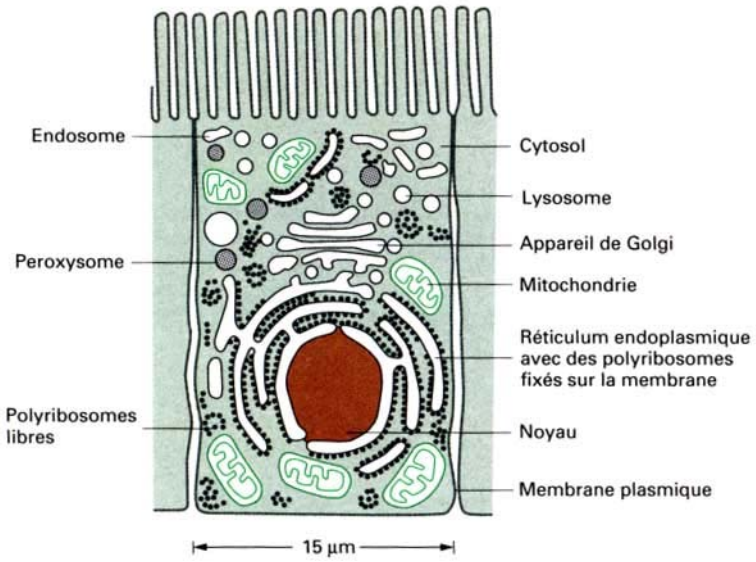


Figure 1 - Principaux compartiments intracellulaire des cellules animales (Alberts, 2004)

1590 – Jansen père et fils, développent les premiers microscopes composés
1655- Hooke crée le mot cellule pour désigner les petites unités morphologiques identifiées dans les coupes de liège
1674-1683 Leeuwenhoek popularise le microscope et détecte les bactéries
1833- Brown publie ses observations microscopiques des orchidées et décrit clairement le noyau cellulaire
1857- Kölliker décrit les mitochondries dans les cellules musculaires
1862- Julius von Sachs prouve que l'assimilation chlorophyllienne se déroule dans les chloroplastes
1898- Golgi est le premier a observé et à décrire l'appareil de Golgi en colorant des cellules avec le nitrate d'argent. **Ramon y Cajal** (Prix Nobel 1906) contribua de façon importante à l'étude de ces structures.
1938- Behrens emploie la centrifugation différentielle pour séparer les noyaux et le cytoplasme des cellules hépatiques, une technique développée pour le fractionnement par **Claude, Brachet, Hogeboom** entre les années 1940-1950
1939- Siemens construit le premier microscope électronique
1939-Hill montre que les chloroplastes isolés peuvent effectuer les réactions de la photosynthèse lorsqu'ils sont illuminés
1941- Coons utilise des anticorps couplés à des anticorps fluorescents pour détecter des antigènes cellulaires
1952- Palade, Porter et Sjöstrand développent des méthodes de fixation qui permettent d'observer pour la première fois bon nombre de structures intracellulaires
1954- De Duve découvre le peroxysome et le lysosome dix ans plus tard (Prix Nobel 1974)
1957- Robertson décrit la structure tri laminaire des membranes cellulaires
1959-Singer utilise des anticorps couplés à la ferritine pour détecter des molécules à l'intérieur des cellules en microscopie électronique.
1968- Petran et ses collaborateurs fabriquent le premier microscope confocal
1975- Gunter Blöbel découvre les signaux gouvernant l'adressage des protéines dans les différents organites cellulaires (Prix Nobel 1999)
1981- Allen et Inoué perfectionnement la microscopie optique améliorée par vidéo.
1994-1995 Chalfie introduit la protéine de fluorescence verte (GFP) identifiée par **Shimomura** comme marqueur en microscopie. **Tsien** crée une collection de protéines GFP fluorescentes à diverses longueurs d'onde (Prix Nobel partagé en 2008).

Tableau 1- Les grandes étapes de l'étude des organites cellulaires

Le deuxième thème, dont les développements sont plus récents, consiste à étudier la dynamique des compartiments cellulaires. La vie cellulaire dépend des mécanismes assurant le maintien de la diversité de la composition des différents compartiments. La genèse des compartiments, les échanges et les flux moléculaires entre les compartiments en sont des éléments importants. Ce thème a été traité de façon très inégale par les candidats. Le troisième thème concerne les fonctions de la compartimentation. La spécialisation des organites est un concept en général bien connu par les candidats ce qui permet de mettre en lumière le confinement, le stockage de molécules voire de l'énergie sous forme de gradient. Cependant les autres rôles de la compartimentation par exemple dans le contrôle de la qualité des molécules synthétisées, la transduction de signal et le contrôle de l'expression génétique devaient aussi être abordés. Enfin, transversalement aux trois thèmes, la démarche scientifique est un aspect essentiel à l'origine des mécanismes et modèles développés. La compréhension de cette démarche requérait la présentation des méthodes d'étude des organites et les expériences clefs associées.

I- ANALYSE FONCTIONNELLE DES DIFFERENTS COMPARTIMENTS CELLULAIRES

L'étude des organites nécessitait de présenter les techniques de visualisation en microscopie en présentant les caractéristiques des microscopies optique et électronique en précisant que seule cette dernière permettait de visualiser les organites grâce à sa limite de résolution d'environ 1 nm (Figure 2). La description des techniques cytochimiques et immunocytochimiques étaient également attendues.

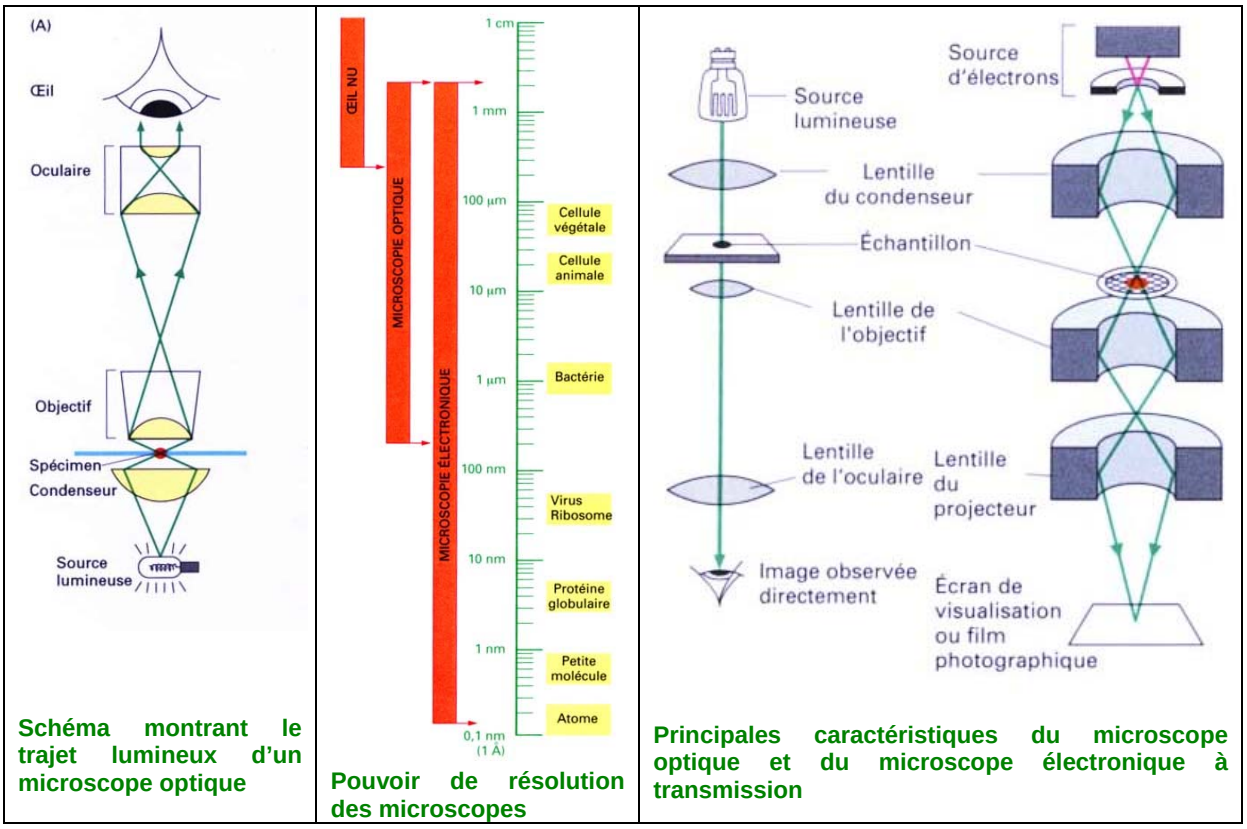


Schéma montrant le trajet lumineux d'un microscope optique

Pouvoir de résolution des microscopes

Principales caractéristiques du microscope optique et du microscope électronique à transmission

Figure 2 – Principes de microscopie (Alberts, 2004)

La détermination de la composition et des fonctions des organites nécessitait également de décrire les méthodes de purification basée sur des techniques douces de lyse cellulaire et de fractionnement par centrifugation (Figure 3). Les techniques d'analyse fonctionnelle telles que les vésicules retournées pour étudier les fonctions des mitochondries et des chloroplastes pouvaient également être présentées.

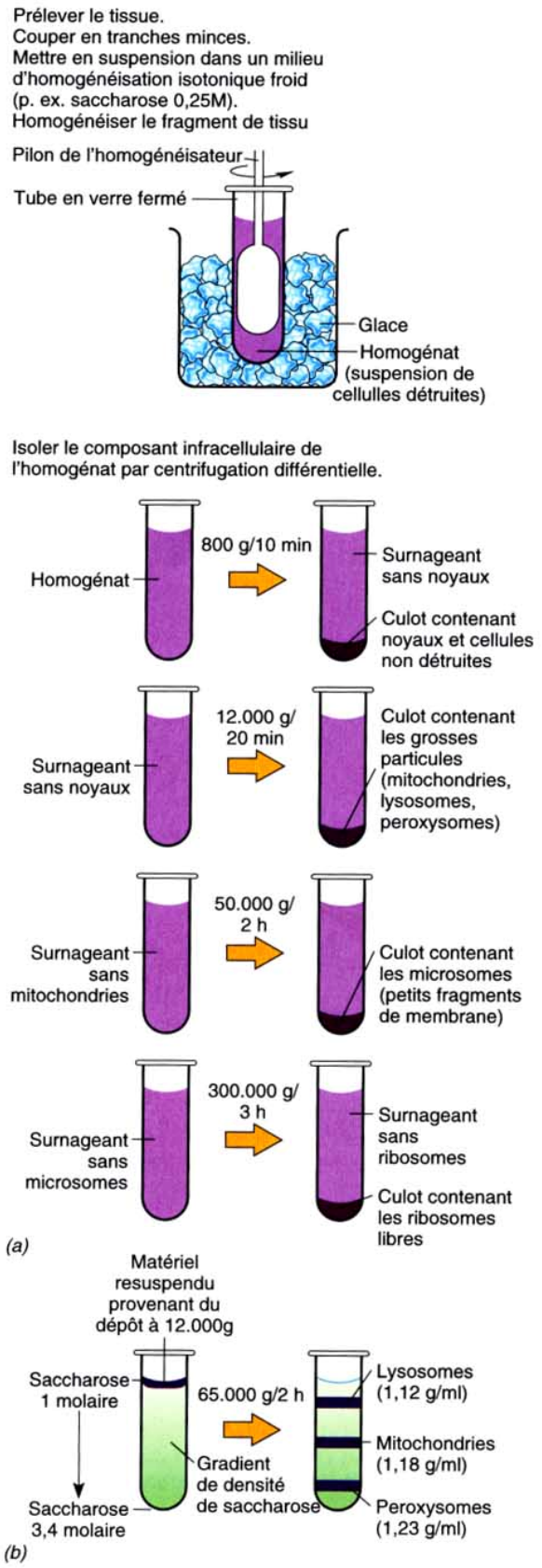


Figure 3 – Méthode du fractionnement cellulaire (Karp, 2004)

La présentation succincte des **membranes biologiques** constituées de bicouche lipidiques et de protéines ainsi que du modèle de la mosaïque fluide (Figure 4) était indispensable pour pouvoir illustrer ultérieurement les échanges entre les compartiments.

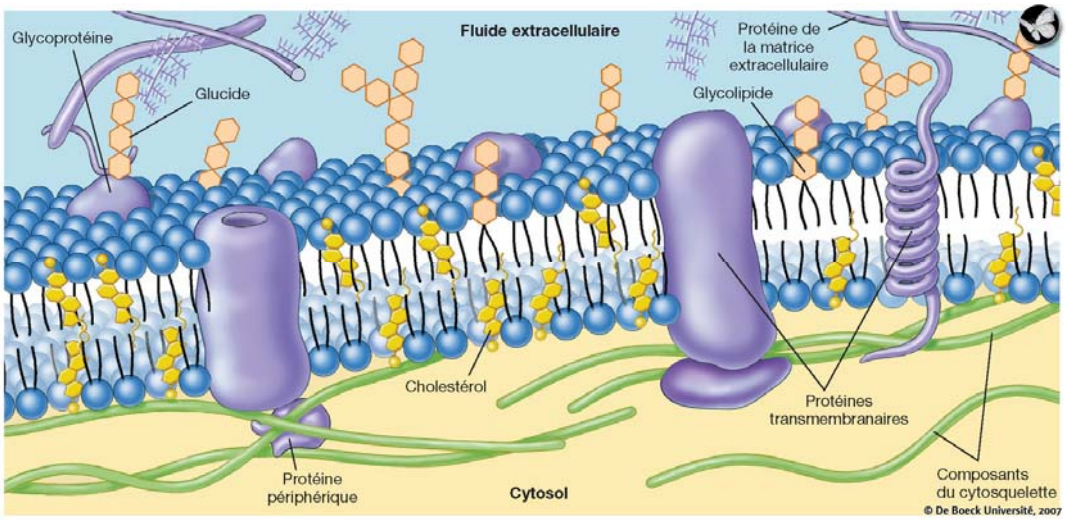
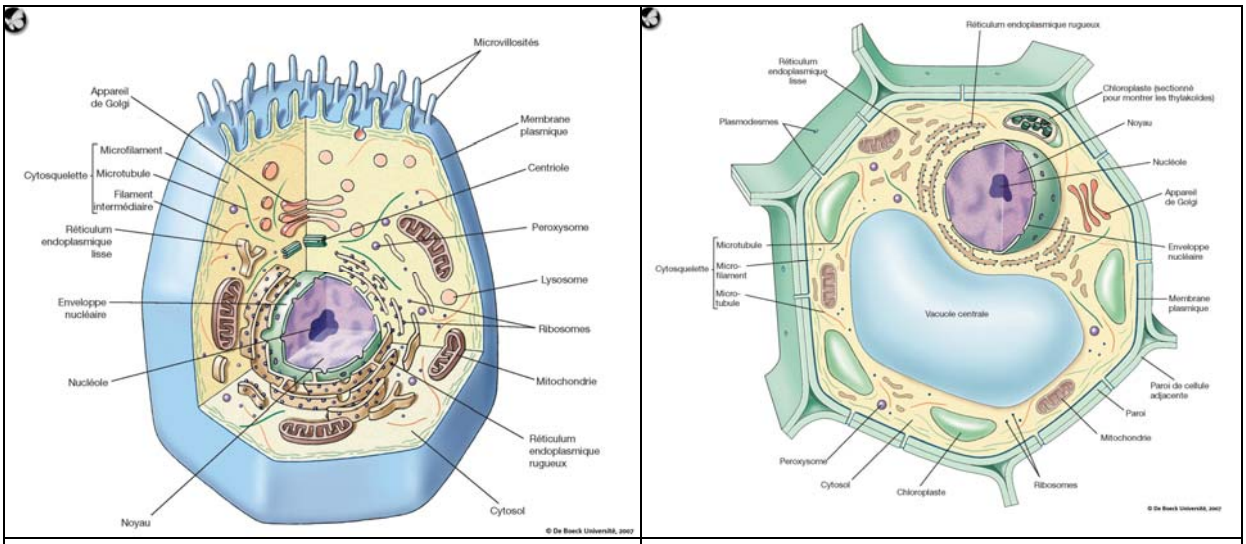


Figure 4- Le modèle de la mosaïque fluide (Raven, 2007)

Les méthodes d'étude et la structure des membranes étant définies, il s'agissait ensuite de décrire les structures subcellulaires et de présenter leurs fonctions respectives. Les cellules eucaryotes actuelles typiques ont une dimension linéaire 10 à 30 fois plus importante et un volume 1000 à 10000 fois supérieur à celui d'une bactérie comme E. Coli. On admet que la profusion des membranes internes est en partie une adaptation à cette augmentation de taille : les cellules eucaryotes ont un rapport surface/volume bien plus faible et la surface de leur membrane plasmique est trop petite pour assurer les nombreuses fonctions vitales effectuées par les membranes. Le système membranaire interne soulage donc ce déséquilibre. La cellule eucaryote est subdivisée, de façon complexe, en compartiments fonctionnellement distincts entourés d'une membrane (Figure 5).



Cellule animale	Cellule végétale

Figure 5- Les cellules (Raven, 2007)

Chaque compartiment, ou organite, contient son propre ensemble caractéristique d'enzymes et d'autres molécules spécialisées. Les deux grands types de cellules eucaryotes, les cellules animale et végétale possèdent un grand nombre d'organites en commun comme le noyau et le réticulum endoplasmique. Les cellules végétales sont les seules à posséder une grande structure délimitée par une membrane dénommée **vacuole centrale** ainsi que des chloroplastes (Figure 5). Les éléments essentiels qui devaient être décrits sont les suivants :

- le noyau est un compartiment à deux membranes contenant l'information génétique. Dans le noyau prennent place la réplication et la transcription de l'ADN. La présentation des pores nucléaires était également attendue ;
- les compartiments à simple membrane correspondant au **réticulum endoplasmique (RE)** et à **l'appareil de Golgi**. Le **RE rugueux** est le lieu de synthèse des protéines destinées à l'exportation. Le **RE lisse,** peu pourvu en ribosomes, est associé à la synthèse de divers glucides et lipides. Dans le foie les enzymes du RE lisse sont impliquées dans les processus de détoxification de drogues. Le RE fonctionne également comme une réserve d'ion Ca^{++}. Toutes les protéines destinées à la sécrétion et toutes celles destinées au RE lui-même, à l'appareil de Golgi, aux lysosomes, aux endosomes (vésicules d'endocytose divisées en endosomes précoces et tardifs) et à la membrane plasmique sont d'abord importées dans le RE à partir du cytosol.

L'appareil de Golgi sert à collecter, empaqueter et distribuer des molécules synthétisées à un endroit de la cellule et utilisées en un autre endroit. Il possède une face antérieure et une face postérieure qui se distinguent par la composition de leurs membranes. La zone antérieure est appelée face *cis* et est généralement située à proximité du RE. Des molécules y sont acheminées par des vésicules de transport bourgeonnant à partir du RE. Ces vésicules fusionnent avec la face *cis* délestant leur contenu à l'intérieur de la citerne. Les molécules migrent ensuite jusqu'à la face *trans* où elles sont déchargées dans des vésicules (Figure 6). Les protéines et les lipides, produits respectivement sur les membranes rugueuses et lisses du RE, transférés à l'appareil de Golgi, subissent des modifications au cours de leur passage de la face *cis* à la face *trans*.

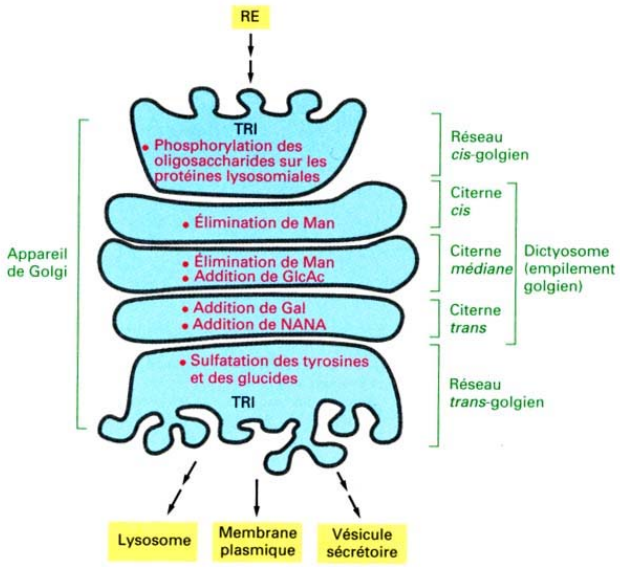


Figure 6 Compartimentation fonctionnelle de l'appareil de Golgi (Alberts, 2004)

Les vésicules golgiennes et leurs dérivés jouent des rôles spécifiques. **Les lysosomes** qui dérivent des membranes internes de l'appareil de Golgi sont des vésicules digestives. Leur contenu est riche en enzymes de dégradation, comme les hydrolases, qui catalysent la décomposition rapide de protéines, acides nucléiques, lipides, et glucides. Les enzymes digestives des lysosomes fonctionnement mieux en pH acide (pH=5). Des lysosomes engagés activement dans la digestion maintiennent leur batterie d'enzyme hydrolytique en pleine activité en pompant des protons du milieu externe maintenant ainsi un pH interne faible. En période d'inactivité les lysosomes ne maintiennent pas cette acidité interne ; on les nomme lysosomes primaires. Lorsqu'un lysosome primaire fusionne avec une vésicule d'endocytose ou avec un autophagosome (vésicule produite dans le cytoplasme autour d'une structure qui doit être éliminée), ses pompes à protons sont activées , son pH chute, ses enzymes hydrolytiques sont mises en œuvre : il devient un lysosome secondaire (Figure 7). Lorsqu'un globule blanc ingère un pathogène par endocytose, le phagosome ainsi formé est détruit dans un lysosome secondaire.

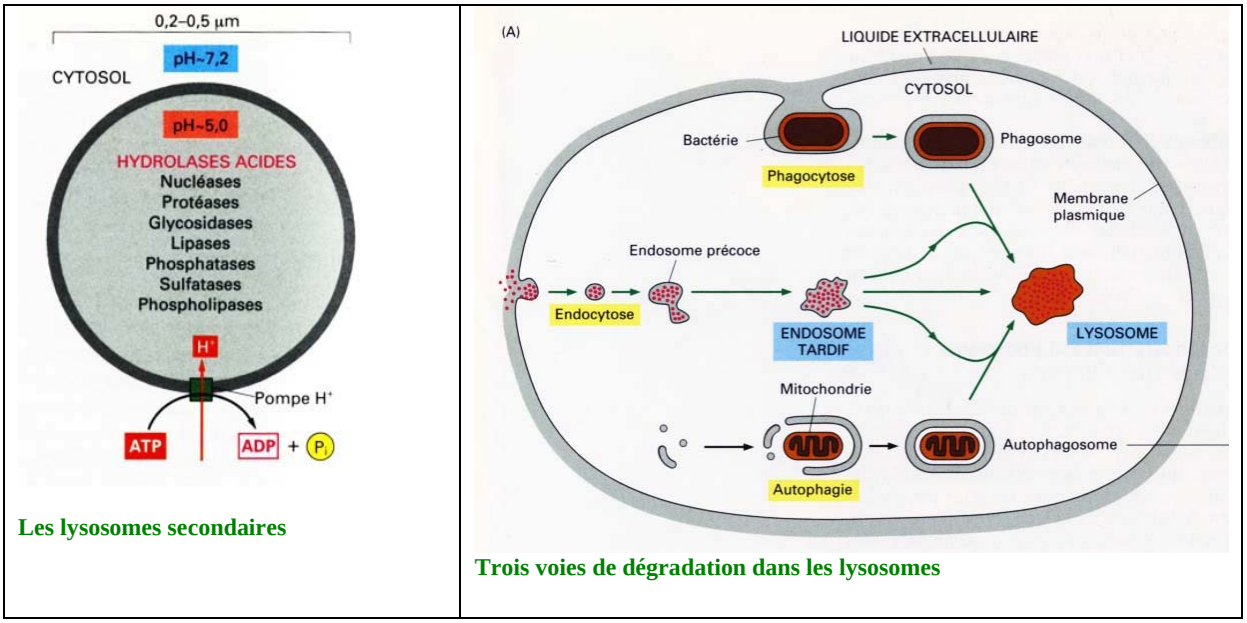


Figure 7 – Les lysosomes (tiré de Alberts 2004)

Alors que les lysosomes résultent du bourgeonnement du réseau membranaire interne, c'est par principalement par division que les **glyoxysomes** et **peroxysomes** sont produits après qu'ils aient grandi par incorporation de lipides et de protéines. Les **peroxysomes** contiennent des enzymes qui catalysent le transfert d'hydrogène de diverses molécules vers l'oxygène avec pour résultat la production de peroxyde d'hydrogène. Le peroxyde d'oxygène est dangereux pour la cellule mais les peroxysomes contiennent également la catalase qui décompose le peroxyde d'oxygène en eau et oxygène qui sont inoffensifs. Une fonction majeure des réactions oxydatives effectuées dans les peroxysomes est la dégradation des acides gras. Dans les cellules de mammifères cette dégradation est localisée dans les mitochondries et les peroxysomes, mais elle est restreinte aux peroxysomes chez les végétaux et les levures. Les cellules végétales possèdent un type particulier de peroxysomes

appelés **glyoxysomes**, détenteurs d'enzymes qui convertissent des lipides en glucides (cycle du glyoxylate) dans les graines.
La **vacuole centrale** des cellules végétales emmagasine de l'eau et divers matériaux tels que sucres, ions et pigments. Elle contribue à l'accroissement du rapport surface/volume de la cellule par la pression qu'elle exerce sur la membrane plasmique. Des expériences de plasmolyse et de turgescence réalisées sur une cellule végétale ont montré qu'elle occupe jusqu'à 80 % du volume de la cellule végétale et en constitue le principal compartiment. Ce compartiment, limité par un tonoplaste, joue un certain nombre de rôles. Sous l'effet de la turgescence, le tonoplaste est appliqué contre la paroi, permettant ainsi l'allongement cellulaire. Elle constitue un espace de stockage de métabolites et de molécules organiques comme le saccharose. Elle assure une fonction hydrolytique et isole des sous-produits du métabolisme qui pourraient devenir nocifs pour le cytosol. Elle accumule des composés toxiques comme des inhibiteurs de protéases ou des alcaloïdes, participant ainsi à la défense de l'organisme comme des organismes phytophages par exemple ;

- les organites à double membrane, compartimentés qui sont les sièges du métabolisme énergétique : les **mitochondries** et les **chloroplastes** qui contiennent des génomes spécifiques. La membrane interne mitochondriale crée deux compartiments : une matrice, localisée à l'intérieur et un espace intermembranaire. Ce sont des protéines situées en surface de la membrane interne ou intégrées dans celles-ci qui effectuent le métabolisme oxydatif, processus requérant de l'oxygène et par lequel l'énergie de macromolécules est stockée en ATP.
Les plantes et les autres organismes eucaryotes effectuant la photosynthèse possèdent entre un et plusieurs centaines de **chloroplastes** par cellule. Les chloroplastes contiennent la chlorophylle, pigment responsable de la coloration verte des plantes. Les chloroplastes possèdent un compartiment localisé à l'intérieur de la membrane interne qui est composé de membranes empilées formant des grana constitués de vésicules aplaties en forme de disque appelé thylacoïdes. C'est à la surface des thylacoïdes que sont situés les pigments photosynthétiques qui captent la lumière et permettent la fixation du CO_2 en molécules organiques.
D'autres organites à ADN chez les plantes, appelés **leucoplastes** sont quant à eux dépourvus de pigments et de structures internes complexes. Dans certaines cellules de racines ou d'autres organes des plantes, les leucoplastes peuvent servir de sites de stockage d'amidon, on les appelle alors **amylopastes**. Chloroplastes, leucoplastes, et amyloplastes sont collectivement appelés plastes. Tous sont produits par division de **plastes** existants ;

- il était important de mentionner que le cytosol constitue un compartiment supplémentaire délimité en partie par la membrane plasmique.

II- GENESE ET MAINTIEN DE LA COMPARTIMENTATION

La délimitation des organites par une membrane permet d'établir un microenvironnement dans lequel enzymes, cofacteurs et substrats sont concentrés, ce qui accélère la vitesse des interactions moléculaires. De plus l'environnement de part et d'autre de la membrane peut être modulé pour obtenir un milieu ionique adéquat (pH, concentrations de cations bivalents, potentiel d'oxydoréduction) ou une asymétrie ionique (pH, gradient ionique) et/ou électrique nécessaire pour une activité donnée. **L'établissement de ces compartiments ne peut être envisagé que par l'existence de systèmes d'échanges entre les différents compartiments.**

La présentation des **techniques d'étude des dynamiques moléculaires** dans les cellules se résumait prioritairement à l'utilisation des radio-isotopes (acide aminé marqué par exemple au ^{14}C ou au ^{3}H) et la technique du pulse-chase. Ces expériences associées à l'autoradiographie et à la microscopie électronique ont permis d'élucider de nombreuses voies biologiques comme celle suivie par les protéines issues du RE et secrétées à l'extérieur de la cellule (Figure 8).

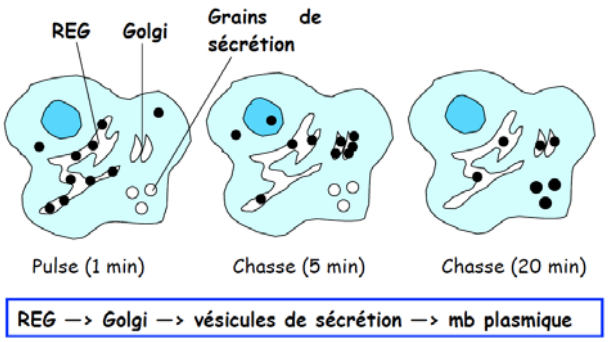


Figure 8 – Etude du transfert de protéines sécrétées par pulse-chase. Les points noirs correspondent à la localisation de la protéine étudiée lors de la chasse.

La mention des indicateurs de variation de concentration ionique comme l'aequorine et l'utilisation de la GFP permettant de suivre la localisation d'une protéine au sein d'une cellule vivante complétaient idéalement cette partie.

Pour expliquer comment la cellule maintient la composition des compartiments cellulaires il était nécessaire de présenter **les bases du transport membranaire des petites molécules** en précisant que leur vitesse de diffusion varie énormément en fonction de la taille mais surtout de son hydrophobicité (ou sa polarité) et en décrivant brièvement les **protéines de transport membranaire**. Les notions de transport passif, diffusion facilitée, transport actif, gradient de concentration, potentiel membranaire, force électrochimique devaient être présentés afin d'expliciter ultérieurement les fonctions de la compartimentation.

Les principes généraux du déplacement des protéines entre les compartiments correspondent à une partie clef de ce thème. Toutes les protéines sont synthétisées sur les ribosomes du cytosol sauf celles codées par les génomes mitochondriaux et plastiques qui sont synthétisées dans les organites correspondants. Leur adressage dépend de leur séquence en acides aminés qui peut contenir des **signaux de tri** qui les dirige dans des localisations extérieures au cytosol. Une majorité des protéines

ne présente pas de signal de tri et reste par conséquent dans le cytosol, les autres protéines possèdent des signaux de tri spécifique qui dirigent leur transport du cytosol, au noyau, au RE, aux mitochondries, aux plastes et aux peroxysomes. D'autres signaux de tri dirigent le transport des protéines du RE vers d'autres destinations cellulaires. Trois mécanismes principaux fondamentalement différents de tri contrôlent le déplacement d'une protéine d'un compartiment à un autre (Figure 9) :

1- le **transport par porte**, le transport protéique entre cytosol et le noyau se produit entre des espaces qui sont en continuité par l'intermédiaire des complexes du pore nucléaire ces complexes fonctionnent comme une porte sélective qui transporte activement des macromolécules même s'ils permettent aussi la diffusion libre de molécules plus petites ;
2- le **transport transmembranaire** par des translocateurs protéiques liés à la membrane qui transportent spécifiquement des protéines à travers la membrane entre le cytosol et un organite donné. Les protéines transportées doivent en général se déplier pour traverser la membrane. Le transport initial des protéines du cytosol au RE ou aux mitochondries se passe ainsi ;
3- lors du **transport vésiculaire**, des intermédiaires de transport entourés d'une membrane transportent les protéines d'un compartiment à l'autre. Les vésicules se chargent d'une cargaison de molécules issues de la lumière d'un compartiment en se détachant par pincement de sa membrane. Ils libèrent leur cargaison dans le deuxième compartiment en fusionnant avec lui.

Ces trois mécanismes requièrent des signaux de tri spécifique de la protéine transportée reconnus par des récepteurs protéiques complémentaires.

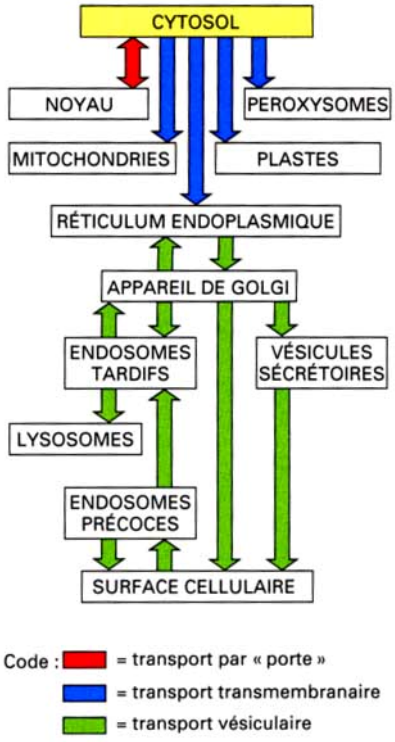


Figure 9 - Carte du transport protéique intracellulaire (Alberts et al., 2004)

Les principaux signaux d'adressage des protéines étaient attendus : tels que le peptide signal pour l'adressage au RE, séquence KDEL pour la rétention des protéines dans le RE, et SKL pour l'adressage dans les peroxysomes.

La présentation des voies d'adressage des macromolécules entre les différents organites est également primordiale pour appréhender la manière dont est assurée l'homéostasie des compartiments :

1- le transport des protéines et des ARN entre le noyau et le cytosol via les pores nucléaires et la protéine Ran ;

2- le transport des protéines dans les mitochondries (via les complexes TOM/TIM) et les chloroplastes (Figure 10 et 11).

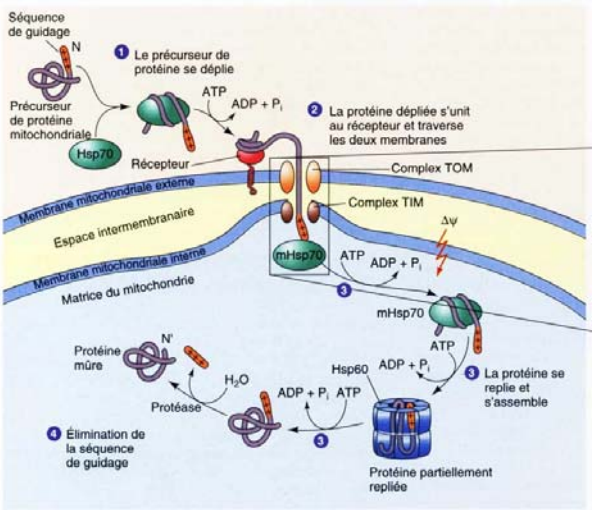


Figure 10 - Adressage des protéines de la matrice mitochondriale (Karp, 2004)

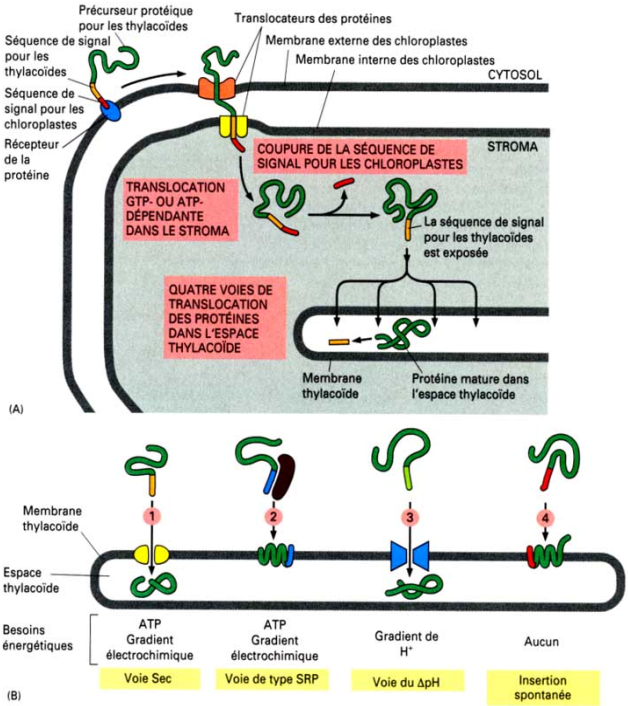


Figure 11 (A)-Translocation d'un précurseur protéique dans l'espace thylacoïde d'un chloroplaste. (B) quatre voie de translocation différentes (Albert, 2004).

3- le transport des protéines dans les peroxysomes

Ce processus d'importation, impliquant les acides aminés SKL à l'extrémité C-terminale, est encore mal compris mais fait appel aux peroxines (23 protéines) et requiert l'hydrolyse de l'ATP.

L'importance de ce processus d'importation et des peroxysomes est mise en évidence par une maladie héréditaire humaine, le syndrome de Zellweger qui touche ce processus d'importation. Les cellules de ces individus contiennent des peroxysomes vides et ils présentent de sévères anomalies du cerveau, du foie et des reins et meurent peu après la naissance.

4- transport des protéines dans réticulum endoplasmique

Les protéines solubles, destinées à la lumière du RE, y sont importées. La séquence de signal est reconnue par la particule de reconnaissance du signal (SRP) qui se fixe à la fois sur la chaîne polypeptidique en croissance et sur un ribosome et les dirige sur un récepteur protéique de la face cytosolique de la membrane du RE rugueux. Cette fixation sur la membrane du RE initie le processus de translocation en enfilant une boucle de la chaîne peptidique dans la membrane du RE au travers du pôle hydrophile d'un translocateur protéique transmembranaire (Figure 15). Le peptide signal est ensuite éliminé.

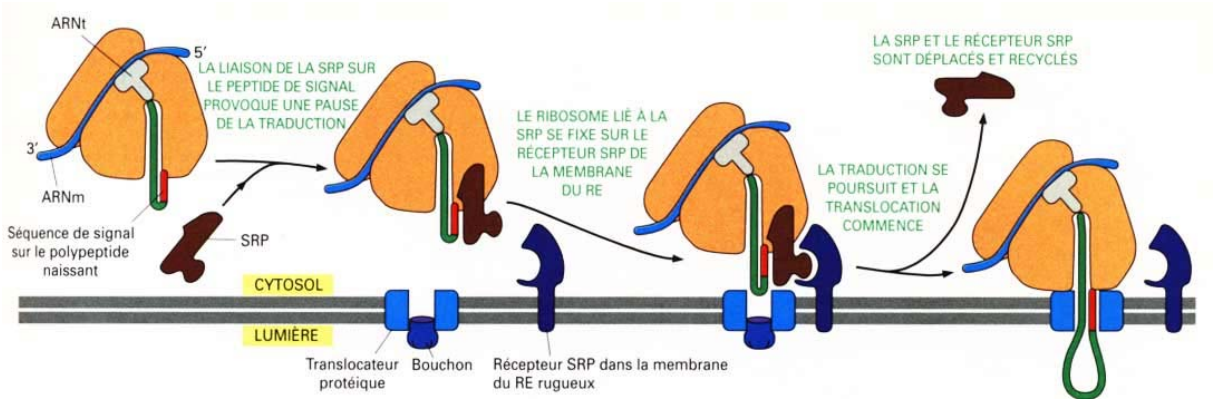


Figure 12 - La séquence de signal du RE et la SRP dirigent les ribosomes sur la membrane du RE (Alberts, 2004)

Enfin les **transports vésiculaires intracellulaires complètent les processus** assurant l'homéostasie des compartiments cellulaires. Les cellules eucaryotes ont développé un système membranaire interne complexe qui leur permet d'absorber les macromolécules selon un processus d'endocytose et de les délivrer aux enzymes digestives stockées dans les lysosomes intracellulaires. Ainsi, les métabolites formés par la digestion des macromolécules sont directement délivrés dans le cytosol par les lysosomes dès qu'ils sont produits. De plus, ce système membranaire permet aux cellules eucaryotes de réguler la délivrance de protéines, des glucides et des lipides néosynthétisés à l'extérieur de la cellule. La voie de la biosynthèse-sécrétion permet à la cellule de modifier les molécules qu'elle produit par une série d'étapes, de les stocker jusqu'à ce qu'elles soient utilisées puis de les délivrer à l'extérieur par le processus d'exocytose. L'endocytose et l'exocytose requièrent un

trafic vésiculaire complexe entre le réticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi, les lysosomes et la membrane plasmique (Figures 13 et 14).

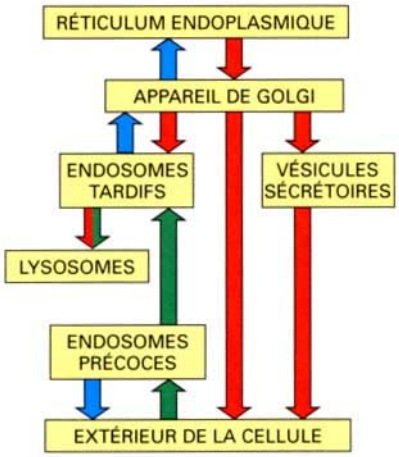


Figure 13 - Voies de l'endocytose et de la biosynthèse-sécrétion (vert), endocytose (rouge), biosynthèse sécrétion (bleu) la voie de recapture maintenant le flux de retour de certains composants.

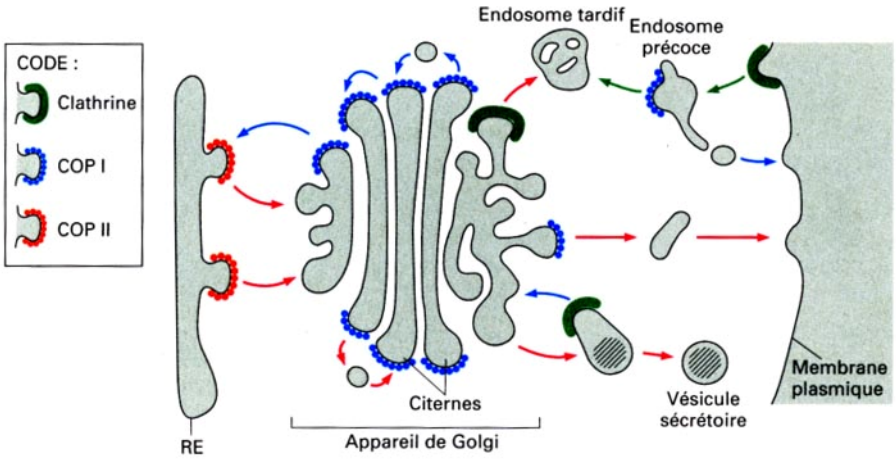


Figure 14- Les différents manteaux sont spécifiques de transports vésiculaires précis

Des mécanismes moléculaires assurent la spécificité du transport vésiculaire et le maintien de la diversité des compartiments

Les différences entre les différents compartiments cellulaires sont conservées par un transport dirigé et sélectif des composants membranaires particuliers d'un compartiment à l'autre. Les vésicules de transport bourgeonnent à partir de régions spécifiques, recouvertes d'un manteau, de la membrane du donneur. L'assemblage du manteau facilite le recueil de molécules membranaires spécifiques et de molécules de chargement solubles pour leur transport et dirige la formation de la vésicule.

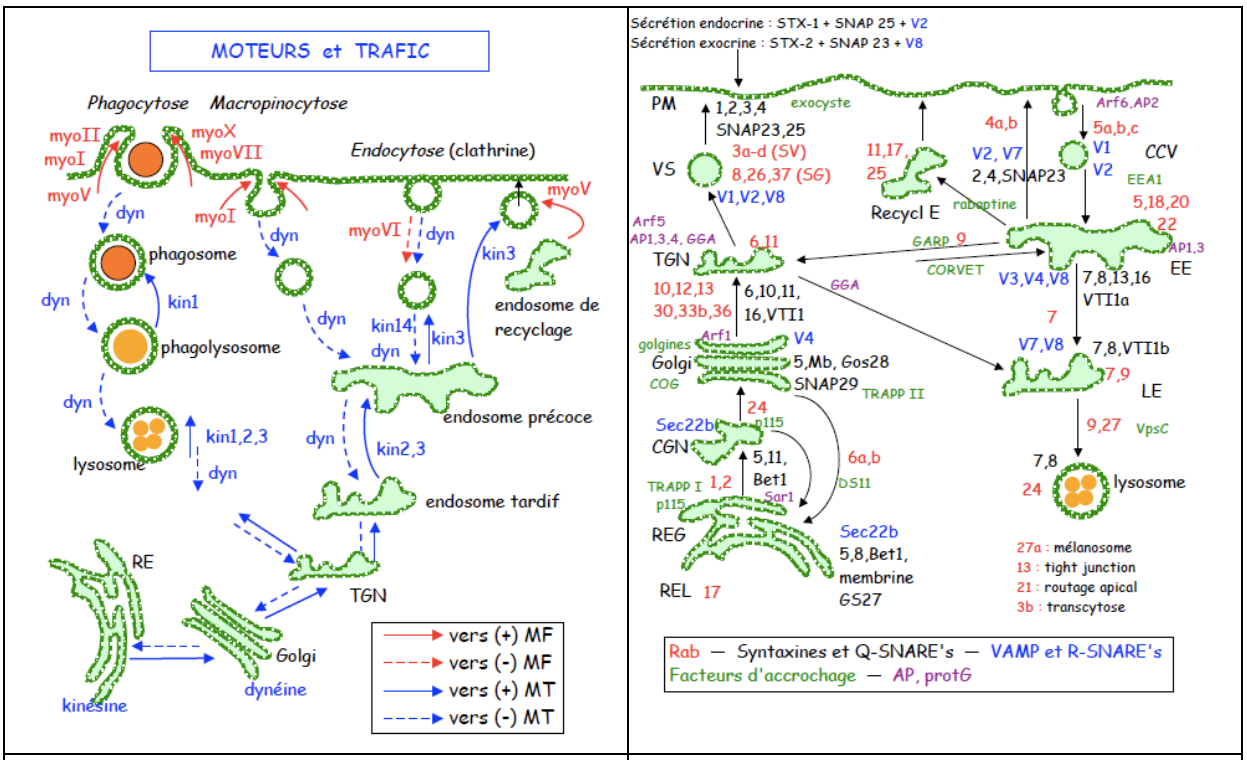
Parmi les divers types de vésicules recouvertes d'un manteau, les mieux caractérisées sont les vésicules recouvertes de clathrine, qui servent d'intermédiaire au transport à partir de la membrane plasmique et du réseau trans-golgien ainsi que les vésicules recouvertes de COP-I et de COP-II qui

servent d'intermédiaire au transport entre le RE et l'appareil de Golgi et entre les citerne de Golgi (Figure 14). Pour les vésicules recouvertes de clathrine, des adaptines spécifiques unissent la clathrine à la membrane de la vésicule et attrapent également des molécules de chargement spécifique pour les incorporer dans la vésicule. Le manteau est rapidement perdu après le bourgeonnement ce qui est nécessaire pour que la vésicule fusionne avec sa membrane cible appropriée.

Le transport des organites et des vésicules se fait le long des microtubules en utilisant les protéines motrices que sont les kinésines et la dynéine. Les kinésines orientent le transport les organites et vésicules de l'extrémité moins vers l'extrémité plus des microtubules alors que la dynéine assure le transport dans le sens inverse. Le cytosquelette d'actine et la famille des myosines sont également requis dans de nombreux processus membranaires : l'endocytose, l'exocytose, la phagocytose, la cytokinèse et la polarité cellulaire. Dans de nombreux processus de fusion, l'actine polymérise au niveau des membranes et produit une force qui rapproche ou sépare les membranes suivant les cas.

La famille des protéines Rab fonctionne comme des GTPases d'adressage des vésicules. Leur incorporation avec les SNARE-v spécifiques dans les vésicules de transport en bourgeonnement permet aux protéines Rab d'assurer que les vésicules ne délivrent leur contenu que dans le compartiment adapté entouré d'une membrane : celui qui présente les protéines SNARE-t complémentaires. Les protéines SNARE-v et SNARE-t complémentaire forment un complexe trans-SNARE stable qui appose fortement leurs membranes et permet leur fusion.

Pour résumer, la spécificité du transport vésiculaire est assurée par les combinaisons des molécules impliqués dans ces transports (Figure 15).



Cytosquelette et spécificité de migration des vésicules
En rouge les éléments du réseau de microfilaments (actine et myosines) En bleu les éléments du réseau de microtubules (tubulines, dynéine, kinésines).

Spécificité de transfert des vésicules d'un compartiment à l'autre (CCV), (EE) endosomes précoces, (LE) endosomes tardifs, (CGN) réseau du *cis* Golgi, (VS) vésicule de sécrétion

Figure 15 - Spécificité des transports vésiculaires

Les principales voies de transport vésiculaires sont les suivantes :

1- le transport entre RE et appareil de Golgi ; **l**es protéines correctement repliées et assemblées dans le RE sont placées dans des vésicules de transport recouvertes de COP-II qui se séparent par pincement à partir de la membrane du RE (Figure 16) et sont transportées vers l'appareil de Golgi. Beaucoup de protéines résidentes du RE s'échappent lentement mais sont ramenées vers le RE à partir des agrégats vésiculaires et de l'appareil de Golgi par le transport rétrograde dans des vésicules recouvertes de COP-I.

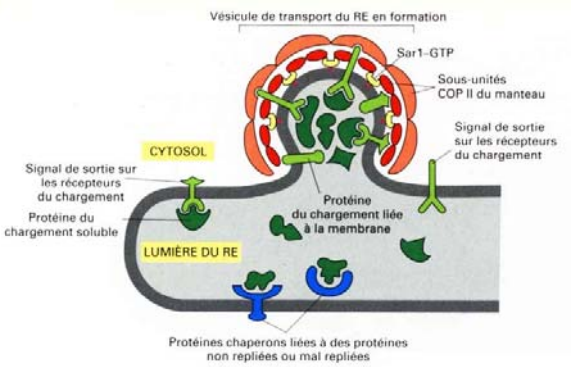


Figure 16 - Recrutement des molécules de chargement dans les vésicules de transport du RE.
Les protéines membranaires sont placées dans les vésicules de transport en bourgeonnement par l'interaction des signaux présents sur leur queue cytoplasmique avec le manteau COP-II (Alberts, 2004).

2- le transport du réseau trans-golgien aux lysosomes ; les protéines lysosomiales néosynthétisées, transférées dans la lumière du RE, dans l'appareil de Golgi jusqu'aux endosomes tardifs par le biais de vésicules de transport recouvertes de clathrine, contiennent des oligosaccharides fixés par liaison N-osidique qui sont modifiés dans le cis-Golgi afin que leurs résidus mannoses soient phosphorylés. Ces groupements mannose 6-phosphate (M6P) sont reconnus par un récepteur spécifique qui assure leur adressage dans les lysosomes (Figure 17).

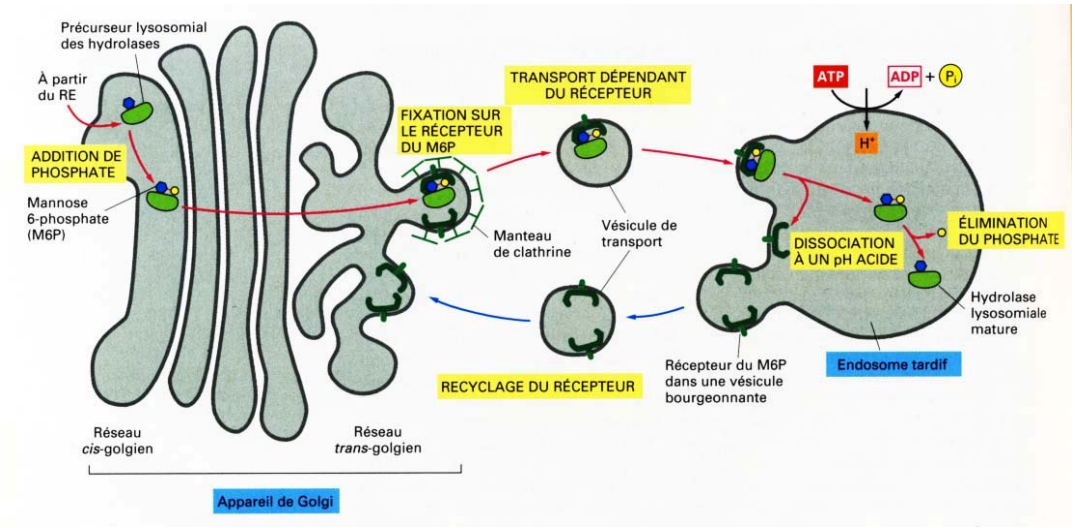


Figure 17 - Transport des hydrolases lysosomiales néosynthétisées.
Les précurseurs de ces hydrolases sont modifiées par l'addition de groupement Mannose-6-phosphate (M6P) et sont piégés par les récepteurs au M6P qui eux-mêmes interagissent avec les adaptines du manteau de clathrine. Ces interactions sont stables à pH neutre. Le pH acide des lysosomes induit la libération des hydrolases du récepteur M6P qui est ensuite recyclé vers le réseau trans-golgien (Alberts, 2004).

3- le transport intracellulaire à partir de la membrane plasmique : l'endocytose

Les cellules ingèrent des liquides, des molécules et des particules par endocytose, au cours de laquelle des régions localisées de la membrane plasmique s'invaginent et se séparent par pincement pour former des vésicules d'endocytose, les endosomes précoces. Beaucoup de molécules et de particules endocytées finissent dans des endosomes tardifs puis les lysosomes où elles sont dégradées. L'endocytose est constitutive, mais est aussi une réponse déclenchée par un signal extracellulaire. Le cycle endocytose-exocytose s'effectue par l'intermédiaire de puits et de vésicules recouverts de clathrines.

Beaucoup de récepteurs de la surface cellulaire qui fixent des macromolécules extracellulaires spécifiques se localisent dans les puits recouverts de clathrine. Il en résulte une internalisation des récepteurs et de leurs ligands. Les vésicules d'endocytose recouvertes perdent rapidement leur manteau de clathrine et fusionnent avec les endosomes précoces. La plupart des ligands se dissocient de leurs récepteurs dans l'environnement acide des endosomes et finissent dans les lysosomes, tandis que la plupart des récepteurs sont recyclés via les vésicules de transport, de nouveau à la surface cellulaire pour être réutilisés (Figure 18). L'endocytose des LDL permet de réguler l'absorption de cholestérol par les cellules. Lorsque des récepteurs mutés des LDL ne sont plus reconnus par les adaptines des manteaux de clathrine, les cellules ne peuvent ingérer les LDL et les individus concernés (1/500) présentent un risque accru de crise cardiaque provoquée par l'athérosclérose.

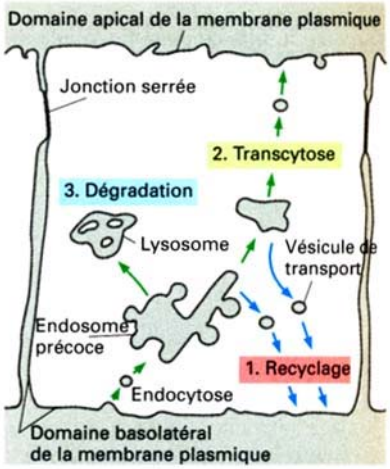


Figure 18 - Le devenir des récepteurs protéiques transmembranaires endocytés. Trois voies son possibles : (1) le recyclage vers le même domaine de la membrane plasmique, (2) la transcytose vers un domaine membranaire différent et (3) la dégradation dans les lysosomes. (Alberts, 2004)

4- du trans-Golgi à l'extérieur de la cellule : l'exocytose

Les protéines peuvent être sécrétées à partir des cellules par exocytose de façon soit constitutive soit régulée. Tandis que la voie régulée opère uniquement dans des cellules sécrétoires spécifiques, la voie sécrétoire constitutive opère dans toutes les cellules eucaryotes, par l'intermédiaire d'un transport vésiculaire continu qui part du réseau trans-golgien et va vers la membrane plasmique. Les protéines sont amenées du réseau trans-golgien à la membrane plasmique par la voie constitutive sauf si elles sont dirigées vers d'autres voies ou maintenues dans l'appareil de Golgi.

III- LES RÔLES DE LA COMPARTIMENTATION CELLULAIRE

Une première fonction de la compartimentation est d'assurer un contrôle qualité sur les protéines et ARNs néosynthétisés. Un tel contrôle assure l'export sélectif des ARNm matures du noyau. Pour être exporté l'ARNm doit être lié à la protéine de liaison à la coiffe et par contre les RNP-S doivent être absentes. **Le contrôle qualité des protéines du RE, de l'appareil de Golgi et des lysosomes dépend également de la compartimentation.** Dans la lumière du RE, les protéines se replient et s'oligomérisent, les ponts disulfures sont formés et des oligosaccharides y sont ajoutés par des liaisons N-osidiques. La N-glycosylation sert à indiquer l'étendue du repliement protéique, de telle sorte que les protéines ne quittent le RE que lorsqu'elles sont correctement repliées (Figure 19). Les protéines qui ne se replient pas ou ne s'oligomérisent pas correctement sont transportées à nouveau dans le cytosol où elles sont déglycosylées, ubiquitinylées, et dégradées dans les protéasomes. **Cette étape de contrôle de qualité est importante car les protéines mal repliées ou mal assemblées pourraient potentiellement interférer avec les fonctions des protéines normales si elles étaient transportées plus avant.** Ce processus est très important, plus de 90% des sous-unités néosynthétisées des récepteurs des lymphocytes T et des récepteurs d'acétylcholine sont normalement dégradées dans la cellule sans jamais avoir atteint la surface cellulaire où elles agissent. Cependant ce mécanisme de contrôle de qualité est parfois préjudiciable. Les mutations prédominantes qui provoquent la **mucoviscidose** sont dues à des mutations d'une protéine importante dans le rôle du transport des ions Cl^- qui conduisent à un repliement légèrement anormal. Alors que ces protéines mutées pourraient fonctionner tout à fait normalement si elles atteignaient la membrane plasmique, c'est le fait qu'elles restent piégées dans le RE qui provoque la maladie.

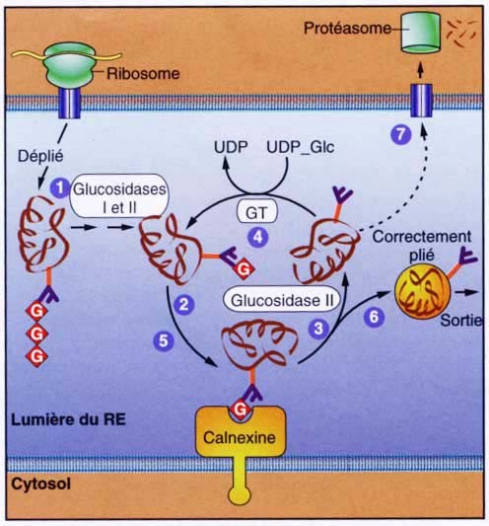


Figure 19 - Le contrôle du repliement des protéines. Les protéines nouvellement synthétisées sont N-glycosylées et possède un nombre variable de résidus glucose éliminés par les glucosidases I et II. La calnexine une protéine chaperon interagit avec les protéines possédant un seul glucose et maintient ces protéines dans le RE. L'élimination du glucose terminal libère la protéine de la calnexine. La glycosyltransférase (GT) est une enzyme cruciale déterminant si la protéine est correctement repliée ou non. Si elle est incorrectement repliée elle ajoute un résidu glucose et induit la réassociation de la protéine avec la calnexine. Les protéines solubles mal repliées sont à nouveau transloquées dans le cytosol où elles sont déglycosylées, ubiquitinylées et dégradées dans les protéasomes (Karp, 2004).

La compartimentation est requise dans le contrôle de la localisation de protéines membranaires et extracellulaires. Premièrement, la compartimentation est impliquée dans le transfert des protéines au travers des épithéliums par transcytose. Par exemple, les mammifères nouveaux-nés obtiennent les anticorps du lait de leur mère par transport au travers de l'épithélium intestinal. La lumière intestinale est acide et à ce bas pH les anticorps du lait (IgA) se fixent sur les récepteurs spécifiques Fc de la surface apicale. Ces complexes sont endocytés et transférés au pôle basolatéral de la cellule où le pH neutre du liquide extracellulaire va conduire à une dissociation des IgA des récepteurs Fc. Deuxièmement, La compartimentation permet la régionalisation de la membrane plasmique aux pôles basolatéral et apical des cellules épithéliales (Figure 20). Les protéines membranaires destinées à la région baso-latérale contiennent des signaux de tri dans leur queue cytoplasmique. Deux de ces signaux sont caractérisés l'un par une tyrosine spécifique et l'autre par un dimère de leucine.

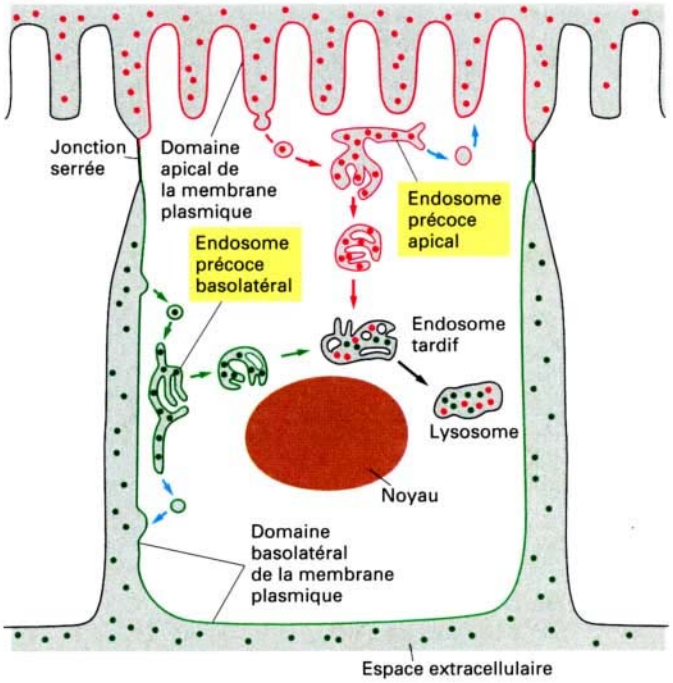


Figure 20 - Les domaines basolatéral et apical de la membrane plasmique communiquent avec des compartiments différents d'endosomes précoces qui se rejoignent dans le compartiment commun des endosomes tardifs avant la digestion dans les lysosomes. (Alberts, 2004)

Un deuxième rôle de la compartimentation est de séparer les fonctions cellulaires. Premièrement, elle participe activement au maintien de l'intégrité de la cellule en la protégeant des molécules qu'elle synthétise. **En fait, les molécules secrétées ne résident jamais topologiquement dans le cytosol.** Beaucoup d'hormones polypeptidiques, de neuropeptides, et d'enzymes hydrolytiques sont synthétisées sous forme de précurseurs protéiques inactifs à partir desquels les molécules actives sont libérées par protéolyse. Ce clivage commence dans le réseau *trans*-golgien, se poursuit dans les vésicules sécrétoires et parfois dans le milieu extracellulaire. Les molécules de peptides de signalisation sont eux synthétisés sous forme de polyprotéines qui

contiennent de multiples copies de la même séquence d'acides aminés. L'intérêt de la maturation protéolytique confinée dans la voie de sécrétion est multiple. Certains peptides comme les enképhalines sont sans doute trop courts (5 acides aminés) sous leur forme mature pour être transportés co-traductionnellement dans la lumière du RE ou dans les vésicules sécrétoires. De plus pour les enzymes hydrolytiques secrétées (trypsine, chymotrypsine…) - ou n'importe quelle protéine dont l'activité pourrait perturber la cellule - le retard de l'activation de la protéine jusqu'à ce qu'elle atteigne la vésicule sécrétoire où qu'elle soit secrétée est primordial. La membrane confinant ces activités est une sécurité complémentaire. Le même raisonnement s'applique pour le confinement des hydrolases lysosomiales ou pour les radicaux libres dégradés dans les peroxysomes. D'une façon comparable le noyau protège le matériel génétique.

Deuxièmement, **la compartimentation sépare les voies métaboliques** par une localisation spécifique des enzymes dans des compartiments donnés. En effet, le contrôle du transport des métabolites entre les organites permet d'activer ou non les voies métaboliques spécifiques de ces organites. D'autres voies métaboliques peuvent également être compartimentées dans plusieurs organites comme le cycle de l'urée. **Le confinement des voies métaboliques permet d'optimiser les réactions chimiques en permettant l'existence de conditions favorables (concentrations locales élevées en enzyme, métabolites et ions).**

Troisièmement, **la compartimentation permet la mise en réserve à long ou court terme**. Un exemple à long terme consiste, chez les végétaux, au déchargement des assimilats dans les cellules puits au niveau de compartiments sous forme insolubles ou solubles :

- forme insoluble dans des amyloplastes (amidon des organes de réserve, de la graine) ;
- forme soluble (fructose, saccharose, glucose dans les fruits) ; les puits de stockage sont de deux catégories. Dans le cas des baies de raisin, des invertases situées dans la paroi, le cytosol et le tonoplaste permettent d'hydrolyser le saccharose en glucose et fructose qui s'accumulent dans la vacuole.

Le sarcoplasme du myocyte correspond à un exemple d'une mise en réserve à court terme. La membrane sarcoplasmique de la fibre est dépolarisée par un potentiel d'action qui se transmet, grâce à une liaison mécanique directe aux récepteurs de la ryanodine situés dans la membrane sarcoplasmique, provoquant l'ouverture des canaux Ca^{2+}. Quand le Ca^{2+} sort de la lumière du RES, la concentration en Ca^{2+} intramyoplasmique augmente depuis une valeur de base à 10^{-7} M vers une valeur d'activité à 10^{-6} M ou plus, en quelques millisecondes. Les canaux calcium de la membrane du RS se ferment ensuite. Le Ca^{2+} permet alors la contraction des sarcomères. En fin de contraction, des pompes à Ca^{2+} de la membrane du RS transportent activement Ca^{2+} depuis le myoplasme vers la lumière du RS. La chute brutale de concentration de Ca^{2+} intramyoplasmique provoque alors la relaxation du muscle jusqu'à la prochaine dépolarisation.

Enfin la séparation des fonctions requiert une coopération harmonieuse entre les organites

Un exemple illustrant cette coopération correspond à la photorespiration. Ce phénomène nécessite une action coordonnée des chloroplastes, des peroxysomes, et des mitochondries.

Une troisième fonction de la compartimentation réside dans la capacité de créer des gradients et de participer aux conversions énergétiques. Les mitochondries et les chloroplastes utilisent une voie commune pour produire de l'énergie: ce processus s'appelle le couplage chimio-osmotique et reflète l'enchaînement des réactions qui forment une liaison engendrant l'ATP (chimio) et des processus membranaires (osmotique). Ce processus de couplage se produit au cours de deux étapes liées, qui s'effectuent par des complexes protéiques inclus dans une membrane. Dans la première étape les électrons riches en énergie sont transférés par une série de transporteurs d'électrons inclus dans cette membrane. Ces transferts d'électrons libèrent de l'énergie, utilisée pour pomper des protons (H^+, dérivés de l'eau) au travers de la membrane et engendrer ainsi un gradient électrochimique de protons. Ce gradient ionique au travers d'une membrane est une forme de stockage d'énergie qui peut être recueillie pour effectuer un travail utile lorsque les ions refluent librement au travers de la membrane selon leur gradient électrochimique. Dans la deuxième étape, les protons refluent selon le gradient électrochimique au travers d'une machinerie protéique, l'ATP synthase, qui catalyse la synthèse, énergie dépendante, d'ATP à partir d'ADP et de phosphate inorganique. Cette enzyme joue le rôle d'une turbine qui permet au gradient de protons d'actionner la production d'ATP. Le gradient électrochimique de protons sert également à actionner d'autres machineries protéiques incluses dans la membrane. Le gradient de proton est couplé au transport de métabolites spécifiques à l'intérieur et à l'extérieur des organites.

Les **mitochondries** effectuent la plupart des oxydations cellulaires et produisent la masse de l'ATP des cellules animales. La matrice mitochondriale contient une grande variété d'enzymes notamment celles convertissant le pyruvate et les acides gras en acétyl CoA et celles qui oxydent cet acétyl CoA en CO_2 par le cycle de l'acide citrique. Ces réactions produisent de grandes quantités de $NADH_2$ et $FADH_2$ (Figure 21).

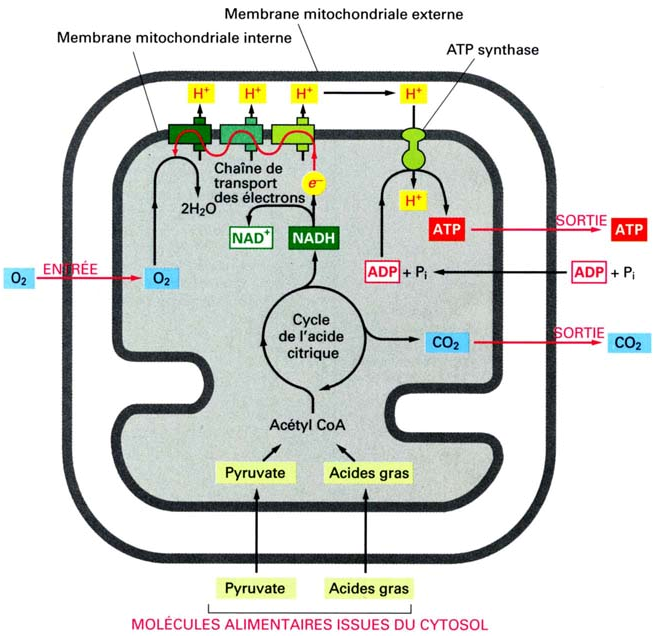


Figure 21 - Le métabolisme énergétique des mitochondries (Alberts, 2004)

La compartimentation régule le catabolisme énergétique grâce à ce système de stockage d'énergie sous forme de gradient électrochimique. D'une part l'ATP régule négativement sa propre synthèse en inhibant la voie de la glycolyse et donc le cycle de Krebs. Mais surtout, la création d'un gradient important de protons non dissipé par l'oxydation du NADH2 lorsque la charge cellulaire en ATP est élevée, va conduire à un blocage de la chaîne respiratoire. En effet celle-ci s'arrête lorsque l'énergie libérée par le transfert d'électrons devient inférieure à l'énergie nécessaire pour transporter un proton de la matrice mitochondriale vers l'espace intermembranaire.

Les **chloroplastes** obtiennent des électrons riches en énergie grâce aux photosystèmes qui capturent les électrons excités lors de l'absorption de la lumière par les molécules de chlorophylle au sein de deux photosystèmes. Ces deux photosystèmes sont normalement reliés en série et transfèrent les électrons de l'eau au $NADP^+$ pour former du NADPH, en produisant en même temps un gradient électrochimique transmembranaire de protons. Dans ces photosystèmes liés, l'oxygène moléculaire (O_2) généré est le produit de déchet de l'élimination de quatre électrons de basse énergie à partir de deux molécules d'eau. Comparés aux mitochondries, les chloroplastes ont une membrane interne supplémentaire, la membrane thylacoïde, et un troisième espace, l'espace thylacoïde. Tous les processus de transport ont lieu dans la membrane thylacoïde. Pour fabriquer l'ATP, le proton est pompé dans l'espace thylacoïde et le flux de retour de H^+ à travers l'ATP synthase produit alors l'ATP dans le stroma des chloroplastes. Cet ATP est utilisé en association au NADPH fabriqué par photosynthèse pour actionner un grand nombre de réactions biosynthétiques dans le stroma des chloroplastes, y compris le cycle de Calvin de fixation du carbone qui crée un glucide à partir de CO_2. Ce glucide, sous forme de glycéraldéhyde-3-phosphate est exporté dans le cytosol cellulaire, en même temps que d'autres produits importants du choloroplaste, l'ATP et le pouvoir réducteur au reste de la cellule.

Un dernier exemple de conversion énergétique correspond à **la vacuole végétale qui provoque des mouvements par turgescence.** La vacuole occupe jusqu'à 80% de la cellule végétale et est susceptible de changer de volume de façon considérable dans les expériences de plasmolyse et de turgescence et peut transformer l'énergie chimique liée à la pression osmotique en énergie mécanique. Lors de la turgescence, elle participe à la déformation des cellules stomatiques et à l'ouverture du stomate. La turgescence, en appliquant le tonoplaste contre la paroi, participe à l'allongement cellulaire.

La compartimentation intervient dans un quatrième type de fonction : les transferts d'information au sein de la cellule. Elle participe au contrôle de l'expression génétique en contrôlant le transport des ARN et des protéines entre le noyau et le cytoplasme. L'existence des compartiments nucléaire et cytoplasmique a pour conséquence de confiner les différentes étapes du contrôle de l'expression génétique : les contrôles de la transcription et de la maturation des ARN sont confinés au noyau alors que les contrôles de la traduction et de dégradation des ARN s'effectuent dans le cytosol (Figure 22). Dans de nombreux cas, le transport des protéines vers le noyau est strictement régulé. L'activité de certaines protéines régulatrices de gènes est contrôlée par

le maintien de leur activité à l'extérieur du compartiment nucléaire jusqu'à ce qu'elle soit nécessaire à cet endroit. Dans beaucoup de cas ce contrôle dépend de la régulation de signaux de localisation nucléaire et d'exportation. Ce signal peut correspondre à une phosphorylation comme c'est le cas du facteur de transcription NF-AT qui est activé lors le l'activation des lymphocytes T (Figure 23). Alternativement, la transduction d'un signal extracellulaire peut conduire à l'activation et à la translocation nucléaire d'une protéine kinase cytosolique. Cette protéine kinase active alors des facteurs de transcription par phosphorylation dans le noyau qui vont réguler la transcription des gènes cibles. C'est le cas de la voie de l'AMP cyclique qui phosphoryle la PKA qui elle même active la protéine CREB.

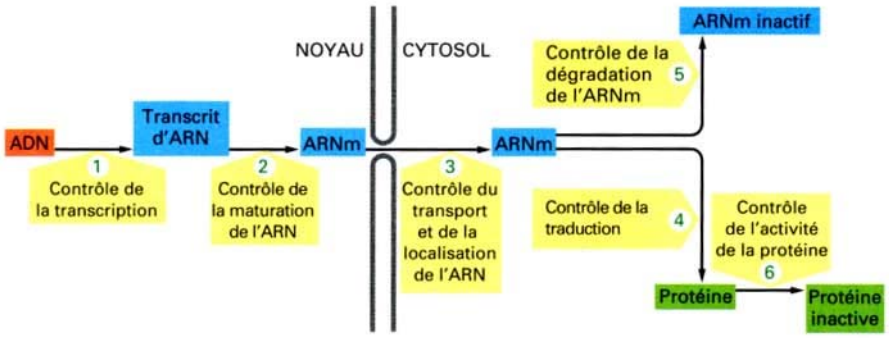


Figure 22 - Les étapes contrôlées de l'expression génique des eucaryotes (Alberts, 2004)

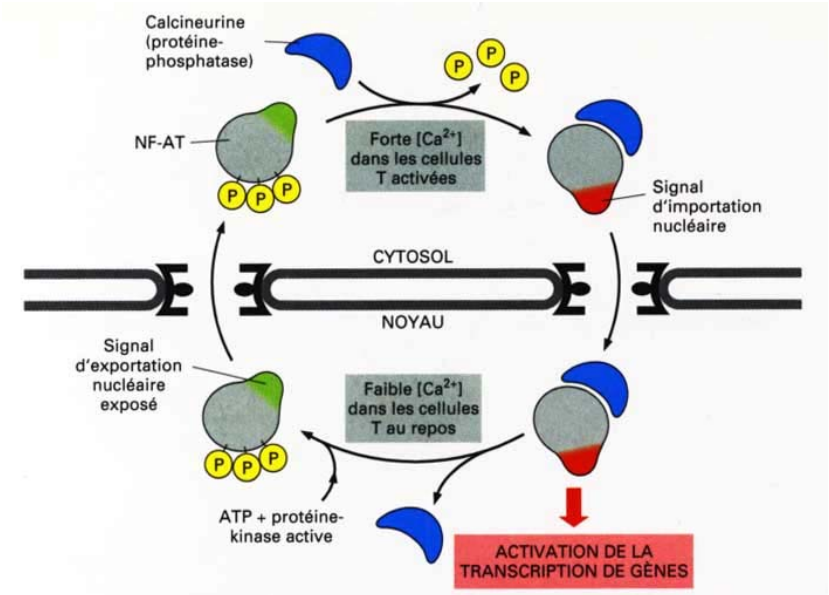


Figure 23 - Contrôle de l'importation nucléaire pendant l'activation des lymphocytes T
Le facteur nucléaire des cellules T activées, NF-AT, est confiné dans le compartiment cytosolique par phosphorylation. L'activation des lymphocytes provoque l'augmentation de la concentration de Ca^{++} cellulaire qui active la calcineurine qui s'associe à NF-AT et le déphosphoryle, permettant sa translocation nucléaire. Dans le noyau NF-AT active la transcription de gènes spécifiques. A la fin de l'activation, la baisse de la concentration de Ca^{++}, au niveau nucléaire induit la dissociation de la calcineurine et la phosphorylation de NF-AT qui est transporté dans le cytoplasme (Alberts, 2004).

D'autres protéines régulatrices de gènes sont fixées sur des protéines cytosoliques inhibitrices qui les amarrent au cytosol ou masquent leurs signaux de localisation nucléaire de telle sorte qu'elles ne peuvent interagir avec les récepteurs d'importation nucléaire. Lorsque la cellule reçoit un stimulus approprié, la protéine régulatrice est libérée de son ancrage cytosolique et est transportée dans le

noyau. Parmi les exemples, nous pouvons citer (1) les récepteurs des stéroïdes pour lesquels la liaison au stéroïde est indispensable pour assurer la translocation nucléaire, (2) la dissociation de dorsal et de cactus qui conduit à la translocation nucléaire de dorsal qui permet de définir le pôle ventral de l'embryon de drosophile. Alternativement, la formation d'un complexe peut-être nécessaire pour promouvoir la translocation nucléaire, comme l'association des protéines Lef-β-caténine qui contrôle l'induction du mésoderme chez le xénope.

La compartimentation cellulaire est également indispensable à la régulation d'un second messager ubiquiste : le Ca^{++}. De nombreux signaux extracellulaires conduisent à l'augmentation de la concentration cytosolique de Ca^{++}. Par exemple, la voie de transduction médiée par les récepteurs couplés aux protéines G (Gαq) induisent la formation d'IP3 et conduisent à l'ouverture de canaux calcium de citernes du RE (Figure 24). Dans beaucoup de cellules sécrétrices, y compris les cellules nerveuses, le Ca^{++} déclenche la sécrétion. Le Ca^{++} peut servir ainsi de signal car sa concentration est normalement maintenue très basse dans le cytosol et élevée dans le liquide extracellulaire et la lumière du RE. Ces différences de concentration sont maintenues par l'intermédiaire de pompes à Ca^{++}. L'augmentation de la concentration de Ca^{++} cytosolique permet de promouvoir la fusion de vésicules sécrétoires dans des processus cellulaires telles que la réponse à des signaux hormonaux ou la libération de neurotransmetteur (voir plus loin). L'augmentation de la concentration de Ca^{++} cytosolique provoque également la contraction des cellules musculaires.

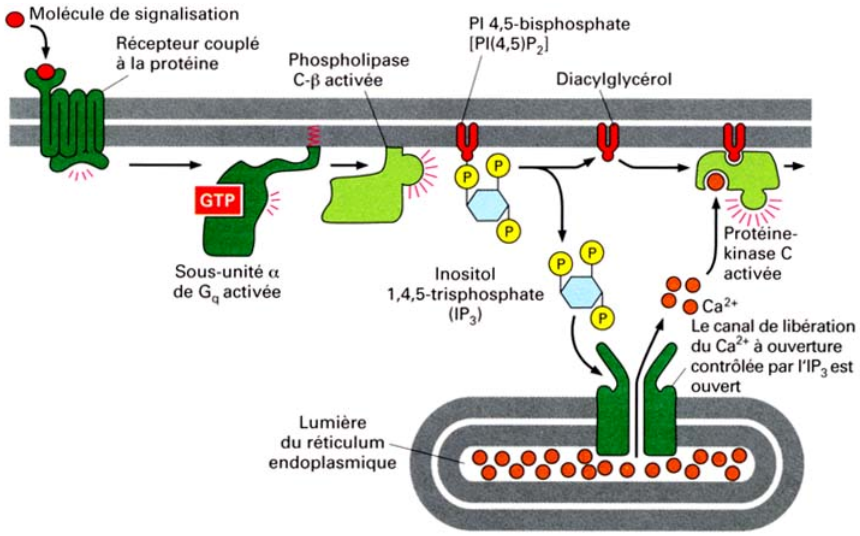


Figure 24 - La voie de transduction des inositol phospholipides.
Le récepteur activé stimule la phospholipase C-b par l'intermédiaire de la sous unité a de la protéine G_q. le PI 4,5 biphosphate est hydrolysé en diacylglécrol et en IP3. IP3 diffuse à travers le cytosol et libère le Ca++ du RE en se fixant sur des canaux de libération du Ca^{++}. Le diacylycérol permet l'association à la membrane de la PKC, elle-même activée par la libération du Ca^{++} (Alberts, 2004).

Les voies de biosynthèse-sécrétion et d'endocytose jouent des rôles majeurs dans les communications cellulaires. La voie de biosynthèse-sécrétion régulée permet à la cellule de modifier les molécules qu'elle produit par une série d'étapes, de les stocker jusqu'à ce qu'elles soient

utilisées puis de les délivrer à l'extérieur de la cellule par exocytose. **Ce système permet de libérer simultanément des quantités importantes de molécules dans le milieu extérieur (enzymes, hormones, neuro-médiateurs…) ce qui est nécessaire pour assurer leur fonction (K affinité, vitesse de la réaction).** Les vésicules sécrétoires attendent près de la membrane plasmique jusqu'à ce qu'elles reçoivent le signal de libérer leur contenu. Ce signal est souvent un messager chimique comme une hormone qui se fixe sur des récepteurs à la surface cellulaire ou une excitation électrique dans les terminaisons nerveuse. Ces signaux engendrent souvent une augmentation du Ca^{++} libre dans le cytosol qui déclenche la fusion des vésicules sécrétoires avec la membrane plasmique. Ainsi les réponses endocrines impliquent exocytose et endocytose.

Les **vésicules synaptiques** sont également des éléments clefs de la transmission nerveuse au niveau des synapses chimiques. Les cellules nerveuses contiennent un deuxième type de vésicules sécrétoires, de taille plus petites (50 nm) appelées vésicules synaptiques. Ces vésicules synaptiques mettent en réserve de petites molécules de neurotransmetteurs comme l'acétylcholine, le glutamate, la glycine ou le GABA qui sont les intermédiaires d'une signalisation rapide de cellule à cellule au niveau des synapses chimiques. Les précurseurs des vésicules synaptiques sont produites dans le corps cellulaire et doivent ensuite voyager le long de l'axone jusqu'à la terminaison nerveuse qui peut être éloignée de plus d'un mètre. Les protéines motrices de la famille des kinésines propulsent les vésicules (ainsi que des mitochondries et des vésicules de transport) le long des microtubules axonaux dont l'orientation uniforme (pôle + à l'extrémité axonale) guide les vésicules dans la bonne direction : c'est le transport antérograde. Dans les neurones le signal est en général déclenché par un transmetteur chimique se fixant sur un récepteur qui génère un potentiel d'action qui parcourt l'axone et atteint la synapse. A ce niveau le potentiel d'action provoque une entrée de Ca^{++} à travers les canaux à Ca^{++} à ouverture contrôlée par le voltage. La fixation du Ca^{++} sur des capteurs spécifiques déclenche alors la fusion des vésicules sécrétoires avec la membrane plasmique et la libération de leur contenu dans l'espace extracellulaire. Les vésicules synaptiques libèrent leur contenu en une fraction de milliseconde (Figure 25). Pour finir, les anciens composants issus des terminaisons axonales sont ramenés vers le corps cellulaire pour leur recyclage et leur dégradation, ce transport axonal rétrograde est assuré par des vésicules transportées par le même réseau de microtubules en utilisant comme protéine motrice la dynéine (direction pole moins des microtubules).

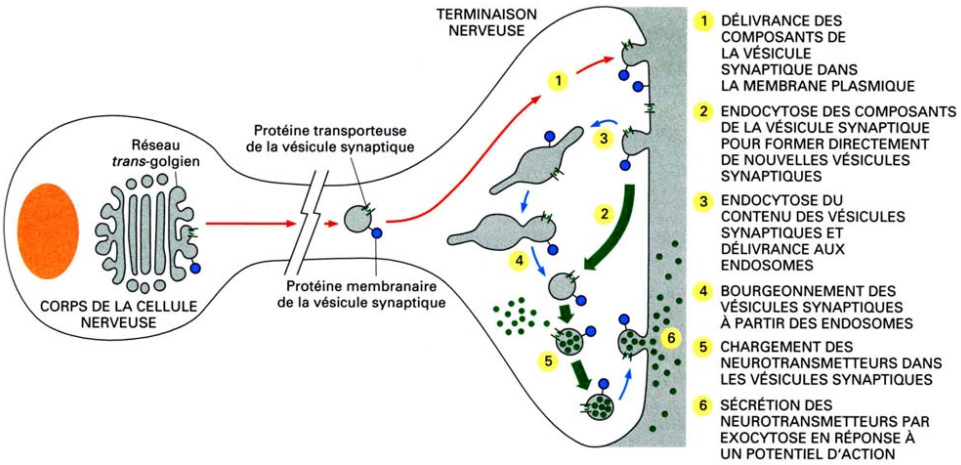


Figure 25 - Formation des vésicules synaptiques (Alberts, 2004)

L'endocytose et l'exocytose sont requises par système immunitaire des vertébrés notamment pour assurer la maturation des complexes MHC de classe I et II. Enfin les exosomes et les vésicules bourgeonnantes correspondent à de nouveaux organites passant d'une cellule à l'autre et jouant le rôle de messager intercellulaire. Les exosomes sont des vésicules de 50 à 90 nm secrétés par de nombreux types cellulaires de mammifères (Figure 26). Découverts initialement lors de la maturation réticulocytes, ces structures permettent une élimination sélective de nombreuses protéines de la membrane plasmique. Certaines cellules du système immunitaires, telles que les cellules dendritiques et les lymphocytes B sécrètent des exosomes et les scientifiques pensent qu'ils jouent un rôle fonctionnel dans la réponse immune adaptative aux pathogènes et aux tumeurs.

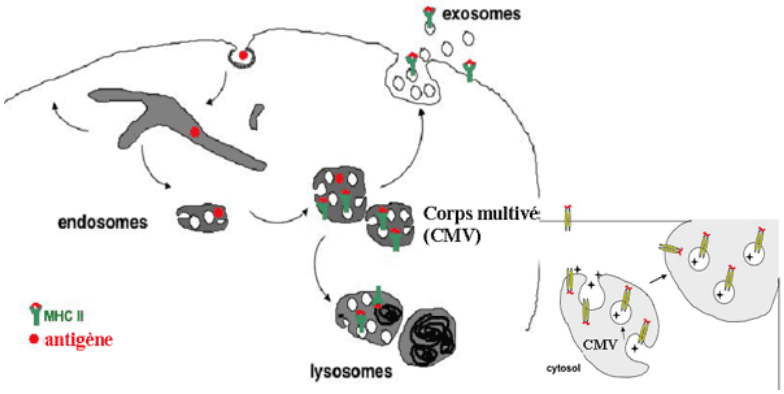


Figure 26 - La production des exosomes à partir des corps multivésiculaires

Les premières tentatives de vaccination contre le cancer par des exosomes sont actuellement en développement clinique. Les exosomes peuvent également contenir des ARNm et des microARN fonctionnels et pourraient être transférés d'une cellule à l'autre et ainsi réguler la production des protéines de la cellule receveuse. Ces ARN sont appelés « ARN de la navette exosomale ». Les vésicules bourgeonnantes sont des vésicules formées à partir de la membrane plasmique, qui, comme les exosomes, sont capable d'interagir avec des cellules cibles. Les premières vésicules de ce type ont d'abord été identifiées comme médiateurs de la coagulation sanguine et de l'inflammation (transfert de CCR4, CC5 et d'IL-6). Ces vésicules joueraient un rôle également dans la tumorigénèse.

CONCLUSIONS

Origine des compartiments

La compartimentation chez les cellules procaryotes ancestrales a permis aux premiers eucaryotes d'augmenter de taille, de capter de l'énergie plus efficacement et de réguler l'expression des gènes d'une manière plus complexe. Les principales hypothèses émises sur l'origine des organites sont présentées ci-dessous.

Les procaryotes ancestraux délimitaient l'espace en deux partie : l'intérieur et l'extérieur. Notamment l'hydrolyse des macromolécules organiques complexes (y compris leurs propres constituants) avait lieu à l'extérieur de la cellule alors que la biosynthèse de macromolécules était effectuée au sein de la cellule. Cette organisation nécessitait d'exporter le matériel de digestion (enzymes hydrolytiques rattachées à la surface cellulaire ou sous forme de produits de sécrétion libres) et de capter les produits de digestion. Ainsi l'adressage et le transport des protéines à travers les membranes ont constitué la première étape vers la compartimentation. Dans les bactéries contemporaines, les protéines sont transportées à travers la membrane après l'achèvement de leur synthèse, ce qui indique que cette translocation post-traductionnelle a été le mécanisme primitif.

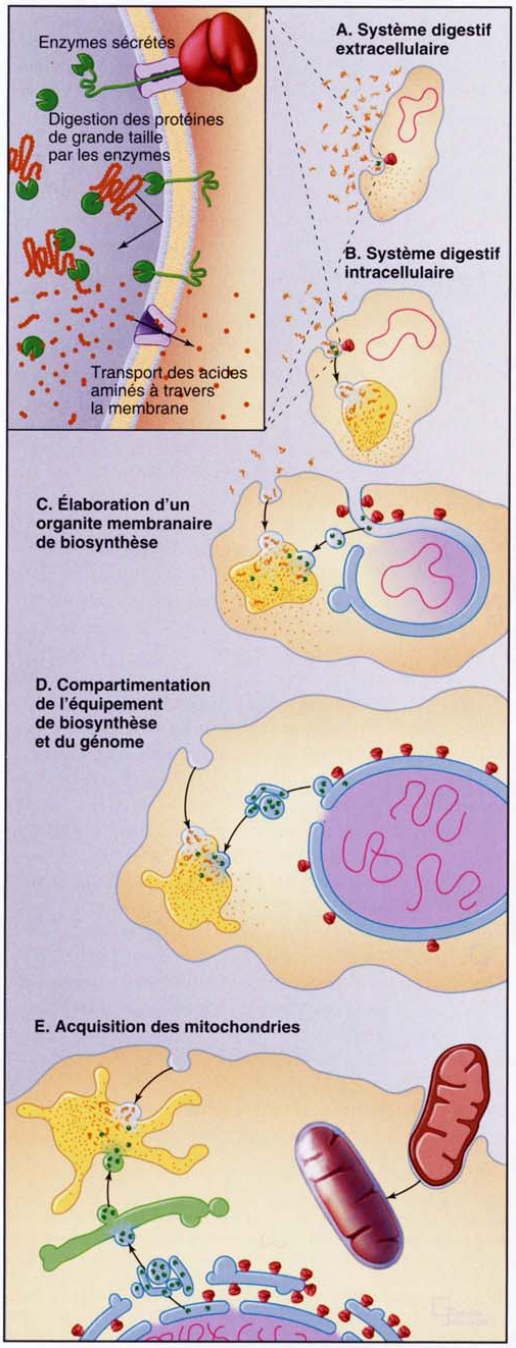


Figure 27 - Origine des compartiments subcellulaires

Des sous-domaines fonctionnels distincts de la membrane plasmique des procaryotes ancestraux pourraient avoir été créés par ségrégation latérale de complexes protéiques. Chez les bactéries contemporaines, les régions de la membrane impliquées dans la production d'énergie sont en effet physiquement séparées des régions responsables de la translocation protéique. Une hypothèse est que les invaginations des sous-domaines de la membrane plasmatique impliquées dans la synthèse des lipides membranaires et de la translocation des protéines aient pu donner naissance à un organite intracellulaire de biosynthèse qui persiste aujourd'hui sous la forme

du réticulum endoplasmique (Figure 27). De même l'internalisation des enzymes d'hydrolyse sécrétées avec les nutriments provenant de l'environnement a pu créer un lysosome primitif dérivé de la membrane plasmique. Le couplage de ces deux processus augmenterait l'efficacité de la digestion et l'absorption des nutriments macromoléculaires. La présence de deux organites intracellulaires rend nécessaires des vésicules de transport dont les éléments lipidiques et protéiques pourraient être synthétisées dans le réticulum endoplasmique primitif.

Cette stratégie de division des tâches et de spécialisation a pu être utilisée un grand nombre de fois et entraîner un affinement du système membranaire interne. Chaque étape de séparation rend nécessaire la mise en place d'un niveau supplémentaire de communication réciproque entre les vésicules et un nouveau jeu de signaux d'adressage. Ces évènements ont abouti au développement du système vacuolaire comprenant le reticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi, et le système des endosomes/lysosomes.

Plusieurs étapes supplémentaires ont été indispensables à l'ontogénie des compartiments. Le RE a évolué pour donner naissance à l'enveloppe nucléaire constituant le trait distinctif des eucaryotes. Cette organisation a permis à la cellule de développer un génome beaucoup plus complexe et de séparer la transcription de la traduction. Enfin quand l'oxygène est apparu dans l'atmosphère de nouveaux compartiments sont apparus pour exploiter ce puissant oxydant. Les peroxysomes ont émergé comme centres de dégradation oxydative, notamment de produits comme les acides aminés D, l'acide urique, la xanthine qui pouvaient être réutilisés dans la biosynthèse après digestion lysosomale. L'eucaryote contemporain le plus primitif semble être une amibe, *Pelomyxa palustris* qui ne possèdent pas de mitochondries. Les mitochondries puis les chloroplastes seraient à l'origine des bactéries ingérées par un organisme proto-eucaryote. Les précurseurs mitochondrie et des chloroplastes ont apporté leurs propres génomes dont la majorité a été transférée vers le noyau au cours de l'évolution

Qu'advient-il des organites lors de la division cellulaire ?

<u>La plupart des organites sont formés à partir d'un organite préexistant</u>

Quand une cellule se reproduit par division, elle doit dupliquer ses organites entourés d'une membrane. En général, les cellules agrandissent les organites existant en y incorporant de nouvelles molécules. Les organites agrandis se divisent et se distribuent aux deux cellules filles. Chaque cellule fille hérite de la cellule mère d'un groupe complet d'organites spécialisés. Cet héritage est essentiel car une cellule ne peut fabriquer ces membranes ex nihilo. Par exemple, la cellule est incapable de générer le RE : en effet, les protéines membranaires qui définissent le RE sont elles-mêmes des produits du RE. Un nouveau RE ne pourrait pas se fabriquer sans un RE préexistant ou sans une membrane contenant spécifiquement les protéines de translocation nécessaires à l'importation de certaines protéines du cytosol au RE. C'est également vrai pour les mitochondries les plastes et en partie pour les peroxysomes. Il semble ainsi que les informations nécessaires pour construire un organite entouré d'une membrane ne résident pas uniquement dans l'ADN qui code pour les protéines de cet organite. Il faut également une information épigénétique sous forme d'au moins une protéine distincte qui préexiste dans la membrane de l'organite.

A l ‘inverse, de nombreuses vésicules sont formées à partir du RE, de la membrane plasmique, de l’appareil de Golgi : il n’est pas indispensable que ces éléments soient transmis lors de la division cellulaire. Jusqu’à récemment, il était admis que les peroxysomes étaient générés à partir de peroxysomes préexistants. La découverte de cellules mutantes ne possédant pas de peroxysomes a permis de provoquer la synthèse expérimentale de peroxysomes dans ces cellules. Ainsi les peroxysomes peuvent être générés de deux façons : de novo et par croissance et division.

L’évolution a conduit à des modes très différents de genèse du noyau de la division de cet organite à une re-création de novo après chaque mitose.

Au cours de l’évolution des eucaryotes, l’appareil mitotique n’a visiblement pas évolué en une seule fois. Dans beaucoup d’eucaryotes primitifs, comme certains dinoflagellés, la mitose dépend d’un mécanisme d’attachement sur la membrane au cours duquel les chromosomes doivent se fixer sur la membrane nucléaire interne pour leur ségrégation. La membrane nucléaire reste intacte pendant toute la mitose et les microtubules du fuseau mitotique restent totalement à l’extérieur du noyau. Un fuseau plus développé quoique encore extranucléaire s’observe chez les hypermastigotes, qui gardent aussi une enveloppe nucléaire tout au long de la mitose. Les organismes qui forment des fuseaux à l’intérieur d’un noyau intact peuvent représenter l’étape suivante de l’évolution des mécanismes mitotiques. Il est actuellement admis que la mitose « ouverte » des organismes supérieurs et la mitose fermée des levures et diatomées ont évolué séparément à partir d’un ancêtre commun possédant un fuseau proche de celui des hypermastigotes modernes.

La compartimentation : un processus réalisé à différentes échelles dans les organismes vivants. La compartimentation, permettant la division du travail, est un concept qui se rencontre à différentes échelles: au niveau de l’organisme par la spécialisation des organes, au niveau tissulaire grâce à l’existence de plusieurs dizaines de type cellulaires différents. Comme nous l’avons vu, la compartimentation cellulaire permet d’assurer des fonctions spécifiques dans les différents organites mais cette compartimentation se prolonge à une échelle plus petite. Par exemple, le noyau contient diverses structures sub-nucléaires et la membrane plasmique est régionalisée notamment grâce au transport vésiculaire. Le cytosol lui-même est régionalisé comme le montre la régionalisation de certains ARNm.

Pour conclure, la différence majeure entre cellules procaryotes non compartimentées et cellules eucaryotes compartimentées réside dans le nombre d’environnements différents disponibles. Alors que les bactéries ne disposent que des compartiments «intérieur » et « extérieur » pour assurer toutes le fonctions cellulaires, les cellules eucaryotes en disposent d’un grand nombre ce qui permet de compartimenter l’ensemble des activités métaboliques dans les meilleures conditions. Les avantages de la compartimentation sont indéniables mais cette dernière n’existe que grâce à des mécanismes complexes et exigeants pour assurer l’homéostasie de ces compartiments dans la cellule et leur renouvellement lors des divisions cellulaires. La compartimentation conduit à une plus grande indépendance de la cellule vis à vis du milieu extracellulaire qui est à la base de la réelle conquête du milieu aérien par le monde vivant.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	**Agrégation externe SV-STU 2009**			**n° de copie**			**signatures des correcteurs**			**Note finale**		
2	***Écrit du secteur A***									**#DIV/0!**	/20	
3	*si la copie est blanche, mettre **cb** ou **CB** dans la case jaune de la note harmonisée*								**note harmonisée =**		/20	
5	**A - Introduction**								Problèmatique			
6												
8	**B - Membranes**								Protéines membranaires			
9									Fluidité et asymétrie membranaires			
10									Diversité des membranes			
11												
13	**C - Analyse fonctionnelle des compartiments**			Description de la structure et de la fonction					RE, Golgi			
14									Lysosomes, peroxysomes, Vacuoles			
15									Mitochondries chloroplastes			
16									Cytosol			
17												
19	**D - Origine et évolution des organites**								Répartition au cours de la division cellulaire			
20												
22	**E - Méthodes d'analyse**			Microscopie optique et électronique, purification et analyse fonctionnelle des organites. Etude dynamique des comportements (crible génétique,					Exemple 2 *(3, 6 ou 10)*			
23									Exemple 3 *(3, 6 ou 10)*			
24												
26	**F - Modalités de passage d'un compartiment à l'autre**			A travers une membrane (aspects théoriques)			Voies de transports		Canaux et transporteurs			
27							Aspects énergétiques		Actifs, passifs et gradients			
28												
30				Transports vésiculaires			Différentes voies		RE-Golgi, Trans golgi-lysosomes (mannose-6P), endocytose, exocytose			
31									Aspects énergétiques			
32												
34				Adressage des protéines			Mécanismes spécifiques		machinerie de translocation (translocon)			
35									pores nucléaires			
36									mécanismes de transports vers mitochondrie et plastes			
37												
39	**G - Distribution de la matière**								Contrôle qualité ARN et protéines, localisation (transcytose)			
40									Réserve, stockage et leurs intérêts			
41									Protection et isolement			
42												
44	**H - Conversions énergétiques**			Principes généraux					Couplage chimio-osmotique et énergie de gradient			
45				Exemples au choix entre chloroplaste et mitochondrie					Transfert d'électron et création d'un gradient			
46									Utilisation du gradient pour la synthèse d'ATP			
47									Rôle du compartiment stromatique ou matriciel			
48												
50	**I - Transfert de l'information**								Régulation du calcium cytosolique			
51									Rôles de l'endocytose et de l'exocytose			
52												
54	**J - Elargissements et perspectives**								Nécessité de coopération et de coordination			
55									Aspects historiques : théorie cellulaire…			
56									Comparaison avec organismes non compartimentés			
57									Signification évolutive : multiplicité des environnements, rapport S/V			
58									Théorie endosymbiotique			
59									Pathologies			
60									Compartimentation à différentes échelles			
61												
63	**K - Plan**								Fil directeur			
64									Logique et organisation			
65									Clarté de l'exposé			
66									Lisibilité des schémas			
67									Démarche expérimentale			
68									Coup de cœur (pas d'équation possible)			
69											**0**	**sur**
70–77	**Commentaire général :**											

Agrégation SV-STU 2009 : Ecrit secteur B

Les sujets proposés aux épreuves écrites du concours d'agrégation sont très vastes et ne sauraient être traités de façon exhaustive en 5 heures. Ils veulent avant tout constituer un exercice qui doit permettre au candidat de prouver sa capacité à traiter une question scientifique avec rigueur et raisonnement. Le texte qui suit n'est donc pas à considérer comme un corrigé type du sujet. Il représente avant tout une réflexion qui doit permettre au lecteur :

- de comprendre dans quel esprit les membres du jury du secteur B ont appréhendé la correction de cette épreuve ;
- d'envisager les points principaux qui pouvaient être abordés.

Le lecteur remarquera que dans la grille de correction proposée (en fin de document), une ligne, dite bonus, est à la disposition du correcteur. Elle lui permet de valoriser soit des idées proposées par des candidats qui n'auraient pas été prévues dans la grille initiale, soit des raisonnements particulièrement pertinents sur des items inclus dans la grille. Une attention toute particulière a été portée à l'utilisation de la démarche expérimentale dans l'exposé des notions et à l'absence de dogmatisme. Un devoir bâti dans cet esprit a été fortement valorisé.

Sujet : La communication intraspécifique chez les animaux

Le premier contact avec le sujet pour un candidat se limite à quelques mots : un intitulé. Dans le cas présent, ces mots ne formaient pas 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 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 justifier d'une problématique et à exposer une idée directrice ou une méthode de travail que le plan soutiendra.

Introduction

Le monde biologique est rempli d'odeurs, de sons, de mouvements et de signaux électriques par lesquels les animaux interagissent entre eux dans différents contextes tels l'attraction du partenaire, la compétition pour les ressources, la recherche de la nourriture,… Toute communication implique au minimum deux individus, un émetteur et un récepteur. L'émetteur produit un signal qui est le support physique de l'information. Le signal entraîne une modification du comportement/état physiologique du récepteur. Le récepteur peut parfois utiliser cette information pour prendre des décisions qui se traduisent par une réponse comportementale. La réponse du récepteur est susceptible d'avoir des

conséquences sur la survie de l'émetteur aussi bien que sur la sienne propre. Tout échange d'information entre deux animaux n'est pas assimilable à une communication (ex. une souris qui fait du bruit en se déplaçant ne communique pas avec la chouette qui la chasse ; l'écholocation qui permet à un animal de s'orienter dans l'espace ou de repérer ses proies grâce à l'écho de ses propres sons n'est pas une communication). On considère qu'il y a communication quand ce processus représente un bénéfice en termes de survie de l'individu, du groupe, de l'espèce. De plus, le sujet demande de se restreindre à la communication intraspécifique, ce qui élimine de fait les situations plus ou moins litigieuses - mais parfois réelles - où une espèce utilise les signaux d'une autre.

La définition du terme « communication intraspécifique » étant posée, il faut maintenant expliciter la problématique du sujet. Remarque : la définition du terme « animale » ne doit pas faire l'objet d'un long développement.

La compréhension des phénomènes de communication animale demande d'envisager les étapes suivantes : le décryptage du fonctionnement de la chaîne de transmission de l'information en envisageant la diversité des signaux utilisés, leurs modalités de production par l'animal émetteur, de transmission dans l'environnement et de réception par l'animal récepteur, l'analyse des rôles biologiques des communications et des modalités de codage de l'information, l'étude des implications évolutives des communications, avec deux questions bien différentes : comment les processus de communication évoluent (en quoi participent-ils de la réponse adaptative de l'organisme à son milieu) ? et, en quoi les communications jouent-elles un rôle dans l'évolution des espèces ? Enfin, se pose la question de l'intérêt de la connaissance des mécanismes des communications animales d'un point de vue appliqué, tant dans le domaine de la protection des espèces animales, que de celui de la lutte contre les nuisances.

La problématique enfin posée, la dernière fonction de l'introduction est d'expliquer la méthode que le candidat souhaite mettre en œuvre pour traiter le sujet. 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 un simple exposé de connaissances illustrées liées à un titre, mais une progression logique avec des arguments articulés qui permettent de construire progressivement au long du devoir une réponse à une problématique proposée dans l'introduction.

Comme pour tout comportement animal, l'étude de la communication peut être abordée sous les quatre angles suivants (Niko Tinbergen, Ethologiste, prix Nobel de Médecine 1973) : les causes « immédiates » du comportement (modalités de production, transmission et réception des signaux), l'angle ontogénétique (génétique du comportement de communication, apprentissage de la production des signaux et de leur contexte d'utilisation), l'angle des rôles biologiques (fonctions) de la

communication, l'angle évolutif (double point de vue : adaptation des signaux de communication à leurs fonctions et rôle de la communication dans les processus d'évolution des espèces). L'étude du comportement animal est ainsi au carrefour de nombreuses disciplines : physiologie (dont les neurosciences mais aussi l'étude de l'ensemble des grandes fonctions vitales telles que la nutrition et la reproduction), écologie et évolution bien sûr, mais aussi anatomie, génétique,... Pour envisager la communication animale, il faudra donc adopter un point de vue intégratif et ne pas hésiter à changer d'échelle dans l'explication des phénomènes.

1. La chaîne de transmission de l'information

1.1. Les signaux, supports physiques de l'information

Définition des principaux signaux, leurs caractéristiques essentielles (nature physique, propriétés majeures telles que capacité à se propager dans le milieu), un exemple pour chacun (un tableau récapitulant ces données est apprécié). On attend ici non seulement une liste des signaux pouvant être utilisés par les animaux, mais surtout des informations concernant leurs propriétés (et donc leur intérêt à les utiliser où au contraire la difficulté à les employer dans telle ou telle condition).

Les signaux peuvent être des :

- signaux chimiques (phéromones : molécules, souvent émises en « bouquets », milieux aériens et aquatiques, peuvent être rémanents ou non, plus ou moins volatils, souvent grande intra-spécificité) ;

- signaux visuels (ondes électromagnétiques, statiques et/ou dynamiques, dépendants de la qualité et de la quantité de lumière ambiante sauf en grand profondeur sous-marine où les photons sont générés par l'animal lui-même, propagation sensible aux obstacles physiques –telle la végétation) ;

- signaux acoustiques et vibrations du substrat (ondes mécaniques, produites par vibrations de structures anatomiques –soit via passage de flux d'air, soit par frottement entre deux surfaces dures, utilisables dans l'eau comme dans l'air, grande portée potentielle, faible rémanence) ;

- signaux tactiles ;

- signaux électriques (dans l'eau seulement, nécessité d'organes spécialisés –d'origine musculaire, utilisés essentiellement par des poissons, surtout en milieu trouble).

Le tableau ci-après résume les grandes propriétés des signaux (estimées et en moyenne).

Signal	**propriété requise du milieu**	**portée maximale**	**localisation**	**modulation temporelle**	**« complexité »**	**rémanence**	**« coût » énergétique de production**
Visuel	Lumière ambiante	Moyenne	Bonne	Rapide	Haute	Variable	Variable
Auditif	Air ou eau	Grande	Moyenne	Rapide	Haute	Courte	Elevé
Chimique	Eventuel--lement courant d'air ou d'eau	Grande	Variable	Lente	Faible	Longue	Faible
Electrique	Eau	Courte	Bonne	Lente	Faible	Courte	Elevé
Tactile	Aucun	Courte	Bonne	Moyenne	Moyenne	Courte	Variable

A l'issue de cette liste commentée, on attend une généralisation sur ce qu'est « un signal de communication ».

Un signal est donc un processus physique (en principe une onde ou assimilable à une onde), qui code de l'information via des paramètres de fréquence, d'amplitude et temporels (paramètres de fréquence, ex. son aigu/grave ; paramètres d'amplitude, ex. intensité sonore ; paramètres temporels, ex. rythme d'émission et modulations de fréquence et d'amplitude). Les signaux chimiques peuvent être assimilés à une onde, spectre de fréquence : composition moléculaire du signal plus concentration relative des composés, amplitude : concentration du bouquet phéromonal, paramètres temporels : variations dans le temps de la composition et de la concentration du bouquet phéromonal).

1.2. La production des signaux

La génération et l'émission du signal par l'émetteur constituent la première étape d'une communication animale. Il faut détailler ici les processus par lesquels les signaux sont élaborés par l'organisme et comment leur émission est contrôlée.

Des organes souvent spécialisés…

On évitera le catalogue mais, au contraire, détaillera un exemple afin de préciser l'ensemble de la chaîne anatomo-morphologique et du contrôle moteur impliqué dans la fabrication d'un signal donné. Un schéma fonctionnel bien annoté est suffisant.

- un exemple d'organe producteur de signal de communication montrant 1) l'existence de structures anatomiques spécialisées dans l'émission d'un signal donné (ex. syrinx des oiseaux chanteurs, cymbale des homoptères, stridulation du grillon, glandes phéromonales des abeilles, larynx des mammifères …), 2) la présence d'un contrôle nerveux et éventuellement hormonal (ex. noyaux du chant dans le cerveau des oiseaux).

On généralise…

Certains signaux sont plus difficiles à émettre, plus coûteux en énergie. Les propriétés des signaux sont fonction de la biophysique et de la biochimie de l'émission et de l'adéquation entre l'organe émetteur et l'environnement.

…et pilotés par la génétique, l'apprentissage et le contexte

On montre ici que la capacité à émettre un signal de communication peut être pilotée par divers facteurs, susceptibles d'interagir de façon compliquée.

Il peut s'agir d'un :

- possible contrôle génétique de la structure des signaux produits (ex. expériences de croisement inter-spécifique avec effet sur le rythme du chant chez grillon, drosophile) ;

- rôle limitant des capacités anatomo-physiologiques de l'animal (ex. seuls de « gros » animaux peuvent émettre des sons graves ; l'homme ne peut pas émettre d'ultrasons,…) ;

- possible apprentissage de la production des signaux (le modèle expérimental le plus abouti est celui des oiseaux chanteurs : il faut décrire ici des expériences d'isolement des oisillons permettant de mettre en évidence que les jeunes doivent apprendre leur chant en copiant un tuteur. Ce modèle est également l'occasion de changer d'échelle pour l'étude des processus biologiques en jeu : c'est dans les noyaux cérébraux moteurs pilotant le chant chez l'oiseau qu'a été mise en évidence pour la première fois une neurogenèse chez un vertébré adulte) ;

- possible apprentissage du contexte d'utilisation (un exemple livresque est celui des signaux d'alarme chez les singes vervets où des cris de trois structures acoustiques différentes sont émis dans trois contextes de prédation différents – attaque aérienne par un aigle, attaque terrestre – léopard par exemple, et arrivée d'un serpent. L'utilisation adéquate de ces cris par les jeunes est soumise à un apprentissage) ;

- la décision d'envoyer ou non un signal à un moment donné, son niveau de complexité et de puissance (son intensité) sont fonction de l'état énergétique et psychologique de l'émetteur, ainsi que des risques encourus (prédation, présence de congénères – compétiteurs ou alliés -, modulation hormonale, etc.).

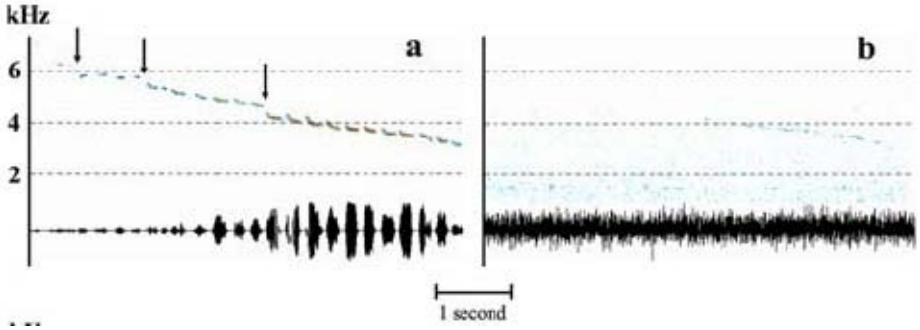
1.3. La transmission des signaux dans l'environnement

Cette partie, qui peut être courte, n'en est pas moins indispensable. Pour passer de l'émetteur au récepteur, tout signal devra traverser un « canal de transmission » selon le terme consacré (on dit aussi « canal de propagation »). Cette traversée n'a rien d'anodine pour la communication : le canal de transmission va agir comme un filtre, modifiant le signal émis. La conséquence est majeure : le signal reçu par l'animal récepteur ne peut être identique au signal envoyé par l'émetteur. En utilisant un exemple démonstratif, le candidat doit montrer cette contrainte, potentiellement majeure, qui pèse sur tout processus de communication.

La portée d'un signal dépend de ses caractéristiques physiques et des contraintes du milieu. On peut citer comme exemple la différence entre les milieux ouverts (sans végétation) et les milieux forestiers pour la propagation des signaux acoustiques et visuels (ex. réverbération des sons en forêt => modification de la durée des signaux), la différence eau/air pour la propagation des sons (le milieu aquatique est idéal pour la transmission des ondes sonores), l'importance des courants d'eau et d'air pour la propagation des phéromones.

La figure ci-dessous présente le chant d'un oiseau de forêt tropicale après 1 mètre (a) et 100 mètres (b) de propagation : après transmission, seule les notes de la seconde moitié du chant émerge encore - avec difficulté - du bruit de fond (abscisse = temps ; ordonnées = fréquence – hauteur - du son en kilohertz).

Les flèches n'ont pas d'utilité ici.



1.4. La réception des signaux

La réception du signal par l'animal émetteur est bien sûr une étape cruciale du processus de communication. Cette partie du devoir, ainsi que la suivante, détaille les processus par lesquels les signaux sont intégrés par l'organisme au niveau de structures réceptrices (transduction en signaux nerveux), comment l'information est décodée et les conséquences sur l'animal récepteur en terme d'état physiologique et de réponse comportementale. Là encore, on évitera le catalogue mais, au contraire, détaillera un exemple. Un schéma fonctionnel bien annoté est suffisant.

Chimioréception, photoréception, électroréception, audition. Un exemple détaillé d'une des modalités permet de présenter l'ensemble de la chaîne de réception depuis la stimulation de l'organe récepteur, le codage nerveux, jusqu'à l'intégration par le système nerveux central (exemples pouvant être utilisés : organe auditif chez le grillon champêtre ; organe voméronasal des mammifères ; réception des phéromones par l'antenne du Bombyx ; œil des Vertébrés, etc.).

En vue d'une généralisation, les principes suivants doivent être explicités : un récepteur sensoriel est une fenêtre ouverte sur le monde extérieur (c'est un filtre, sensible à une certaine bande passante du signal ; ex. l'oreille des chauve-souris est sensible aux ultra-sons, pas l'oreille humaine), en charge de la transduction du signal de communication en un signal nerveux.

1.5. Interprétation des signaux et décision

Perception et classification du signal par le système nerveux central : reconnaissance, éventuelle discrimination entre les signaux et classification des signaux perçus.

Interprétation du signal et extraction de l'information du signal. Traitement de l'information (ex. rôle des aires associatives corticales chez Vertébrés).

Élaboration de la réponse au signal (décision) sur la base de l'interprétation du signal par le système nerveux central. Des alternatives à une réponse comportementale directe existent, telle l'attente de la réception de signaux complémentaires. Mise en jeu possible de la mémoire à court et long terme.

Conclusion au 1.

La triade « émetteur-signal-récepteur » constitue le schéma de base de la communication. Cependant, la situation est la plupart du temps plus complexe : les systèmes naturels s'organisent souvent en « réseaux de communication », où chaque individu peut-être à la fois émetteur et récepteur. La possibilité d'auditeurs non souhaités, parasitant l'information, est également fréquente.

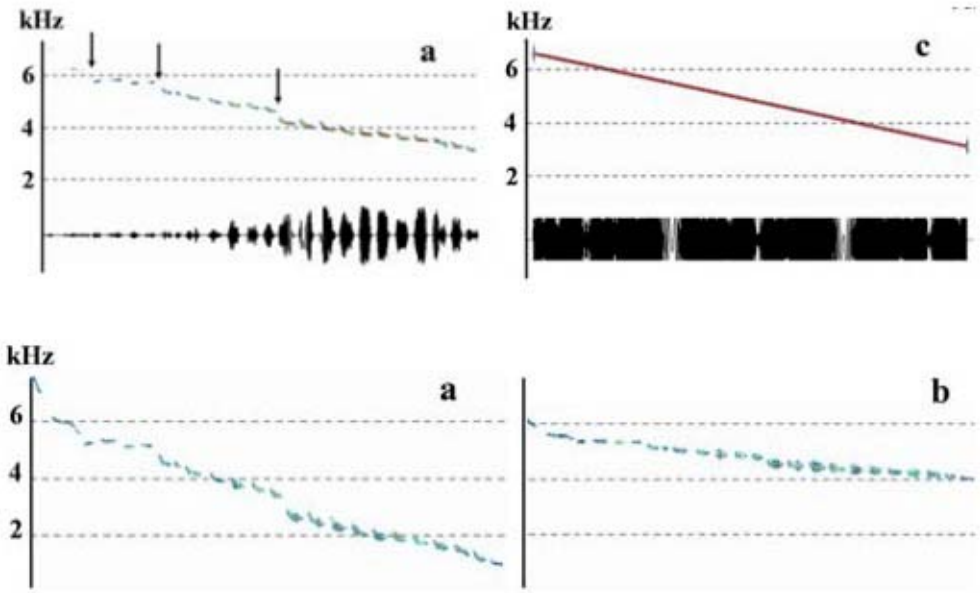
2. Les fonctions de la communication

Deux aspects sont envisagés ici. Tout d'abord la question du codage de l'information. On a déjà expliqué qu'un signal de communication est un processus physique, support de l'information. Il faut montrer ici comment la structure du signal peut coder de l'information, et envisager la diversité des informations codables. Ensuite, l'étendue des rôles biologiques des communications animales dans trois contextes essentiels : les relations entre partenaires sexuels, les relations parents-jeunes, les relations avec les autres individus de l'espèce.

2.1. Le codage de l'information

Qu'est-ce qu'un code ?

En utilisant un exemple, on montre comment coder de l'information dans un signal. Un exemple pratique car assez simple est celui des signaux lumineux de certaines lucioles : leur fréquence d'allumage et la « forme » du signal dépend de l'espèce. La danse des abeilles fournit un autre exemple en principe assez connu (même si cette fameuse danse est en fait loin d'avoir livré tous ses secrets) : « distance à la nourriture », « direction par rapport au soleil », « nature de la nourriture » sont codées par des paramètres distincts. Un autre exemple peut être trouvé dans les modalités du codage de l'identité spécifique et individuelle dans le chant de l'oiseau comme l'illustre la figure ci-dessous à propos de l'espèce d'oiseau de forêt tropicale déjà mentionnée :



Expérience permettant de comprendre le codage de l'identité spécifique chez un oiseau, la paruline à sourcils blancs *Basileuterus leucoblepharus.* On fait écouter à des mâles divers signaux : (a, ligne du haut) chant témoin d'un mâle de leur espèce, (c) son de synthèse respectant la modulation lente de fréquence du chant, (a, ligne du bas) chant dont la modulation de fréquence a été accentuée (le chant

est plus aigu au départ et plus grave à l'arrivée que le chant témoin), (b) chant dont la modulation de fréquence a été réduite. Seuls les deux signaux du haut (témoin et synthèse) induisent une réaction territoriale : ce sont les seuls à être reconnus comme des chants de l'espèce par les mâles testés. L'identité de l'espèce est donc codée par la modulation de fréquence lente dans ce chant : dès que l'on modifie ce paramètre, la reconnaissance disparaît.

Notion de codage discret (un répertoire de plusieurs signaux de structure différente, chacun codant pour une ou plusieurs informations différentes) et de codage gradé ou gradué (un type de signal dont les caractéristiques peuvent être modifiées graduellement pour coder une information différente ; ex. aboiement du chien).

Ces considérations devraient être suivies ou précédées d'un bref exposé des principes de la théorie de l'information (notion de volume/quantité d'information, de bande passante, de rapport signal/bruit, de redondance de l'information).

<u>Informations codées dans les signaux de communication</u>

Pour illustrer la puissance des codes utilisés par les communications animales, on liste les différentes informations susceptibles d'être portées par les signaux : signatures d'identité (espèce, groupe, sexe, individu), informations liées à l'environnement (ex. présence et localisation de la nourriture, de prédateurs), informations liées à l'état (physiologique et mental) de l'émetteur (parades nuptiales, signaux montrant l'état de réceptivité sexuelle, âge,…).

On n'attend pas ici de détails sur ces informations. En effet, l'exposé des rôles biologiques des communications animales va en donner l'occasion.

2.2. Le choix du partenaire et la sélection sexuelle

Pour cette partie et celles qui suivent (jusqu'à **2.7***), le candidat devra faire des choix devant le nombre important de modèles animaux étudiés. Mieux vaut un seul exemple illustrant clairement l'idée qu'une liste de noms d'espèces sans données précises.*

Dans le même ordre d'idée, chacune de ces sous-parties constitue un vaste domaine d'étude (ainsi la recherche sur les tenants et les aboutissants du choix du partenaire et de la sélection sexuelle n'est pas prêt de tarir). Dans le cadre du devoir, un seul exemple démontrant clairement le rôle de la communication et ses implications dans ces processus suffit.

Ce choix peut se faire par des signaux informant sur l'identité spécifique et les caractéristiques individuelles de l'émetteur (état physiologique - réceptivité sexuelle, niveau d'agressivité -, statut social - dominant, dominé -, son histoire de vie, patrimoine génétique). Le plus souvent, il y a

utilisation de plusieurs canaux de communication concomitamment (signaux visuels, acoustiques et chimiques ; ex. lors des parades nuptiales des cervidés).

2.3. La communication parents-jeunes

Elle est très développée chez les animaux pratiquant les soins aux jeunes (nombreuses espèces de poissons, crocodiles, oiseaux, mammifères). Les signaux permettent d'une part, la reconnaissance parents-jeunes (processus particulièrement développé lorsque le risque de confusion est élevé, tel dans les colonies d'oiseaux marins et de pinnipèdes) et, d'autre part, la quémande alimentaire par les jeunes (l'intensité des signaux de quémande est en principe corrélé à l'état de satiété).

2.4. La compétition territoriale

Les signaux territoriaux sont caractérisés, en principe, par leur grande portée (ex. chants des oiseaux) et/ou leur rémanence temporelle (ex : marquage par les carnivores). La structure du signal peut être corrélée aux capacités physiques de l'émetteur (permet l'évitement des affrontements physiques directs) ; les signaux peuvent parfois permettre la reconnaissance entre compétiteurs voisins (et ainsi permettre d'éviter des combats = principe du « cher ennemi »).

2.5. La reconnaissance de parentèle et/ou du groupe social

Il s'agit ici d'un rôle tout à fait primordial des communications animales.

Souvent observée lors des interactions parents-jeunes, la reconnaissance de parentèle peut s'étendre aux autres membres du groupe familial, par ex. sociétés d'insectes eusociaux (certains Hyménoptères, Isoptères).

La mise en place de la reconnaissance de parentèle peut s'effectuer selon deux grandes modalités :

- par reconnaissance phénotypique (ex. chez la souris, les individus préfèrent des congénères à odeur semblables ; or les molécules odorantes dépendent du CMH des individus) ;
- par apprentissage (ex. la jeune otarie apprend à reconnaître la voix de sa mère dans les 2-5 jours qui suivent sa naissance).

2.6. Le signalement du statut social

Dans un groupe social (ex. chez insectes, poissons, oiseaux, mammifères), le signalement du statut de l'individu est une donnée importante permettant la structuration du groupe (dominant/dominé, reproducteur/non reproducteur, sexe, âge, signatures individuelles et de groupe,…). Ces signaux sont souvent corrélés à l'état physiologique du moment (ex. protrusion sexuelle des singes femelles), mais aussi à l'histoire passée de l'individu (notion de « badges de statut »).

2.7. La coordination sociale

Les stratégies de communication antiprédatrices

Elles se manifestent par des signaux d'alarme et de détresse, dont la structure est adaptée à la fonction (voir l'exemple des singes vervets cités plus haut ; il y a également des exemples chez les oiseaux – mésanges qui modifient la longueur de leur cri d'alarme en fonction de la taille du prédateur repéré). Ce sont souvent des signaux que leur structure rend difficiles à localiser par le prédateur.

Les collaborations au sein du groupe social peuvent s'illustrer par une :

- coopération pour la recherche de nourriture (ex. danse des abeilles ; chasse en groupe des grands carnivores) ;
- utilisation de signaux lors des alliances sociales (ex. au sein des groupes de singes).

Conclusion au 2.

La communication est le processus fondateur de toute interaction sociale.

Il serait judicieux dans cette conclusion d'aborder les notions d'altruisme et de bénéfice réciproque (amenée par les cris d'alarme, les quémandes alimentaires des jeunes). Les rapports coûts/bénéfices et un élargissement à la théorie des jeux sont aussi envisageables (tant que ces notions restent maniées avec circonspection ; on attend du candidat qu'il sache faire la différence entre théorie et preuve expérimentale).

3- Communication et évolution

Deux aspects peuvent être différenciés :

- les contraintes pesant sur les mécanismes de communication et les adaptations associées (on s'intéresse alors à l'évolution des communications animales) ;

- le rôle des communications animales dans l'évolution des espèces (en en particulier leur intervention dans les phénomènes de spéciation).

3.1. Contraintes anatomo-physiologique sur la production et la réception des signaux

Adaptations structure-fonction

La taille de l'animal, sa température interne, son organisation anatomo-morphologique sont autant de facteurs qui contraignent les possibilités d'émission et de réception des signaux. Ces facteurs sont souvent liés à des contraintes phylogénétiques (ex. les oiseaux chanteurs ont une syrinx et un contrôle nerveux moteur associé qui leur permet d'émettre des signaux acoustiques potentiellement complexes ; les crocodiles n'ont pas d'organe émetteur d'onde sonore spécialisé), et peuvent être modulés par des facteurs ontogénétiques (maturité sexuelle) ou dépendants de l'environnement (température externe chez hétérothermes par exemple). En conséquence, chaque animal dispose d'une gamme de signaux de communication potentiels. Cette gamme diffère entre les espèces, les populations, voire les individus.

« Co-évolution » émetteur-récepteur

Il existe une correspondance (pas toujours parfaite) entre les caractéristiques du signal émis par l'émetteur et les possibilités de réception par l'animal récepteur (idée de co-évolution organes émetteurs – organes récepteurs ; ex. correspondance entre les fréquences des sons émis et les fréquences pouvant être perçues par l'oreille – idem pour électrorécepteurs des poissons communiquant par ondes électriques).

3.2. Contraintes sociales et évolution des signaux

Sélection sexuelle

Les notions et théories ci-dessous devront être étayées par une démarche expérimentale. Leurs limites seront explicitées. On appréciera fortement que le candidat ne caricature pas la situation (en soulignant par exemple que 1- la sélection sexuelle n'agit pas forcément dans une direction constante au cours du temps, et que ceci peut être avancé comme une explication possible du polymorphisme des caractères sexuels secondaires dont les signaux de communication peuvent faire partie ; 2) que

les signaux de communication sont souvent sous forte dépendance épi-génétique voire culturelle, en soulignant par exemple l'importance des stress lors du développement et de l'apprentissage. Un discours finaliste et/ou anthropomorphique a été sanctionné.

Les correcteurs attendaient :

- les notions d'emballement dit « de Fisher » et leurs conséquences sur les signaux de communication ;

- la théorie du Handicap et la question de « l'honnêteté du signal » (hypothèse = un signal porte une information fiable quant aux caractéristiques intrinsèques de l'émetteur) ;

- la théorie de l'exploitation sensorielle des signaux par le récepteur et le biais sensoriel.

Relations parents-jeunes et interactions inter-jeunes

Chez les espèces présentant des soins aux jeunes, les parents et les jeunes peuvent avoir des intérêts divergents (théorie du conflit parents-jeunes). De plus, les jeunes peuvent être en compétition pour l'accès aux ressources parentales. Se mettent donc en place des stratégies de signalisation lors de la quémande alimentaire (exagération des signaux, signalisation concurrente des jeunes ou au contraire coopération lors de l'émission,…).

Corrélation système de communication / système social

La « complexité » (attention à ce terme, pris ici sans jugement de valeur !) d'un système de communication va dépendre *à minima* du répertoire de signaux (nombre de signaux différents), de la variété des informations transmises, de la plasticité du système (possibilités d'apprentissage). Elle sera donc corrélée à la « complexité » du système social de l'espèce : plus les individus vivent des interactions sociales variées, complexes (compétition, collaboration, réconciliation – chez les Primates par exemple) et changeantes au cours du temps, plus le système de communication est élaboré.

Les récepteurs non désirés

La présence de prédateurs, de parasites potentiels ou d'individus concurrents peut représenter une contrainte importante sur les signaux (risque d'être repéré). On constate l'utilisation de signaux discrets et/ou difficilement localisables (ex. cris d'alarme aigus des passereaux, cris de copulation à faible intensité de nombreuses espèces de vertébrés).

3.3. Contraintes environnementales et adaptation des communications

Ce chapitre devait présenté une adaptation des organes émetteurs et des récepteurs aux contraintes physiques de l'environnement (ex. chaîne des osselets de l'oreille moyenne qui traite de la différence d'impédance air-eau). L'environnement va atténuer et dégrader le signal (« bruitage » du signal). On peut observer des adaptations pour communiquer en présence de bruit de fond (la notion de bruit de fond s'applique à tous les canaux de communication et pas seulement aux signaux acoustiques ; ex. feuillage agité par le vent gêne la perception visuelle de signaux optiques - saccades de la tête - envoyés par un lézard à ses congénères) : caractéristiques du signal (ex. utilisation de sons basse fréquence et peu modulés en forêt, moins sensibles à l'absorption par la végétation ; production de

signaux chimiques rémanents ; signaux présentant un fort rapport signal/bruit, codage de l'information dans des paramètres résistants, redondance de l'information), choix des modalités d'émission (ex. utilisation d'un terrier comme caisse de résonance chez la courtilière ; postes de chant chez oiseaux) et du moment d'émission, capacités du système neuro-physiologique à extraire un signal du bruit de fond. Possibilité de jouer sur les modifications imposées par l'environnement à la structure des signaux pour cibler tel ou tel récepteur et éviter le « parasitage » de l'information (ex. les signaux pré-copulatoires se propagent souvent mal, évitant d'attirer des compétiteurs ; exemple = différence entre le chant territorial du grillon –très fort et portant loin- et le chant de cour –d'intensité faible et réserver au partenaire sexuel). Utilisation de signaux chimiques plus ou moins volatils, rémanents ou non, adaptée à leur rôle biologique.

3.4. Communication et évolution des espèces

Dire que le premier rôle des signaux de communication est de permettre la reconnaissance de l'espèce lors de la rencontre des deux sexes est une hypothèse raisonnable (s'il n'y pas de reconnaissance du signal, l'appariement mâle-femelle n'a pas lieu). Les signaux de communication peuvent alors facilement jouer le rôle de barrière prézygotique.

L'existence de populations allopatriques entraine la dérive des signaux de communication (apparition de « dialectes », soit liés à une dérive génétique, ex. drosophile des îles Hawaï ; soit culturelle, ex. oiseaux chanteurs, suite à des « erreurs » de copie du chant du père). Cette dérive, si elle est suffisamment importante, peut amener l'apparition d'une barrière pré-zygotique plus ou moins étanche (les signaux mâles d'une population n'ont plus –ou moins- d'effet attracteur sur les femelles de l'autre population). Il est à noter qu'une dérive culturelle des signaux de communication peut être très rapide, beaucoup plus rapide qu'une dérive génétique.

Une autre possibilité est que la modification des signaux de communication soit un effet secondaire d'une différenciation adaptative entre populations. Ex. cas des pinsons de Darwin : l'évolution du bec (liée aux contraintes alimentaires) entraîne des modifications du tractus vocal avec pour conséquence des modifications des signaux sonores produits, pouvant ainsi amener une barrière pré-zygotique entre des populations de la même espèce. (Rq. par ailleurs, les pinsons de Darwin ont connu et connaissent encore le premier cas : dérive des signaux suite à une allopatrie).

Conclusion au 3.

La communication est marquée par plusieurs étapes depuis la production et l'émission du signal jusqu'aux décisions du récepteur basées sur le signal reçu. Les divers mécanismes de l'évolution (dérive génétique et culturelle, sélections naturelle et sexuelle) peuvent opérer indépendamment et différemment à chacune de ces étapes.

Suite à leur importance primordiale lors des processus d'appariement, les signaux de communication peuvent être d'une importance primordiale lors des processus de spéciation.

4. Communication animale et applications

On envisage ici deux domaines où les connaissances acquises concernant les communications animales permettent d'envisager une action sur les processus naturels, soit en terme de protection de la Nature, soit en terme de lutte contre les nuisances provoquées par certaines espèces.

4.1. Biologie de la conservation

Le fait que les signaux de communication soient signés, c'est-à-dire qu'ils puissent porter l'identité de l'espèce, d'une population, voire des individus, permet d'envisager l'identification - et donc le suivi - des animaux sur la base de ces signaux.

Le suivi acoustique (méthode non invasive ; utilisée pour suivi des migrations d'oiseaux, d'espèces menacées) est très utilisé. Ces méthodes sont employées de façon routinière en mer pour le suivi des Cétacés (espèces non facilement observables et chaque espèce de baleines émet un chant qui lui est propre).

La mesure de la biodiversité (forêt tropicale, océan) peut se faire à partir d'un enregistrement sonore en forêt tropicale ou ailleurs qui permet de recenser les espèces présentes. Si cette méthode est depuis longtemps employée pour recenser les oiseaux par exemple (méthode des « points d'écoute »), des approches automatisées sont en développement afin d'être applicables sur le long terme et dans des environnements difficilement accessibles.

4.2. Gestion des risques biotiques

On détourne le rôle biologique de certains signaux (cris de détresse, phéromones d'attraction sexuelles) au profit des activités humaines.

Un premier exemple est celui des effaroucheurs acoustiques positionnés sur la plupart des aéroports européens pour faire face au « péril aviaire » (le danger que représentent les oiseaux lors des décollages et atterrissage des avions). Ils sont également employés par certaines piscicultures et au sein d'urbanisations lorsqu'elles subissent des invasions d'oiseaux (étourneaux par exemple). Les effaroucheurs peuvent envoyer des cris de synthèse, imitant les caractéristiques de cris de détresse d'oiseaux (on utilise le fait que ces cris ont une valeur interspécifique).

Un second exemple est celui des pièges phéromonaux pour le contrôle des ravageurs de culture.

Conclusion générale

La conclusion ne doit pas être un paragraphe qui revient sur les différentes parties abordées en les résumant. Si l'objectif de l'introduction est de permettre au candidat de poser une question personnelle (sa problématique) à partir de l'analyse du sujet proposé, et donc d'orienter tout son devoir, la conclusion quant à elle doit apporter une réponse à cette question initiale. Pour se faire, elle va s'appuyer sur quelques idées fortes qui peuvent ressortir de l'ensemble du devoir, et qui, articulées entre elles, vont permettre au candidat de faire ressortir un enseignement qu'il souhaite particulièrement mettre en valeur dans sa conclusion. Une relation évidente doit donc exister entre l'introduction (la question), le développement (l'exposé des faits et le raisonnement) et la conclusion (la réponse). Dans un dernier temps la conclusion servira à ouvrir le sujet vers d'autres perspectives. Dans un sujet comme celui ci les ouvertures envisageables concernent par exemple la communication inter-spécifique, l'aposématisme et le mimétisme batésien, l'évolution du langage, ou sur une autre échelle, des aspects neurophysiologiques tels que les mécanismes cellulaires et moléculaires de la mémorisation.

Au cours de ce devoir, nous avons envisagé les communications intraspécifiques chez les animaux aux différentes échelles d'explication et d'observation, tant du point de vue proximal (production des signaux, codage de l'information, transmission et réception des signaux, rôles biologiques de la communication), qu'évolutif (adaptations des communications aux contraintes biologiques et environnementales, rôle des communications dans l'évolution des espèces). Il est remarquable que l'environnement physique détermine considérablement la nature et la structure des signaux employés, avec pour conséquence une assez grand homogénéité au sein du Règne Animal. Les signaux sonores et visuels sont employés par de nombreux groupes phylogénétiquement très éloignés ; on croit pouvoir affirmer que les signaux chimiques sont employés par tous. Dans l'état actuel des connaissances et si l'on excepte les signaux électriques de certains poissons, aucun groupe animal ne semble avoir développé un canal de communication particulièrement original par rapport aux autres ; l'homme fournit bien sûr une exception notable avec des signaux de communication nouveaux (ex. utilisation d'ondes électromagnétiques) développés dans un cadre technologique (notion de *phénotype étendu*). Par ailleurs, la communication animale est un exemple de la non-linéarité de l'évolution phylogénétique. Chez les vertébrés par exemple, on trouve des systèmes particulièrement complexes de communication (signalisation multi-modale, apprentissage, …) chez des lignées aussi différentes que les oiseaux et les primates. Le devoir a montré la diversité des échanges d'information, confirmant l'importance de la communication en particulier chez les animaux ayant développé des formes de socialité élaborée. Nous avons également vu que la communication animale est un processus dynamique, connaissant une évolution soumise à des contraintes et des bénéfices. Ainsi, des bases théoriques comme les observations montrent que les animaux tentent de résoudre les conflits avec le plus faible coût énergétique possible : les signaux de communication participent de cette stratégie.

Quelles interrogations émergent de ces constats ? Les questions proposées par Tinbergen restent d'actualité. Sur le plan proximal, la comparaison des systèmes de communication, des modalités de

codage de l'information, des rôles des signaux dans la vie quotidienne des animaux n'ont pas fini de livrer leurs secrets. En particulier, le fonctionnement des réseaux de communication où les protagonistes sont tour à tour émetteurs, récepteurs et parasites de l'information, commence tout juste d'être compris. Par ailleurs, l'étude du comportement animal ne saurait être dissociée de ses bases neurophysiologiques. Même si des développements importants sont encore nécessaires, des méthodes modernes d'investigation du fonctionnement cérébral *in vivo* et sur des animaux non anesthésiés, telles certaines approches électrophysiologiques, commencent maintenant d'envisager l'activité nerveuse en situation, lorsque l'animal échange des informations avec des congénères. On attend beaucoup des nouvelles approches d'imagerie fonctionnelle (IRMf, approches biophotoniques). Sur le plan des principes évolutifs, beaucoup de travail a été accompli ces dernières années pour théoriser la communication animale, en particulier en utilisant des concepts issus de l'économie et de la théorie des jeux. Beaucoup reste à faire. En particulier, la théorie doit être résolument confrontée aux réalités expérimentales. Sur un autre plan, le rôle majeur des communications animales dans les processus d'évolution des êtres vivants n'a été qu'effleuré. En ce qui concerne notre propre espèce, une interrogation majeure demeure celle du langage. Non qu'il faille le placer en haut d'une hypothétique échelle de valeur –chaque système de communication possède ses propres spécificités-, mais l'envisager en tant que processus intrinsèquement lié aux liens sociaux qui unissent les humains permettrait d'apporter un éclairage sur ses modalités. La question de la récursivité (le fait de pouvoir construire une infinité de phrases avec un nombre limité de mots) est-il propre à notre espèce ? Peut-on déceler des pré-requis à cette aptitude chez d'autres Primates ? Enfin, les concepts élaborés dans le cadre de l'étude des communications animales et de la théorie de l'information sont d'une portée générale et pourraient être utiles dans l'analyse d'autres systèmes naturels (ex. relations plantes-pollinisateurs, hôte-parasite, voire aux échelles intra-organisme et intra-cellulaire).

Agrégation externe SV-STU 2009	n° de copie	signatures des correcteurs	Note finale	REMARQUES
Écrit du secteur B			#DIV/0! /20	
*si la copie est blanche, mettre **cb** ou **CB** dans la case jaune de la note harmonisée*			note harmonisée = /20	

FOND	Introduction (15 points)		**Contexte général :** au sein d'une population animale, les individus intéragissent dans différents contextes (attraction du partenaire, compétition pour les ressources,...) ; ces intéractions mettent en jeu des échanges d'information			
			Définition des termes du sujet : La communication animale met en jeu une chaîne de transmission de l'information : 1 individu émetteur + 1 signal qui code de l'information + 1 individu récepteur (2 points). Le signal entraîne une modification du comportement/état physiologique du récepteur (1 points). Résultat : en principe « bénéfice » pour l'émetteur, parfois pour le récepteur. On élimine les cas « limites » : exemple : une souris qui fait du bruit en se déplaçant ne communique pas avec la chouette qui la chasse. On élimine aussi l'«auto-communication» : l'écholocation n'est pas une communication. On élimine aussi la communication dans l'organisme i.e. inter-cellulaire => on se restreint aux échanges d'information entre individus de même espèce animale (3 points)			
			Problématique clairement posée & justifiée par l'analyse du sujet. Quels signaux et pour quelles informations ? Quels principes gouvernent l'évolution des systèmes de communication animale ?			
			Axe directeur de la composition explicite (2) **et bien justifié** (2). Comme pour tout comportement animal, l'étude de la communication peut être abordée sous les quatre angles suivants (Niko Tinbergen, éthologiste, prix Nobel de médecine 1973) : angle fonctionnel (modalités de production, transmission et réception des signaux), angle ontogénétique (génétique du comportement de communication, apprentissage de la production des signaux et de leur contexte d'utilisation), angle fonctionnel (rôles biologiques de la communication), angle évolutif (double point de vue : adaptation des signaux de communication à leurs fonctions & rôle de la communication dans les processus d'évolution des espèces).			
	Pour tous les items abordés dans le barème et notés sur 4 points : "vide" = laisser en vert : aucune information ; 0 : information fausse ; 1 : information partielle ; 2 : informations précises non analysées ; 3 : informations précises et analysées, 4 : informations précises, analysées et conduisant à une conclusion qui sert de base à une transition. ***La présence d'une démarche expérimentale sera fortement valorisée (au niveau de la notation de chaque item - ex. 4 points au lieu de 3 même si la conclusion servant de base à la transition manque - ET au niveau du bonus final). L'absence de démarche expérimentale sera pénalisée (en appliquant la règle inverse).***					
	A - La chaîne de transmission de l'information (66 points)	**Les signaux, supports physiques de l'information**	Définition des principaux types de signaux, leurs caractéristiques essentielles (nature physique, propriétés majeures telles que capacité à se propager dans le milieu), un exemple pour chacun (un tableau récapitulant ces données serait apprécié).	Signaux chimiques (phéromones = molécules chimiques, souvent émises en «bouquets», milieux aériens et aquatiques, peuvent être rémanents ou non, plus ou moins volatils, souvent grande intra-spécificité)		
				Signaux visuels (ondes électromagnétiques, statiques et/ou dynamiques, dépendants de la qualité et de la quantité de lumière ambiante sauf en grand profondeur sous-marine où les photons sont générés par l'animal lui-même, propagation sensible aux obstacles physiques –telle la végétation)		
				Signaux acoustiques et vibrations du substrat (ondes mécaniques, produites par vibrations de structures anatomiques –soit via passage de flux d'air, soit par frottement entre 2 surfaces dures, utilisables dans l'eau comme dans l'air, grande portée potentielle, pas de rémanence)		
				Signaux tactiles		
				Signaux électriques (dans l'eau seulement, nécessité d'organes spécialisés – d'origine musculaire, utilisés essentiellement par des poissons, surtout en milieu trouble)		
			Un signal est donc un processus physique (en principe une onde ou assimilable à une onde), qui code de l'information via des paramètres de fréquence, d'amplitude et temporels (paramètres de fréquence : ex. son aigu/grave- ; paramètres d'amplitude : ex. intensité sonore ; paramètres temporels : rythme d'émission & modulations de fréquence et d'amplitude). Les signaux chimiques peuvent être assimilés à une onde : spectre de fréquence = composition moléculaire du signal + concentration relative des composés, amplitude = concentration du bouquet phéromonal, paramètres temporels = variations dans le temps de la composition et de la concentration du bouquet phéromonal)			
		La production des signaux : Génération et émission du signal par l'émetteur constituent la première étape d'une communication animale.	Des organes souvent spécialisés	1 exemple d'organe producteur de signal de communication montrant 1) l'existence de structures anatomiques spécialisées dans l'émission d'un signal donné (ex. syrinx des oiseaux chanteurs, cymbale des homoptères, stridulation du grillon, glandes phéromonales des abeilles, larynx des mammifères …), 2) la présence d'un contrôle nerveux et éventuellement hormonal (ex. noyaux du chant dans le cerveau des oiseaux)		
				Les propriétés des signaux sont fonction de la biophysique et de la biochimie de l'émission et de l'adéquation entre l'organe émetteur et l'environnement		
			et pilotés par la génétique, l'apprentissage et le contexte	Contrôle génétique de la structure des signaux produits (ex. expériences de croisement inter-spécifique avec effet sur le rythme du chant chez grillon, drosophile). Signaux émis limités par capacités anatomo-physiologiques de l'animal (ex. seuls de « gros » animaux peuvent émettre des sons graves)		
				Possible apprentissage de la production des signaux (ex. oiseaux chanteurs : expérience d'isolement des oisillons, copie du tuteur, processus neurophysiologiques impliqués tels que la neurogenèse -y compris à l'âge adulte)		
				Possible apprentissage du contexte d'utilisation (ex. signaux d'alarme chez singes vervets). Décision d'envoyer ou non le signal à un moment donné, son niveau de complexité et de puissance = fonction de l'état énergétique et psychologique de l'émetteur, ainsi que des risques encourus (prédation, présence de congénères –compétiteurs ou alliés, modulation hormonale,...)		
		La transmission des signaux dans l'environnement	La portée d'un signal dépend de ses caractéristiques physiques et des contraintes du milieu. Différence milieux ouverts/milieux forestiers pour la propagation des signaux acoustiques et visuels (ex. réverbération des sons en forêt => modification de la durée des signaux), différence eau/air pour la propagation des sons, importance des courants d'eau et d'air pour la propagation des phéromones			
		La réception des signaux	Chimioréception, photoréception, électroréception, audition. On attend 1 exemple détaillé d'une des modalités, présentant l'ensemble de la chaîne de réception depuis la stimulation de l'organe récepteur, le codage nerveux, jusqu'à l'intégration par le système nerveux central (ex. organe auditif chez le grillon champêtre ; organe voméronasal mammifères ; réception des phéromones par l'antenne du Bombyx ; œil des Vertébrés, etc…)			
			Les principes suivants doivent être explicités : récepteur sensoriel = fenêtre ouverte sur le monde extérieur (c'est un filtre =>sensible à une certaine bande passante du signal ; ex. l'oreille des chauve-souris est sensible aux ultra-sons, pas l'oreille humaine), en charge de la transduction du signal de communication en un signal nerveux			
		Interprétation des signaux et décision	Perception et classification du signal par le système nerveux central: reconnaissance, éventuelle discrimination entre les signaux et classification des signaux perçus. Interprétation du signal et extraction de l'information du signal. Traitement de l'information (ex. rôle des aires associatives corticales chez Vertébrés). Elaboration de la réponse au signal (décision) sur la base de l'interprétation du signal par le système nerveux central. Des alternatives à une réponse comportementale directe existent, telle l'attente de la réception de signaux complémentaires. Mise en jeu possible de la mémoire à court et long terme			
		Conclusion	Emetteur-signal-récepteur = schéma de base de la communication. La plupart du temps, c'est plus complexe => réseaux de communication, où chaque individu peut-être à la fois émetteur et récepteur + possibilité d'auditeurs non souhaités, parasitant l'information			
	ons de la communication (62 points)	*Deux aspects : 1 - quels types d'information peuvent être transmis par des signaux de communication et comment (question du « code ») ?, 2 - quels sont les rôles biologiques associés (3 contextes essentiels : relations entre partenaires, relations parents-jeunes, relations avec les autres individus de l'espèce).* ***On récompensera tout particulièrement la démarche expérimentale***					
		Le codage de l'information	Qu'est-ce qu'un code ?	Un exemple pour montrer comme coder de l'information dans un signal (ex. signaux lumineux des lucioles = fréquence d'allumage et « forme » du signal dépend de l'espèce; danse des abeilles et codage des informations «distance à la nourriture», «direction par rapport au Soleil», «nature de la nourriture» ; modalités du codage de l'identité spécifique et individuelle dans le chant d'un oiseau, etc…). Notion de codage discret (1 répertoire de plusieurs signaux de structure différente, chacun codant pour 1 ou plusieurs informations différentes) versus gradé (1 type de signal dont les caractéristiques peuvent être modifiées graduellement pour coder une information différente; ex. aboiement du chien).		
				Bref exposé des principes de la théorie de l'information (notion de volume/quantité d'information, de bande passante, de rapport signal/bruit, de redondance de l'information).		
			Informations codées dans les signaux de communication	Signatures d'identité : espèce, groupe, sexe, individu		
				Informations liées à l'environnement (ex. présence et localisation de la nourriture, de prédateurs)		
				Informations liées à l'état (physiologique et émotionel) de l'émetteur (parades nuptiales, signaux montrant l'état de réceptivité sexuelle, âge,…)		
		Le choix du partenaire et la sélection sexuelle	Signaux informant sur l'identité spécifique et les caractéristiques individuelles de l'émetteur (état physiologique – réceptivité sexuelle, niveau d'agressivité-, statut social –dominant, dominé-, son histoire de vie, patrimoine génétique)			
			Souvent utilisation de plusieurs canaux de communication concomitamment (signaux visuels, acoustiques et chimiques ; ex. lors des parades nuptiales des cervidés)			
		La communication parents-jeunes	Développée chez les animaux pratiquant les soins aux jeunes (nombreuses espèces de poissons, crocodiles, oiseaux, mammifères)	Signaux permettant des échanges de communication entre parents et jeunes : reconnaissance, alimentation, protection, éducation…		
		La compétition territoriale	Caractéristiques des signaux territoriaux : en principe grande portée (ex. chants des oiseaux), rémanence temporelle (ex. : marquage par les carnivores)			
			Structure du signal pouvant être corrélée aux capacités physiques de l'émetteur, les signaux peuvent parfois permettre la reconnaissance entre compétiteurs voisins (et ainsi permettre d'éviter des combats = principe du « cher ennemi »)			

B - Les fonctio	La reconnaissance de parentèle et/ou du groupe social	Souvent en place lors des interactions parents-jeunes, la reconnaissance de parentèle peut s'étendre aux autres membres du groupe familial. Ex. sociétés d'insectes eusociaux (certains Hyménoptères, Isoptères)					
		Mise en place	1) soit par reconnaissance phénotypique (ex. chez la souris, les individus préfèrent des congénères à odeur semblables ; or les molécules odorantes dépendent du CMH des individus)				
			2) soit par apprentissage (ex. la jeune otarie apprend à reconnaître la voix de sa mère dans les 2 - 5 jours qui suivent sa naissance)				
	Le signalement du statut social	Dans un groupe social (ex. chez insectes, poissons, oiseaux, mammifères), importance du signalement du statut de l'individu (dominant/dominé, reproducteur/non reproducteur, sexe, âge, signatures individuelles et de groupe,…). Ces signaux sont souvent corrélés à l'état physiologique du moment (ex. protrusion sexuelle des singes femelles), mais aussi à l'histoire passée de l'individu. Notion de « badges de statut »					
	La coordination sociale	Les stratégies de communication antiprédatrices	Signaux d'alarme et de détresse. Structure adaptée : possibilité d'adéquation entre prédateur et structure du signal (ex. singe vervet : 1 cri de détresse de structure différente pour chaque type de prédateur, serpent, panthère et aigle) ; signaux souvent difficiles à localiser par le prédateur				
		Les collaborations au sein du groupe	Coopération pour la recherche de nourriture (ex. danse des abeilles; chasse en groupe des grands carnivores)				
			Utilisation de signaux lors des alliances sociales (ex. au sein des groupes de singes)				
	Conclusion - transition	Communication : intervient dans toute interaction sociale. Notion de théorie des jeux, rapport coût/bénéfice ; notion d'altruisme, de bénéfice réciproque					
		Remarque : si elle est abordée judicieusement, la notion de « théorie des jeux » donnera lieu à un bonus					
C- Communication et évolution (64 points)	Contraintes anatomo-physiologique sur la production et la réception des signaux	Adaptations structure-fonction	Taille de l'animal, température interne, organisation anatomo-morphologique sont autant de facteurs qui contraignent les possibilités d'émission et de réception des signaux				
		« Co-évolution » émetteur-récepteur	Correspondance (pas toujours parfaite) entre caractéristiques du signal émis par l'émetteur et possibilités de réception (idée de co-évolution organes émetteurs – organes récepteurs ; ex. correspondance entre les fréquences des sons émis et les fréquences pouvant être perçues par l'oreille –idem pour électrorécepteurs des poissons communiquant par ondes électriques)				
	*Remarques : **les notions et théories ci-dessous devront être étayées par une démarche expérimentale** . Leurs limites seront explicitées. On appréciera fortement que le candidat ne caricature pas la situation (en soulignant par exemple que : 1) la sélection sexuelle n'agit pas forcément dans une direction constante au cours du temps, et que ceci peut être avancé comme une explication possible du polymorphisme des caractères sexuels secondaires dont les signaux de communication peuvent faire partie ; 2) que les signaux de communication sont souvent sous forte dépendance épi-génétique voire culturelle, en soulignant par exemple l'importance des stress lors du développement et de l'apprentissage. Un discours finaliste et/ou anthropomorphique sera sanctionné.*					
	Contraintes sociales et évolution des signaux	Sélection sexuelle	Notions d'emballement dit « de Fisher » et conséquence sur les signaux de communication				
			Théorie du Handicap et question de « l'honnêteté du signal » (hypothèse = un signal porte une information fiable quant aux caractéristiques intrinsèques de l'émetteur)				
			Théorie de l'exploitation sensorielle des signaux par le récepteur & biais sensoriel				
		Relations parents-jeunes et interactions inter-jeunes	Chez les espèces avec soins aux jeunes, les parents & jeunes peuvent avoir des intérêts divergents (théorie du conflit parents-jeunes) + les jeunes peuvent être en compétition pour l'accès aux ressources parentales => stratégies de signalisation lors de la quémande alimentaire (exagération des signaux, signalisation concurrente des jeunes ou au contraire coopération lors de l'émission, etc…).				
		Corrélation système de communication / système social	« Complexité » d'un système de communication = répertoire de signaux (nombre de signaux différents) * variété des informations transmises * plasticité du système (possibilités d'apprentissage). Corrélée à la complexité du système social de l'espèce : plus les individus doivent « gérer » des interactions sociales variées, complexes (compétition, collaboration, réconciliation – chez les Primates par exemple) et changeantes au cours du temps, plus le système de communication est complexe				
		Les récepteurs non désirés	La présence de prédateurs, de parasites potentiels ou de conspécifiques concurrents peut représenter une contrainte importante sur les signaux => mise en place de signaux discrets et/ou difficilement localisables				
	Contraintes environnementales et adaptation des communications	Adaptation des organes émetteurs et récepteurs aux contraintes physiques de l'environnement (ex. chaîne des osselets de l'oreille moyenne qui traite de la différence d'impédance air-eau)					
		L'environnement va atténuer et dégrader le signal (« bruitage » du signal) => adaptations pour communiquer en présence de bruit de fond (la notion de bruit de fond s'applique à tous les canaux de communication et pas seulement aux signaux acoustiques ; ex. feuillage agité par le vent gêne la perception visuelle de signaux optiques –saccades de la tête- envoyés par un lézard à ses congénères) : caractéristiques du signal (ex. utilisation de sons basse fréquence et peu modulés en forêt, moins sensibles à l'absorption par la végétation ; production de signaux chimiques rémanents ; signaux présentant un fort rapport signal/bruit, codage de l'information dans des paramètres résistants, redondance de l'information), choix des modalités d'émission (ex. utilisation d'un terrier comme caisse de résonance chez la courtilière ; postes de chant chez oiseaux) et du moment d'émission, capacités du système neuro-physiologique à extraire un signal du bruit de fond.				
		Possibilité de jouer sur les modifications imposées par l'environnement à la structure des signaux pour cibler tel ou tel récepteur et éviter le « parasitage » de l'information (ex. les signaux pré-copulatoires se propagent souvent mal, évitant d'attirer des compétiteurs ; exemple = différence entre le chant territorial du grillon – très fort et portant loin et le chant de cour – d'intensité faible et réservé au partenaire sexuel). Utilisation de signaux chimiques plus ou moins volatils, rémanents ou non, adaptée à leur rôle biologique				
	Communication et spéciation	1er rôle des signaux de communication = permettre la reconnaissance de l'espèce lors de la rencontre des deux sexes (si pas de reconnaissance du signal, pas d'appariement mâle-femelle)					
		Populations allopatriques => dérive des signaux de communication (apparition de « dialectes », soit liés à une dérive génétique, ex. drosophile des îles Hawaï ; soit culturelle, ex. oiseaux chanteurs, suite à des « erreurs » de copie du chant du père) => apparition d'une barrière pré-zygotique (les signaux mâles d'une population n'ont plus - ou moins - d'effet attracteur sur les femelles de l'autre population)				
		Autre possibilité : effet secondaire d'une différenciation adaptative entre populations. Ex. cas des pinsons de Darwin : évolution du bec (liée aux contraintes alimentaires) entraîne des modifications du tractus vocal pouvant amener une barrière pré-zygotique entre des populations de la même espèce. (remarque : par ailleurs, les pinsons de Darwin ont connu et connaissent encore le premier cas : dérive des signaux suite à une allopatrie)				
	Conclusion	Communication = plusieurs étapes entre l'émission du signal et les décisions du récepteur basées sur le signal reçu. Les divers mécanismes de l'évolution (dérive génétique et culturelle, sélections naturelle et sexuelle) peuvent opérer indépendamment et différemment à chacune de ces étapes.					
		Signaux de communication = importance souvent primordiale lors des processus de spéciation					
D - Comm. animale & applications (16 p.)	Biologie de la conservation	Suivi acoustique (méthode non invasive; utilisée pour suivi des migrations d'oiseaux, d'espèces menacées - méthode non invasive -, d'espèces non facilement observables telles les Cétacés) Mesure de la biodiversité (forêt tropicale, océan) Utilisation des signaux comme marqueurs spécifiques					
	Gestion des risques biotiques	Effaroucheurs acoustiques positionnés sur les aéroports (« péril aviaire »), les piscicultures (effaroucheurs aériens et aquatiques) Pièges phéromonaux pour le contrôle des ravageurs de culture					
Conclusion (10 points)		Quelques idées clés …					
		… qui permettent de dégager des réponses concrètes aux questions posées en introduction					
		Ouverture pertinente (communication inter-spécifique, aposématisme & mimétisme batésien, évolution du langage,…)					
FORME	Plan	Logique, cohérence					
		Titres informatifs, adéquation entre titres et contenus des paragraphes					
	Transitions	absentes, artificielles, logiques, et bien justifiées					
	Illustrations	Clarté, taille, qualité des légendes, échelles, etc					
	Rédaction	Clarté, concision					
		Orthographe, syntaxe					
	Présentation						
		Bonus					

0 sur 0

Commentaire général :

Agrégation SV-STU 2009 : Ecrit secteur C

Le jury a apprécié la capacité de synthèse des candidats illustrée dans de nombreuses copies par la discussion des couplages entre le manteau et les enveloppes externes, que ce soit lors de leur formation ou lors de leur évolution au cours de l'histoire de la Terre. A également été appréciée la qualité des connaissances issues de la sismologie (mise en évidence des discontinuités limitant le manteau, modèle PREM, tomographie sismique) et de la géochimie isotopique (hétérogénéités du manteau, radioactivité éteinte et notamment les travaux récents sur la formation des enveloppes terrestres).

Le sujet était « Le manteau terrestre et son évolution au cours de l'histoire de la Terre », et non uniquement « L'évolution du manteau » comme traité parfois. Á cette confusion se sont ajoutés quelques développements hors-sujets, les plus fréquents étant le traitement détaillé de la nucléosynthèse et de la formation du système solaire d'une part et, celui du magmatisme et de la cristallisation fractionnée, d'autre part.

Sur la forme, il est regrettable que les modèles soient trop souvent présentés sans les données et hypothèses ayant mené à leur établissement (*e.g*. modèle PREM, tectonique des plaques, accrétion et différentiation de la Terre, convection mantellique). C'est un point fondamental : les candidats préfèrent bien souvent raconter une belle histoire et se préoccupent assez peu des fondements scientifiques de ce qui n'est qu'un modèle. Si le dit-modèle est, bien sûr, intéressant il n'a de sens que si les observations de base et les hypothèses qui le sou tendent ne sont pas présentées en premier lieu.

Sur le fond, deux aspects fondamentaux du sujet ont été largement négligés : la minéralogie du manteau et la dynamique du manteau lithosphérique. Un faible pourcentage de candidats connaît la minéralogie des péridotites et, encore moins, connaissent la formule chimique de l'olivine ou du pyroxène, connaissances qui font pourtant partie du socle de base en sciences de la Terre. Les contextes d'échantillonnage des roches du manteau sont peu cités, tout comme les ophiolites. Concernant la dynamique lithosphérique, les rares copies qui ont abordé le rôle du manteau se sont limitées aux réajustements isostatiques ; la dynamique des plaques subduites et ses conséquences sur la tectonique des marges actives, le refroidissement de la lithosphère océanique et ses conséquences sur le niveau marin, le découplage du manteau sous les chaînes de montagnes… sont toujours oubliés. Parmi les autres parties du sujet peu ou pas abordés on retrouve : la pétrologie expérimentale et notamment la notion d'éléments lithophiles, sidérophiles ou atmophiles, la planétologie comparée, la composition chimique de la Terre/manteau (avec utilisation des chondrites comme référence pour la Terre totale), la partie modélisation numérique et analogique et enfin la partie métallogénie.

Un certain nombre de confusions et erreurs sont retrouvées fréquemment : dérive des continents et tectonique des plaques, croûte et lithosphère, techniques de sismique réflexion ou réfraction active qui permettent d'imager les premiers kilomètres citées au lieu de l'exploitation des

séismes naturels pour ausculter la Terre profonde, chauffage du manteau uniquement par sa base c'est à dire par le noyau, décompression adiabatique *i.e.* sans échange de chaleur et décompression sans changement de température, chute de vitesse des ondes P et S au niveau de la LVZ expliquée par la chute de viscosité du manteau à ce niveau alors qu'il s'agit d'ondes élastiques insensibles donc aux propriétés de déformation plastique, panaches mantelliques constitués de magma formé dans la couche D''.

L'épistémologie, introduite dans le barème, est traitée de façon hétérogène mais il y a dans l'ensemble des copies une variété de citations relatives à la tectonique des plaques (Wegener inclus), la pétrologie expérimentale (Birch et Ringwood), la sismologie et même la paléontologie. Par contre de nombreux candidats confondent la théorie de la dérive des continents proposée par A. Wegener et la théorie de la tectonique des plaques qui a vu le jour à la fin des années soixante. On passe parfois allègrement de Wegener à la géodésie spatiale sans que l'apport fondamental des années soixante ne soit mentionné. Il y a là un raccourci fâcheux qui montre que les observations de base et les hypothèses de la tectonique des plaques ne sont pas comprises. Ce point rejoint les faibles connaissances des candidats sur la dynamique lithosphérique. L'observation fondamentale de J. Morgan sur la géométrie des failles transformantes est pourtant ce qui montre la rigidité des plaques, et c'est bien au premier ordre une affaire de comportement du manteau lithosphérique. On peut pourtant penser que ces informations sont bien la plupart du temps dans les cours qu'ont suivis les candidats. Il semble alors que ces derniers cloisonnent encore trop leurs connaissances et qu'ils considèrent que le manteau est surtout une question traitée par des géochimistes et les géophysiciens de la Terre profonde, ce qui n'est vrai qu'en partie puisque la rhéologie du manteau lithosphérique conditionne la tectonique de surface.

Le manteau et son rôle dans l'histoire de la Terre.

Réservoir majeur de la Terre (la moitié en rayon, 2/3 en masse, 80% en volume), le manteau est pourtant largement inaccessible. Cette enveloppe silicatée n'affleure pas, sauf en contexte tectonique exceptionnel (type semelle ophiolitique en Oman ou bien dans les domaines de transition continent-océan au pied des marges passives). Un échantillonnage naturel du manteau par le jeu du volcanisme intra-plaque permet la collecte de roches du manteau lithosphérique, essentiellement des péridotites. Mais nous ne disposons pas de roche du manteau profond, et si de rares inclusions minéralogiques ont été préservées dans des diamants, la question de leur représentativité reste ouverte. Notre connaissance du manteau est donc largement basée sur des méthodes de sondage indirectes, géophysiques (sismologie, géodésie) et géochimiques, combinées à la modélisation (numérique, analogique) et à l'expérimentation à haute pression et haute température sur les roches et minéraux du manteau. Les conditions P-T du manteau profond atteignent en effet plus d'un million d'atmosphères (135 GPa) et 3000 K ; les propriétés physico-chimiques des roches qui le composent sont donc très différentes de celles, connues, aux conditions de surface et doivent être mesurées. Par

ailleurs, la dynamique du manteau lithosphérique et sa rhéologie contrôlent en grande partie l'évolution de la surface de la Terre au travers de la tectonique des plaques.

I- Le manteau lithosphérique actuel

A- Composition et structure :

Echantillons du manteau lithosphérique.

En France métropolitaine, les roches du manteau peuvent être collectées dans différents contextes. Dans le cadre du volcanisme IV^{aire} du Massif Central, des nodules de péridotites sont inclus dans les coulées basaltiques de plusieurs puys. Ces péridotites sont des roches totalement cristallines, ayant subi pas ou peu d'altération, pas ou peu de déformation mécanique. Minéralogiquement, elles sont constituées d'olivine $(Mg,Fe)_2SiO_4$, famille des péridots, de pyroxènes (ortho- $(Mg,Fe)SiO_3$, clino- $(Mg,Fe,Ca)SiO_3$) et d'une phase alumineuse, plagioclase, spinelle ou grenat selon la profondeur d'origine. Les proportions de ces minéraux permettent d'établir une classification **(Fig.1)**. La teneur en clino-pyroxène notamment reflète le taux de fusion subit par la péridotite, une lherzolite est ainsi plus fertile qu'une harzburgite, ces deux roches étant les échantillons de manteau les plus abondants. Chimiquement, ce sont des roches ultrabasiques, caractérisées par une forte teneur en éléments ferro-magnésiens et une faible teneur en silice et éléments alcalins (cf. tableau 1). Ces roches peuvent être observées dans d'autres contextes, remontées à la faveur de mouvements tectoniques. On en trouve ainsi à Lherz dans les Pyrénées et à la base des cortèges ophiolitiques (ex. : massifs de Chamrousse et du Chenaillet dans les Alpes). Du fait de leur déformation et de leur altération souvent importantes, il est moins aisé d'utiliser ces péridotites pour l'étude du manteau. Elles peuvent cependant constituer des gisements d'intérêt économique, comme les ophiolites de Nouvelle-Calédonie dont on extrait le nickel, élément mineur de l'olivine mais fortement concentré par les phénomènes d'altération. Enfin, les roches du manteau ne se limitent pas aux péridotites, on trouve aussi plus rarement des pyroxénites, mais on reste très loin de la diversité des roches crustales.

Oxydes	Poids %
SiO_2	42,1
MgO	40,2
FeO	8,5
CaO	2,3
Al_2O_3	1,8
K_2O	0,1
Na_2O	0,1

Tableau 1. Composition chimique type d'une lherzolite à spinelle.

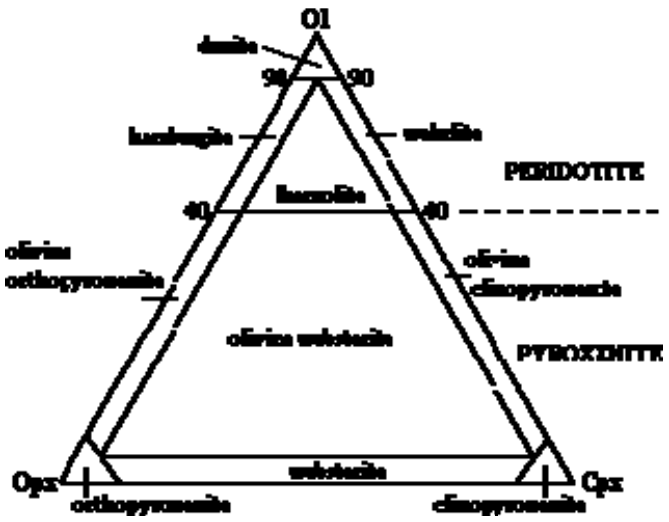


Fig.1. Classification des roches du manteau
Ol : olivine, OPx : orthopyroxène, CPx : clinopyroxène

Structure verticale du manteau lithosphérique.

Sismiquement, le sommet de la lithosphère est marqué par la discontinuité de Mohorovicic (ou Moho) entre croûte et manteau à environ 10 km de profondeur en contexte océanique et 30 km en moyenne en contexte continental, et à sa base par une zone de faible vitesse (LVZ pour *low velocity zone*) des ondes de volume P et S observée à profondeur variable selon les régions, de 100-150 km en contexte océanique à 200-250 km en contexte continental. Cette zone définit la base de la lithosphère. L'interprétation donnée classiquement de la LVZ est la présence de liquide, en quantité très faible (<1%) mais suffisante pour diminuer les modules élastiques de compressibilité et de cisaillement des roches, et donc diminuer la vitesse des ondes sismiques. La fusion partielle du manteau à cette profondeur s'explique par la proximité du géotherme avec le solidus des péridotites, permettant son franchissement à la faveur de faibles anomalies thermiques.

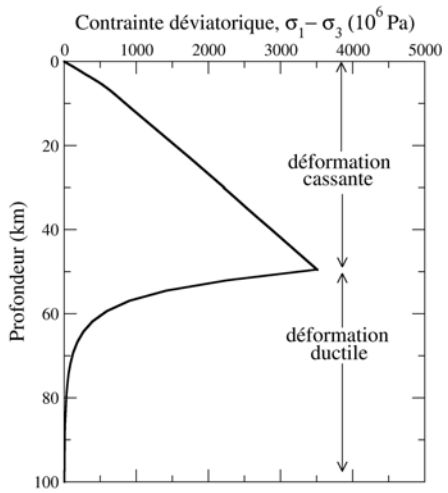


Fig.2. Profil rhéologique de la lithosphère océanique.

Rhéologiquement, l'olivine a un comportement fragile sur le domaine P-T de la lithosphère (**Fig. 2**) ce qui confère sa rigidité à celle-ci. Elle s'oppose en cela au reste du manteau, ductile, et en particulier à l'asthénosphère sur laquelle elle repose. Le caractère rigide de la lithosphère justifie aussi la définition thermique de sa base, soit l'isotherme 1300°C, température de mise en place des basaltes aux rides océaniques. Les mouvements verticaux de la lithosphère sont extrêmement limités du fait de sa rigidité, la chaleur s'y propage donc par conduction. Un débat récent remet en partie en cause ce comportement rhéologique. La présence d'eau, en très faible quantité dans les olivines du manteau sous-continental pourrait en effet les rendre ductiles à des pressions et des températures plus faibles que ce qui est généralement accepté. La résistance de la lithosphère continentale serait alors beaucoup plus localisée dans la croûte que dans le manteau. Cependant ce modèle n'est pas accepté universellement et on pense plutôt qu'il ne peut s'appliquer que dans des zones particulières, par exemple dans les domaines arrière-arc.

B- Organisation en plaques :

Latéralement, le manteau lithosphérique est organisé en plaques rigides, se déplaçant les unes par rapport selon des mouvements divergents, convergents ou bien décrochants. Les mesures cinématiques de leur déplacement ont été essentielles dans la démonstration de la tectonique des plaques par McKenzie, Morgan et Le Pichon en 1967. Le modèle NUVEL-1 par exemple considère un ensemble de 12 plaques, avec des vitesses de déplacement relatif variant de 2 à 15 cm/an. Les

limites de plaques sont marquées par du volcanisme (cf I-C) et de la sismicité. Les plaques se forment symétriquement au niveau des dorsales ou rides d'accrétion océanique telles les rides médio-Atlantique, Pacifique ou Indienne, avec formation de la croûte océanique (cf I-C) ; l'épaisseur du manteau lithosphérique y est quasi-nulle mais elle augmente avec l'éloignement à la dorsale au fur et à mesure que la lithosphère se refroidit et que par conséquence l'isotherme 1300 ºC s'approfondit. Les zones d'accrétion sont compensées par des zones de subduction, lieu de retour de la lithosphère au manteau profond. Ces zones sont le lieu des séismes les plus intenses et les plus fréquents relâchant les fortes contraintes tectoniques qui s'y accumulent. Wadati et Benioff ont mis en évidence que les foyers de ces séismes sont localisés sur un plan incliné, ce plan peut aussi être imagé par tomographie sismique (cf II-C). Les mouvements décrochants se font le long de failles transformantes, les plus nombreuses étant intra-océaniques et se confondant alors avec des petits cercles en géométrie sphérique, attestant le mouvement de plaques comme blocs rigides. Jason Morgan a en effet montré que les failles transformantes décalant des portions de dorsales entières sont des petits cercles centrés sur un pôle eulérien commun et que la vitesse d'accrétion augmente en fonction de la distance au pôle (**Fig.3**). C'est cette observation qui montre que les plaques ont un comportement rigide ; elle a également permis de calculer les vitesses de convergence partout sur le globe et des proposer finalement les premiers modèles de tectonique des plaques.

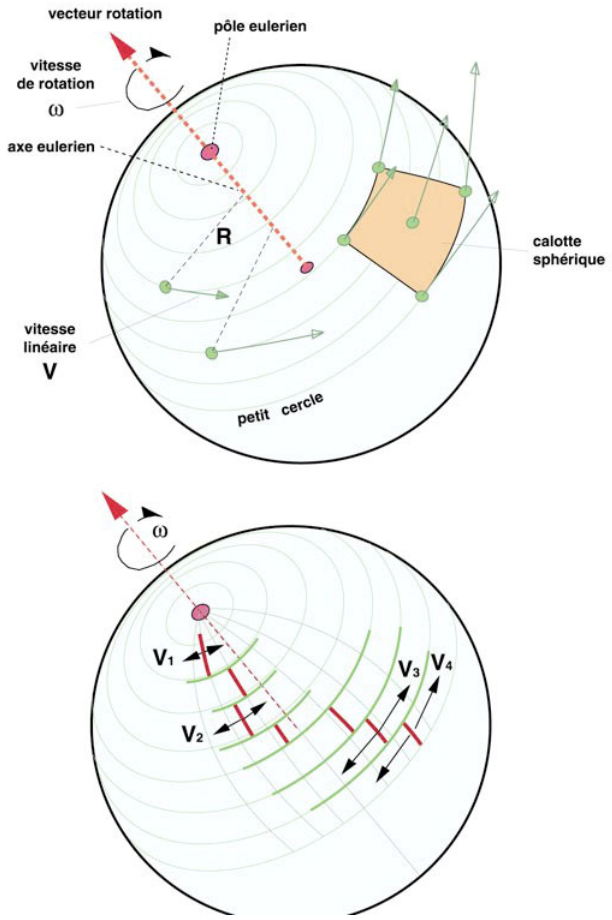


Fig. 3 : la géométrie des failles transformantes océaniques et la géométrie eulérienne.

Les failles transformantes intra-continentales sont les plus célèbres, du fait de leur forte sismicité et des graves dommages associés en zones habitées (ex faille de San Andréas, faille du Levant). Comme nous le verrons plus loin, la tectonique des plaques est l'expression superficielle des mouvements du manteau plus profond.

Plusieurs forces entrent en jeu dans la mise en mouvement des plaques lithosphériques, et leur importance respective est toujours discutée. Comme illustré sur la figure 4, il s'agit de :

- la force de traction de la lithosphère subduite (ou slab pull) résultant de son excès de densité par rapport au manteau dans lequel elle s'enfonce, la lithosphère sudbuite étant plus froide ;
- la force de poussée à la ride (ou ridge push) résultant du refroidissement de la lithosphère et donc de l'augmentation de densité avec l'éloignement de la ride ;
- l'entraînement de la lithosphère par les mouvements du manteau convectif sous-jacents.

A ces forces de mise en mouvement s'opposent des forces de résistance, résistance au cisaillement à la base de la lithosphère, résistance à la pénétration dans le manteau lors de la subduction et frottements entre plaques convergentes.

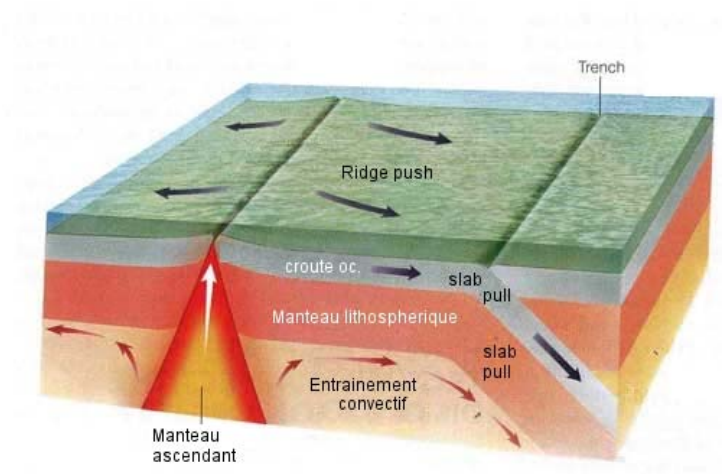


Fig.4. Forces en jeu dans le mouvement des plaques.

C- Fusion du manteau associée au déplacement des plaques

Contextes de fusion du manteau.

Le solidus d'une péridotite peut être franchi en faisant varier un ou plusieurs paramètres (**Fig.5**) : pression, température et teneur en eau. Cela correspond aux trois contextes géodynamiques majeurs, respectivement les rides océaniques (décompression adiabatique), les points chauds (décompression

et anomalie de température, le concept de point chaud sera discuté en II-C) et les zones de subduction (contamination du manteau par les fluides issus de la déshydratation de la plaque plongeante).

Les basaltes primaires issus de la fusion du manteau sont des roches magmatiques basiques, enrichies en silice, fer et éléments alcalins, ce qui donne lieu à la notion de manteau appauvri pour le manteau résiduel. Les taux de fusion actuels du manteau dans ces contextes sont de l'ordre de 5 à 15%, mais ont pu atteindre, voire dépasser les 30% dans le cas de la formation de trapps ou plateaux océaniques (ex. Deccan, Sibérie, Ontong, Java).

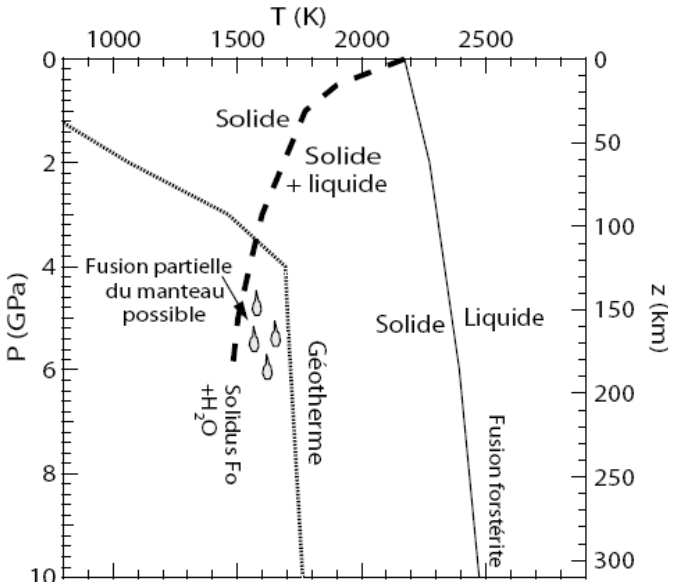


Fig.5: Courbes de fusions de l'olivine sèche et hydratée.

Nature et évolution du manteau source.

Avec 80000 km de rides océaniques, le volcanisme en zone de divergence de plaques est actuellement, de loin, le plus important en termes de volumes émis. Il donne lieu à la genèse de la croûte océanique, composée essentiellement de basaltes tholéiitiques (MORB pour mid ocean ridge basalts) et de gabbros, roches cristallines, en profondeur, pour une épaisseur totale d'environ 7 km (hors sédiments déposés par la suite). Le volcanisme en zone de subduction a aussi pour source le manteau supérieur, contaminé par les fluides issus de la croûte océanique subduite. Le volcanisme de points chauds donnant lieu à la formation de basaltes d'îles océaniques (OIB pour oceanic island basalts) a par contre une source un peu différente chimiquement, moins appauvrie en éléments incompatibles comme les alcalins et les terres rares lourdes. Elle est aussi différente isotopiquement (attention, hors programme) avec une signature marquant la contamination du manteau source par des roches d'autres réservoirs (*e.g.* croûte océanique ou sédiments) ayant pu être entraînés dans le manteau via une subduction passée.

Le phénomène de fusion du manteau peut être utilisé pour remonter à sa composition chimique, du moins celle du manteau supérieur. Le principe est d'essayer de synthétiser une roche dont la fusion expérimentale donne un liquide de composition de basalte tholéitique. Cette roche théorique est de ce fait appelée la "pyrolite".

Cette approche est un premier pas vers l'appréhension du manteau sublithosphérique, cependant l'exploration de celui-ci se fait essentiellement par des approches géophysiques que nous allons aborder ci-dessous.

D- Rôle du manteau lithosphérique dans la dynamique de la croûte et des enveloppes externes.

Les conséquences de la rigidité des plaques

La cinématique de surface montre donc que la surface de la Terre est divisée en plaques rigides qui se déplacent les unes par rapport aux autres. Cette rigidité réside pour une large part dans le manteau lithosphérique. C'est au premier ordre sa plus faible température qui confère au manteau situé sous la croûte sa rigidité. La lithosphére est une couche limite thermique dans le processus de convection. La présence des plaques rigides en surface modifie le régime convectif profond en forçant la cinématique de surface. Les modèles numériques de convection montrent bien le rôle de cette enveloppe rigide.

Le comportement des panneaux plongeants

Par ailleurs ce manteau rigide est également plus dense que l'asthénosphère dans laquelle il s'enfonce dans les zones de convergence. Le comportement des panneaux plongeants dans les zones de subduction contrôle en grande partie la tectonique de la croûte dans la plaque chevauchante. Bassins arrière-arc et cordillères sont deux produits extrêmes de l'interaction entre plaque supérieure et plaque plongeante. On observe une constante : les zones de subduction à fort pendage sont associées à des bassins arrière-arc alors que les zones de subduction à faible pendage sont au contraire caractérisées par des cordillères. Les modèles les plus classiques mettent en relation l'âge de la plaque plongeante (et donc son contraste de densité avec l'asthénosphère) avec son pendage et donc avec la dynamique de la plaque supérieure : plaque âgée, fort pendage, recul du panneau plongeant et ouverture de bassins arrière-arc (subduction de type Mariannes), pas de séismes de forte magnitude, plaque jeune, faible pendage, pas de recul, fort couplage, séismes de forte magnitude, formation d'une cordillère (subduction de type Chili) (Fig.6). Il semble cependant que les choses soient un peu plus complexes et que l'interaction entre le panneau plongeant et l'asthénosphère ne vienne compliquer les choses. Le lien entre le pendage et le régime tectonique de la plaque supérieure reste cependant une observation robuste.

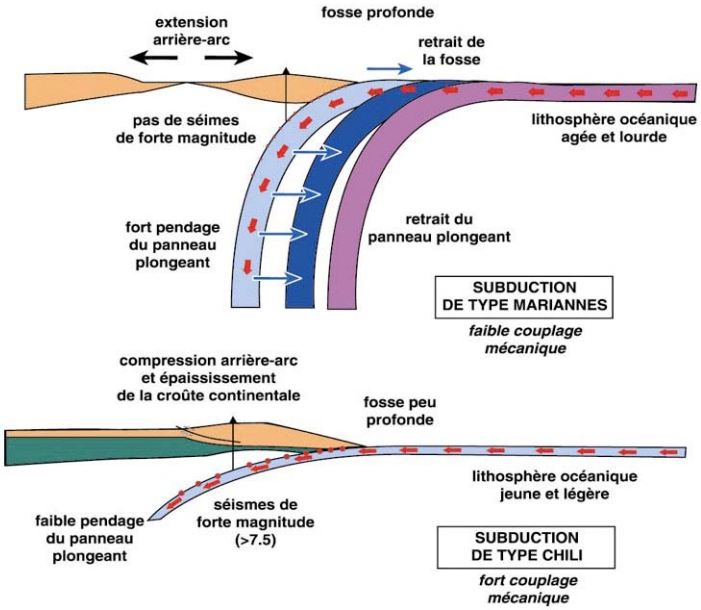


Fig. 6 : les deux types extrêmes de subduction selon le modèle classique.

L'exemple méditerranéen permet de montrer les rapports complexes entre convergence et comportement des panneaux plongeants. Bien que la convergence Afrique-Eurasie soit lente (entre 0,5 et 1 cm/an seulement) les bassins arrière-arc s'ouvrent à des vitesses beaucoup plus importantes pouvant atteindre plus de 10 cm/an. Le moteur de cette dérive rapide de l'arc calabrais ou de l'arc hellénique est le résultat du recul des panneaux plongeants dans l'asthénosphère.

Le découplage croûte-manteau dans les chaînes de montagnes

La forte densité du manteau lithosphérique conditionne également la dynamique des zones de collision. Lors de l'enfoncement de la lithosphère continentale, la croûte inférieure subit des transformations métamorphiques dans le faciès des éclogites et sa densité augmente considérablement pour dépasser celle du manteau. La densité de la croûte supérieure, quant à elle, reste toujours inférieure à celle du manteau. Il se produit alors souvent un découplage entre la croûte supérieure qui intègre le prisme orogénique et l'ensemble croûte inférieure-manteau qui plonge en subduction. Ce découplage est facilité par le comportement ductile de la croûte moyenne si celle-ci n'est pas trop basique comme le montre les enveloppes rhéologiques de la lithosphère continentale dans le cas où la croûte est entièrement granitique (Fig. 7). Les chaînes sont ainsi constituées essentiellement d'éléments de croûte supérieure.

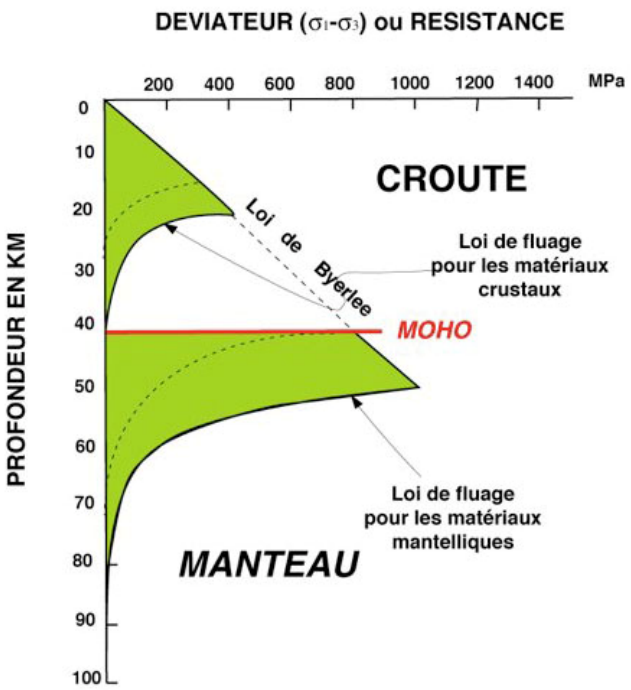


Fig. 7 : enveloppe rhéologique d'une lithosphère continentale pourvue d'une croûte granitique. Le comportement de la croûte est contrôlé par celui du quartz et la croûte inférieure est peu résistante facilitant le découplage entre croûte et manteau.

Détachement des racines lithosphériques ou des slabs

La subduction de panneaux de manteau dense sous les orogènes ou dans les zones de subduction conduit également souvent à des instabilités gravitaires qui font que des portions entières peuvent se détacher. On observe très bien ce phénomène grâce à la tomographie sismique ou la distribution des séismes. Le détachement des panneaux plongeants ou des racines lithosphériques conduit à des réajustements isostatiques et à des changements du régime thermique des chaînes et des plateaux.

Le refroidissement de la lithosphère océanique et le niveau des mers

Le comportement du manteau lithosphérique a également des conséquences majeures sur l'environnement de surface. Lorsque la lithosphère océanique se refroidit en s'éloignant de la dorsale, elle s'épaissit et se contracte ; elle devient donc plus dense et son niveau de flottaison sur l'asthénosphère est donc plus bas. On explique ainsi l'approfondissement des océans de part et d'autre des dorsales. On observe en effet qu'au premier ordre la profondeur des océans ne dépend que de leur âge et on peut reproduire la distribution des profondeurs à partir d'un modèle simple de refroidissement. Les conséquences sont majeures : si pendant une période donnée de l'histoire de la Terre les dorsales océaniques fonctionnent en moyenne plus vite et produisent plus de lithosphère, l'âge moyen du fond des océans est plus jeune et la profondeur moyenne est en conséquence plus faible, ce qui conduit à une transgression sur les continents. Les variations à longue période du niveau

des océans sont expliquées de cette façon. Par exemple la transgression globale du Cénomanien qui se voit bien dans le Bassin de Paris, peut s'expliquer par une augmentation de la vitesse moyenne des dorsales à cette époque. La dynamique interne a donc des conséquences sur la largeur des plateaux continentaux et donc sur la biodiversité.

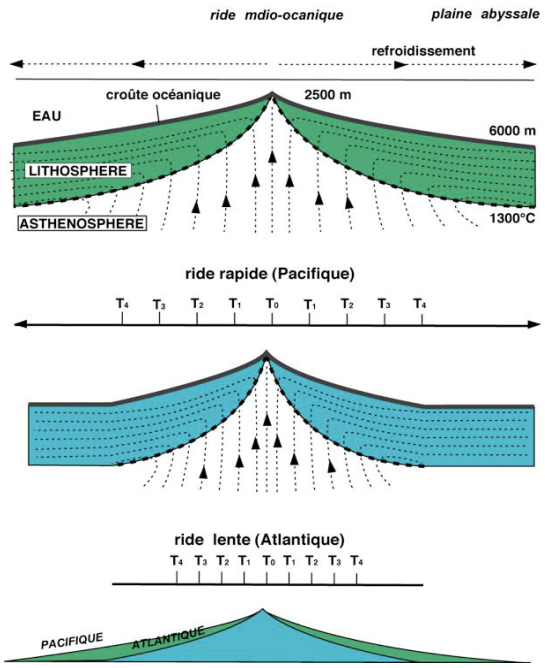


Fig.8 : évolution de la profondeur du fond des océans en fonction de la vitesse d'accrétion, dorsales rapides et dorsales lentes.

Hydrothermalisme aux dorsales

Au travers des failles normales qui parsèment les zones d'accrétion l'eau de mer circule de façon convective jusque dans les parties profondes de la croûte océanique, voire dans le manteau supérieur. Les eaux chaudes qui remontent de la profondeur transportent des éléments dissous, en particulier des éléments métalliques. Les concentrations métalliques de fumeurs noirs ou des nodules polymétalliques trouvent leur origine dans cette interaction.

Par ailleurs la circulation de l'eau des océans jusque dans le manteau supérieur conduit à une hydratation des péridotites et à la formation de serpentinites. La rhéologie de ces dernières est très différente de celle des péridotites d'origine. Elles sont en particulier beaucoup moins résistantes et elles constituent un niveau faible dans la lithosphère océanique. Elles permettent d'introduire un niveau ductile sous le Moho qui joue le rôle d'un niveau de décollement potentiel, permettant le découplage entre les roches de la croûte et du manteau serpentinisé du reste du manteau plus résistant lors de la subduction et de la collision.

II- **Le manteau profond ou le manteau inaccessible** :

A- Modèle sismique radial, PREM :

Le modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model), publié en 1981, donne les profils de vitesse des ondes sismiques de volume P et S en fonction de la profondeur. Il s'agit là de profils moyens radialement, obtenus essentiellement par inversion des temps d'arrivée des ondes sismiques. Quant une onde se propage d'un milieu 1 à un milieu 2, elle est en partie réfléchie et en partie réfractée selon la loi de Descartes, $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ (**Fig.9**), où n est l'indice de réfraction du milieu, n=c/v. Les ondes sismiques P et S sont des ondes élastiques, *i.e.* elles induisent une déformation élastique du milieu lors de leur propagation. Leur vitesse dépend donc de la densité du milieu (ρ) et de ses paramètres de déformation élastique, les modules d'incompressibilité (K) et de cisaillement (μ) :

$$v_P = \text{racine}((K+4/3\mu)/\rho), \quad v_S = \text{racine}(K/\rho)$$

Si l'on ajoute à ces deux équations une équation d'état reliant v_P à ρ par exemple (Loi de Birch), on peut calculer le profil de densité de la Terre profonde, et par suite le profil de pression hydrostatique (intégration de $dP = \rho(z)\, g(z)\, dz$). Ce dernier est donc connu très précisément, la pression atteignant 135 GPa à la base du manteau.

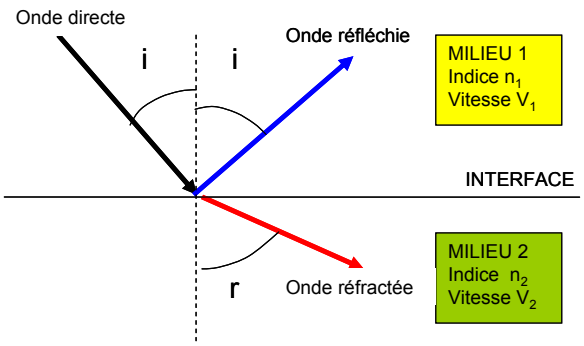


Fig.9. Loi de Descartes.

Une fois ces bases posées, nous pouvons revenir à la description des profils sismiques (**Fig.10**). L'observation de premier ordre est la perte des ondes S à 2900 km corrélée à une chute de v_P, il s'agit de la discontinuité de Gütenberg qui sépare manteau et noyau externe. A l'intérieur du manteau même, v_P et v_S augmentent avec la profondeur, et on remarque deux paliers, l'un à 400 km l'autre à 670 km. La discontinuité de 670 km marque la transition entre manteau supérieur et manteau inférieur, au sein duquel l'évolution de v_P et v_S est continue du fait de l'augmentation de la densité du milieu sous l'effet de l'augmentation de pression. Reste par contre à interpréter les augmentations discontinues de vitesses. Francis Birch, pionnier en géophysique et pétrologie expérimentale, a suggéré dès les années 60 que ces discontinuités de vitesses sismiques dans le manteau

correspondaient à des transitions de phase des minéraux le constituant. Dernière observation, les profils de v_P et v_S présentent une rupture de pente environ 200 km au-dessus de la limite noyau-manteau, il s'agit de la couche D".

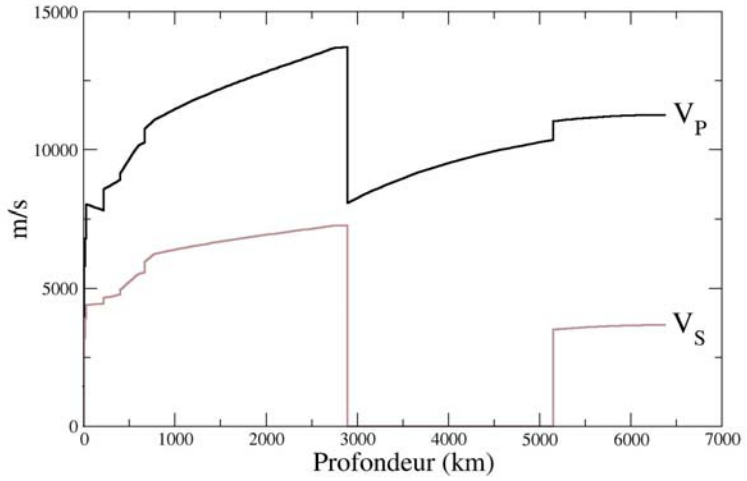


Fig.10: Profils de vitesse des ondes sismiques dans la Terre.

B- Expériences HP-HT :

Générer les conditions du manteau terrestre.

Pour démontrer cette intuition, il a fallu recréer les conditions de pression et de température de l'intérieur de la Terre au laboratoire. Plusieurs techniques existent mais le principe de base reste le même : exploiter le rapport de surfaces entre échantillon et enclumes pour générer des hautes pressions. Dans le cas de la cellule à enclumes de diamant par exemple, l'échantillon est inséré dans un joint de confinement placé entre deux diamants positionnés tête-bêche (**Fig.11**). La pression appliquée sur les faces larges des diamants est ainsi multipliée par le rapport des surfaces (grande/petite). La pression ne peut cependant être calculée si simplement du fait de la déformation des enclumes, du joint de confinement, et doit être mesurée par exemple en utilisant la longueur d'onde de fluorescence d'un rubis dopé au chrome. Pour générer de hautes températures, là-aussi plusieurs techniques sont utilisables comme le chauffage de l'échantillon par absorption d'un rayonnement laser infra-rouge. Dans ce cas, la température peut être mesurée par spectrométrie, le spectre de la lumière émise par l'échantillon étant fonction de sa température. La technique cellule à enclumes

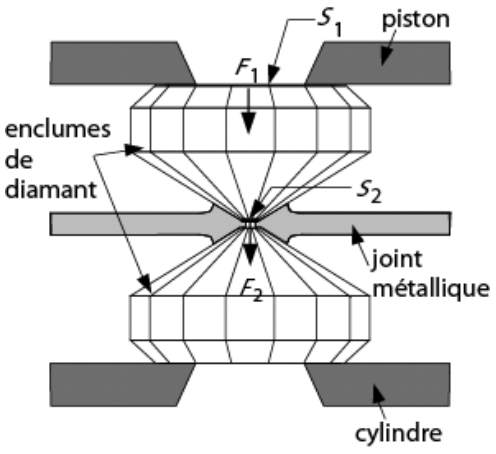


Fig.11. Schéma de principe d'une cellule à enclumes de diamants.

de diamant présente l'avantage d'utiliser des diamants, soit un matériau transparent à une grande gamme de longueurs d'onde, notamment celle de la lumière visible et les rayons X durs. Une fois les conditions pression-température du manteau générées, il s'agit de faire des mesures sur l'échantillon. Plusieurs sont possibles, une des plus courantes et des plus utiles étant la diffraction de rayons X, qui permet de connaître la structure minéralogique des minéraux comprimés, le volume de leur maille cristalline et donc leur densité.

N.B. : Autres techniques possibles : presses multi-enclumes ou gros-volumes, expériences de choc. Type de mesures possibles et utiles pour la connaissance du manteau (spectroscopie optique, Raman et IR ; analyses chimiques sur échantillons trempés par microsonde électronique, etc.).

Apports à la connaissance du manteau.

Le diagramme de phase de l'olivine a ainsi été étudié, et une séquence de transitions de phase a été observée en correspondance avec les différentes discontinuités sismiques :

olivine-α (celle que l'on observe dans des nodules de péridotite aux conditions ambiantes) $\rightarrow$ olivine-β $\Leftrightarrow$ discontinuité à 400 km

olivine-β $\rightarrow$ olivine-γ $\Leftrightarrow$ discontinuité à 520 km

olivine-γ $\rightarrow$ $(Mg,Fe)SiO_3$ structure perovskite+$(Mg,Fe)O$ $\Leftrightarrow$ discontinuité à 670 km

Les 1ère et 3ième transitions délimitent la "zone de transition" du manteau, la 2ième étant visible mais moins marquée sur les profils sismiques. L'étude expérimentale des transitions de phase de l'olivine permet de plus de déterminer la température du manteau, moyennant les barres d'erreur expérimentales, à chacune de ces discontinuités sismiques (cf II-C). Contrairement aux phases de l'olivine et aux silicates des croûtes continentales et océaniques, la structure perovskite a pour unité de base non pas un tétraèdre $[^{IV}SiO_4]^{4-}$ mais un octaèdre $[^{VI}SiO_6]^{6-}$ (**Fig.12**).

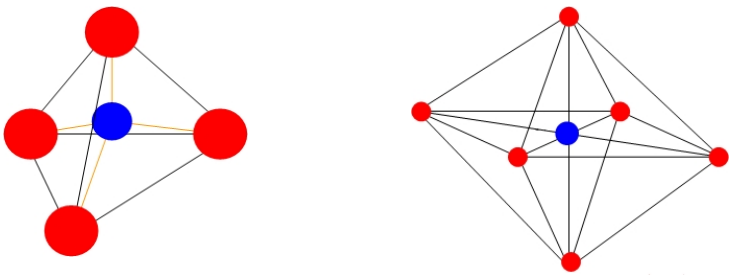


Fig.12: Coordination du silicium dans les structures olivine (gauche) et perovskite (droite). Sphères bleues : silicium (cation), sphères rouges : oxygène (anion).

Ce changement de valence du silicium illustre l'effet de la pression sur non seulement les propriétés physiques des matériaux mais aussi sur leurs propriétés chimiques.

Plus récemment, une structure post-perovskite a été synthétisée dans les conditions de la base du manteau, et plus précisément celles de la couche D". Cette structure post-perovskite a la particularité d'être très anisotrope ce qui pourrait expliquer en partie la grande anisotropie sismique de cette zone.

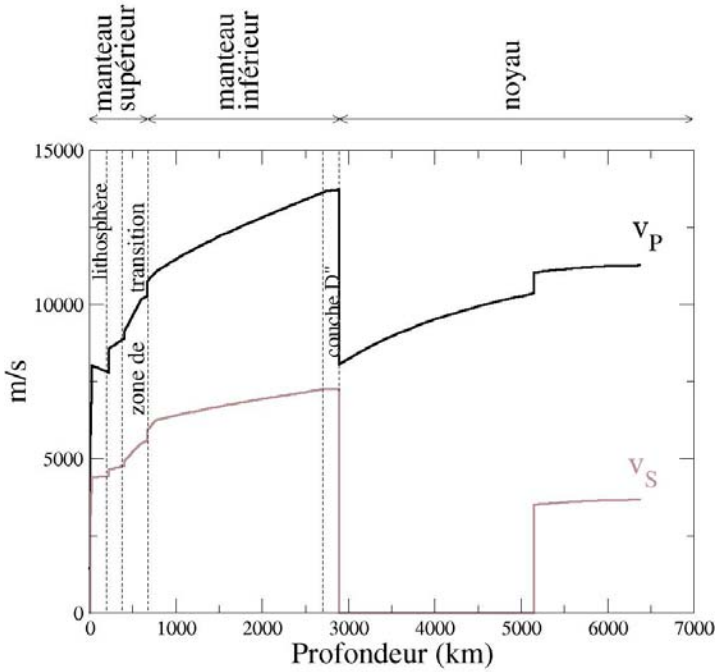


Fig.13: Structure du manteau (interprétation des profils de vitesses sismiques, cf. fig.10).

C- Rôle du manteau dans l'évacuation de la chaleur interne du globe:

Bilan de chaleur.

La Terre possède plusieurs sources de chaleur interne :

- radioactivité des isotopes de l'uranium (^{238}U, ^{235}U), du thorium (^{232}Th) et du potassium (^{40}K), source majeure car contribuant pour moitié au bilan de chaleur, elle est pour l'essentiel confinée à la terre silicatée (*i.e.* croûte et manteau) car ce sont des isotopes d'éléments lithophiles. D'autres radioactivités ont pu contribuer au bilan thermique de la Terre dans les 10 à 100 premiers millions d'années après son accrétion, il s'agit de radioactivités éteintes comme celle de ^{26}Al ;

- chaleur d'accrétion, qui a contribué initialement à fondre la planète et qui est relâchée par la croissance de la graine, partie interne solide du noyau, la cristallisation du fer entraînant libération de chaleur latente puis d'énergie potentielle lorsque les cristaux sédimentent.

Ces sources de chaleur interne sont compensées par des pertes en surface. Ce flux de chaleur est mesurable, vaut 86 $mW.m^{-2}$ en moyenne, soit 44 10^{12} W une fois intégré sur la surface du globe,

mais peut localement dépasser les 200 $mW.m^{-2}$ au niveau des dorsales océaniques. Remarquons que ce flux d'origine interne est négligeable par rapport au flux de chaleur externe venant du soleil (340 $W.m^{-2}$). Le bilan sources moins pertes permet d'estimer le refroidissement du manteau à environ 100 K/Ma au cours du Phanérozoïque.

Evacuation de la chaleur interne.

Radiation, conduction et convection sont trois mécanismes permettant d'évacuer la chaleur. Le premier est probablement limité dans le manteau du fait de l'opacité de ses roches. Le second est un phénomène de diffusion de la chaleur, et le troisième, la convection, correspond à un transfert de chaleur via un transfert de matière. Le nombre de Rayleigh, Ra, est une mesure de l'efficacité relative de la conduction par rapport à la convection en faisant le rapport de leur temps efficace, il s'agit donc d'un nombre sans dimension. Pour une couche de fluide chauffée à sa base, le moteur de la convection est la poussée d'Archimède (contrôlée par la densité, ρ, le coefficient de dilatation thermique, α, le champ de pesanteur, g, le gradient de température entre base et sommet du système, ΔT, et l'épaisseur du système, h), et les phénomènes qui s'y opposent sont la conduction (contrôlée par la diffusivité thermique, κ), car elle tend à limiter les inhomogénéités de température, et les forces visqueuses (contrôlées par la viscosité, η). Dans ce cas, on a : $Ra=\alpha\rho g h^3 \Delta T/\kappa\eta$. Dans le cas du manteau, un certain nombre de ces paramètres ont déjà été détaillés dans la partie I (h, ρ). Les autres doivent être évalués et seule la viscosité ne peut être mesurée en laboratoire du fait de la très grande échelle de temps des déformations naturelles du manteau (quelques cm/an). La viscosité du manteau est estimée à 10^{21} Pa.s à partir des courbes de soulèvement faisant suite à la fonte de calotte glaciaires, telles celle qui recouvrait le bouclier fenno-scandinave ; on parle de rebond post-glaciaire. La convection a lieu dans un système donné pour une valeur de Ra supérieure à une valeur critique d'environ 2000, et plus il est élevé, plus la convection est vigoureuse et sa géométrie complexe. On obtient pour le manteau $Ra \sim 10^8$, une valeur bien supérieure à la valeur critique, ce qui permet d'affirmer que le manteau convecte, et de façon chaotique. On peut donc décrire la dynamique du manteau comme celle d'un fluide, mais cela est possible uniquement à l'échelle des temps géologiques du fait de sa viscosité très élevée.

Quelques techniques géophysiques permettent de visualiser un instantané, à la période actuelle, de la structure thermique du manteau. La tomographie sismique, technique qui mesure les écarts de vitesse de propagation des ondes sismiques (ΔV) par rapport à un modèle radial de référence type PREM, a ainsi mis en évidence des zones froides ($\Delta V>0$) et chaudes ($\Delta V<0$) du manteau. Ces anomalies sont pour la plupart inférieures à 1%. Les zones froides sont essentiellement en continuité avec les panneaux lithosphériques entrant en zones de subduction. Selon les régions, on observe un plongement des plaques à travers tout (ex. plaque Pacifique) ou portion (plaque Philippine) du manteau. Autre trait remarquable mis en évidence par la tomographie sismique : les anomalies les plus importantes du manteau profond se trouvent à sa base, dans la couche D".

Les anomalies du géoïde, surface équipotentielle du champ de pesanteur confondue avec le niveau moyen des mers, permettent aussi d'identifier des anomalies thermiques, et donc de masse, du manteau lorsqu'elles sont de grande longueur d'onde **(Fig.14).**

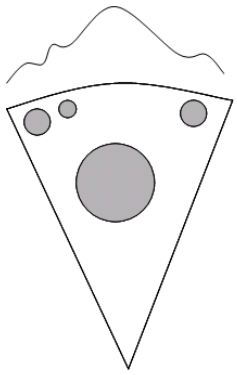


Fig.14: Relation entre profondeur d'une anomalie de masse (cercles gris) dans le manteau et longueur d'onde de l'anomalie du géoïde associée (courbe).

Par exemple, des bombements du géoïde sont observés au niveau de l'Atlantique Nord et du Pacifique Sud et sont interprétés comme signalant une colonne chaude de manteau, donc dilatée, ce qui génère un signal de topographie dynamique important (*e.g.* bombement ou "superswell" du Pacifique) et de ce fait, un excès de masse. Cela nous amène à parler des panaches mantelliques. Le concept de point chaud fixe et d'origine très profonde formulé par Wilson (1963) et Morgan (1972) a certes du plomb dans l'aile. Hormis Hawaï, l'île de La Réunion et quelques autres dont l'origine semble bien être la déstabilisation de la couche D" à la base du manteau, la plupart ne sont en effet plus considérés comme fixes et la genèse des basaltes d'îles océaniques (OIB) actuels pourrait aussi bien s'expliquer par une fusion du manteau sub-lithosphérique et transport du magma généré via des fractures lithosphériques. Dans le passé par contre, du Permien au Paléocène, des panaches mantelliques sont associés aux épisodes de fusion intense (traps, provinces magmatiques), et la teneur des laves en MgO permet d'estimer une température de fusion du manteau de 100 à 200 K supérieure aux températures de fusion de la source des OIB actuels et des taux de fusion également très supérieurs (jusqu'à 30%).

A défaut de pouvoir être imagée précisément, et surtout de pouvoir être imagée au cours des temps géologiques, la convection est étudiée par des modélisations, analogiques en reproduisant ses conditions dans un bassin en laboratoire, ou numériques. Une condition nécessaire que doivent remplir ces modèles est d'avoir un nombre de Ra similaire à celui du manteau. Ces modèles permettent entre autres de discuter les modalités de la convection, notamment si elle se déroule en deux couches séparées (manteaux supérieur et inférieur) ou bien en une seule couche. L'alternance géographique (ex. plaques subduites traversant ou non la zone des 670 km) et temporelle (ex. avalanches de manteau supérieur dans le manteau inférieur) de ces deux cas limites aboutissant au modèle dit à une couche et demi.

Le profil de température du manteau.

Une fois les modes d'évacuation de chaleur identifiés, le profil de température du manteau peut-être construit **(Fig.15).** En effet, les gradients de température conductif dans la lithosphère et convectif

dans le manteau profond peuvent être calculés, en prenant pour gradient convectif le gradient de température adiabatique. Ces gradients peuvent alors être ancrés sur plusieurs points de référence : l'isotherme 1300 °C en base de lithosphère, puis les températures de transitions de phase minéralogiques correspondant aux discontinuités sismiques du manteau (II-A). Si l'on poursuit cet exercice pour le noyau, en ancrant un géotherme convectif sur la transition fer liquide-fer solide à la transition noyau liquide-graine (environ 5000 K±1000 K à 5150 km), cela fait apparaître un très fort gradient de température à la limite manteau-noyau. On a là de nouveau une zone conductive, pouvant correspondre à la couche D" côté manteau. Pour ces zones conductives en base et sommet du milieu convectif, le manteau ici, on parle de couches limites thermiques au sein desquelles l'évacuation de chaleur ne peut se faire par convection du fait de l'absence de mouvements verticaux.

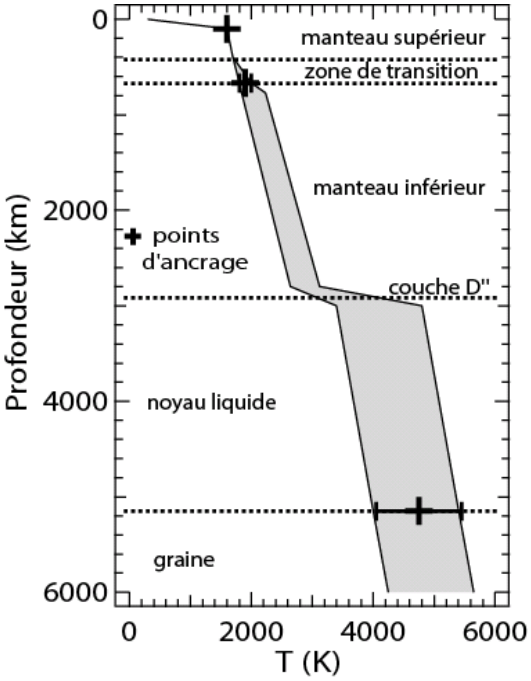


Fig.15: Estimation du géotherme.

Conséquences sur la dynamique du noyau.

Le couplage entre manteau et noyau est tout d'abord thermique car il y a continuité de la transmission de chaleur entre les deux réservoirs. Une illustration de ce couplage thermique est l'existence dans l'échelle des temps géologiques de zones sans inversion du champ magnétique précédant des épisodes de volcanisme intense. Par exemple, le Crétacé est marqué côté noyau par la "quiet zone", 35 Ma sans inversion magnétique, à laquelle fait suite une période de volcanisme intense (traps du Deccan). L'origine de cette succession d'évènements pourrait être la brusque variation du flux de chaleur entre manteau et noyau, de faible à élevé lors de la déstabilisation de la couche D" et ascension d'un panache. Certaines observations mettent aussi en évidence un couplage des dynamiques du manteau et du noyau. Par exemple, l'évolution temporelle de la longueur du jour, contrôlée par la rotation de la Terre et donc celle du manteau en tant qu'enveloppe solide, suit une

courbe similaire mais anticipant systématiquement celle de la variation de la déclinaison magnétique. Il y a donc un forçage du manteau sur la géodynamo, et donc la dynamique du noyau.

Les couplages entre manteau et noyau nous amène à discuter le rôle du manteau non seulement dans la dynamique du noyau mais aussi dans sa formation, et plus généralement dans la différentiation de la Terre et l'évolution de ses différents réservoirs.

III- **Formation et évolution du manteau : son rôle dans la formation des autres réservoirs terrestres**.

A- Formation du manteau et du noyau :

L'individualisation du manteau et du noyau est l'épisode de différentiation majeur de la Terre. Outre les sources d'énergie déjà mentionnées (II-C), la collision de la Terre avec Théia, proto-Lune, a sans doute constitué un apport de chaleur important, contribuant à fondre tout ou du moins une grande partie de la Terre. On réfère ce stade à un épisode d'océan magmatique. La formation du noyau a abouti à séparer les éléments sidérophiles (qui aiment le fer) des éléments lithophiles (qui aiment les roches). L'élément sidérophile majeur de la Terre est le fer, matériau plus de 2 fois plus dense que les silicates. Son extraction est donc suivie de son écoulement gravitaire vers le centre du globe, entraînant sur son passage d'autres éléments sidérophiles (métaux : Ni, Co, etc et éléments légers comme le soufre par exemple). Les géochimistes tracent la formation du noyau en utilisant la radioactivité éteinte du ^{182}W ($T_{1/2}$=9 Ma). Cet isotope du tungstène, élément sidérophile, se désintègre en ^{182}Hf. L'hafnium étant un élément lithophile, la formation du noyau va donc fractionner père et fils. On estime ainsi la formation du noyau à environ 30 Ma après accrétion de la Terre.

Les échanges chimiques entre manteau et noyau ne se sont pas nécessairement limités à cette période précoce de différentiation. Des expériences de haute pression haute température montrent en effet que perovskite (et post-perovskite) et fer liquide s'équilibrent chimiquement lorsqu'ils sont portés aux conditions P-T de la limite noyau-manteau, le silicate s'enrichissant en fer et s'appauvrissant en oxygène et silicium, au profit probable du noyau.

B- Formation de la croûte continentale :

Par rapport au manteau, la croûte continentale est caractérisée par une forte teneur en silice, en alcalins, en terres rares lourdes, et autres éléments dit incompatibles car se concentrant dans le liquide silicaté lors d'un épisode de fusion partielle. Parmi ces éléments incompatibles, le rubidium possède un isotope radioactif (^{87}Rb) se désintégrant en ^{87}Sr, le strontium étant lui un élément compatible ($T_{1/2}$=49.7 Ga). Les rapports $^{87}Sr/^{86}Sr$ enregistrés dans les basaltes ("fenêtres" sur le manteau) et dans les granites continentaux évoluent sur deux droites de pente différente et encadrant l'évolution du rapport $^{87}Sr/^{86}Sr$ dans les chondrites assimilées à la Terre silicatée globale **(Fig.16).**

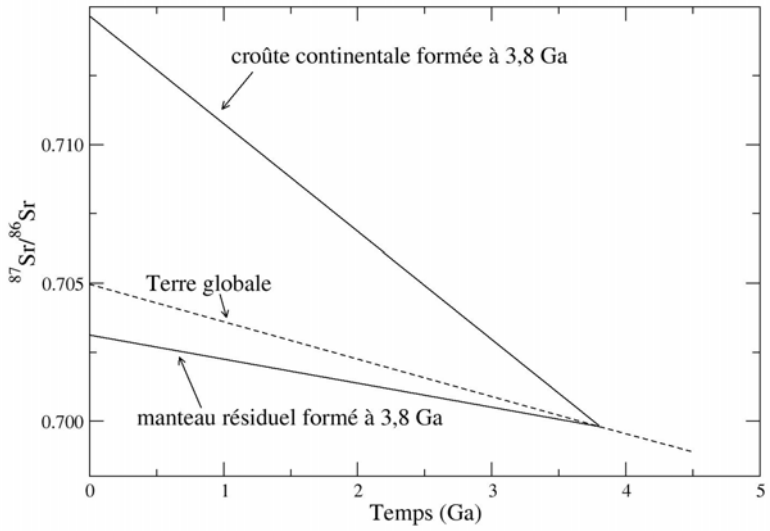


Fig.16. Evolution isotopique d'une croûte continentale et du manteau résiduel par rapport à l'évolution de la Terre globale.

La croûte est donc ultimement un produit de fusion du manteau primitif, la question, pas encore résolue, étant la modalité et le contexte géodynamique de cette fusion. Deux modèles existent, tous deux permettant de reproduire les caractéristiques chimiques et notamment le spectre de terres rares de la croûte continentale. Selon le premier, la croûte continentale est le produit de la fusion de croûte océanique en contexte de subduction, ce qui nécessite un géotherme plus élevé qu'à l'actuel et a pu se produire à l'Archéen (>2.5 Ga). Selon le second modèle, la croûte continentale est le produit de la fusion de plateaux océaniques, plateaux suffisamment épais pour que leur base se déstabilise et subisse un épisode de fusion secondaire. Dans les deux cas, il s'agit donc d'une fusion en deux étapes du manteau. L'histogramme des âges de la croûte continentale montre plusieurs pics **(Fig.17)**, un tel regroupement d'âges arguant plus en faveur du second modèle en contexte de point chaud, que du premier, la subduction étant a priori un phénomène continu.

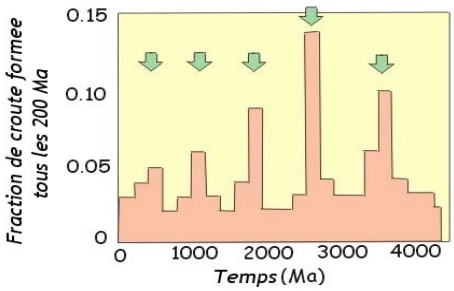


Fig.17. Distribution des âges géochronologiques de la croûte continentale.

L'extraction de la croûte à partir du manteau primitif, menant à la différentiation chimique de ce dernier, pose aussi la question de sa composition. On peut en effet échantillonner la croûte et le manteau lithosphérique (cf I-1), mais il est complexe à partir de là de remonter à la composition du manteau primitif car fut-il impliqué totalement ou en partie ? Sa composition est estimée en faisant des corrélations de rapports élémentaires (éléments lithophiles uniquement, ex. Mg/Si, Al/Si) entre péridotites et chondrites. Les chondrites sont des météorites non-différenciées, dont la composition est proche de celle de la photosphère du Soleil (volatils mis à part) et sont à ce titre considérées comme de bons représentants de la composition initiale de la Terre. Dans cet exercice, la composition du manteau primitif se trouve à l'intersection entre la corrélation des péridotites et celle des chondrites (**Fig.18**).

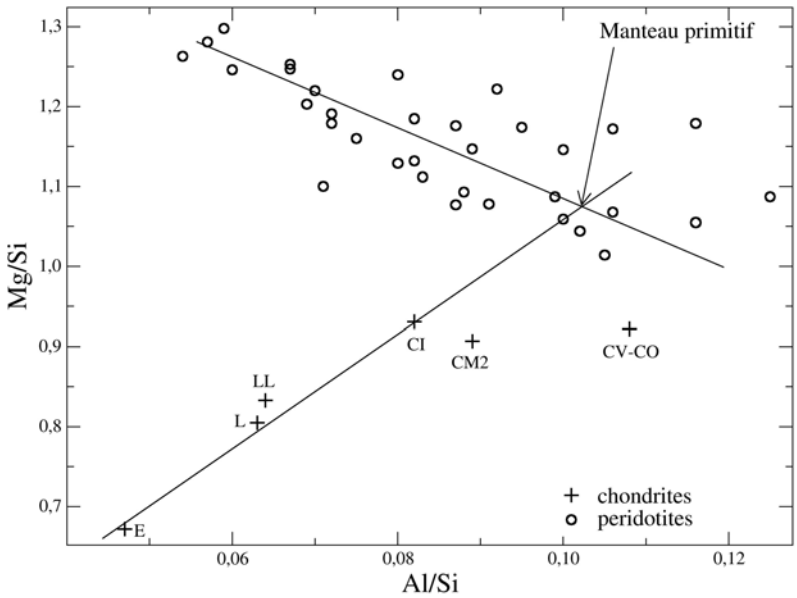


Fig.18. Détermination de la composition du manteau supérieur primitive.

En terme de chronologie, la formation de la croûte, bien que regroupée sur plusieurs pics d'âge, est étalée dans le temps contrairement à la formation du manteau. Ces pics sont épisodiques, et situés essentiellement entre 600 et 3500 Ma. Cet histogramme est construit à partir de l'âge de roches crustales mesuré par la méthode U/Pb, la plus vielle étant un gneiss de 4.0 Ga (Canada), mais certains minéraux attestent la présence de croûte aussi tôt que 4.4 Ga. Il s'agit de zircons ($ZrSiO_4$), minéraux très résistants à l'érosion et contenant de l'uranium en trace, ce qui permet de les dater. Les zircons sont donc les seuls témoins de cette première période de l'histoire de la Terre dont nous n'avons aucune roche témoin, l'Hadéen, et les plus vieux ont été trouvés en Australie orientale. Notons que sur le territoire français, les plus vieux échantillons de croûte continentale se trouvent dans la baie d'Ecalgrain (Cotentin), datés de l'Icartien (> 2 Ga).

En terme de dynamique du manteau, la formation de la croûte continentale a eu plusieurs conséquences. D'abord cela a extrait des éléments à forte radioactivité (U, Th et K), concentrés pour

les ¾ dans la croûte et le ¼ restant dans le manteau, entraînant une diminution de sa vigueur convective. Cela peut expliquer le passage d'une tectonique Archéenne (ante 2.5 Ga) essentiellement verticale avec diapirisme et sagduction (effondrement gravitaire d'ensembles de roches denses), à une tectonique de plaques rigides essentiellement horizontale. Ensuite, les continents forment des ensembles isolants au sommet du manteau, la chaleur issue du manteau ne s'y transmet pas de la même façon que sous les océans et tend à s'y accumuler, organisant la convection en principe chaotique du manteau (cf discussion du nombre de Ra en II-C), en une convection à cellules de grande échelle. L'accumulation de chaleur sous les continents peut aussi conduire à leur rupture, et expliquer ainsi les cycles de Wilson avec formation d'une Pangée (regroupement de continents) puis son éclatement.

C- Formation de l'atmosphère et des océans :

L'apport des éléments volatils constituant l'atmosphère et les océans a deux origines possibles : interne via le dégazage du manteau ou externe via un apport météoritique (ou cométaire), ces deux origines n'étant pas exclusives. Nous ne discuterons ici que de l'origine interne puisqu'elle seule fait intervenir le manteau et son évolution dans le temps. A défaut de pouvoir tracer le dégazage des éléments majeurs de l'atmosphère (N_2, CO_2) et de l'hydrosphère (H_2O), on trace celui d'éléments mineurs, les gaz rares. En effet, Xe, Ar et He sont non seulement des gaz rares, donc inertes, mais ils possèdent des isotopes radiogéniques de période variable (17 Ma pour le ^{129}Xe, 1,5 Ga pour ^{40}Ar et 4,6 Ga pour ^{4}He). Contrairement aux gaz rares, les isotopes pères de ces radioactivités ne sont pas volatils (respectivement ^{129}I, ^{40}K et $^{238}U/^{235}U/^{232}Th$), ce qui induit leur fractionnement lors du dégazage. De fait, des fractionnements sont observés pour chacun de ces gaz : excès de ^{129}Xe dans le cortex des basaltes en coussins (MORB), excès de ^{4}He dans l'eau océanique au niveau des dorsales, et ce chaque fois par rapport à la valeur atmosphérique. Cela permet de tracer un épisode de dégazage massif du manteau très tôt, dans les 100 premiers Ma (anomalies en ^{129}Xe), dégazage qui s'est ensuite poursuivi jusqu'à l'actuel (anomalies ^{4}He).

Les conséquences du dégazage du manteau sur l'évolution de la planète sont majeures. Outre la formation initiale de l'atmosphère et de l'hydrosphère ayant contribué à établir les conditions nécessaires pour l'apparition de la vie, le dégazage du manteau au cours de l'histoire de la Terre a aussi eu des conséquences notables. Les épisodes de volcanisme intenses comme la formation de traps sont ainsi corrélés avec des épisodes d'extinctions majeures de la biosphère. On peut aussi mentionner les modifications de circulation des eaux océaniques en fonction de leurs conditions aux limites, à savoir la position des continents, elle-même dépendant des mouvements des plaques tectoniques et donc de la dynamique mantellique. Exemple de la circulation Est-Ouest et stratifiée des eaux à l'ère II^{aire} devenue Nord-Sud et brassée suite à la fermeture de la Téthys.

En conclusion, il ressort de ce devoir qu'un des rôles majeurs du manteau est d'évacuer la chaleur interne de la Terre. De ce fait, il contribue à la mise en place et à l'évolution dynamique et chimique de l'ensemble des réservoirs terrestres au cours de son histoire. Le manteau a aussi un rôle d'interface au sein du globe. Interface avec les réservoirs externes (atmosphère, hydrosphère, biosphère) indirectement via la mise en mouvement de la surface du globe (tectonique des plaques), et directement par sa fusion et son dégazage. Interface avec le réservoir le plus interne, le noyau, via des échanges chimiques et des couplages thermiques et dynamiques. Le manteau lithosphérique ne représente q'une très faible part en volume du manteau terrestre mais sa rigidité et sa densité en font l'acteur majeur de la tectonique des plaques, donc de la dynamique de la surface de la Terre.

L'existence d'un manteau silicaté n'est pas une particularité terrestre, les autres planètes telluriques en possédant également un, et de taille relative assez similaire dans les cas de Vénus et de Mars. Le manteau de Vénus est probablement aussi actif que le manteau terrestre, comme l'attestent les nombreuses figures tectoniques et volcaniques observées. Une particularité terrestre est par contre la tectonique des plaques, manifestation en surface de la dynamique mantellique profonde.

Agrégation externe SV-STU 2009 *Écrit du secteur C*	n° de copie	signatures des correcteurs	Note finale ###### /20	REMARQUES
*si la copie est blanche, mettre **cb** ou **CB** dans la case jaune de la note harmonisée*		note harmonisée =	/20	

Socle de connaissances	A - Expressions & quantifications	1 - Caractéristiques générales du manteau terrestre	Proportion du manteau (en masse ou en volume)				
			Par rapport aux autres planètes telluriques				
		2 - Structure du manteau - données géophysiques	Limites sismologiques du manteau (Moho, Gutenberg)				
			Base de la lithosphère: LVZ				
			Modèle PREM: obtention et discussion				
			Tomographie sismique				
			Anomalies du géoide				
		Bonus					
	B - Forces & mécanismes de contrôle	1 - Le manteau lithosphérique	Echantillons du manteau lithosphérique (dont ophiolites)				
			Notion de plaque, aspects rhéologique, thermique et mécanique				
			Forces en jeu				
		2 - Pétrologie expérimentale	Recréer les conditions P-T du manteau et mesures possibles				
			Transitions de phase				
			Construction du géotherme				
			Modèles de composition du manteau (chondrites et pyrolite)				
		Bonus (homogénéité)					
Compréhension de la notion	C - Dynamique du manteau	1 - Convection mantellique	Forces en jeu et discussion du nombre de Raylegh				
			Viscosité du manteau et rebond post-glaciaire				
			Modélisations analogiques et numériques				
			Bilan thermique				
			Panaches				
			Discussion de la couche D'' et couches limites thermiques				
			Modalités de la convection (1,1 et 1/2, 2 couches)				
		2 - Fusion du manteau	Paramètres contrôlant la fusion et différents contextes				
			Manteau source et son évolution				
		Bonus (anisotropie sismique)					
	D - Rôle du manteau dans l'histoire de la Terre	1 - Formation et évolution du manteau	Différenciation de la Terre: manteau primitif et noyau				
			Formation de la croûte continentale				
			Dégazage du manteau				
			Tectonique archéenne				
		2 - Rôle du manteau dans la géodynamique lithosphérique	Zones de convergence				
			Dorsales et rifts				
		3 - Le manteau à l'interface avec d'autres réservoirs	Couplages avec le noyau				
			Couplages avec la biosphère				
			Couplages avec atmosphère/hydrosphère				
			Cycle de l'eau dans le manteau				
			Métallogénie				
		Bonus					
	E - Structuration	Introduction					
		Conclusion					
		Epistémologie					
		Plan	Cohérence				
			Clarté d'expression, transitions,…				
		Bonus					
E - Iconographie		Illustration	Adéquation et pertinence				
			Qualité				
		Bonus					

points de bonus = 0 **0 sur 0**

Commentaire général :

Nom :	Prénom :	salle n° :

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2009

TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITÉ DU SECTEUR A

Durée totale : 6 heures

Éléments de physiologie plastidiale

Le présent sujet, de 47 pages, se compose de **deux parties indépendantes.** Deux feuilles de **papier millimétré** ont été distribuées à chaque candidat.

Par ailleurs, quatre feuilles de papier millimétré et une feuille de papier semi-logarithmique vous sont fournies.

Attention ! Pour la manipulation prévue au paragraphe VI de la partie 1 (page 20), aucun dépôt sur gel ne sera accepté dans la dernière heure et demie de l'épreuve.

Partie 1 : Approche de la physiologie des amyloplastes — Page 3

Durée conseillée : 4 heures - barème : 13 points sur 20

Partie 2 : Physiologie des chloroplastes — Page 30

Durée conseillée : 2 heures - barème : 7 points sur 20

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

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

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

Elles visent à évaluer, de façon complémentaire, les capacités des candidats dans quatre domaines principaux :

- **Capacités manipulatoires** : un certain nombre de manipulations devra être réalisé en réponse à l'énoncé ou à votre initiative. À cette occasion les capacités à utiliser, à bon escient et dans le cadre des règles de bonnes pratiques de laboratoire, les instruments et matériels classiques de laboratoire seront évaluées par les examinateurs présents dans les salles de travail. Un certain nombre de préparations doit faire l'objet d'une présentation aux examinateurs. L'énoncé mentionne cette obligation mais c'est à vous d'en prendre l'initiative.
- **Organisation de l'espace et du temps de travail** : l'ordre de présentation de l'énoncé se veut logique mais peut ne pas respecter la chronologie de travail de chacun. Il est en effet de votre initiative d'organiser votre temps de travail en profitant notamment des temps d'attente imposés par certaines parties du protocole pour avancer sur les aspects plus théoriques ou sur d'autres aspects pratiques. L'organisation de l'espace de travail sera également évaluée.
- **Capacités d'initiative** : certains aspects du protocole sont détaillés dans l'énoncé et doivent donc faire l'objet d'un suivi scrupuleux. Par contre, dans un certain nombre d'autres parties, il vous est demandé de faire preuve d'initiative dans les options retenues pour l'expérimentation. Ces choix devront, dans tous les cas, être expliqués. Pour vous aider dans ces choix, vous disposez d'une liste complète du matériel pour la partie 1 (disponible sur la paillasse).
- **Capacités de réflexion et de synthèse** : le traitement du sujet vous demande enfin de montrer votre capacité à prendre du recul par rapport aux expérimentations à mener, qu'il s'agisse de comprendre le rôle de telle ou telle étape d'une manipulation, de porter un regard critique sur ces étapes ou de se référer à des documents issus de travaux de recherche pour traiter d'un sujet connexe.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Partie 1 - Approche de la physiologie des amyloplastes

Durée conseillée : 4 heures - barème : 13 points sur 20

I - Préambule

Dans le cadre du programme de première S, le thème « Des phénotypes à différents niveaux d'organisation du vivant » propose de s'intéresser aux enzymes, « protéines actives dans la catalyse ». C'est l'occasion pour les élèves de mettre en œuvre un certain nombre de capacités expérimentales. Le document suivant propose un protocole constituant un exemple de mise en œuvre pratique de cette partie du programme.

REMARQUE : ON NE DEMANDE PAS, DANS UN PREMIER TEMPS, DE METTRE EN ŒUVRE CE PROTOCOLE.

Protocole expérimental

1) Préparation du filtrat contenant l'enzyme

- peler une pomme de terre conservée au froid, la râper, la broyer avec un minimum d'eau distillée (30 mL d'eau pour 30 g de pomme de terre) ;
- filtrer sur un entonnoir avec papier filtre dans un bécher placé dans de la glace ;
- le bécher contenant le filtrat est déposé sur un lit de glace ;
- on vérifie dans un verre de montre, avec l'eau iodée, l'absence d'amidon dans le filtrat ainsi préparé.

.

2) Préparation des tubes Eppendorf

- on dispose d'un bain-marie à 37 °C ;
- numéroter et préparer les sept tubes Eppendorf suivants :
tubes n° 1 et 2 : 0,5 mL de glucose 1-P
tubes n°3 et 4 : 0,5 mL de glucose
tubes n°5 et 6 : 0,5 mL de solution de glucose 6-P
tube n°7 : 0,5 mL d'eau distillée

3) Réalisation des mesures

- ajouter dans les tubes 1, 3 ,5 et 7 : 0,5 mL de filtrat conservé dans la glace ;
- ajouter dans les tubes 2, 4 et 6 : 0,5 mL d'eau distillée ;
- dès l'ajout, déclencher le chronomètre ;
- au temps t = 0 puis toutes les 5 minutes, prélever une goutte de solution dans chaque tube ;
- déposer chaque goutte dans un puits du plateau de coloration ;
- faire le test à l'eau iodée ;
- effectuer ainsi 4 prélèvements

4) Lecture des résultats et exploitation

- indiquer dans le compte-rendu la démarche expérimentale : problème scientifique, hypothèse, conséquences vérifiables, principe de l'expérience, intérêt du traitement à l'eau iodée ;
- élaborer et compléter un tableau de résultats ;
- comparer les tubes 2 à 2 et conclure quant aux conditions de la synthèse d'amidon.

Document 1 - Exemple de protocole expérimental permettant l'étude de la synthèse de l'amidon de pomme de terre (modifié d'après Pierron, fiche de travaux pratiques n°22, « Synthétase de la pomme de terre »)

Nom :	Prénom :	salle n° :

Question I- A

Indiquez quel est le problème scientifique qui sous-tend la mise en œuvre de ce protocole expérimental.

Réponse à la question I- A

Modalités d'intervention des enzymes dans la catalyse des réactions cellulaires

Question I- B

Indiquez quelle(s) hypothèse(s) est (sont) éprouvée(s) par ce dispositif.

Réponse à la question I- B

Spécificités des modalités d'action de l'enzyme :

- spécificité de substrat

- spécificité de conditions d'action (température notamment)

Question I- C

Indiquez, en les justifiant, les résultats possibles dans le cadre de cette expérience.

Réponse à la question I- C

Plusieurs réponses possibles (conséquences vérifiables des hypothèses préalablement formulées concernant la spécificité de substrat).

Amidon = polymère de glucose => seuls les tubes contenant G, G1P ou G6P devraient permettre la synthèse d'amidon.

Tubes contenant de l'eau = témoins négatifs (vérification de l'absence d'amidon au départ)

Possibilité de résultats positifs avec Glucose, Glucose 1P et Glucose 6P.

Tube 1	***Tube 2***	***Tube 3***	***Tube 4***	***Tube 5***	***Tube 6***	***Tube 7***
Glucose 1P	***Glucose 1P***	***glucose***	***glucose***	***Glucose 6P***	***Glucose 6P***	***Eau***
filtrat	***eau***	***filtrat***	***eau***	***filtrat***	***eau***	***Filtrat***
Synthèse ?	***néant***	***Synthèse ?***	***néant***	***Synthèse ?***	***néant***	***néant***
Enzyme + Substrat (?)	***Absence d'enzyme***	***Enzyme + substrat (?)***	***Absence enzyme et substrat***	***Enzyme + substrat (?)***	***Absence enzyme***	***Absence substrat***

II- Extraction et purification partielle d'enzymes de synthèse de l'amidon

Historiquement, la synthèse de composés amylacés a été la première réaction d'anabolisme réalisée *in vitro*. C'est aussi l'un des rares, si ce n'est le seul, exemples de synthèse enzymatique réalisable avec des élèves. Les documents pédagogiques disponibles mentionnent à ce propos le rôle d'une « synthétase » catalysant le phénomène.

On se propose, à travers le présent travail, d'analyser plus en détail certains mécanismes de cette synthèse. L'ensemble des manipulations proposées s'organise autour d'un protocole d'extraction d'enzyme présenté ci-dessous et que les candidats mettront en œuvre (noté ensuite « protocole d'extraction » dans le reste de l'énoncé). Certains des produits intermédiaires de ce protocole d'extraction feront l'objet d'études parallèles à la demande de l'énoncé mais aussi à l'initiative des candidats. Il conviendra donc de conserver un aliquote de chacun de ces échantillons comme indiqué dans le protocole d'extraction.

LE PROTOCOLE SUIVANT EST À METTRE EN ŒUVRE.

Chaque candidat dispose d'un tubercule de pomme de terre conservé au froid (+ 4°C). On précise que **l'ensemble des manipulations doit se réaliser au froid**, exception faite des étapes spécifiques de chauffage.

De même, les différentes **suspensions et solutions contenant les extraits enzymatiques devront être conservées au froid.**

La composition de la solution d'extraction A est fournie ci-dessous, en fin de protocole.

- rincer le tubercule à l'eau courante ;
- l'éplucher à l'aide des instruments fournis ;
- rincer à l'eau courante puis à l'eau distillée ;
- tamponner à l'aide d'un papier absorbant afin d'éliminer l'excès d'eau ;
- peser 30 grammes de l'échantillon ;
- conserver le reste du tubercule épluché immergé dans de l'eau distillée pour éviter les phénomènes d'oxydation. Il constituera **l'extrait T (Tubercule) ;**
- verser dans le mortier 30 mL de solution A conservée à 4°C ;
- à l'aide de l'instrument fourni (râpe ou presse-ail), réduire les 30 grammes d'échantillon en une purée qui sera immédiatement mélangée avec la solution A précédemment placée dans le mortier ;
- broyer à l'aide du pilon pendant 3 minutes à 4°C ;
- prélever 1 mL de suspension liquide à partir de ce broyat et conserver cet **extrait S (Suspension)** à 4°C dans un tube Eppendorf ;
- filtrer le contenu du mortier sur Büchner (papier filtre Whatman 11cm, GF/A, rétention 1,6μm).

- prélever 5 mL du filtrat et conserver cet **extrait F (Filtrat)** à 4°C (dans un tube polystyrène cristal à bouchon, de 20 mL) ;

- répartir de façon à peu près équitable le reste du filtrat dans deux tubes de centrifugation (tubes polystyrène cristal à bouchon, de 20 mL) ;

- centrifuger (10 min, 650 g, 4°C).

- répartir le surnageant obtenu dans deux nouveaux tubes (tube polystyrène cristal à bouchon, de 20 mL) : la moitié dans le tube A, dont vous repérerez le niveau par un trait fin fait au marqueur, et l'autre moitié dans le tube B ;

- conserver le tube B à 4°C : il correspondra à **l'extrait NC (Non Chauffé) ;**

- chauffer le tube A, bouchon ouvert, au bain-marie à 55°C pendant 15 minutes ;

- après chauffage, compléter si besoin le volume du tube A avec de l'eau distillée , pour revenir au volume repéré avant chauffage ;

- centrifuger dans les mêmes conditions que précédemment (10 min, 650 g, 4°C) ;

- récupérer le surnageant en le transférant dans un nouveau tube (tube polystyrène cristal 20 mL) qui sera ensuite conservé à 4°C. ;

- le contenu de ce tube constitue **l'extrait C (Chauffé).**

Composition de la solution A :

Tris	0,1	M
Na_2SO_3	0,03	M
NaCl	0,2	M

<u>Commentaire :</u> Bien que n'étant pas directement évaluée en cours de séance, si ce n'est par la qualité de l'extrait enzymatique obtenu, cette extraction a présenté des difficultés pour certains candidats. Le fait de suivre un protocole précis, en appliquant des règles simples (maintien dans la glace, organisation générale du plan de travail, utilisation des outils adéquats) n'est pas toujours respecté. De plus, certains candidats oublient en cours de route quel est l'objectif de cette extraction et demandent aux examinateurs de leur fournir l'extrait enzymatique qu'ils viennent eux-mêmes de préparer.

III- Observation et description des sites de stockage de l'amidon

III- A Observation des cellules de la pulpe de pomme de terre

<u>Question III- A- 1</u>

À partir de l'extrait de votre choix du protocole d'extraction, proposez un (ou des) montage(s) permettant l'observation des cellules de la pulpe du tubercule de pomme de terre. <u>Montrez le (ou les) montage(s) ainsi réalisé(s) à un examinateur</u>.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Indiquez, en justifiant la réponse, quel extrait a été utilisé pour réaliser ce(s) montage(s).

Réponse à la question III- A- 1

Utilisation de l'extrait T seule étape pour laquelle les cellules sont intègres

Deux montages, l'un en l'absence de coloration, l'autre avec Lugol non dilué

Observation à minima au grossissement 400

Commentaire : ***Il n'est pas rare de voir que les candidats disposent d'une préparation tout à fait correcte mais ne montrent pas à l'examinateur la partie la plus intéressante de celle-ci.***

Question III- A- 2

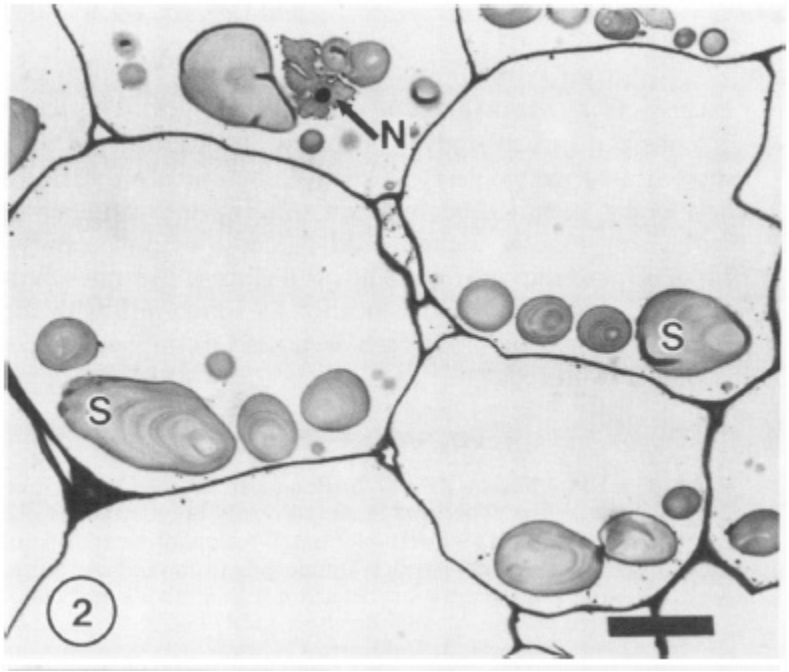
Comparez le résultat de vos observations avec le cliché du document 2 que vous annoterez.

Réponse à la question III- A- 2

Nombre d'amyloplastes plus important dans le montage réalisé que sur le cliché proposé.

Stries de croissance visibles ou non en fonction des montages.

Epaisseur des coupes différente.



noyau

Paroi cellulaire

cytoplasme

amyloplastes

Stries de croissance

Document 2 - Observation au MET à faible résolution de cellules de pulpe de pomme de terre en cours de tubérisation. La barre d'échelle de ce cliché correspond à une longueur de 30µm**.**

Nom :	Prénom :	salle n° :

III- B Étude des amyloplastes

Question III- B- 1

À partir de l'extrait de votre choix du protocole d'extraction, proposez un montage permettant d'observer les amyloplastes isolés et de décrire leur structure.

Montrez le montage ainsi réalisé à un examinateur.

Indiquez, en justifiant votre réponse, quel extrait a été utilisé pour réaliser ce montage.

Réponse à la question III- B- 1

Utilisation de l'extrait S : après broyage (libération des amyloplastes) mais avant filtration (rétention des amyloplastes)

Question III- B- 2

Réalisez le dessin d'observation correspondant à ce montage.

Réponse à la question III- B- 2

Deux montages attendus :

- avec Lugol dilué permettant de visualiser les stries de croissance centrées sur hile.

- sans Lugol possibilité de visualiser également les stries en fermant le diaphragme.

Observation à l'immersion

Evaluation de la correspondance entre préparation et dessin (nombre et disposition des amyloplastes, représentation correcte des stries de croissance.

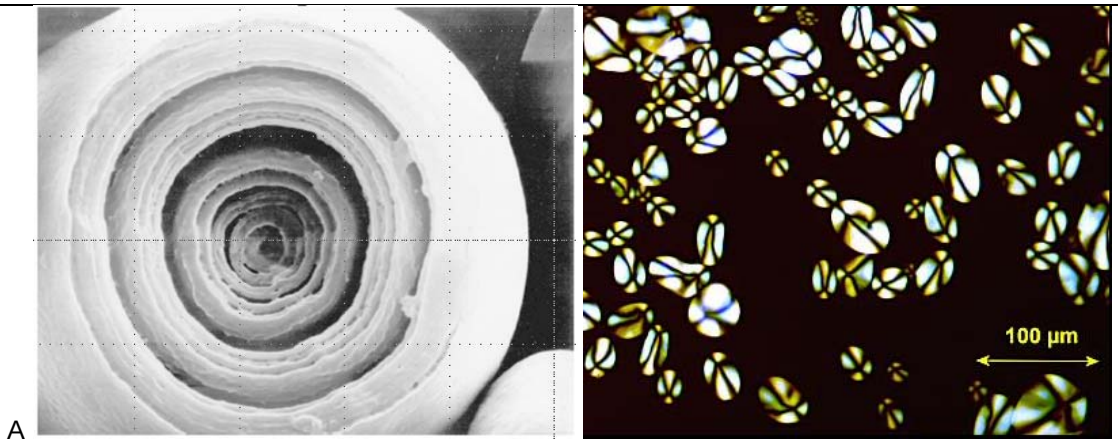
Commentaire : Les montages ne posent en général pas de problème aux candidats. Le montage à l'immersion n'est pas toujours réalisé ni toujours très net.

La correspondance entre dessin et montage n'est pas toujours probante, les candidats représentant par exemple les stries de croissance mais de façon théorique sans se référer à la préparation qui permet pourtant de les mettre en évidence.

Question III- B- 3

Indiquez, en conclusion, quelles informations peuvent être obtenues grâce à ces observations. La réponse devra intégrer une analyse du document 3.

Nom :	Prénom :	salle n° :



Document 3 – A : Micrographie électronique à balayage d'un grain d'amidon de pomme de terre soumis à une hydrolyse ménagée par l'α–amylase de *Bacillus amyloliquefaciens*. B : amyloplastes de Pomme de terre isolés et observés au microscope polarisant à l'extinction

Réponse à la question III- B- 3

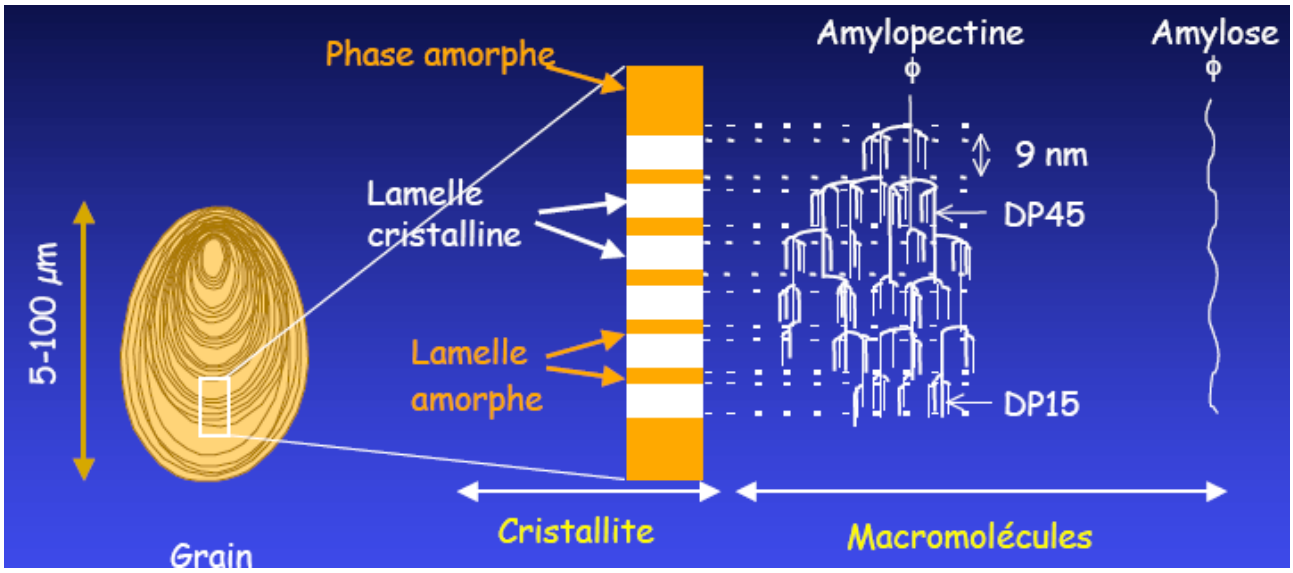
Correspondance entre stries de croissance visibles avec Lugol dilué ou diaphragme fermé et couches concentriques visibles par digestion ménagée à l'aide de l'amylase de bacillus amyloliquefaciens.

Stries correspondant à une succession de couches cristallines et amorphes :

Lamelles cristallines constituées des régions linéaires d'allongement des chaînes de glucose composant l'amylopectine.

Lamelles amorphes correspondant aux zones de ramifications latérales de l'amylopectine.

L'amylose est présent aussi bien dans les zones cristallines que dans les zones amorphes.



Double orientation des dépôts (concentrique et radiaire) à l'origine du phénomène de croix noire observable en lumière polarisée analysée. Croix centrée sur le hile, point de départ de l'accumulation des couches d'amidon.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Commentaire : ***Le lien entre document proposé et préparation est souvent réalisé. L'interprétation moléculaire est le plus souvent absente des copies.***

Question III- B- 4

L'isolement des amyloplastes ne constitue pas, à proprement parler, l'un des objectifs du protocole d'extraction. Proposez une technique qui permettrait de réaliser un tel isolement.

Réponse à la question III- B- 4

Isolement des amyloplastes envisageable par centrifugation sur gradient de densité ou centrifugation différentielle.

Dans la pratique deux techniques difficiles à mettre en œuvre du fait de la fragilité des amyloplastes (élément de réponse non attendu de la part des candidats).

IV- Approche qualitative de la synthèse enzymatique de l'amidon

Question IV- A

À partir de l'extrait de votre choix du protocole d'extraction, réalisez la mise en œuvre du protocole expérimental niveau lycée présenté dans le document 1.

Résumez les résultats obtenus sous la forme d'un tableau.

Présentez conjointement à un examinateur les résultats expérimentaux et le tableau.

Réponse à la question IV- A

Résultats obtenus

Tube 1	***Tube 2***	***Tube 3***	***Tube 4***	***Tube 5***	***Tube 6***	***Tube 7***
Glucose 1P	*Glucose 1P*	*glucose*	*glucose*	*Glucose 6P*	*Glucose 6P*	*Eau*
filtrat	*eau*	*filtrat*	*eau*	*filtrat*	*eau*	*Filtrat*
Apparition progressive de la coloration ⇔ synthèse	*néant*	*néant*	*néant*	*néant*	*néant*	*néant*
Substrat + enzyme	*Absence d'enzyme*	*Absence de substrat*	*Absence enzyme et substrat*	*Absence substrat*	*Absence enzyme*	*Absence substrat*

Commentaire : ***Les candidats devaient présenter conjointement le tableau et les plaques multipuits. L'organisation générale de leur échantillonnage était prise en compte ainsi que la cohérence entre***

tableau de résultats et échantillons. On note assez fréquemment des difficultés pour organiser les dépôts sur les plaques multipuits ce qui complique la construction et la lecture du tableau. Plusieurs candidats, alors qu'ils disposent des résultats attendus (apparition progressive de la coloration dans le tube contenant le G1P et l'extrait enzymatique) ne le mentionnent pas en l'état, mais notent dans le tableau une coloration maximale dès la deuxième mesure.

Question IV- B

Indiquez en justifiant votre réponse quel extrait du protocole d'extraction a été utilisé pour réaliser cette manipulation.

Réponse à la question IV- B

Utilisation de l'extrait F correspondant exactement aux conditions de l'expérimentation type lycée donc avant centrifugation

Utilisation possible de l'extrait NC centrifugé mais non chauffé

On a ainsi un extrait acellulaire contenant l'activité enzymatique.

Question IV- C

Comparez les résultats obtenus avec ceux qui avaient été envisagés dans le cadre du préambule et commentez les éventuels écarts. Proposez une conclusion.

Réponse à la question IV- C

Commentaire attendu sur les éventuels écarts, notamment sur la nature des différents molécules pouvant servir de substrat pour l'enzyme.

Mise en évidence du fait que seul le Glucose 1P peut être considéré comme substrat de l'activité enzymatique et hypothèse concernant les autres molécules utilisées.

Glucose = absence de groupement phosphate constituant l'apport énergétique nécessaire à l'établissement des liaisons entre molécules de glucose.

Glucose 6P = groupement phosphate présent mais position qui ne permet pas la reconnaissance par l'enzyme.

Vérification du statut de témoin négatifs des autres tubes.

V- Approche quantitative de l'activité enzymatique

V- A Conditions de mise en oeuvre

Les conditions de mise en œuvre utilisées avec des élèves ne permettant pas toujours d'obtenir des résultats quantitativement reproductibles, on utilisera par la suite un protocole réactionnel intégrant de nouvelles solutions.

Nom :	Prénom :	salle n° :

1- Conditions de déroulement de la réaction

Les conditions de mise en œuvre de la réaction catalytique sont les suivantes :

Mélange réactionnel standard	500 µL
Extrait enzymatique	500 µL

Composition du mélange réactionnel standard fourni :

Maltohexaose	0,1	mg. mL^{-1}
Glucose 1-P	5	mg. mL^{-1}
Tampon citrate pH 6	qsp	

L'incubation est réalisée à la température de 37°C.

Le tube Eppendorf contenant l'extrait enzymatique doit être préparé puis placé au bain-marie au moins 5 minutes avant le lancement de la réaction. Celui-ci s'effectue par addition dans le tube Eppendorf du mélange réactionnel standard, qui aura lui-même été préchauffé au bain-marie au moins 10 minutes avant de l'utiliser.

À intervalles réguliers, des prélèvements sont réalisés dans le tube puis traités pour une mesure de la densité optique DO, selon les conditions mentionnées ci-dessous au paragraphe 2. La réaction est suivie sur une durée de l'ordre de 20 minutes environ en n'excédant pas 6 prélèvements.

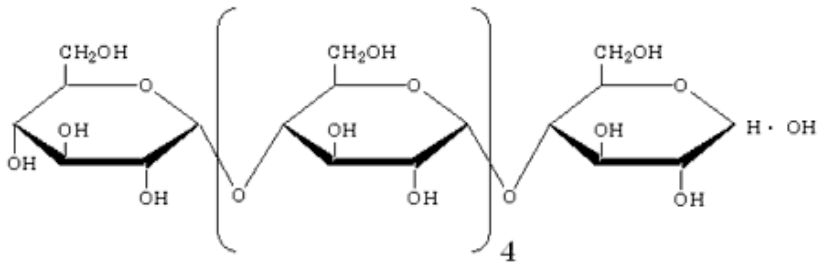
Question V- A

Indiquez quel est le rôle des différents composants du mélange réactionnel. On demande notamment de préciser la réponse pour le maltohexaose dont la structure est présentée dans le document 4.

MALTOHEXAOSE

O-α-D-Glucopyranosyl- {(1→4)-*O*-α-D-glucopyranosyl}$_4$-(1→4)-D-glucopyranose

Formule : $C_{36}H_{62}O_{31}$



Poids moléculaire : 990.87

Document 4 - Données techniques concernant le maltohexaose

Nom :	Prénom :	salle n° :

Réponse à la question V- A

Rôle des constituants du mélange réactionnel standard :

- Glucose 1P : substrat de l'enzyme

- tampon citrate : maintien du pH optimal de fonctionnement de l'enzyme

- maltohexaose : précurseur des molécules d'amylose synthétisées ; molécule sur laquelle sont ajoutées les résidus glucidiques

2- Conditions de la révélation

La mise en évidence du produit de la réaction se fait par l'intermédiaire d'une coloration par l'iode présente sous forme d'un mélange I_2/KI dans les conditions suivantes :

Eau distillée	1 mL
Prélèvement dans le tube Eppendorf	100 µL
Lugol	100 µL

Après avoir mis dans une cuve de spectrophotométrie l'eau distillée et le Lugol, le volume prélevé dans le tube Eppendorf est ajouté, selon les conditions ci-dessus. Les trois produits sont immédiatement mélangés et maintenus à température ambiante au moins pendant 10 minutes avant mesure de la DO à 600 nm.

V- B Réalisation de l'expérimentation

1- *Réalisation de la courbe étalon*

Question V- B- 1

À partir de la solution d'amylose fournie, réalisez une gamme étalon qui permettra d'interpréter les résultats des mesures de DO.

Montrez votre gamme étalon à un examinateur avant mesure de la DO au spectrophotomètre.

Reportez ci-dessous la composition des différents tubes ainsi que les valeurs de DO obtenues et tracez la courbe sur une feuille de papier millimétré.

Réponse à la question V- B- 1

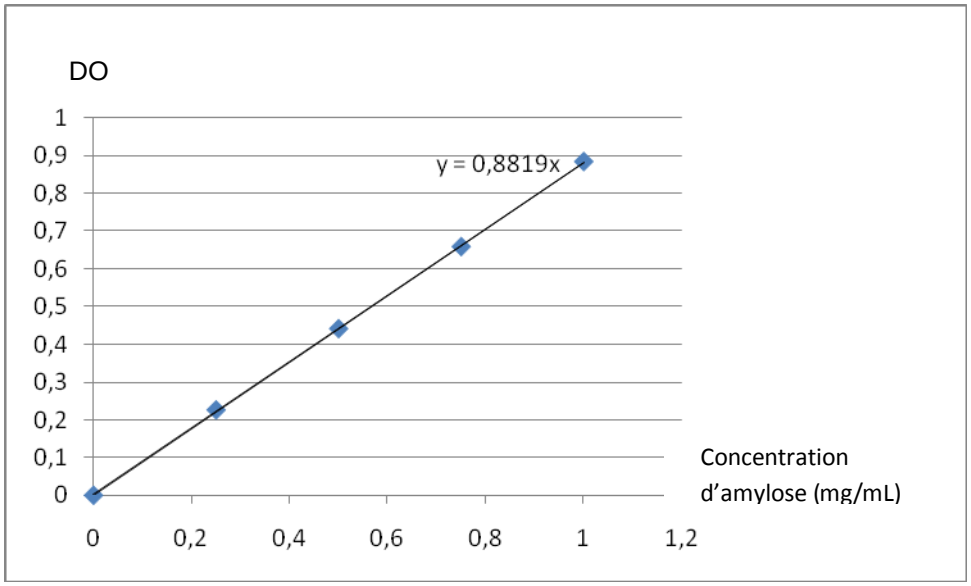
Constitution d'une gamme étalon reprenant les conditions de la mesure de cinétique : 100µL de solution d'amylose à différentes dilutions, 100µL de Lugol, 1mL de tampon citrate.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Tableau présentant les résultats de mesures de la DO pour la gamme étalon.

DO	Concentration d'amylose (mg/mL)
0	0
0,226	0,25
0,441	0,5
0,658	0,75
0,883	1

Tracé de la courbe et équation de la droite de régression.



Présentation des tubes à l'examinateur.

Evaluation de la cohérence des points de mesure.

Au moins 4 points de mesures

Linéarité de la gamme

Présentation de la courbe (titre, échelles…)

<u>Commentaire :</u> Très peu de candidats ont tenu compte des conditions de révélation utilisées dans le cadre de l'expérience pour réaliser leur gamme étalon : (1mL d'eau + 100µL d'extrait réactionnel + 100µL de lugol). Il en est résulté des DO au delà de la gamme de linéarité du spectrophotomètre et des gammes non utilisables à moins de réaliser des calculs de dilution complexes.

2- Réalisation de l'expérience « standard »

<u>Question V- B- 2 a</u>

Nom :	Prénom :	salle n° :

Mettez en œuvre le protocole expérimental décrit dans le paragraphe V- A pour les extraits NC et C du protocole d'extraction.

<u>Montrez à un examinateur les cuves avant mesure de la DO.</u>

Reportez ci-dessous les valeurs de DO obtenues et les concentrations correspondantes d'amylose.

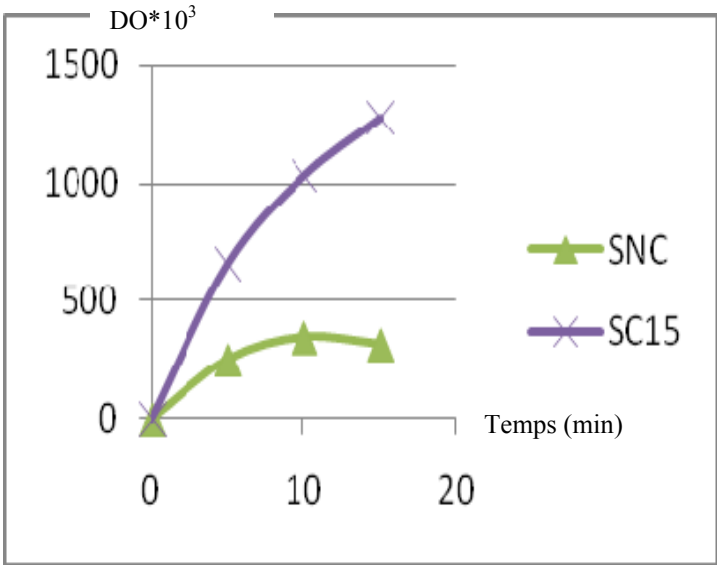
Réponse à la question V- B- 2 a

Exemple de résultat obtenu avec un échantillon non chauffé (SNC) et un échantillon chauffé 15 minutes à 55°C (SC15).

temps	SNC	SC15
0	0	0
5	0,252	0,657
10	0,347	1,032
15	0,317	1,280

<u>Question V- B- 2 b</u>

Tracez sur une feuille de papier millimétré les courbes d'apparition de l'amylose en fonction du temps.



<u>Question V- B- 2 c</u>

En tenant compte des informations apportées par le document 5 page 15 et de vos connaissances concernant la physiologie des amyloplastes, proposez une interprétation cohérente des résultats précédemment obtenus. Précisez notamment :

- **quelle(s) activité(s) enzymatique(s) sont susceptible(s) d'être présentes dans les extraits NC et C ;**
- **quel(s) produit(s) de réaction peuvent être formés lors de la mise en contact avec le mélange réactionnel ;**

Nom :	Prénom :	salle n° :

- **quelles propriétés particulières de la ou des enzymes de l'extrait C sont ainsi mises en évidence et à profit dans l'extraction.**

Réponse à la question V- B- 2 c

Le document 7 représente ce qui se passe au sein d'un chloroplaste. Dans le cas de l'amyloplaste, l'ensemble des réactions correspondant au cycle de Calvin est absent : absence des phases photochimique et chimique de la photosynthèse. La synthèse de l'amidon se fait donc à partir des assimilats issus de la photosynthèse réalisée au niveau des feuilles et transportés via la sève élaborée en direction des organes de réserve : le saccharose est la forme la plus courante de transport des glucides dans la sève élaborée. C'est donc à partir du saccharose que doit être envisagée la synthèse de l'amidon dans l'amyloplaste. Le saccharose pourrait être à l'origine de la production de glucose 1P, glucose 6P ou fructose 6P, le glucose 1P étant ensuite utilisé pour la synthèse de l'amidon (voir schéma ci-dessous non attendu de la part des candidats).

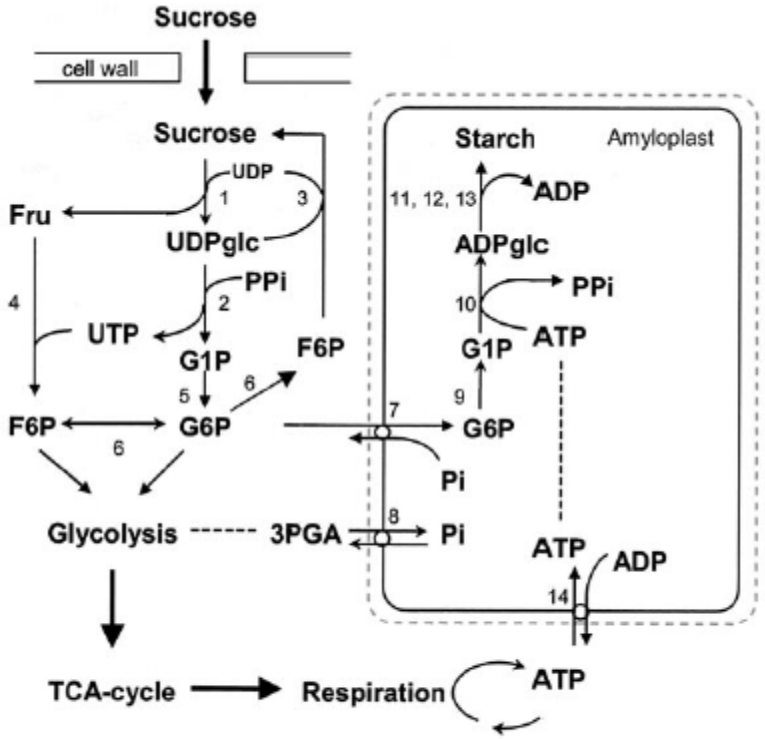


Fig. 1. Pathway of sucrose to starch conversion and its subcellular compartmentation in potato tubers. (1) Sucrose synthase, (2) UDP-glucose pyrophosphorylase, (3) sucrose-phosphate synthase, (4) fructokinase, (5) cytosolic phosphoglucomutase, (6) phosphoglucoisomerase, (7) hexose-phosphate translocator, (8) triose-phosphate translocator, (9) plastidial phosphoglucomutase, (10) ADP-glucose pyrophosphorylase, (11) soluble starch synthase, (12) granule-bound starch synthase, (13) branching enzyme, (14) adenylate translocator.

Les activités enzymatiques présentes dans l'amyloplaste seraient donc, à minima les suivantes (déduites du schéma fourni)

ADP-glucose phopshorylase

Amidon synthétase(s)

Enzymes de branchement

On sait par ailleurs (à ajouter par les candidats) que l'amyloplaste est également le siège d'une activité amylasique plus ou moins importante en fonction de l'état de maturité du tubercule. Cette dernière activité vient contrebalancer les activités précédemment énoncées.

Le chauffage permet d'augmenter significativement la synthèse de l'amidon. Deux hypothèses sont alors envisageables :

- activation d'une ou plusieurs enzymes de synthèse par la chaleur

- inhibition d'une ou plusieurs activités enzymatiques notamment l'activité amylasique ce qui permettrait d'inhiber la dégradation de l'amidon par cette dernière activité.

Ce sont ces deux hypothèses qui étaient attendues de la part des candidats.

C'est cette dernière hypothèse qui est la bonne : seule l'ADP glucose phosphorylase est présente à l'issue du chauffage du fait de la propriété de thermo-résistance de cette enzyme. Il est tout de même à noter que les modalités de fonctionnement de l'enzyme in vitro ne correspondent pas à ce qui se passe in vivo. Elles est alors capable de procéder à l'allongement direct d'un précurseur à condition de disposer d'une concentration en G1P excédentaire, ce qui est le cas ici.

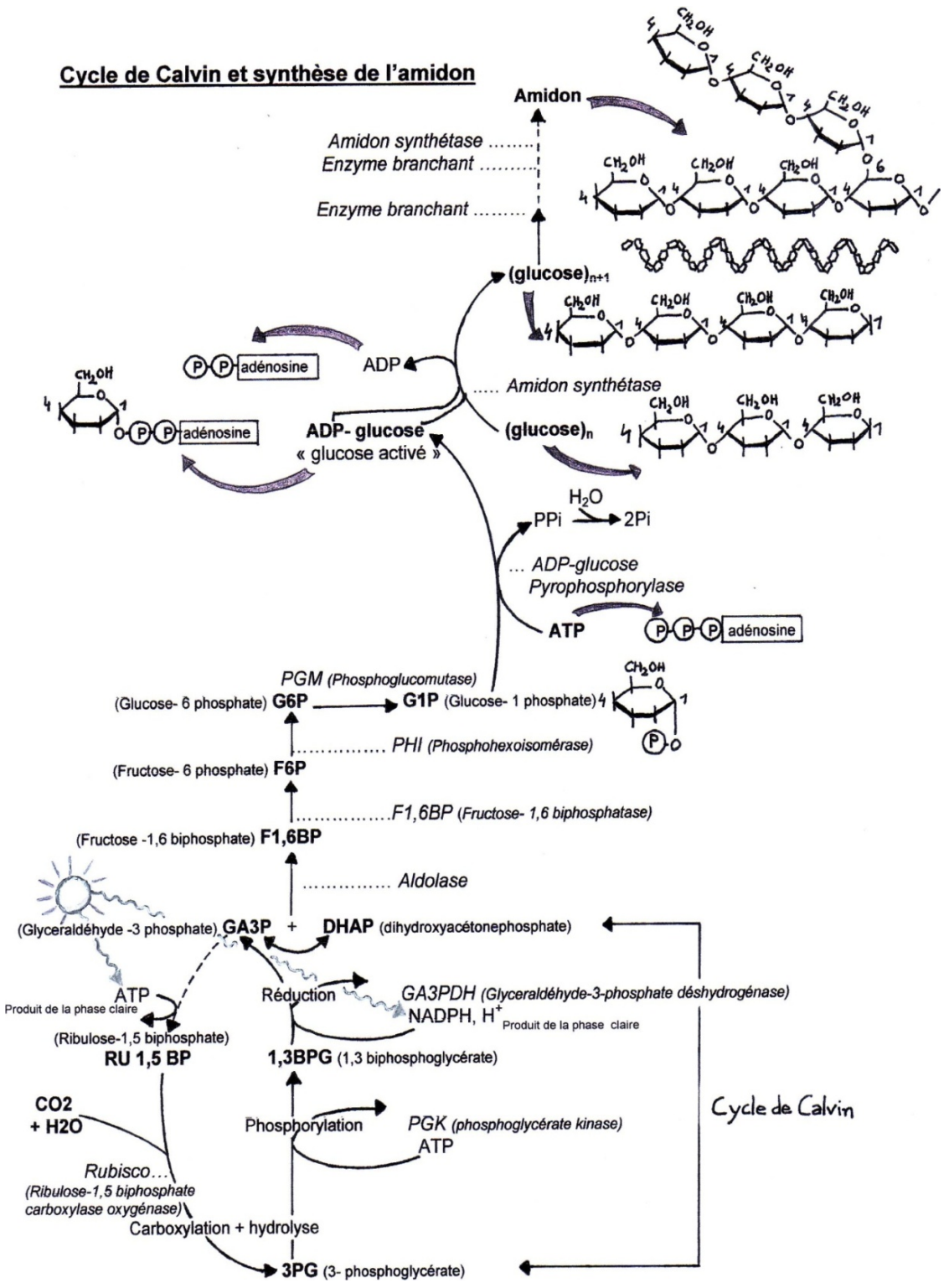
Ce dernier point n'était pas attendu de la part des candidats. A partir du moment où ils avaient formulé leurs hypothèses, l'examinateur leur remettait un document leur présentant ces conclusions, ce qui leur permettait de poursuivre l'étude de cette enzyme seule.

***Commentaire :** La plupart des candidats qui ont réussi à mener correctement l'extraction de l'enzyme a obtenu des résultats conformes concernant l'écart entre extrait chauffé et non chauffé. Ce résultat est pourtant apparu peu orthodoxe à un grand nombre de candidats qui s'attendaient à ce que le chauffage aboutisse à l'inactivation de la ou des enzymes. Certains ont même volontairement inversé leurs résultats avant de les montrer à l'examinateur de façon à coller avec le résultats qu'ils attendaient.*

Cet à priori a empêché la plupart des candidats d'aller au delà de cette question pour ce qui concernait la cinétique enzymatique. Certains candidats, rares il est vrai, ont malgré tout « osé » formuler des hypothèses à la suite de leurs observations et ont ainsi pu avoir accès à la réponse fournie par les examinateurs.

Présentez votre réponse V- B- 2 c à un examinateur qui la prendra immédiatement en compte. Il vous fournira alors des informations complémentaires qui vous permettront de poursuivre votre travail.

Nom :	Prénom :	salle n° :



Document 5 - Réseau de réactions permettant d'aboutir à la synthèse de l'amidon <u>dans les chloroplastes</u>.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Question V- B- 5

Discutez le terme de « synthétase » utilisé avec des élèves de lycée.

Réponse à la question V- B- 5

. Dans le cas du protocole type lycée, différentes enzymes présentes et désignées sous l'appellation de « synthétase ».

Terme qui recoupe donc plusieurs enzymes potentiellement actives :

- activités de synthèse (ADP-glucose phosphorylase + synthétase au sens strict + enzymes de branchement)

- activité de dégradation

V- C Détermination des paramètres cinétiques de l'enzyme

On se propose par la suite de travailler exclusivement avec l'**extrait C**.

Question V- C- 1

En vous appuyant sur l'expérience « standard » précédemment réalisée, proposez un protocole expérimental permettant de déterminer les paramètres cinétiques de l'enzyme (constante de Michaelis et vitesse maximale) vis-à-vis du substrat utilisé ici.

Solutions supplémentaires fournies :

Solution G-1P (20mg. mL^{-1}) dans tampon citrate	2 mL
Solution maltohexaose (0,2mg. mL^{-1}) dans tampon citrate	2 mL
Tampon citrate	

Réponse à la question V- C- 1 (suite page suivante)

Variation de la concentration en G1P afin de déterminer Vmax et Km de la pyrophosphorylase vis à vis de ce substrat.

Nécessité de travailler avec la solution de G1P à 20mg/mL en pratiquant une série de dilutions qui devaient être indiquées.

concentration (mg/mL)	volume tampon citrate (µL)	volume maltohexaose (µL)	volume G1P (µL)
0	250	250	0
1	200	250	50
2	150	250	100
3	100	250	150
4	50	250	200
5	0	250	250

Nom :	Prénom :	salle n° :

Mettez en œuvre ce protocole.

<u>Montrez les tubes à un examinateur avant passage au spectrophotomètre.</u>

<u>Question V- C- 2</u>

Reportez dans le cadre ci-dessous les valeurs de DO mesurées et les concentrations correspondantes d'amylose.

Réponse à la question V- C- 2

Utilisation de la gamme étalon pour conversion des valeurs de DO en [amylose].

[G1P] (mg/mL)	5		4		3		2		1	
temps (min)	DO	[Amy] (mg/mL)	DO	[Amy] (mg/mL)	DO	[Amy] (mg/mL)	DO	[Amy] (mg/mL)	DO	[Amy] (mg/mL)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,082	0,093	0,088	0,100	0,071	0,081	0,060	0,068	0,028	0,032
7	0,394	0,447	0,360	0,408	0,330	0,374	0,285	0,323	0,180	0,204
18	0,765	0,868	0,679	0,770	0,686	0,778	0,542	0,615	0,261	0,296

<u>Question V- C- 3</u>

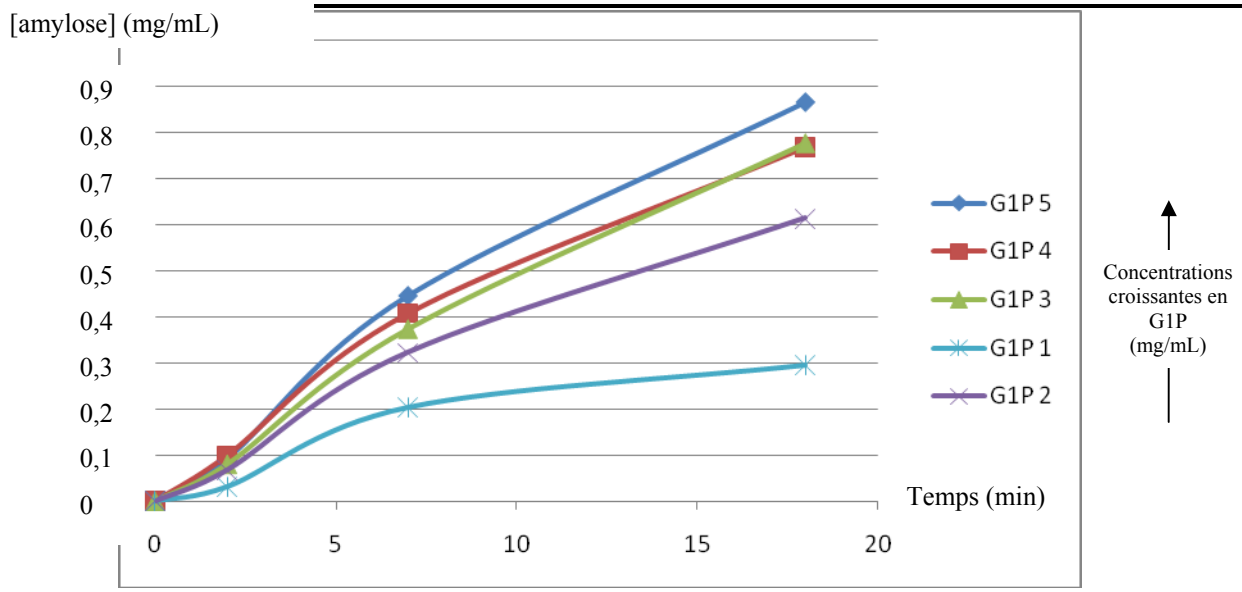
Précisez, par les méthodes que vous jugerez les plus appropriées, les valeurs approximatives des paramètres cinétiques de l'enzyme accessibles avec le type d'expériences réalisées ici (3 feuilles de papier millimétré fournies).

Réponse à la question V- C- 3

Plusieurs types de courbes attendues :

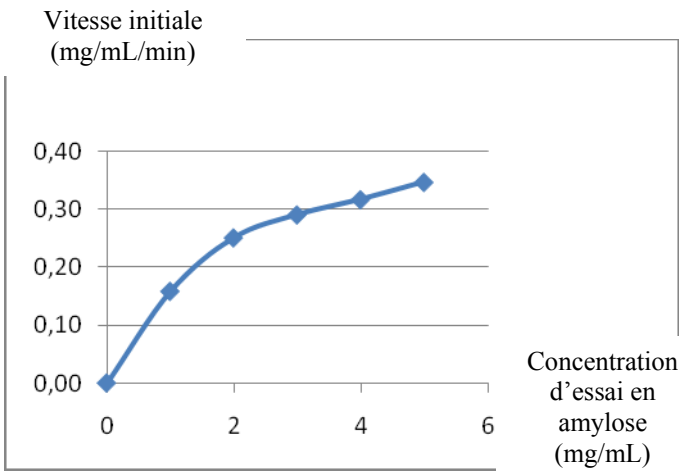
Evolution de la [amylose] en fonction du temps.

Nom : **Prénom :** **salle n° :**



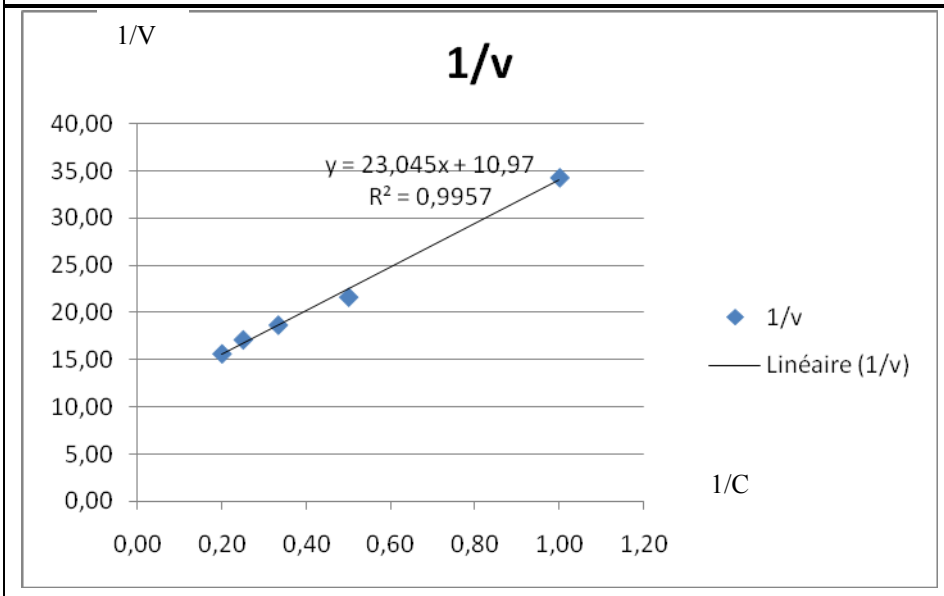
Détermination de la vitesse à partir de la pente des courbes.

C	vi	1/C	1/vi
5	0,35	0,20	2,88
4	0,32	0,25	3,15
3	0,29	0,33	3,44
2	0,25	0,50	3,98
1	0,16	1,00	6,30



Effet de la concentration d'essai en substrat sur la vitesse de la réaction de catalyse enzymatique.

Nom :	Prénom :	salle n° :



Réalisation de courbes en double inverse et détermination des valeurs 1/Vmax et 1/Km respectivement ordonnée du point d'abscisse 0 et abscisse du point d'ordonnée 0 et en déduire les valeurs de Km et Vmax.

	valeurs inverses	valeurs normales
vmax	10,97	0,09
Km	0,48	2,10

On précise les grandeurs de ces deux valeurs, respectivement en mg/mL/min pour Vmax et en mg/mL pour Km.

Commentaire : ***La plupart des candidats n'ont pas traité cette question. Certains ont tout de même proposé le principe de la manipulation et expliqué, sur un plan théorique comment procéder pour déterminer les paramètres de l'enzyme.***

VI- Approche moléculaire de la fonction des amyloplastes

L'enzyme précédemment étudiée est représentée de façon très conservée chez la plupart des organismes eubactériens ou eucaryotes chlorobiontes et se répartit, chez ces derniers, dans différents types de tissus notamment les feuilles.

Chez les eucaryotes, l'enzyme est constituée d'un hétérotétramère associant deux sous-unités catalytiques de petite taille (SSU pour small subunit : 51 kDa) et deux sous-unités régulatrices de grande taille (LSU de 54 kDa). Les gènes codant pour ces deux types de sous-unités ont été isolés chez *Arabidopsis thaliana* et nommés respectivement *ADG1* (gène codant pour la petite sous-unité) et *ADG2* (gène codant pour la grande sous-unité).

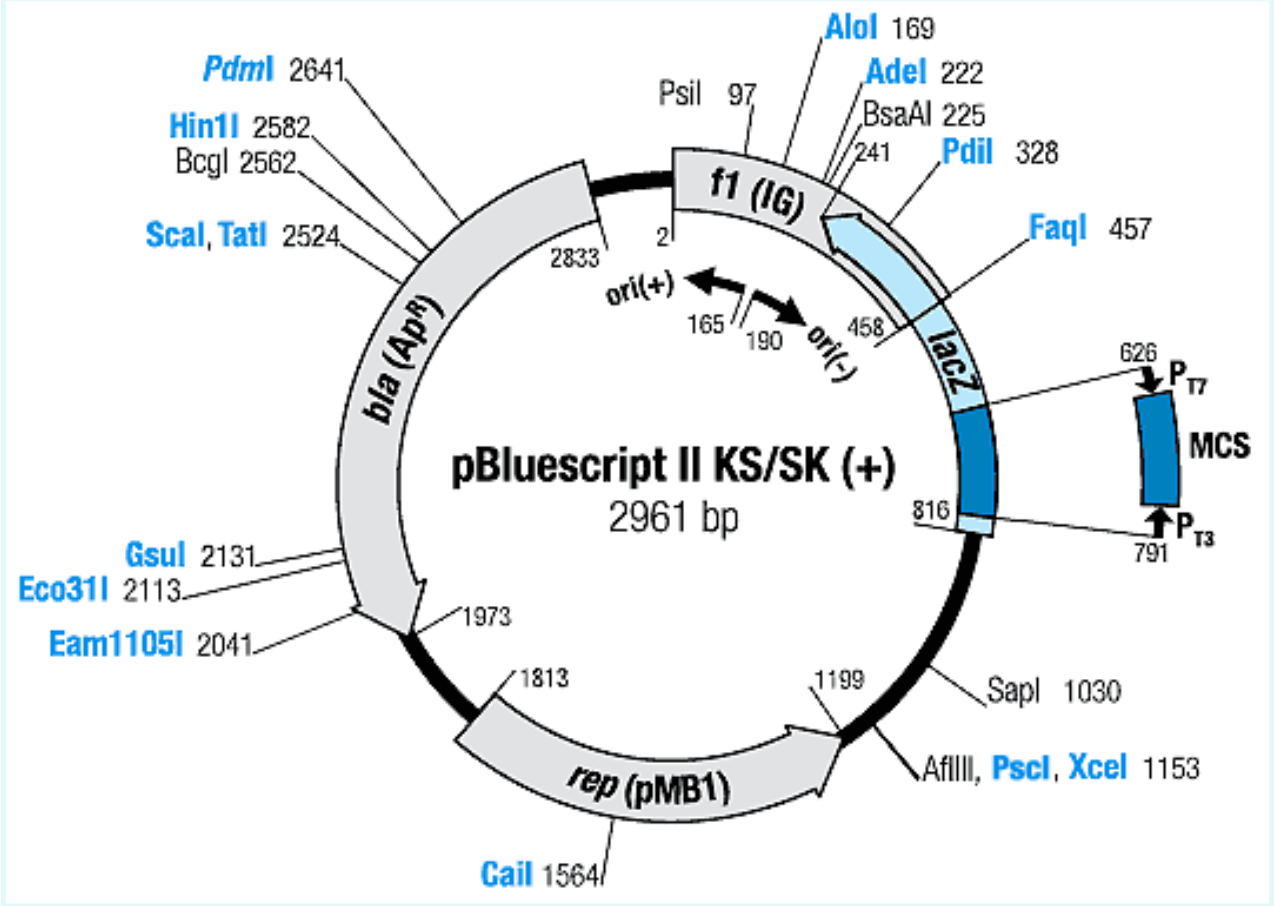
On s'intéresse plus spécifiquement à la grande sous-unité enzymatique dont le gène *ADG2* a été cloné sous forme d'ADNc (séquence présentée dans le **document 6**) dans le site EcoRI de la cassette de clonage du vecteur pBluescript II (**document 7**). Le produit de la ligation a été utilisé pour transformer des souches bactériennes appropriées.

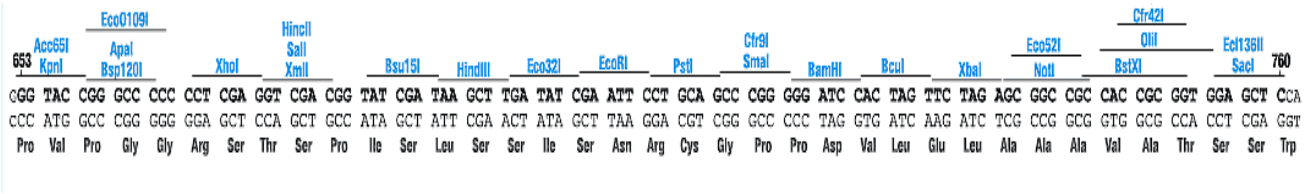
Nom :	Prénom :	salle n° :

```
   1 gaattcttat cttcccctct cttcaaaccc ttcaagagac aatctttcct gcgaaaatgg
  61 tggtctctgc tgactgcaga atctccctct ctgcccctag ctgcatacgt agtagctcca
 121 cgggattgac taggcacatt aagcttggca gcttctgcaa tggtgagctc atggggaaga
 181 agctcaactt gtctcagctt ccaaacattc gtcttcgatc ttctactaac ttctctcaga
 241 agagaatttt aatgtctcta aatagtgtag ctggggagag taaggtacaa gaacttgaga
 301 ctgagaaaag ggatccaagg acagttgctt ccattattct tggaggtgga gcaggaactc
 361 gactctttcc tctcacaaaa cgccgcgcca agcctgccgt tcctatcggg ggagcctata
 421 ggttgataga tgtaccaatg agcaattgta ttaacagcgg aatcaacaaa gtctacatac
 481 tcacacaata taactcagca tcattgaaca ggcatttagc ccgtgcttac aactccaatg
 541 gacttggctt tggagatggc tatgttgagg ttcttgcggc cactcaaacg ccaggagaat
 601 ctggtaaaag gtggttccaa ggtacagcag atgcggttcg gcaattccat tggcttttcg
 661 aggatgcaag aagcaaggac atagaggatg tattgatcct ttctggagat cacctctaca
 721 ggatggatta catggatttt atacaggatc atcggcagag tggcgcggat ataagcattt
 781 cctgcatacc aatagatgac agacgtgcct cagattttgg gcttatgaag atagatgaca
 841 aaggaagagt tatctcattc agtgaaaaac ctaaaggaga cgacctgaaa gcaatggcag
 901 tagacacaac tattttagga ctttccaagg aggaagctga aaagaaacca tacatagctt
 961 caatgggagt ttatgttttc aaaaaagaaa tactgttaaa tctcttgaga tggcgtttcc
1021 ccacagcaaa cgactttggt tcagagatta tacccttctc agctaaagaa ttctatgtga
1081 atgcttatct ctttaatgac tactgggaag atataggaac aataagatct ttcttcgagg
1141 cgaatcttgc actcactgag catcctgggg catttagttt ctacgacgcg gcaaaaccaa
1201 tatatacatc aaggagaaac ctgccaccat caaaaataga caactctaag ctcatcgatt
1261 caatcatttc tcatggaagc ttcttaacca actgcttgat tgagcatagc attgtgggaa
1321 ttagatcaag agtaggcagt aatgttcagt tgaaggacac tgtgatgctt ggggcagatt
1381 actacgaaac tgaagcagaa gttgcagcac tacttgctga gggaaacgtt cccattggaa
1441 taggagagaa cacaaaaatt caagaatgca taatagacaa gaatgctaga gttggaaaga
1501 atgtaatcat cgcaaactcg gagggaatac aagaagcaga taggtcatcc gatggatttt
1561 acatcagatc tggcattact gtaatcttga agaactcagt aattaaagat ggagttgtga
1621 tatgatactt ttaagatcta attgtaagaa ctgagaacta aaaaatgcag agcataaaag
1681 tcaacaataa attacaaaga aatttatttg atagtgatga cacttcacat atgaattc
```

Document 6 - Séquence de l'ADNc du gène *ADG2* et identification des principaux sites de restriction. La flèche indique le sens de transcription du gène. Sites identifiés : HindIII (aagctt), BamHI (ggatcc), Eco RI (gaattc), Sac I (gagctc) et PstI (ctgcag). On a également positionné les codons initiateur (atg) et stop (tga).

Nom :	Prénom :	salle n° :





Document 7 - En haut : carte de restriction du plasmide pBluescript II dans lequel a été réalisé le clonage de l'ADNc du gène *ADG2* . En bas : détail de la séquence de la cassette de clonage (MCS) ; rep : origine de réplication bactérienne dérivée du plasmide pMB1 ; bla (Ap^R) : gène de la bêta lactamase conférant la résistance à l'Ampicilline ; f1(IG) : région intergénique du phage F1 permettant la synthèse d'ADN simple brin dans l'une ou l'autre des orientations indiquées (+ et -) et l'encapsidation ; lacZ : partie 5' terminale du gène *lacZ* codant pour la partie N-terminale de la bêta galacosidase ; PT7 et PT3 : promoteurs des bactériophages T3 et T7.

<u>Question VI- A</u>

Expliquez quels types de clones bactériens il est possible d'obtenir à l'issue des étapes de clonage (insertion, transformation) et précisez comment on pourrait sélectionner les bactéries d'intérêt (ayant intégré le plasmide contenant l'insert) en tenant compte des informations relatives à la structure du plasmide.

Réponse à la question VI- A

Clones sans plasmide : pas de développement sur milieu sélectif

Clones avec plasmide sans insert : développement et colonies bleues

Clones avec plasmide et insert : développement et colonies blanches (mais deux sens d'insertion possibles puisqu'un seul site de restriction utilisé ; pas de distinction possible sur milieu de culture). Insert complet ou non selon le degré de digestion par EcoRI.

On a isolé deux clones parmi ceux qui ont intégré l'insert, respectivement notés pB-ADG2a et pB-ADG2b.

Question VI- B

À l'aide du matériel proposé et des informations fournies dans le document 8 ci-dessous, proposez une stratégie détaillée qui permettrait de connaître avec précision la structure des deux constructions pB-ADG2a et pB-ADG2b.

Réponse à la question VI- B

Digestion par Hind, Bam ou Sac.

Pas de digestion par Eco sauf pour vérifier le caractère complet de l'insert

Pas de digestion double

a- Conditions de digestion par des enzymes de restriction

Matériel fourni :

- enzymes de restriction EcoRI, HindIII, BamHI ou Sac I. On précise que seules deux des enzymes peuvent être fournies à chaque candidat à sa demande ;

- tampons d'incubation (le tampon, spécifique pour chaque enzyme doit être dilué dix fois pour aboutir aux concentrations adéquates) ;

- eau distillée stérile ;

- ADN des clones pB-ADG2a et pB-ADG2b (concentration 0,5µg/µl) ;

Pour qu'une bande d'ADN soit visible sur le gel après migration et coloration par le Bromure d'Ethidium BEt, il est nécessaire qu'elle contienne au minimum 20 ng d'ADN. Il est donc nécessaire de digérer au moins 1µg de l'ADN fourni.

Pour chaque digestion enzymatique, 1µL de l'enzyme correspondante est fourni à la demande du candidat. Ajouter les autres constituants du mélange de digestion directement dans le tube eppendorf pour un volume final de 20µL. Bien mélanger puis utiliser la centrifugeuse de paillasse pour s'assurer que tous les constituants du mélange sont bien au fond du tube (10 secondes de rotation). La digestion durera 1H.

b- Conditions d'électrophorèse

Le gel d'électrophorèse est fourni. Chaque candidat dispose de 5 puits sur le gel.

A l'issue de la digestion, ajoutez dans chaque tube de digestion 4 µL de tampon de dépôt.

Préparez conjointement un tube contenant 10 µL de marqueur de poids moléculaire (ADN du phage Lambda digéré par l'enzyme de restriction HindIII) additionné de 10 µL d'eau distillée et de 4 µL de tampon de dépôt.

Déposez, en présence d'un examinateur, les échantillons dans les puits à l'aide d'une micropipette. **La migration durera 1 heure**.

c- Conditions de révélation

Pour des raisons de sécurité liées à l'utilisation du Bromure d'Ethidium, le gel sera confié à un examinateur qui procèdera à sa coloration et à son analyse.

Document 8 - Informations nécessaires pour l'étude par cartographie de restriction ; a) conditions de digestion ; b) conditions d'électrophorèse ; c) conditions de révélation

L'examinateur vous remettra alors un cliché correspondant aux digestions possibles avec les enzymes proposées, à partir duquel vous poursuivrez l'analyse.

Question VI- C

Menez à bien l'étude prévue en utilisant les informations apportées dans le document 8 ci-dessus.

Pour obtenir les enzymes vous devez rendre la feuille de demande fournie en annexe page 43.

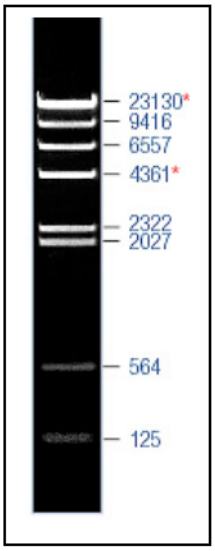
En même temps que votre gel, pensez à rendre la feuille (page 43) indiquant l'ordre de vos dépôts.

Question VI- D

Proposez une analyse du cliché fourni par l'examinateur et concluez quant à la nature des clones pB-ADG2a et pB-ADG2b (papier semi-logarithmique fourni).

On précise ci-dessous (**document 9**) la taille des fragments du marqueur de poids moléculaire Lambda-HindIII :

Nom :	Prénom :	salle n° :



Document 9 – Taille des fragments du marqueur de poids moléculaire Lambda-HindIII (les chiffres sont indiqués en paires de bases)

Réponse à la question VI-D

L'analyse du gel doit permettre de retrouver les différentes bandes prévues en réponse à la question précédente.

Sens 1 : sens du promoteur T7 = pBADG2b

Sens 2 : sens du promoteur T3 = pBADG2a

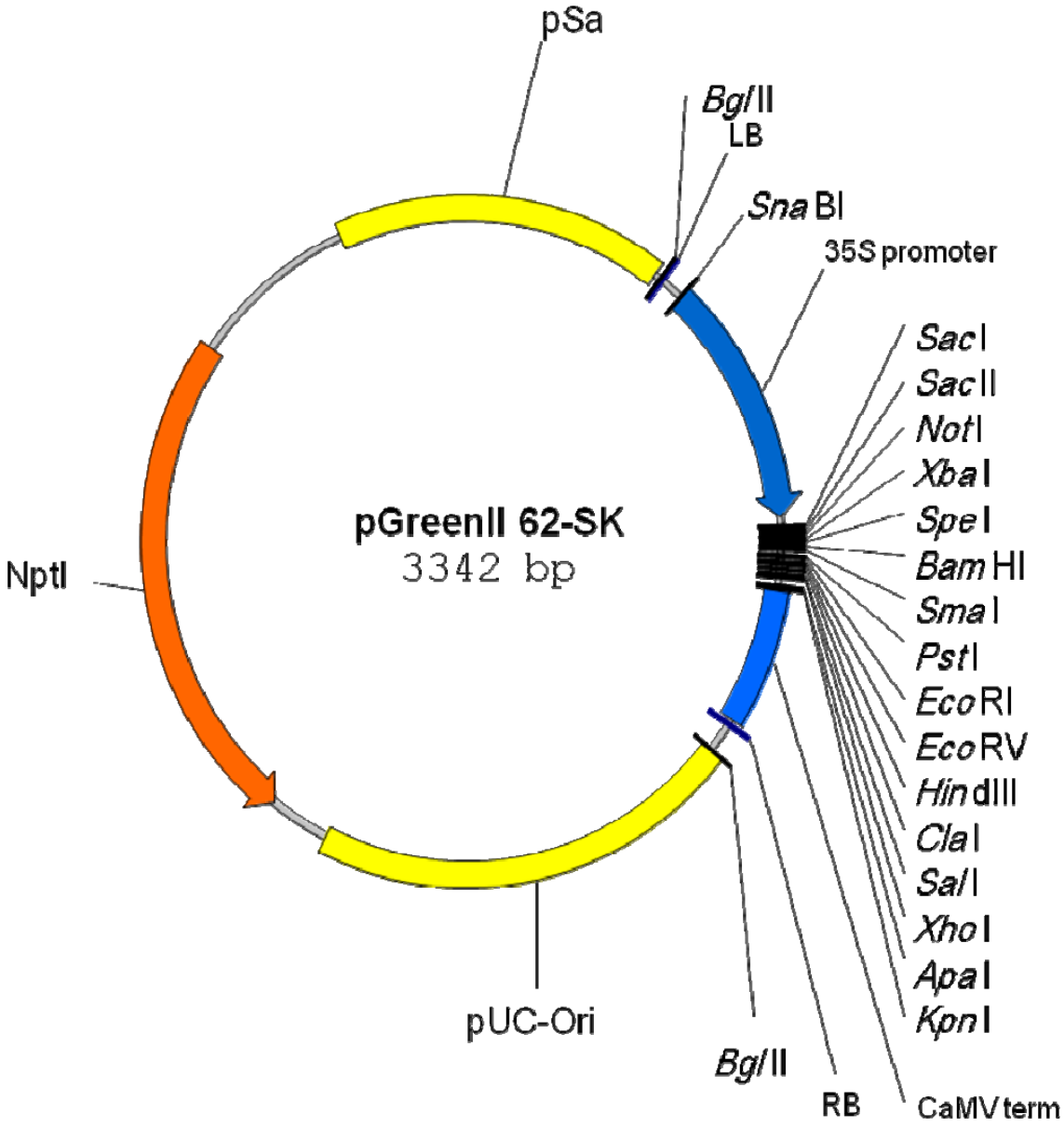
	sens 2		sens 1	
Digestion Eco	2961	3,04	2961	3,04
	1068	4,45	1068	4,45
	670	5,09	670	5,09
Digestion Hind	3089	2,98	3409	2,85
	1136	4,36	1136	4,36
	474	5,57	153	7,13
Digestion Bam	4370	2,51	3254	2,91
	319	6,12	1445	4,03
Digestion Sac	4479	2,47	3074	2,99
	219	6,64	1624	3,87

Par extension, identification de pB-ADG2a et pB-ADG2b.

Commentaire : ***La moitié des candidats environ a réalisé la partie de biologie moléculaire. Le fait d'avoir commencé par cette partie ne semble pas avoir constitué un avantage particulier. Le choix***

des enzymes est souvent judicieux à condition, pour le candidat, d'avoir identifié la problématique concernant le sens d'insertion ce qui n'est le cas que de la moitié des candidats ayant traité cette question. Les manipulations de biologie moléculaire (manipulations des petits volumes, dépôt sur gel…) sont souvent réalisées de façon correcte.

On souhaite réaliser l'inhibition de l'expression de la grande sous-unité endogène par production de l'ARN anti-sens chez des plants d'*Arabidopsis*. On dispose, pour ce faire, des clones précédemment analysés et d'un plasmide d'expression transitoire pGreen décrit dans le **document 10**.



Document 10 - Carte de restriction du plasmide pGreen. Les sites de restrictions sont représentés par leur nom simplifié. NptI : gène de la nicotinate phosphorybosyl transférase, conférant la résistance à la Kanamycine ; pUC-Ori : origine de réplication dérivée du plasmide pUC ; pSa : origine de réplication eucaryote fonctionnelle si le plasmide pGreen est cotransfecté avec le plasmide pSoup (non représenté) ; 35S promoter : promoteur 35S du virus de la mosaïque du chou-fleur ; CaMV term : séquences de terminaison du virus de la mosaïque du chou-fleur (CaMV)

Nom :	Prénom :	salle n° :

Question VI- E

Proposez une stratégie qui permettrait d'atteindre cet objectif, sachant que seul le plasmide pGreen permet la transformation et l'expression chez les végétaux, pBSK étant un vecteur exclusivement bactérien.

Réponse à la question VI- E

Utilisation de deux enzymes afin d'intégrer l'insert dans le bon sens sous le contrôle du promoteur 35S.

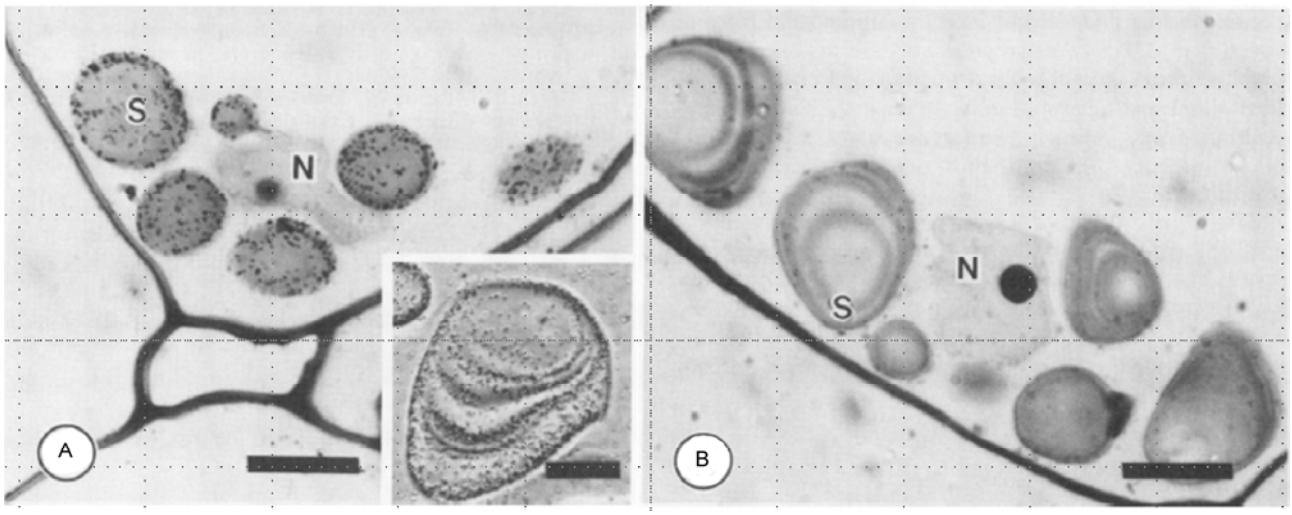
Sites multiples de clonage des deux vecteurs identiques mais en situation inversée dans les deux plasmides. Au cours du passage de pB-ADG2 à P-Green, inversion de l'orientation de l'insert

D'où nécessité d'utiliser l'insert qui est placé dans le « bon » sens dans pB-ADG2 pour retrouver l'orientation inverse a posteriori. D'où la proposition d'utiliser pB-ADG2b en le digérant par exemple par deux enzymes dont les sites sont localisés de part et d'autre et ne possédant pas de site dans le gène.

Par exemple Kpn et Xba ou Xho et Not.

VII- Ouverture sur le rôle de l'enzyme dans les conditions physiologiques

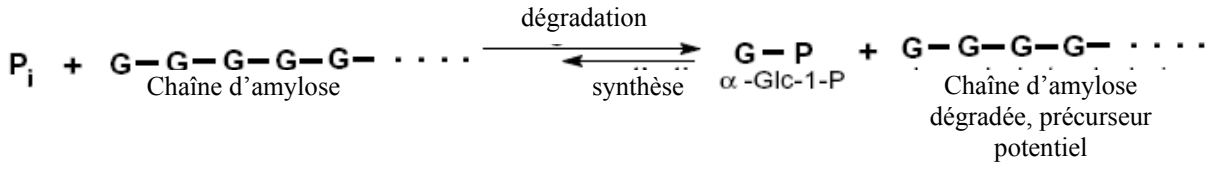
L'étude menée *in vitro* a permis de montrer les caractéristiques et le rôle de l'enzyme isolée grâce au protocole d'extraction. Ce rôle n'est pourtant pas obligatoirement le même dans les conditions physiologiques. On propose ci-dessous trois informations susceptibles d'intervenir dans ce débat.



Nom :	Prénom :	salle n° :

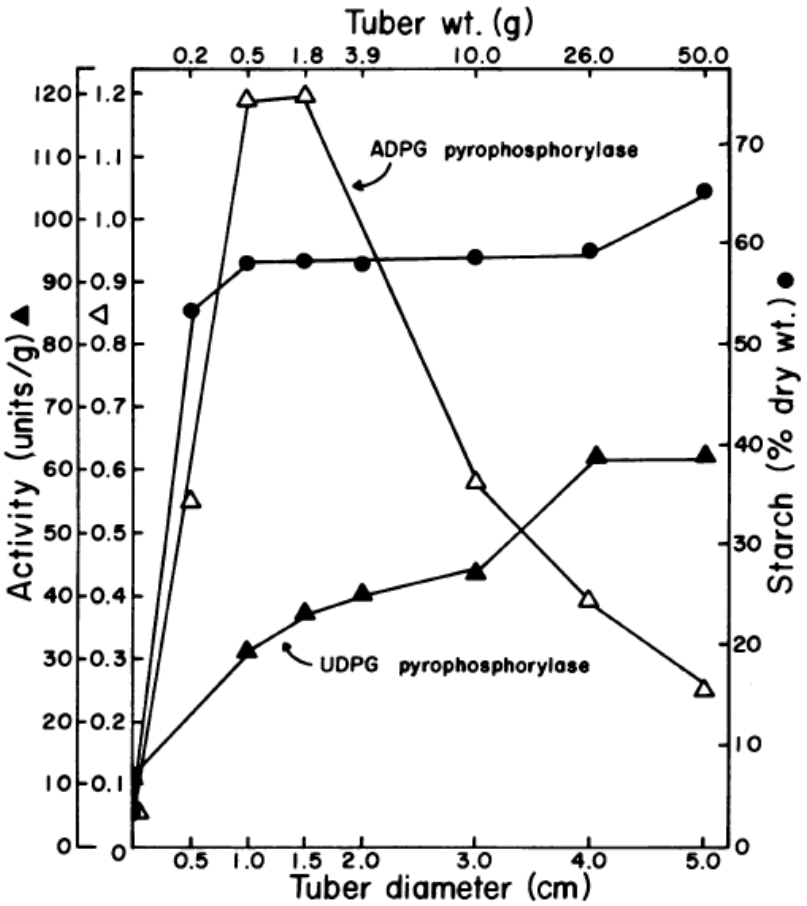
Document 11 - Immunolocalisation de l'ADP-Glucose phosphorylase dans des tubercules de Pomme de terre en cours de développement. Le cliché A correspond à l'expérience d'immunolocalisation (les points noirs représentent la localisation de l'enzyme) et l'encart correspond à l'observation, au microscope à contraste de phase, d'un grain d'amidon de grande taille immunomarqué. Le cliché B correspond au témoin négatif. Les barres d'échelle sur tous les clichés correspondent à 10µm.

En 1940, Hanes rapporta le fait que des chaînes d'amylose ou de maltodextrine pouvaient être allongées en présence d'alpha D Glucose 1-Phosphate par action de la phosphorylase de Pomme de terre. Cette enzyme catalyse une réaction réversible et peut être active dans le sens de la synthèse ou de la dégradation selon que le substrat de départ est le glucose 1-Phosphate ou le Phosphate inorganique (Pi).



En l'absence de précurseur, la synthèse d'amylose ne peut se réaliser que si le rapport Pi / Glucose 1-P est inférieur à la valeur d'équilibre c'est-à-dire 3,1 à pH7. *In vivo*, ce rapport n'est jamais atteint puisque la concentration en Pi est 20 à 40 fois supérieure à celle du Glucose 1-P.

Document 12



Document 13 - Évolution de l'activité de l'ADPG pyrophosphorylase et de l'UDPG pyrophosphorylase dans la tubérisation et la croissance des tubercules de pommes de terre de type chieftan. En abscisse : Tuber diameter = diamètre du tubercule (cm) ; Tuber wt.

= masse du tubercule (g). En ordonnée : Activity = activités enzymatiques de l'ADP-glucose pyrophosphorylase (triangles blancs) et de l'UDP-glucose pyrophosphorylase (triangles noirs) ; Starch (% dry wt.) = masse d'amidon accumulée en pourcentage de la masse sèche (cercles noirs).

Question VII

Compte tenu des informations apportées par ces différents documents et des résultats obtenus au cours des différentes manipulations, indiquez quel(s) pourrai(en)t être le(s) rôle(s) de l'enzyme étudiée dans le métabolisme de l'amidon au sein des amyloplastes.

Réponse à la question VII

L'enzyme étudiée peut catalyser in vivo deux types de réactions différentes :

Une réaction de type 1 aboutissant, à partir de G1P, à la formation d'ADP-Glucose. Cet ADP-glucose est alors utilisé pour la synthèse d'amidon par intervention de l'amidon synthétase et des enzymes de branchement.

Elle peut également catalyser une seconde réaction de type 2 aboutissant soit à la synthèse, soit à la dégradation d'amylose sans intervention d'autres enzymes..

C'est le rapport Pi/G1P qui détermine le sens dans lequel se fera cette réaction 2. In vivo ce rapport est très défavorable à la synthèse et l'on peut supposer que c'est la dégradation qui sera prédominante.

In vitro, l'addition de G1P ainsi que du précurseur (maltohexaose) à des concentration élevées, permet de forcer cette deuxième réaction dans le sens de la synthèse d'amylose à partir de G1P sans passer par l'intermédiaire de l'ADP-glucose et sans intervention des enzymes de branchement ni de la synthétase. Le chauffage réalisé au cours de l'extraction permet d'ailleurs de supprimer toutes les activités enzymatiques à l'exception de l'activité de synthèse directe.

In vivo, le débat reste donc posé de l'action de l'enzyme vers la synthèse (réaction de type 1 ou 2) ou la dégradation (réaction de type 2).

Le cliché du document 8 (immunolocalisation) montre que l'enzyme est bien présente au niveau des amyloplastes et sa présence marque l'organisation en couches concentriques des dépôts d'amidon mais ne permet pas de trancher par rapport à son activité dans le sens de la synthèse ou de la dégradation.

Le document 10 suggère par contre que l'activité de l'enzyme est bien en relation avec la synthèse d'amidon puisque la phase initiale d'accumulation de l'amidon (celle qui se produirait sur des tubercules jeunes) est corrélée avec une forte activité de l'enzyme (probablement dans le cadre d'une réaction de type 1). Cette activité est ensuite relayée par une activité UDP-Glucose phosphorylase qui serait responsable d'une deuxième phase de la tubérisation se traduisant par une augmentation progressive du diamètre du tubercule et qui n'est par conséquent observée que chez les tubercules de diamètre important. L'activité de dégradation par l'intérmédiaire de la réaction de type 2 reste possible mais n'est pas mise en évidence par les documents fournis.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Partie 2 - Physiologie des chloroplastes

Durée conseillée : 2 heures - barème : 7 points sur 20

Commentaire général : La partie 2 a été abordée par un grande majorité de candidats. Le phénomène de redistribution des chloroplastes en lumière intense a été correctement analysé par la plupart des candidats, mais peu d'entre eux ont pu faire lien entre ce phénomène et les propriété des protéines PHOT2 et CHUP1.

Introduction : contexte de l'étude

Objectifs : La **figure 1** illustre les effets d'un éclairement intense sur les mutants *phot2* et *chup1* de l'arabette (*Arabidopsis thaliana*), défectifs pour les gènes *PHOT2* et *CHUP1*, respectivement. À partir de l'analyse de données physiologiques, moléculaires et histologiques, nous nous proposons d'étudier le rôle des gènes *PHOT2* et *CHUP1* et des protéines correspondantes, dans le but de comprendre le phénotype des plantes mutantes.

Informations : Dans la suite de l'énoncé, les intensités lumineuses sont exprimées en µmol de photons incidents par m^2 et par seconde (µmol. m^{-2}. s^{-1}). Les 3 groupements phosphate de l'ATP sont désignés par α, β et γ selon la nomenclature suivante : adénosine-$_\alpha$P-$_\beta$P-$_\gamma$P. Les mutants d'*A. thaliana* sont désignés par le nom du gène muté (ex: le mutant *phot2*) et *A. thaliana* sauvage non muté est désigné par WT (wild type). On considèrera que **le nombre moyen de chloroplastes par cellule est égal** chez *A. thaliana* sauvage et chez les mutants *phot2* et *chup1.*

Conseil : les observations seront réalisées uniquement à partir des planches photographiques fournies.

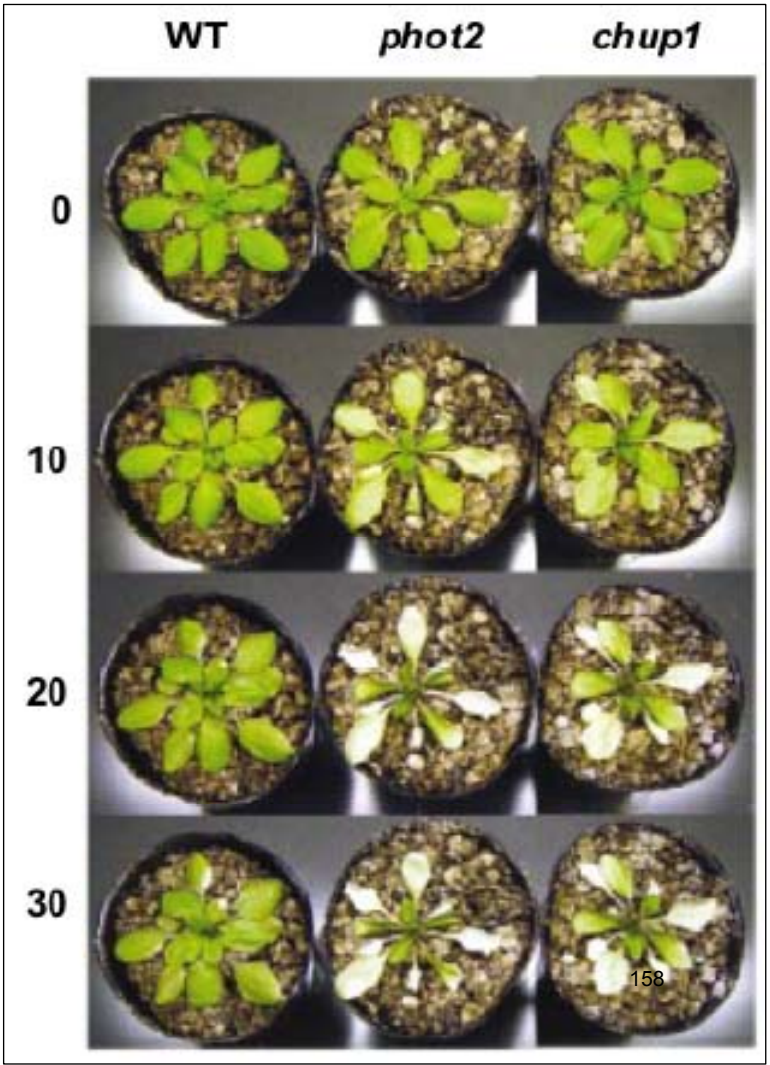


Figure 1. Trois plants d'*A.thaliana,* l'un sauvage (WT), et les autres mutants *phot2* et *chup1,* sont soumis à un éclairement continu intense de lumière blanche (1400 µmol. m^{-2}. s^{-1}). Des photographies de ces trois plantes sont prises au début de l'expérience (0 h), puis toutes les 10 heures (10 h,

20 h, 30 h).

L'éclairement utilisé, bien qu'intense, est normal pour une plante et correspond à celui d'un jour ensoleillé en été.

I- Etude des mutants *phot2*

Nous nous proposons tout d'abord d'étudier la protéine PHOT2 chez *A. thaliana*. Dans ce but, différentes expériences sont réalisées et présentées dans les **figures 2** et **3**. Des plants d'*A. thaliana* sauvages et mutants *phot2* sont maintenus pendant 12 heures sous un éclairement de faible intensité (lumière blanche, 10 µmol. m^{-2}. s^{-1}). Des extraits protéiques des feuilles des plantes WT et *phot2* sont alors préparés. De l'ATP radioactif (γ-^{32}P-ATP) est ajouté aux extraits protéiques puis chaque extrait est séparé en deux parties égales. La première partie est maintenue à l'obscurité (obsc), tandis que la seconde partie est illuminée par de la lumière bleue intense pendant une heure (L). Les protéines de chaque extrait sont alors séparées par électrophorèse en conditions dénaturantes, puis transférées sur une membrane de nitrocellulose. La membrane est alors appliquée sur un film pendant 12 h pour réaliser une autoradiographie (**figure 2A**). Une expérience de western blot est ensuite réalisée avec la même membrane, en utilisant un anticorps spécifique de la protéine PHOT2, dont le poids moléculaire apparent est 120 kDa (**figure 2B**).

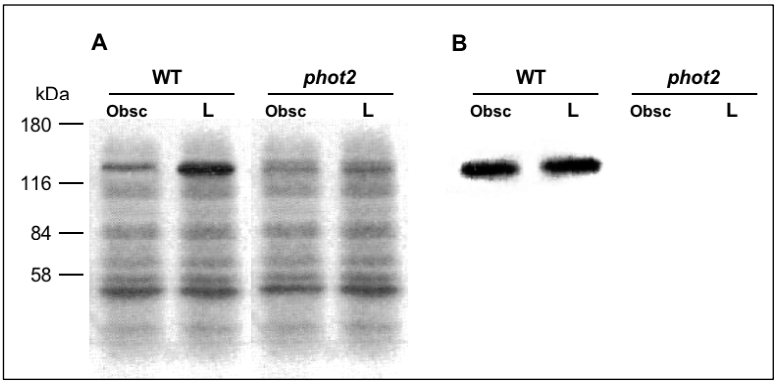


Figure 2 - Des extraits protéiques foliaires d'*A. thaliana* WT et *phot2* sont incubés en présence de γ-^{32}P-ATP (1 mM) à l'obscurité (obsc) ou sous illumination par de la lumière bleue intense (L, λ = 450 nm, 3000 µmol. m^{-2}. s^{-1}) pendant une heure. Les protéines sont alors séparées par électrophorèse en conditions dénaturantes, puis transférées sur une membrane de nitrocellulose.
A : autoradiographie de la membrane. **B:** western blot réalisé avec la même membrane, en utilisant un anticorps spécifique de la protéine PHOT2

<u>Question I- 1</u>

Interprétez les résultats présentés (figure 2) et dégagez une caractéristique probable de la protéine PHOT2.

Réponse à la question I- 1

Fig2A: une bande de poids moléculaire apparent correspondant à celui de la protéine PHOT2 (120 kDa) apparaît plus intense chez le WT à la lumière. Pas de différences claires pour mutant *phot2.*

Fig2B: La protéine PHOT2 est présente chez le WT en **quantités équivalentes à la lumière ou à l'obscurité**. La protéine PHOT2 est absente chez le mutant *phot2* (Obsc ou L).

Caractéristique probable: La protéine PHOT2 semble être **phosphorylée** à la lumière chez le WT, d'où la bande plus intense présente sur l'autoradiographie.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Commentaire : De nombreux candidats n'ont pas compris que la Fig2A met en évidence un phénomène de <u>phosphorylation</u> de protéines

<u>Question I- 2</u>

Grâce à l'anticorps spécifique de la protéine PHOT2, quelle expérience supplémentaire, pourriez-vous réaliser pour prouver que la protéine PHOT2 possède bien cette caractéristique ?

Réponse à la question I- 2

D'après la Fig2A, une protéine de poids moléculaire apparent correspondant à celui de la protéine PHOT2 (120 kDa) est phosphorylée chez le WT à la lumière. Problème: **est-ce bien la protéine PHOT2**?

Expérience: Grâce à l'anticorps spécifique, on pourrait réaliser une **immunoprécipitation** de la protéine de la protéine PHOT2 dans les extraits foliaires (Fig2A) et vérifier ainsi que c'est bien elle qui est phosphorylée (par ex. par SDS-PAGE + autoradiographie).

Commentaire : Cette question plus difficile a été résolue par très peu de candidats

La protéine PHOT2 d'*A. thaliana* est une flavoprotéine. Dans le but de mieux la caractériser, elle est exprimée chez *Escherichia coli*. La protéine recombinante PHOT2 est alors purifiée (elle sera considérée comme parfaitement pure) et différentes expériences sont alors réalisées (**figure 3**).

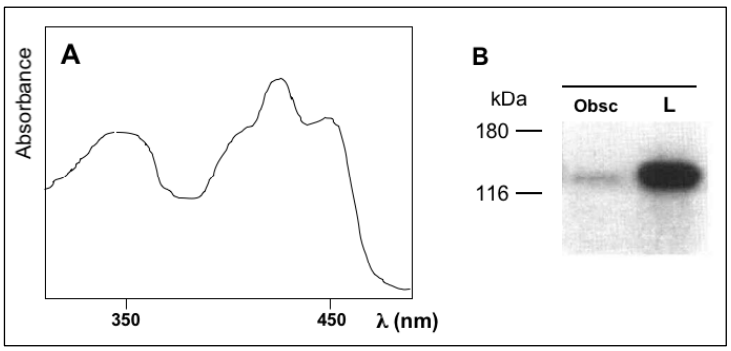


Figure 3 - A : spectre d'absorption de la protéine PHOT2 recombinante purifiée. **B** : la protéine PHOT2 recombinante purifiée (2 µg) est incubée en présence de γ-^{32}P-ATP (1 mM) à l'obscurité (obsc) ou sous illumination par de la lumière bleue intense (L, λ = 450 nm, 3000 µmol. m^{-2}. s^{-1}) pendant une heure. Les protéines sont alors séparées par électrophorèse en conditions dénaturantes, puis transférées sur une membrane dont une autoradiographie est présentée.

<u>Question I- 3</u>

Interprétez les résultats présentés, figures 3A et 3B. Quelles informations supplémentaires l'expérience présentée sur la figure 3B apporte-t-elle par rapport à celle présentée sur la figure 2 ?

Réponse à la question I- 3 (suite page suivante)

Fig3A: Spectre d'absorption de la protéine PHOT2 purifiée: la protéine PHOT2 **absorbe la lumière bleue**

Fig3B: la protéine PHOT2 purifiée est phosphorylée en présence de lumière; comme elle est pure, c'est donc une **autophosphorylation**

Nom :	Prénom :	salle n° :

Les propriétés observées Fig2 sont donc dues uniquement à la protéine PHOT2 (absorption de la lumière bleue + autophosphorylation) sans intervention d'autres facteurs

Réponse à la question I- 3 (suite)

Nous nous intéressons maintenant aux effets physiologiques de la mutation *PHOT2*. Des plants d'*A. thaliana* WT et mutants *phot2* sont maintenus sous un éclairement de faible intensité ou de forte intensité (la lumière incidente est perpendiculaire à la surface des feuilles). Des observations histologiques de la surface des feuilles de ces plantes sont alors réalisées (**figure 4**).

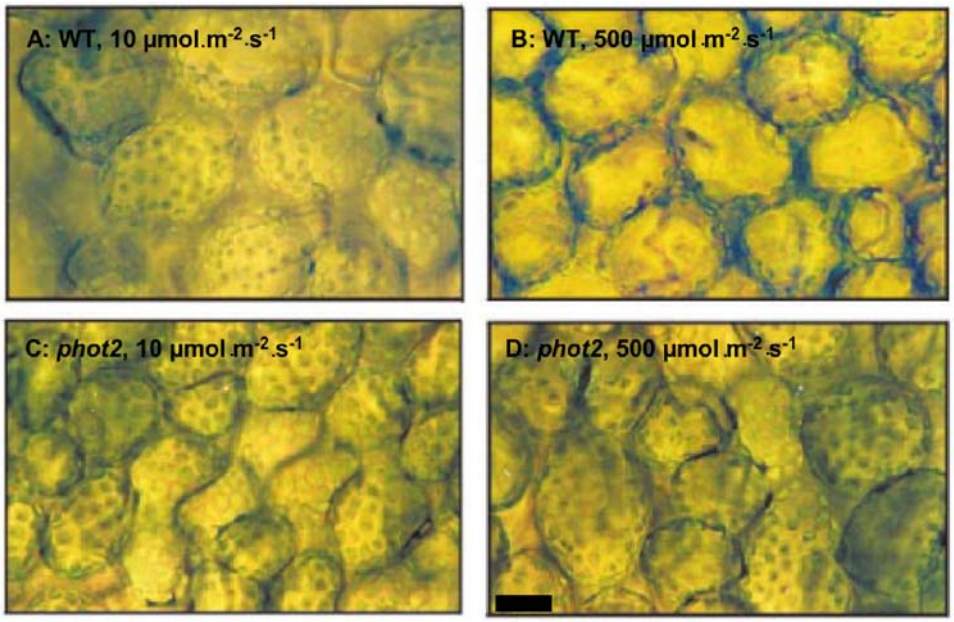


Figure 4 - Observations en microscopie optique de la surface de feuilles d'*A. thaliana* WT (A, B) et mutants *phot2* (C, D), maintenues pendant 2 heures sous éclairement de faible intensité (lumière blanche, 10 µmol. m^{-2}. s^{-1}), ou de forte intensité (lumière blanche, 500 µmol. m^{-2}. s^{-1}). Barre: 20 µm.

Question I- 4

Réalisez des schémas annotés des photos B et D de la figure 4.

Réponse à la question I- 4

Légendes attendues:

Cellules (de mésophylle)

Parois

Vacuole

Chloroplastes

Question I- 5

En vous appuyant sur vos schémas, décrivez et interprétez les résultats présentés dans la figure 4.

Réponse à la question I- 5

WT: En lumière de faible intensité, les chloroplastes sont **répartis de manière homogène** dans la cellule

En lumière de forte intensité, les chloroplastes se regroupent à la **périphérie** de la cellule

Mutant *phot2*: En lumière de faible ou de forte intensité, les chloroplastes sont répartis de manière homogène dans la cellule

Quand de la lumière frappe une feuille, X % de la lumière est réfléchie (comme dans un miroir), Y % est absorbée par les pigments et Z % est transmise, c'est-à-dire traverse la feuille. Dans l'expérience suivante, on utilise un spectrophotomètre particulier pour mesurer la quantité de lumière transmise par des feuilles d'*A. thaliana* soumises à différentes intensités lumineuses. Cet appareil permet donc de mesurer la valeur Z qui sera exprimée en % de transmission.

Nom :	Prénom :	salle n° :

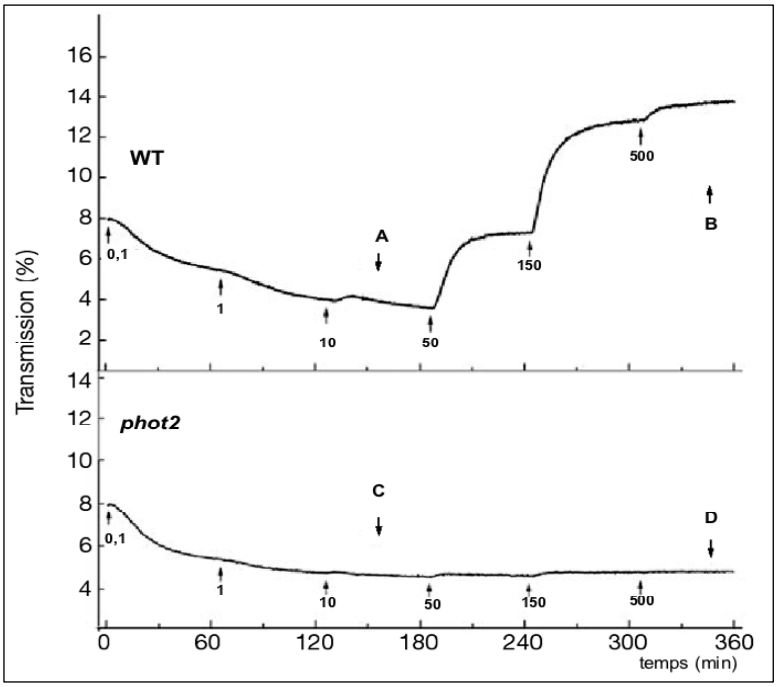


Figure 5 - Propriétés optiques des feuilles WT et *phot2*. Le % de lumière transmise par les feuilles WT (haut) et *phot2* (bas) est mesuré, dans différentes conditions d'éclairement. Des intensités lumineuses comprises entre 0,1 et 500 µmol. $m^{-2}.s^{1}$ sont appliquées aux moments indiqués par les flèches accompagnées d'un chiffre. Des flèches accompagnées d'une lettre indiquent les conditions dans lesquelles les photographies A, B, C et D de la figure 4 ont été prises.

Question I- 6

Interprétez les résultats présentés figure 5, en les reliant à ceux de la figure 4.

Réponse à la question I- 6

Chez le WT, entre 0,1 et 10 µmol. $m^{-2}.s^{-1}$, le % de transmission de la feuille diminue, c'est à dire que sa capacité à absorber la lumière augmente.

A partir de 50 µmol. $m^{-2}.s^{-1}$, l'augmentation de l'intensité lumineuse entraine une **augmentation du % de transmission** (la réponse se fait en 1h environ). Les chloroplastes se **regroupent progressivement à la périphérie** de la cellule (Fig4), en réponses à des intensités lumineuses croissantes. Au de là de 500 µmol. $m^{-2}.s^{-1}$, l'ensemble des chloroplastes est regroupé et le % de transmission atteint un **plateau**.

Chez le mutant phot2, entre 0,1 et 10 µmol. $m^{-2}.s^{-1}$, le % de transmission de la feuille diminue. Par contre, il n'augmente pas pour des intensités lumineuses supérieures à 50 µmol. $m^{-2}.s^{-1}$. **L'absence de redistribution des chloroplastes** (Fig4) n'entraine **pas de modification du % de transmission** aux intensités lumineuses élevées.

Commentaire : Si tous les candidats ont vu le phénomène de redistribution des chloroplastes, peu en ont fait une description complète, en particulier en ce qui concerne le plateau apparaissant au delà de 500 µmol. $m^{-2}.s^{-1}$.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Question I- 7

Qu'observez-vous chez le WT et le mutant pour les intensités comprises entre 0,1 et 10 µmol. $m^{-2}.s^{-1}$? Proposez une hypothèse pour expliquer ce phénomène. Que se passe-t-il à partir de 50 µmol. $m^{-2}.s^{-1}$?

Réponse à la question I-7

Entre 0,1 et 10 µmol. $m^{-2}.s^{-1}$, le % de transmission de la feuille diminue, c'est à dire que sa capacité à absorber la lumière augmente.

On peut formuler l'hypothèse qu'une redistribution des plastes tend à augmenter l'absorption de la lumière dans cette entre 0,1 et 10 µmol. $m^{-2}.s^{-1}$. Ce phénomène ne dépend pas de PHOT2, car le mutant phot2 se comporte comme le WT.

A partir de 50 µmol. $m^{-2}.s^{-1}$, la redistribution des plastes tend à diminuer l'absorption de la lumière (augmentation du % de transmission) chez le WT, mais pas chez le mutant phot2

Il y aurait donc **2 mécanismes de redistribution des plastes**:

- l'un tendant à augmenter l'absorption de la lumière à **faible intensité**, **non dépendant de PHOT2**

- l'un tendant à diminuer l'absorption de la lumière à **forte intensité**, **dépendant de PHOT2**

Commentaire : Cette question plus difficile a été résolue par très peu de candidats

Question I- 8

Compte-tenu des caractéristiques de la protéine PHOT2, proposez une (ou des) hypothèse(s) sur le rôle qu'elle pourrait jouer dans le phénomène illustré figures 4 et 5.

Réponse à la question I- 8

Les caractéristiques de PHOT2 sont les suivantes :

- absorption de la lumière bleue et autophosphorylation ;

- pas de redistribution des chloroplastes à forte intensité lumineuse dans le mutant *phot2*.

PHOT2 pourrait être un **récepteur-kinase**, sensible à la lumière bleue, permettant à la plante de percevoir l'intensité lumineuse.

Une intensité croissante entrainerait une phosphorylation croissante de la kinase PHOT2 et, probablement, **la phosphorylation d'autres protéines d'une voie de transduction du signal** aboutissant à la redistribution des chloroplastes.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Commentaire : Une minorité de candidats ont répondu de manière satisfaisante à cette question.

Question I- 9

En tenant compte du rôle supposé de la protéine PHOT2, proposez alors une hypothèse pour expliquer le phénotype des plantes mutantes *phot2* soumises à une lumière intense présenté figure 1, et en particulier la couleur des feuilles.

Réponse à la question I- 9

Rôle supposé: PHOT2 est un récepteur-kinase sensible à la lumière bleue, permettant la redistribution des plastes en fonction de l'intensité lumineuse.

Sous illumination intense, les chloroplastes se rassemblent à la périphérie des cellules, pour se mettre "à l'abri". Ce phénomène est aboli chez le mutant *phot2*, les plastes restent distribués de manière homogène et pleinement exposés à la lumière.

On peut émettre l'hypothèse que l'exposition prolongée à la lumière de forte intensité est néfaste pour les chloroplastes. En effet, les feuilles du mutants *phot2* **blanchissent** progressivement, probablement en raison d'une **destruction de la chlorophylle** par la lumière en excès. Cette destruction est à peine visible chez le WT, dont la redistribution des plastes limite les effets toxiques de la lumière.

Nom :	Prénom :	salle n° :

II- Etude des mutants *chup1*

Nous nous proposons maintenant de comparer les effets physiologiques des mutations *phot2* et *chup1*. Comme dans l'expérience présentée **figure 1**, des plants d'*A. thaliana* WT, des mutants *phot2* et des mutants *chup1* sont maintenus sous un éclairement de forte intensité (lumière blanche, 1400 µmol. m^{-2}. s^{-1}). Des feuilles sont prélevées au début de l'expérience (t = 0 h) et après 12 h. Des observations histologiques de ces feuilles sont alors réalisées et présentées **figure 6**. Les amas sombres repérés par des astérisques * constituent des zones nécrosées.

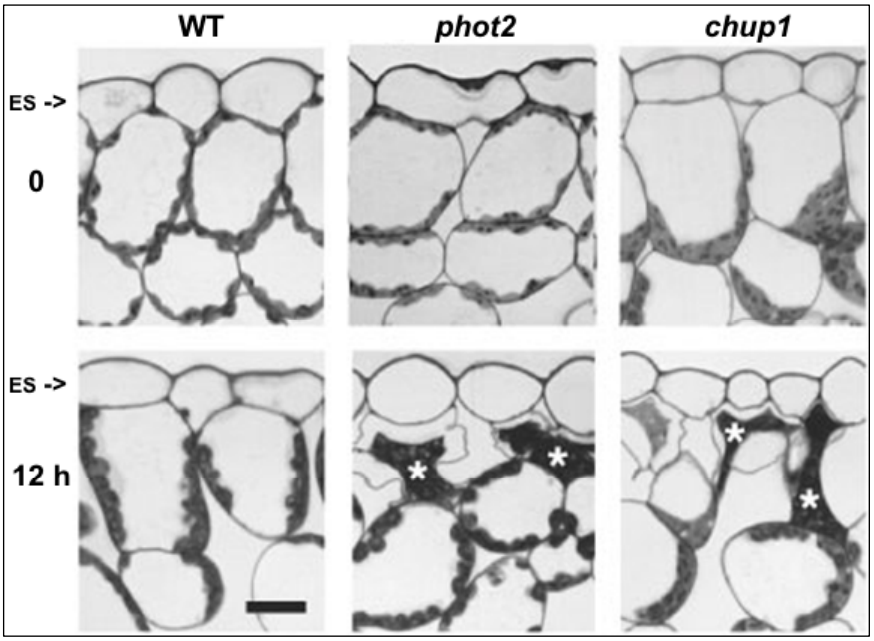


Figure 6 - Des plants d'*A. thaliana* WT, mutants *phot2* et mutants *chup1* sont maintenus sous un éclairement de forte intensité (lumière blanche, 1400 µmol. m^{-2}. s^{-1}), et des feuilles sont prélevées à t = 0 et t = 12h. Des coupes transversales sont réalisées dans les feuilles et sont observées en microscopie optique. ES: épiderme supérieur de la feuille.

Barre: 20 µm.

<u>Question II- 1</u>

Interprétez les clichés présentés figure 6. Pour les plantes WT et *phot2*, ces observations sont-elles en accord avec les clichés présentés figure 4?

Réponse à la question II- 1

WT: redistribution des chloroplastes en bordure des cellules, limitant l'exposition à la lumière.

Phot2: pas de redistribution des chloroplastes, nécrose des cellules au bout de 12h d'éclairement intense.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Observations en accord avec Fig4, car la Fig6 présente des vues en coupe transversale du phénomène illustré Fig4.

Question II- 2

Qu'est-ce qui différencie le mutant *chup1* des deux autres plantes?

Réponse à la question II- 2

Dans le mutant *chup1*, les chloroplastes sont localisés exclusivement dans la **partie inférieure** (**basale**) des cellules**,** et ceci **même avant** l'exposition à forte intensité lumineuse**.** Au contraire, dans les plantes WT ou *phot2*, les plastes sont répartis sur le pourtour cellulaire.

Le gène *CHUP1* d'*A. thaliana* a été cloné et il est utilisé pour construire un plasmide permettant l'expression de la protéine CHUP1 fusionnée à la Green Fluorescent Protein (GFP). Un second plasmide est construit pour permettre l'expression de la petite sous-unité de la Rubisco (PSU) fusionnée à la GFP. Un plasmide témoin permet l'expression de la GFP seule.

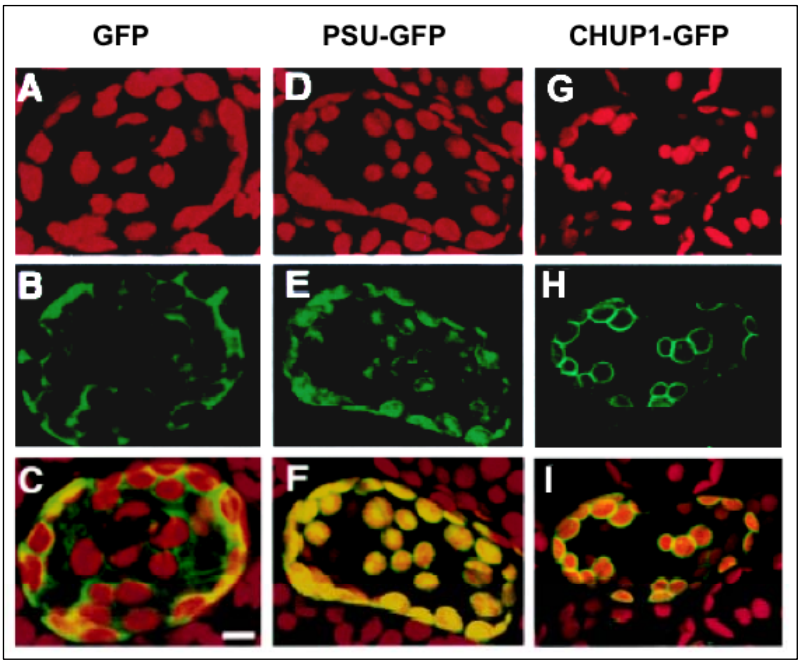


Figure 7 - Observation en microscopie confocale de l'expression de différentes protéines de fusion à la GFP dans des cellules de mésophylle d'*A. thaliana*. A, B, C : GFP seule ; D, E, F : protéine de fusion PSU-GFP ; G, H, I : protéine de fusion CHUP1-GFP. Après excitation en lumière bleue (λ = 488 nm), on observe la fluorescence rouge (A, D, G), verte (B, E, H) et la superposition des deux types de fluorescence (C, F, I). La superposition de fluorescences rouge et verte apparaît en jaune (synthèse additive des couleurs). Barre (image C) : 10 µm.

Question II- 3

Quelle molécule fluoresce en rouge ?

Réponse à la question II- 3

Nom :	Prénom :	salle n° :

La chlorophylle

Question II- 4

Interprétez les résultats présentés figure 7. Que peut-on en déduire concernant la protéine CHUP1 ?

Réponse à la question II- 4

- les chloroplastes apparaissent en rouge

- la GFP seule est cytosolique

- PSU-GFP est adressée aux chloroplastes, grâce au peptide de transite de la PSU

- CHUP1-GFP est localisé sur le pourtour des plastes, probablement au niveau de l'enveloppe, ce qui doit correspondre à la localisation de la protéine CHUP1

Dans l'expérience présentée **figure 8**, on réalise une protéine de fusion entre un domaine appelé "ABD" de la protéine CHUP1, noté ABD_{CHUP1}, et l'enzyme glutathion S-transférase (GST). La protéine de fusion ABD_{CHUP1}-GST est alors incubée en présence de filaments d'actine.

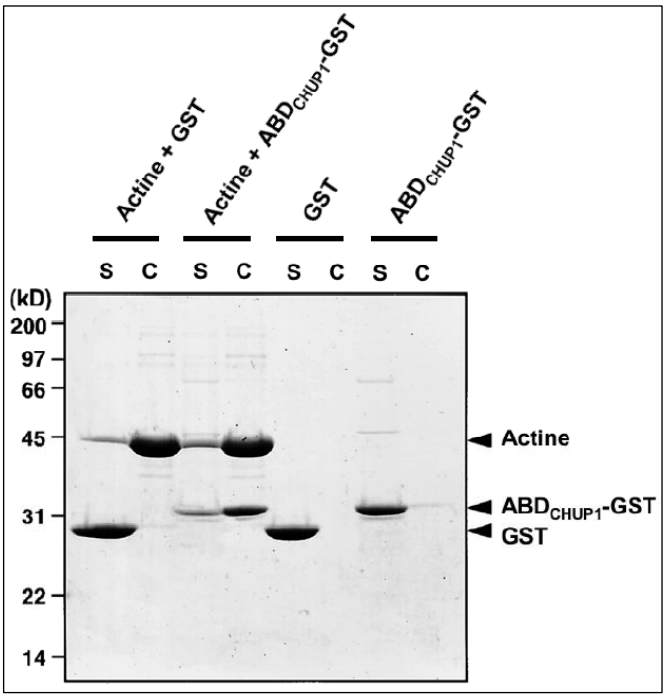


Figure 8 - Quatre types d'incubations sont réalisées avec les protéines indiquées :

Actine + GST

Actine + ABD_{CHUP1}-GST

GST seule

ABD_{CHUP1}-GST

Après 30 minutes, les incubations sont centrifugées et les surnageants (S) et culots (C) sont analysés séparément par électrophorèse en conditions dénaturantes. Les positions de l'actine, de la GST et de la protéine de fusion ABD_{CHUP1}-GST sont indiquées.

Question II-5

Interprétez les résultats présentés dans la figure 8.

Réponse à la question II- 5

Après centrifugation :

L'actine est présente dans les culots.

La GST est présente dans les surnageants.

ABD_{CHUP1}-GST seule reste dans le surnageant.

En présence d'actine, ABD_{CHUP1}-GST est présente majoritairement dans le culot :

→ l'actine "entraine" ABD_{CHUP1}-GST dans le culot, il y a donc liaison entre l'actine et ABD_{CHUP1}-GST ;

→ cette propriété d' ABD_{CHUP1}-GST n'est pas due à la GST, car la GST seule ne se lie pas à l'actine ;

→ le domaine ABD_{CHUP1} semble donc être capable de se lier à l'actine.

Question II- 6

A partir des informations issues des figures 6, 7 et 8, proposez une hypothèse sur la fonction de la protéine CHUP1 chez d'*A. thaliana*.

Réponse à la question II- 6

- Dans le mutant *chup1*, les chloroplastes sont localisés exclusivement dans la partie inférieure (basale) des cellules

- Dans le mutant *chup1*, les chloroplastes ne sont pas redistribués en réponse à un éclairement intense

- La protéine CHUP1 est localisée au niveau de l'enveloppe des chloroplastes

- un domaine de protéine CHUP1 est capable de se lier à l'actine

→ Hypothèse: La protéine CHUP1, qui semble localisée au niveau de l'enveloppe des chloroplastes et qui est capable de se lier à l'actine pourrait être responsable de la **connection** des chloroplastes au **cytosquelette d'actine**.

→ Conséquences: Dans le mutant *chup1*, les chloroplastes seraient donc **déconnectés** du cytosquelette d'actine responsable de leur distribution dans la cellule. Sans connection au cytosquelette, les chloroplastes sédimentent par **gravité** dans la partie basale des cellules et ne peuvent être redistribués en réponse à un éclairement intense.

III- Synthèse

Nom :	Prénom :	salle n° :

Question III

En quelques phrases, proposez une synthèse des informations sur les protéines PHOT2 et CHUP1, pour expliquer le phénotype des plantes mutantes *phot2* et *chup1*, tel qu'il apparaît dans la figure 1.

Réponse à la question III

La protéine PHOT2 serait un récepteur-kinase sensible à la lumière bleue, permettant la redistribution des plastes en fonction de l'intensité lumineuse.

La protéine CHUP1, qui semble localisée au niveau de l'enveloppe des chloroplastes et qui est capable de se lier à l'actine pourrait être responsable de la connection des chloroplastes au cytosquelette d'actine.

Les mutants *phot2* et *chup1* présentent le même phénotype, car ils sont affectés à des niveaux différents du mécanisme de redistribution des chloroplastes en fonction de l'intensité lumineuse :

- le mutant *phot2* n'est pas capable de percevoir l'intensité lumineuse excessive ;

- chez les mutant *chup1*, un défaut de connection des chloroplastes avec le cytosquelette d'actine empêche leur redistribution.

Chez ces deux mutants, le défaut de redistribution des chloroplastes aboutit à une destruction de la chlorophylle dans des conditions d'éclairement intense, mais néanmoins fréquentes dans la nature, ce qui illustre l'importance biologique de ce phénomène.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Fiche de demande : utilisation des enzymes de restriction
(à remettre avant réalisation des digestions pour obtention des enzymes)

Indiquez les enzymes souhaitées (2 maximum)

Eco RI
Hind III
Bam HI
Sac I

Signature du candidat

Fiche déclaration : organisation du gel d'électrophorèse
(à remettre en même temps que le gel après migration) :

Numéro de puits	1	2	3	4	5	6	7
Contenu							

Signature du candidat

Nom :	Prénom :	salle n° :

AGREGATION DE SV-STU 2009 : TP secteur A

Le TP A intitulé « Eléments de physiologie plastidiale » comportait 2 parties indépendantes.

Partie 1 : physiologie des amyloplastes

Les candidats pouvaient choisir l'ordre dans lequel aborder les questions de cinétique enzymatique ou de biologie moléculaire qui étaient indépendantes. Les trois quarts des candidats ont choisi de débuter par la cinétique enzymatique.

Un certain nombre de points a fait l'objet d'une évaluation en cours de séance. C'était notamment le cas des capacités manipulatoires. Celles-ci sont généralement correctes, même si on sent, chez la grande majorité des candidats, un manque d'habitude du travail à la paillasse, visible par l'absence de certains automatismes. Il semble également difficile, pour nombre de candidats, de mener de front une activité de manipulation et de réflexion.

Préparation de l'extrait enzymatique :

La phase initiale proposait de mettre en œuvre un protocole couramment présenté en lycée et de mettre en évidence les conditions de la catalyse enzymatique de la synthèse d'amidon. Il fallait, pour ce faire, procéder dans un premier temps à la préparation de l'extrait enzymatique en appliquant le protocole proposé.

Bien que n'étant pas directement évaluée en cours de séance, si ce n'est par la qualité de l'extrait enzymatique obtenu, cette extraction a présenté des difficultés pour nombre de candidats. Le fait de suivre un protocole précis, en appliquant des règles simples (maintien dans la glace, organisation générale du plan et du temps de travail, utilisation des outils adéquats) n'est pas toujours respecté. De plus, certains candidats oublient en cours de route quel est l'objectif de cette extraction et demandent aux examinateurs de leur fournir l'extrait enzymatique qu'ils viennent eux-mêmes de préparer.

Préparations microscopiques :

Il était demandé de conserver des échantillons des différentes étapes de l'extraction. Deux préparations microscopiques devaient être réalisées à partir de ces échantillons. Ces préparations n'ont généralement pas posé de problème. Par contre, il n'est pas rare de voir que les candidats disposent d'une préparation tout à fait correcte mais ne montrent pas à l'examinateur la partie la plus intéressante de celle-ci. De la même façon, lorsqu'un dessin d'observation est attendu, la correspondance entre dessin et montage n'est pas toujours probante.

Mise en œuvre qualitative de la réaction enzymatique :

La mise en œuvre a été correctement réalisée. On peut toutefois regretter le peu d'anticipation sur l'organisation des échantillons sur les plaques multipuits, compliquant la tâche pour la construction du tableau de résultats. Plusieurs candidats, alors qu'ils disposent des résultats attendus (apparition progressive de la coloration dans le tube contenant le G1P et l'extrait enzymatique) ne les

mentionnent pas en l'état, mais notent dans le tableau une coloration maximale dès la deuxième mesure.

Approche quantitative de la cinétique enzymatique :

C'est sur cette partie du protocole que les candidats devaient faire preuve d'initiative et organiser leur travail de façon à être les plus efficaces possibles.

Une gamme étalon devait permettre d'interpréter les résultats de la cinétique. Il a été très peu tenu compte des conditions de révélation utilisées pour la cinétique pour construire la gamme et la rendre ainsi directement utilisable. Il en est résulté des DO au delà de la gamme de linéarité du spectrophotomètre et non utilisables à moins de réaliser des calculs de dilution complexes.

La plupart des candidats qui a réussi à mener correctement l'extraction de l'enzyme a obtenu des résultats conformes concernant l'écart entre extrait chauffé et non chauffé, c'est à dire une plus grande efficacité de l'extrait chauffé. Ce résultat est pourtant apparu peu orthodoxe à la grande majorité qui s'attendait à ce que le chauffage aboutisse à l'inactivation de la ou des enzymes. Cet à priori a empêché la plupart des candidats d'aller au delà de cette question pour ce qui concernait la cinétique enzymatique. Certains, rares il est vrai, ont malgré tout « osé » formuler des hypothèses à la suite de leurs observations et ont ainsi pu avoir accès à la réponse fournie par les examinateurs.

Le résultat obtenu dans le cadre de l'expérience précédente a donc constitué un obstacle insurmontable pour la presque totalité des candidats qui n'a donc pas abordé du tout la détermination des paramètres cinétiques de l'enzyme. Certains ont tout de même proposé le principe de la manipulation et expliqué, sur un plan théorique comment procéder pour y parvenir.

Biologie moléculaire :

La moitié des candidats environ a réalisé la partie de biologie moléculaire. Le fait d'avoir commencé par cette partie ne semble pas avoir constitué un avantage particulier. Le choix des enzymes est souvent judicieux à condition d'avoir identifié la problématique concernant le sens d'insertion ce qui n'est le cas que de la moitié des candidats ayant traité cette question. Les manipulations de biologie moléculaire (manipulations des petits volumes, dépôt sur gel…) sont souvent réalisées de façon correcte.

Rôle de l'enzyme pyrophosphorylase in vivo :

Un certain nombre de candidats a pris la peine de répondre à cette question, souvent de façon astucieuse et en faisant largement appel aux résultats obtenus dans la totalité de la première partie.

Partie 2 : Physiologie des chloroplastes

La partie 2 a été abordée par une grande majorité de candidats notamment pendant la dernière heure de l'épreuve. Le phénomène de redistribution des chloroplastes en lumière intense a été correctement analysé, mais le lien entre ce phénomène et les propriétés des protéines PHOT2 et CHUP1 a été très rarement établi.

Ce constat repose sur trois difficultés régulièrement rencontrées dans les copies :

- la description des phénotypes des différents plants étudiés a souvent été réalisée mais de façon incomplète. C'est notamment le cas de l'interprétation de la figure 5, ce qui n'a pas permis aux candidats d'accéder à toutes les conclusions attendues ;
- les propriétés des protéines, qui pouvaient être déduites à partir des expériences proposées, n'ont souvent pas été comprises. C'est en particulier le cas des propriétés de phosphorylation qui pouvaient notamment être mises en évidence par l'intermédiaire des figures I.1 et I.2. Le lien avec les voies de transduction du signal par l'intermédiaire de ces processus de phosphorylation n'a, de ce fait, été que très rarement abordé ;
- plusieurs questions sont apparues très complexes pour les candidats, singulièrement celles pour lesquelles on demandait de proposer des interprétations sur un ensemble de phénomènes (question I.7 ou II.5) ou des éléments de protocoles expérimentaux (question I.2).

-

Nom :	Prénom :	salle n° :

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2009

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DU SECTEUR A

CANDIDATS DES SECTEURS B ET C

Durée totale : 2 heures

Les mouvements d'eau entre les cellules et le milieu

Ce document contient 15 pages de texte et de figures. Une feuille de papier millimétré vous sera fournie pendant la séance.

Partie I : Mise en évidence de mouvements d'eau au niveau cellulaire page 2
durée conseillée : 15 minutes – barème : 20 /100

Partie II : Détermination expérimentale du potentiel hydrique d'un organe page 5
durée conseillée : 70 minutes – barème : 40 /100

Partie III : Détermination expérimentale du potentiel osmotique d'une solution page 8
durée conseillée : 15 minutes – barème : 20 /100

Partie IV : Les aquaporines page 10
durée conseillée : 20 minutes – barème : 20 /100

Attention ! Il est vivement conseillé de commencer par l'expérience concernant la détermination du potentiel hydrique (partie II) qui nécessite une immersion de 60 minutes dans différentes solutions.

Les réponses aux questions figureront dans les cadres réservés à cet effet. N'oubliez pas d'appeler les correcteurs pour vérifier préparations et dessins lorsque cela est demandé.

AVANT DE RENDRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DE CHACUNE DES FEUILLES.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Partie I : Mise en évidence de mouvements d'eau au niveau cellulaire

durée conseillée : 15 minutes – barème : 20 /100

Vous disposez d'un bulbe d'oignon rouge, d'eau distillée et d'une solution de saccharose à 20 %. Prélevez un lambeau d'épiderme sur la face externe d'une écaille moyenne, montez-le entre lame et lamelle dans une goutte d'eau distillée et observez-le.

I - A : Sans dessiner, décrivez votre observation et proposez une explication.

Réponse à la question I-A

Toutes les cellules présentent une couleur rouge clair uniforme due à la vacuole qui occupe tout le volume cellulaire, repoussant cytoplasme et noyau contre la paroi squelettique.

Les cellules sont turgescentes. L'eau de la solution est entrée dans la vacuole dont le potentiel hydrique est inférieur à celui de l'eau distillée, arbitrairement fixé à 0 par convention. Le potentiel hydrique de la vacuole est donc négatif puisque l'eau tend à migrer par osmose dans le sens des potentiels hydriques décroissants.

I - B - 1 : Ajoutez ensuite une goutte de solution de saccharose contre le bord de la lamelle et placez un papier-filtre du côté opposé afin d'établir un mouvement de solution. Observez une cellule à l'objectif x 100 à l'immersion et dessinez-la dans le cadre de la page 3.

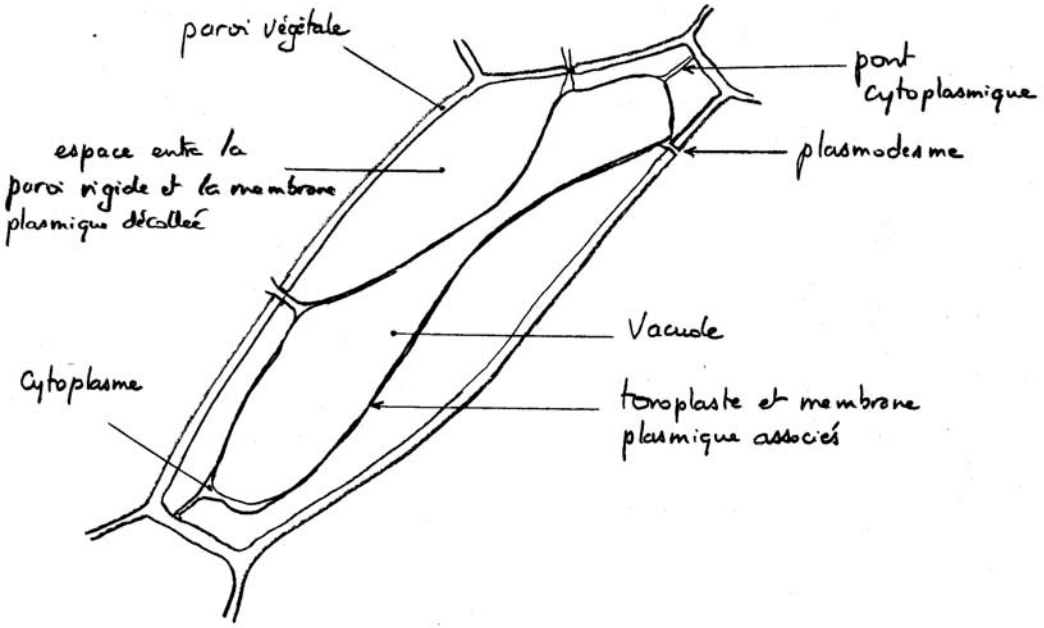
Vous devez appeler un correcteur dès que votre dessin est réalisé et laisser votre préparation en place sur la platine du microscope.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Réponse à la question I-B-1

Observation au microscope photonique d'un fragment d'épiderme d'écaille moyenne d'oignon rouge, en plasmolyse, monté dans une solution de saccharose à 20 %.

Grossissement : x 1000, à l'immersion



Nom :	Prénom :	salle n° :

I - B - 2 Nommez le phénomène observé et proposez une explication.

Réponse à la question I-B-2

Il s'agit d'une plasmolyse. La solution de saccharose étant concentrée, son potentiel osmotique est très bas et le potentiel hydrique aussi. Sa valeur devient inférieure à celle de la vacuole dont l'eau migre vers la solution de saccharose qui présente un potentiel hydrique est inférieur. Le volume de la vacuole diminue, celle-ci se rétracte et devient rouge vif car les anthocyanes qui la pigmentent sont plus concentrées. Le volume cellulaire diminuant, la membrane plasmique se décolle progressivement de la paroi sauf au niveau de certains points où elle reste accrochée par de fins ponts cytoplasmiques. Ces derniers sont souvent symétriques vis à vis de la paroi de deux cellules contigües, indiquant ainsi la présence de plasmodesmes.

I - C Calculez la concentration molaire de la solution de saccharose utilisée à l'aide des masses molaires atomiques suivantes : C = 12 g.mol^{-1} ; H = 1 g.mol^{-1} ; O = 16 g.mol^{-1}

Réponse à la question I-C

Masse d'une mole de molécules de saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$:

(12 x 12) + (22 x 1) + (11 x 16) = 342 g

Solution de saccharose à 20 % soit 200 g.L^{-1}

Concentration molaire : 200 g.L^{-1} / 342 g.M^{-1} = 0,58 mol.L^{-1} ou 0,58 M

Nom :	Prénom :	salle n° :

Partie II : Détermination expérimentale du potentiel hydrique d'un organe

durée conseillée : 70 minutes – barème : 40 /100

Vous disposez d'un tubercule caulinaire de pomme de terre et d'une série de 10 tubes contenant chacun une solution de saccharose différente, de 0,1 mol . L-1 pour la plus faible à 1 mol . L-1 pour la plus élevée. Réalisez, dans ce tubercule, 10 parallélépipèdes d'environ 5 cm de longueur, aussi semblables que possible. Repérez sur chacun d'entre eux une arête, faites une petite incision sur cette arête, et mesurez la longueur de cette arête. Soit $\mathbf{L_i}$ la valeur mesurée. Une fois la découpe effectuée, appelez un examinateur avant de passer à la suite.

Placez alors un parallélépipède par tube, attendez une heure puis retirez-les et mesurez, pour chacun d'eux, la longueur de l'arête présentant l'incision. Soit $\mathbf{L_f}$ la nouvelle valeur. Déterminez alors la variation relative de longueur, notée ΔL, exprimée sous forme d'un pourcentage.

II - A : Donnez la formule qui permet de déterminer ΔL en fonction de L_i et L_f.

Réponse à la question II-A

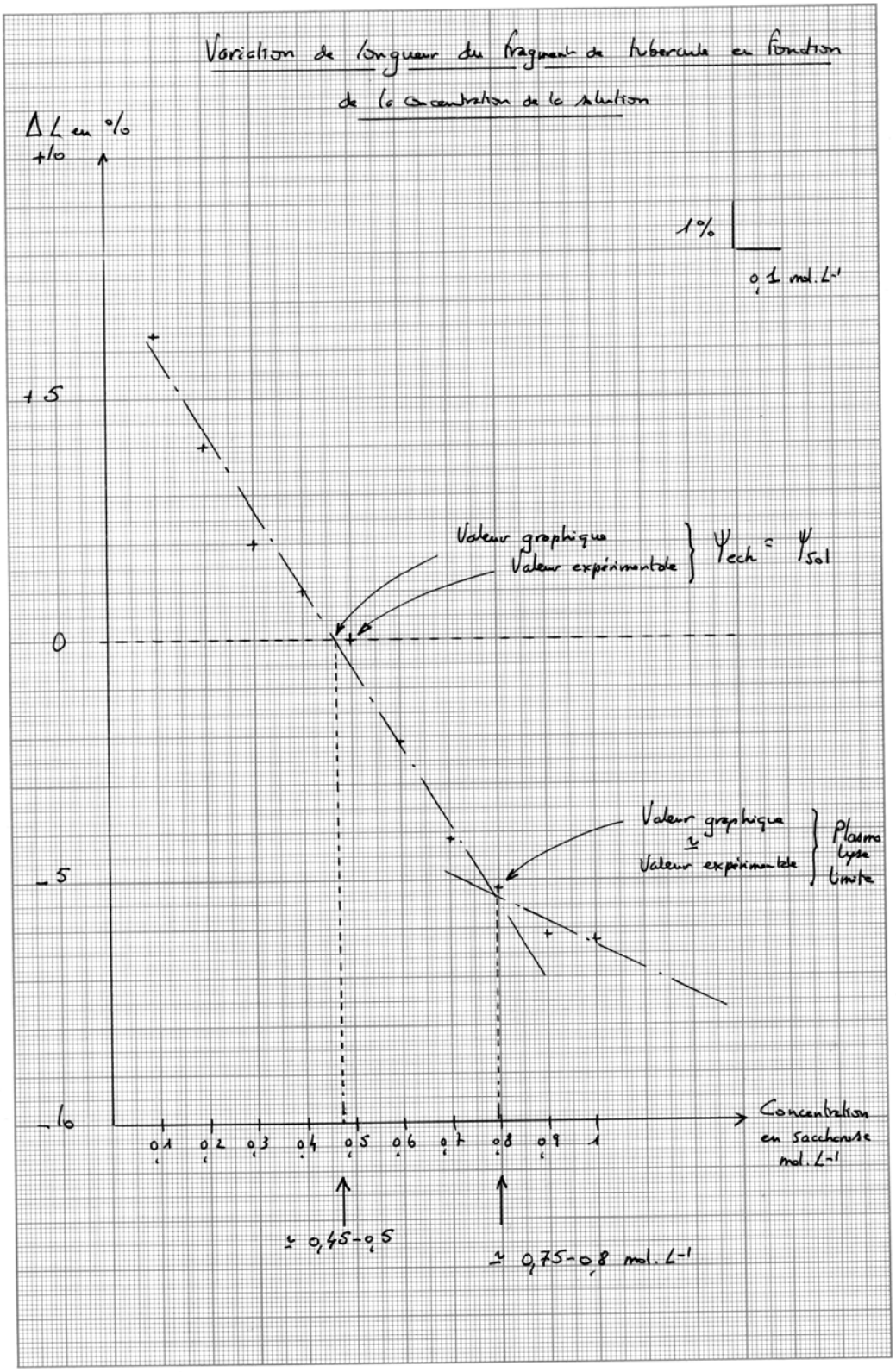
$\Delta L = [(Lf – Li) / Li] \times 100$

II - B : Consignez vos valeurs dans le tableau-ci dessous.

	Concentration des solutions de saccharose en mol . L-1									
Longueurs	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1**
$\mathbf{L_i}$	48	49	48	48	48	48	48	48	49	48
$\mathbf{L_f}$	51	51	49	48,5	48	47	46	45,5	46	51
$\mathbf{\Delta L}$	6,25	4,00	2,00	0,10	0	- 2,1	- 4,16	- 5,20	- 6,12	6,25

Nom :	Prénom :	salle n° :

II - C - 1 : Tracez alors le graphe exprimant la variation relative de longueur ΔL en fonction de la concentration de la solution de saccharose, sur la feuille de papier millimétré jointe à votre dossier.



Nom :	Prénom :	salle n° :

II - C - 2 : Faites une analyse critique argumentée de la méthode utilisée. Pouvez-vous proposer une autre façon de procéder ?

Réponse à la question II-C -2

Critiques

* La mesure porte sur une dimension (longueur) alors que les variations observées sont volumiques (3 dimensions).

* Expérience faite une seule fois ; nombre de mesures insuffisants pour avoir une vision statistique (écart-type, intervalle de confiance), donc pas d'évaluation de la marge d'erreur de la mesure

Méthode

Calcul du volume (S x L) ou mesure de la masse car l'organe est homogène. Comme la densité de l'eau = 1, on peut supposer que la variation de densité est représentative de la variation de volume.

II - C - 3 : Donnez la formule complète du potentiel hydrique en précisant la signification de chaque terme.

Réponse à la question II-C -3

$$\Psi = \Psi s + \Psi p + \Psi g + \Psi m$$

Ψs = potentiel osmotique ($- \pi = RTC$) ; Ψp = potentiel de pression (P) ; Ψg = potentiel de pesanteur ($=\rho_w gh$) et Ψm = potentiel matriciel.

Formule simplifiée : $\Psi = P - \Pi$

R = 8,31 J.mole^{-1}. K-1 (valeur non exigée); T = Température absolue en °K ; C = concentration molaire en mole. L^{-1} ;

Nom :	Prénom :	salle n° :

II - C - 4 : Déterminez graphiquement la valeur de la concentration qui correspond au potentiel hydrique du tubercule de pomme de terre. Justifiez votre choix dans le cadre ci-dessous.

Réponse à la question II-C-4

La solution de saccharose qui ne provoque aucune variation de volume a donc le même potentiel hydrique que le morceau de tubercule de pomme de terre. C'est le point d'intersection entre la courbe de tendance (valeur graphique) et la ligne $\Delta L=0$. La projection de ce point sur l'axe des abscisses donne la valeur de concentration molaire en saccharose correspondante (valeur comprise entre 0,4 et 0,5 mol. L^{-1} sur la courbe)

II - D - 1 : Donnez la définition de la plasmolyse limite.

Réponse à la question II-D-1

La plasmolyse limite d'une cellule est la situation osmotique pour laquelle les potentiels osmotiques de part et d'autre de sa membrane plasmique sont égaux. La cellule n'exerce aucune pression sur la paroi. La pression de turgescence est donc nulle. La membrane est très légèrement décollée de la paroi car elle n'est soumise à aucune pression et il n'y a aucun flux net d'eau.

II - D - 2 : Pouvez-vous déterminer graphiquement la valeur de concentration en saccharose pour laquelle les cellules parenchymateuses du tubercule de pomme de terre sont en plasmolyse limite ? Si oui, expliquez très succinctement comment, en justifiant votre réponse (vous pouvez utiliser votre graphe de la question II-C-1).

Réponse à la question II-D-2

La courbe présente deux pentes de valeur différente. Les variations positives de longueur indiquent que de l'eau est entrée dans les cellules du parenchyme alors que les valeurs négatives montrent que de l'eau est sortie. La rupture de pente correspond à la concentration en saccharose pour laquelle la diminution de taille de la paroi des cellules est moindre car la membrane plasmique s'en décolle. La paroi n'est plus entraînée par la diminution de taille de la cellule. (valeur comprise entre 0,7 et 0,8 mol. L^{-1} sur la courbe). Sur l'axe des abscisses, la flèche de gauche indique la concentration en saccharose correspondant au potentiel hydrique et la flèche de droite indique la concentration en saccharose correspondant la plasmolyse limite.

II - D - 3 : Les réponses aux questions II-C-4 et II-D-2, vous permettent-elles de calculer la pression de turgescence de l'échantillon ?

Réponse à la question II-D-3

La différence de potentiel osmotique entre une situation de plasmolyse limite ($\Psi p = 0$) et une situation de turgescence ($\Psi p \# 0$) correspond à la différence de potentiel hydrostatique entre ces deux situations. La différence de concentration entre ces deux situations permet alors de calculer la pression de turgescence P (= contre pression pariétale). D'après le graphique, pour une concentration en saccharose de 0,47 (situation où $\Delta L=0$) le potentiel hydrostatique vaut $\Psi p = RT\Delta C = 8{,}31 \times 298 \times (0{,}80-0{,}47).10^3 = 0{,}82$ MPa

Nom :	Prénom :	salle n° :

Partie III : Détermination expérimentale du potentiel osmotique d'une solution

Durée conseillée : 15 minutes – barème : 20 /100

Cet exercice vous propose de déterminer le potentiel osmotique d'un jus de fruit que les élèves peuvent se procurer dans le commerce. Vous disposez pour cela d'un jus de fruit, de bleu de méthylène, de tubes à essais contenant chacun une solution de saccharose de concentration différente de 0,1 mol . L^{-1} à 1 mol . $^{L-1}$. Le principe de cette détermination est basé sur la méthode de Chardakov.

III - A : Rappelez en quelques lignes le principe de cette méthode.

Réponse à la question III–A

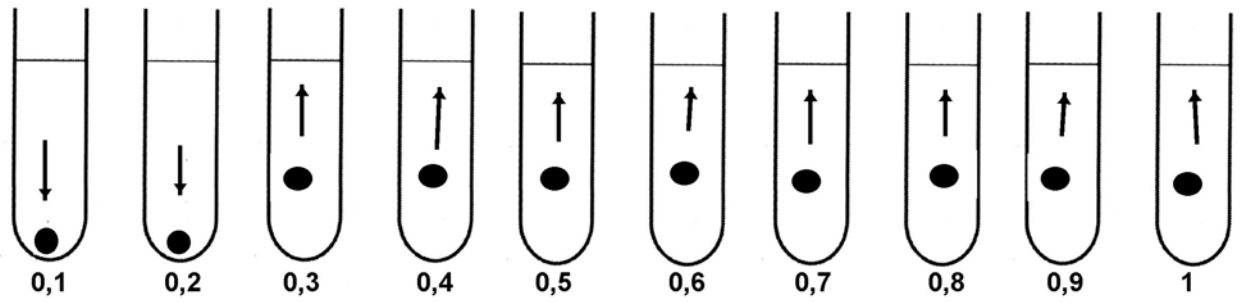
C'est une méthode densitométrique. Pour un soluté donné, la densité d'une solution est directement fonction de sa concentration. La comparaison de la densité d'une solution donnée avec les densités d'une gamme de solutions de concentration connue permet ainsi de déterminer la concentration de la solution étudiée, celle-ci étant directement liée au potentiel osmotique par la formule $\Pi = RTC$.

NB : Cette méthode est une approximation car le jus de fruit contient d'autres solutés que la saccharose, de masse molaire différente.

Ajoutez avec une pipette à bulbe du bleu de méthylène dans le jus de fruit à tester de façon à obtenir une coloration homogène bleue. À l'aide d'une pipette à bulbe, prélevez par capillarité, sans aspirer, un peu de jus de fruit de fruit ainsi coloré. Libérez ensuite une goutte de ce mélange immédiatement sous la surface de la solution de saccharose du tube à 0,1 mol . L-1. Faites de même avec chacun des 9 autres tubes correspondant aux différentes dilutions, en ayant pris soin d'essuyer avec du papier-filtre l'extrémité de la pipette Pasteur entre chaque prélèvement.

III - B : Représentez vos observations en complétant le schéma ci-dessous selon le code suivant : une flèche orientée vers le bas si la goutte descend, une flèche orientée vers le haut si la goutte monte et une double flèche de part et d'autre de la goutte si elle ne bouge pas.

Réponse à la question III–B



Avec le jus de mandarine proposé, la goutte remonte entre 0,2 et 0,3 mol. L^{-1}. Approximons à 0,25 mol.L^{-1} la concentration en saccharose correspondante.

Nom :	Prénom :	salle n° :

III - C - 1 : Expliquez de façon argumentée les différents comportements observés.

Réponse à la question III–C–1

Lorsque la goutte descend, sa masse volumique est plus grande que celle de la solution de saccharose. Le jus de fruit est donc plus concentré que la solution de saccharose. Au contraire, lorsqu'elle remonte, sa masse volumique est plus faible que celle de la solution de saccharose. Le jus de fruit est donc moins concentré que la solution de saccharose. Quand la goutte se stabilise, sa masse volumique est identique à celle de la solution de saccharose. Le potentiel osmotique développé par la goutte de jus de fruit est donc égal à celui de la solution de saccharose.

III - C - 2 : Déterminez alors la valeur du potentiel osmotique du jus de fruit étudié. Vous considérerez que la température est égale à 25°C. La constante des gaz parfaits R = 8,31 J.mol^{-1}.K^{-1}. Vous exprimerez le résultat en MPa (rappel : 1 bar = 1 atm = 0,1 MPa).

Réponse à la question III–C–2

Le potentiel osmotique est l'opposé de la pression osmotique dont la formule est $\Pi = RTC$

C est l'osmolarité en mol.L^{-1}. Exemple de calcul avec 0,25 mol.L^{-1}.

Ainsi P = 8.31 x 298 x 0,25 mol.L^{-1} soit 619,095 atm soit 0,62 Mpa

Le potentiel osmotique du jus de fruit testé est donc égal à – 0,62 Mpa.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Partie IV : Les aquaporines

durée conseillée : 20 minutes – barème : 20 /100

Chez les plantes, les vacuoles sont des organites essentiels qui subissent des changements de volume dynamiques pendant la croissance des cellules suite au flux rapide et élevé de l'eau par les aquaporines.

IV - A : Étude de l'aquaporine BobTIP26-1 du tonoplaste de chou-fleur

Pour mieux comprendre la fonction physiologique de l'aquaporine BobTIP26-1 dans le tonoplaste, des ARNc chimères *BobTIP26-1::GFP* sont injectés dans des ovocytes de Xénope (TIP : protéine intrinsèque du tonoplaste). La synthèse de BobTIP26-1 et de BobTIP26-1::GFP est contrôlée par immunoblotting (**figure 1 A-D ci-dessous**). Trois jours après injection, les ovocytes sont transférés dans un milieu hypo-osmotique et les échanges d'eau sont étudiés (**figure 1 E ci-dessous**).

MW : masse moléculaire

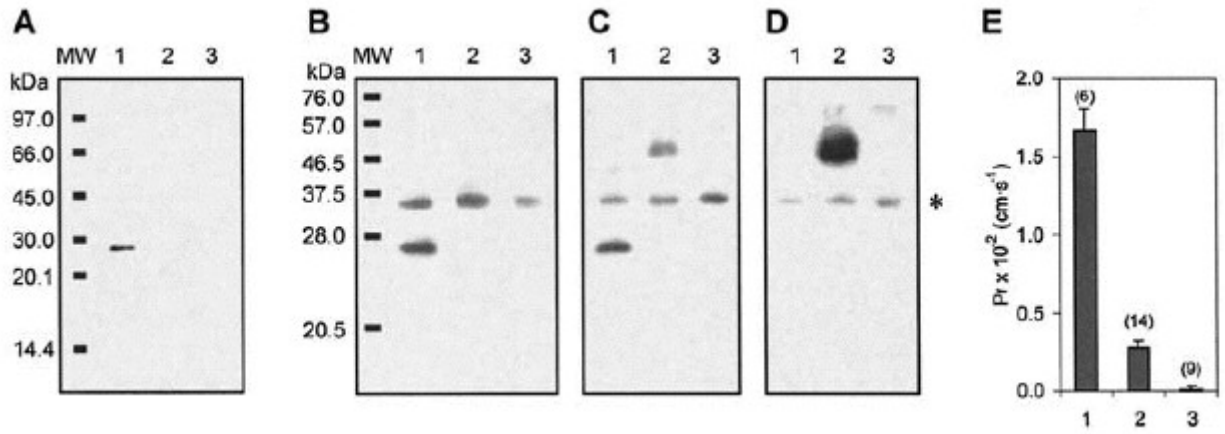


Figure 1

Les ovocytes sont injectés avec des ARNc de BobTIP26-1 (pistes 1), des ARNc de BobTIP26-1::GFP (pistes 2) ou avec de l'eau (pistes 3).

Chaque piste contient des membranes préparées à partir de l'équivalent d'un ovocyte.

Les protéines sont détectées par des anticorps anti-BobTIP26-1 (A), des anticorps anti-Cter de BobTIP26-1 (B), des anticorps anti-Nter de BobTIP26-1 (C), ou des anticorps anti-GFP (D). L'astérisque correspond à une bande non spécifique dans les taches B à D. Cter et Nter signifient respectivement extrémité C-terminale et extrémité N-terminale de la protéine.

E : Valeurs de la perméabilité osmotique à l'eau (Pf) des ovocytes de *Xenopus*. Des ovocytes exprimant l'ARNc de BobTIP26-1 (1), l'ARNc de BobTIP26-1::GFP (2) ou non modifiés (3) sont soumis à un choc hypo-osmotique et les changements du volume des cellules sont enregistrés. Le graphe exprime les valeurs moyennes de Pf des ovocytes. Les nombres entre parenthèses représentent le nombre d'ovocytes utilisés pour chaque expérience.

Nom :	Prénom :	salle n° :

IV - A - 1 : Exploitez de façon comparative les résultats des expériences A, B, C et D et concluez.

Réponse à la question IV–A–1

L'antisérum anti-BobTIP26 a identifié un polypeptide de 26 kDa dans l'extrait de membrane des ovocytes injectés avec de l'ARN BobTIP26-1 comme attendu (figure 1A, piste 1) mais, on ne le retrouve pas dans les extraits de membranes d'ovocytes injectés avec BobTIP26-1::GFP cRNA (figure1A, piste 2).

La même réponse est obtenue avec les anticorps anti-C-terminal (figure 1B). En revanche, les anticorps anti-N-terminal mettent en évidence le polypeptide de 26 kDa dans l'extrait de membrane des ovocytes injectés avec de l'ARN BobTIP26-1 (figure 1C, piste 1) et une bande d'environ 52 KDa, taille approximative prévue pour le produit chimérique traduit, dans l'extrait de membrane des ovocytes injectés avec de l'ARN de BobTIP26-1::GFP (figure 1C, piste 2).

L'antisérum anti-GFP met en évidence une bande large d'environ 52 KDa (figure 1D, piste 2).

Ces résultats montrent que GFP est relié l'extrémité C-ter de BobTIP26-1 altérant son anitigénicité ce qui explique l'absence de réponse dans les pistes 2.. Ils prouvent aussi que BobTIP26-1::GFP et BobTIP26-1 ont été synthétisés dans l'ovocyte

IV - A - 2 : Proposez une hypothèse explicative aux résultats de l'expérience E.

Réponse à la question IV–A–2

La perméabilité osmotique de la membrane de l'ovocyte exprimant BobTIP26-1::GFP est environ 10 fois supérieure à celle des ovocytes injectés par l'eau mais 6 fois plus faible que celle des membranes de l'ovocyte exprimant BobTIP26-1. L'AQP s'exprime donc dans l'ovocyte mais sa liaison à la GFP altère sa fonction de canal à eau, probablement par changement de la conformation de l'AQP. On peut aussi émettre l'hypothèse que cette fonction est liée à la conformation du côté C terminal.

IV - B : Étude de l'aquaporine BobTIP26-1 dans des protoplastes de cellules de tabac

De l'ADNc de *BobTIP26-1::GFP* a été transitoirement exprimé dans des protoplastes obtenus à partir des cellules de tabac en suspension. L'analyse des protoplastes fluorescents est effectuée 20 h après l'électroporation et l'emplacement de la protéine de fusion GFP est suivi en microscopie confocale (**figure 2 page suivante**) en présence du plasmide pAVA393 codant la GFP cytosolique (A), du plasmide pDR303 codant BobTIP26-1::GFP (B–F).

Nom :	Prénom :	salle n° :

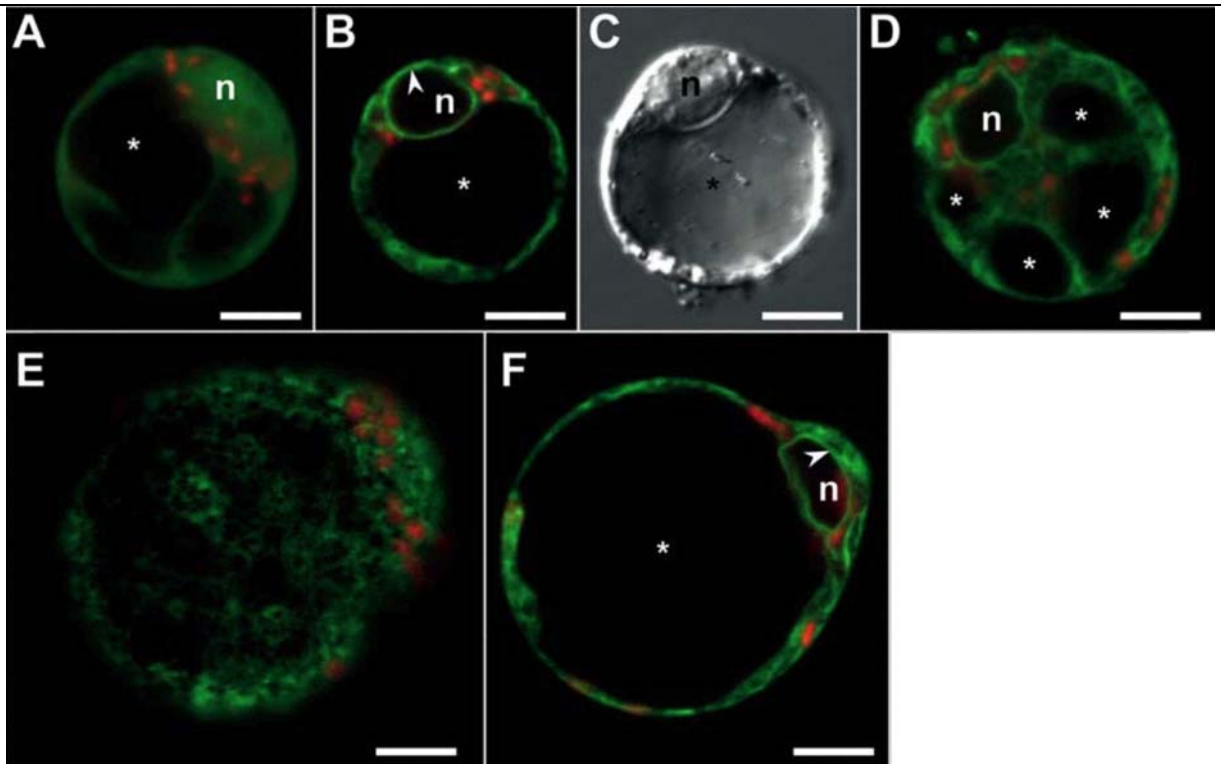


Figure 2

A-D : L'expression transitoire de la GFP a été analysée après 20 h. L'autofluorescence rouge (chlorophylle) et la fluorescence verte (GFP) sont affichées.

B et C : même cellule ; C : image de contraste d'interférence de Nomarski.

E : mise au point sur un plan tangentiel ; F : mise au point sur un plan transversal.

Astérisque = vacuole ; n = noyau ; pointes de flèches = enveloppe nucléaire ; barres = 10 µm.

IV - B - 1 : Exploitez les images et proposez deux hypothèses explicatives quant à vos observations.

Réponse à la question IV–B–1

L'expression de GFP cytosolique du plasmide pAVA393 montre une répartition homogène dans le cytosol et la matrice nucléaire (figure 2A)

Par opposition, les protoplastes montrent une répartition hétérogène de BobTIP26-1::GFP (figures 2B, DF). La fluorescence verte élevée est associée à l'enveloppe nucléaire (figure 2B et F, pointe de flèche) et à des structures diffuses du cytosol ; Il peut s'agir des compartiments du réticulum endoplasmique ou RE (figure 2E). Cependant, il n'y avait aucun marquage de la vacuole, ni du tonoplaste, ni du nucléoplasme.(figure 2B et C).

Les tonoplastes ne sont pas marqués marqué parce que :

Hyp1 : 20 h ne serait pas assez long pour associer la protéine de fusion au tonoplaste

Hyp2 : pendant l'electroporation beaucoup de copies de plasmides ont été incluses dans le protoplaste où elles se sont exprimées en produisant un niveau anormalement élevé de protéines, ce qui pourrait empêcher le transfert vers le tonoplaste.

Nom :	Prénom :	salle n° :
Hyp3 : dans les protoplastes soumis à une contrainte osmotique, la synthèse endogène d'aquaporine du tonoplaste a pu également être augmentée et les nouvelles protéines de fusion, excédentaires, pourraient être bloquées dans un compartiment intermédiaire comme le RE		

Des cellules de Tabac sont cultivées et modifiées via le plasmide d'*Agrobacterium tumefasciens* pour exprimer l'ADNc de *BobTIP26-1::GFP*. Une analyse en microscopie confocale révèle l'expression du gène inséré (**figure 3 ci-dessous**).

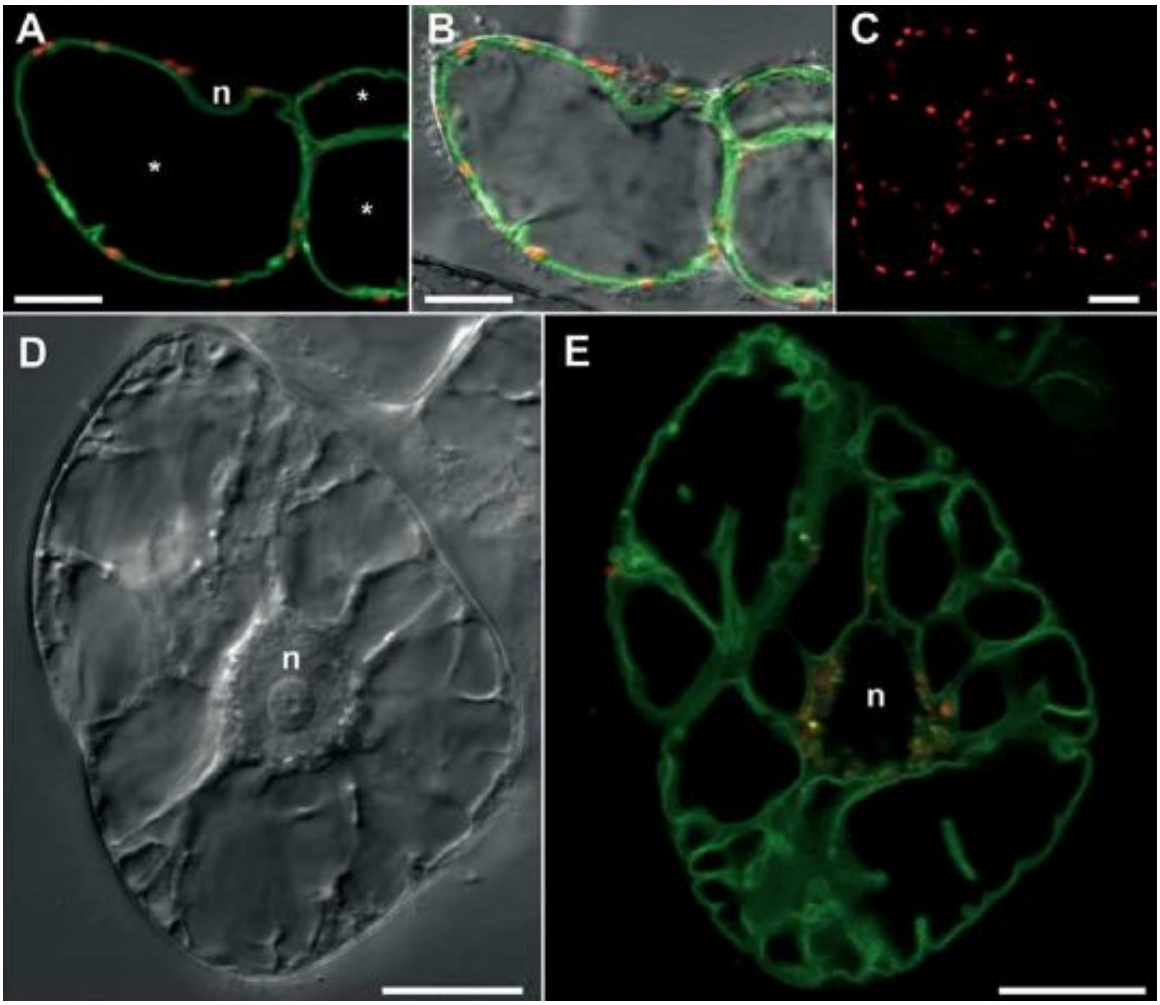


Figure 3

A : cellules de cal exprimant *BobTIP26-1::GFP* en microscopie confocale. La fluorescence verte est celle de la GFP, la fluorescence rouge est celle de la chlorophylle.
B : image de A superposée à la vue en contraste de phase (Nomarski)
C : cellules de cal non transformées (WT)
D : jeune cellule (3 jours) de tabac cultivée en suspension vue en contraste de phase (Nomarsky)
E : cellule D visualisée en microscopie confocale
Barres : 25 µm.

Nom :	Prénom :	salle n° :

IV - B - 2 : Quelle différence principale avec la figure 2 observez-vous quant à la localisation de la protéine de fusion ? Émettez une hypothèse qui pourrait expliquer ces différences.

Réponse à la question IV–B–2

La fluorescence verte est localisée en position hyaloplasmique (images A et B) et sur la surface des multiples vacuoles (images E). Ainsi contrairement à la figure 2 précédente, la protéine est donc localisée dans le tonoplaste. Les cellules en cultures présentent une paroi et le mode de transfection est différent

Hyp1 : la présence d'une paroi modifie la distribution de la protéine dans la cellule

Hyp2 : La transfection par plasmide permet peut-être d'obtenir une localisation plus typique de la protéine.

Pour évaluer l'impact physiologique de l'expression de *BobTIP26-1::GFP* sur les cellules transgéniques de tabac, on compare la taille de protoplastes (A) préparés à partir de cellules de tabac non transformées (barres noires) et transformées par *BobTIP26-1::GFP* (barres grises). D'autre part, les protoplastes non transformés (B) et les protoplastes transformés par *BobTIP26-1::GFP* (C) ont aussi été montés dans une chambre de comptage pour les mesurer (**figure 4**). Les diamètres sont exprimés en µm.

Nom :	Prénom :	salle n° :

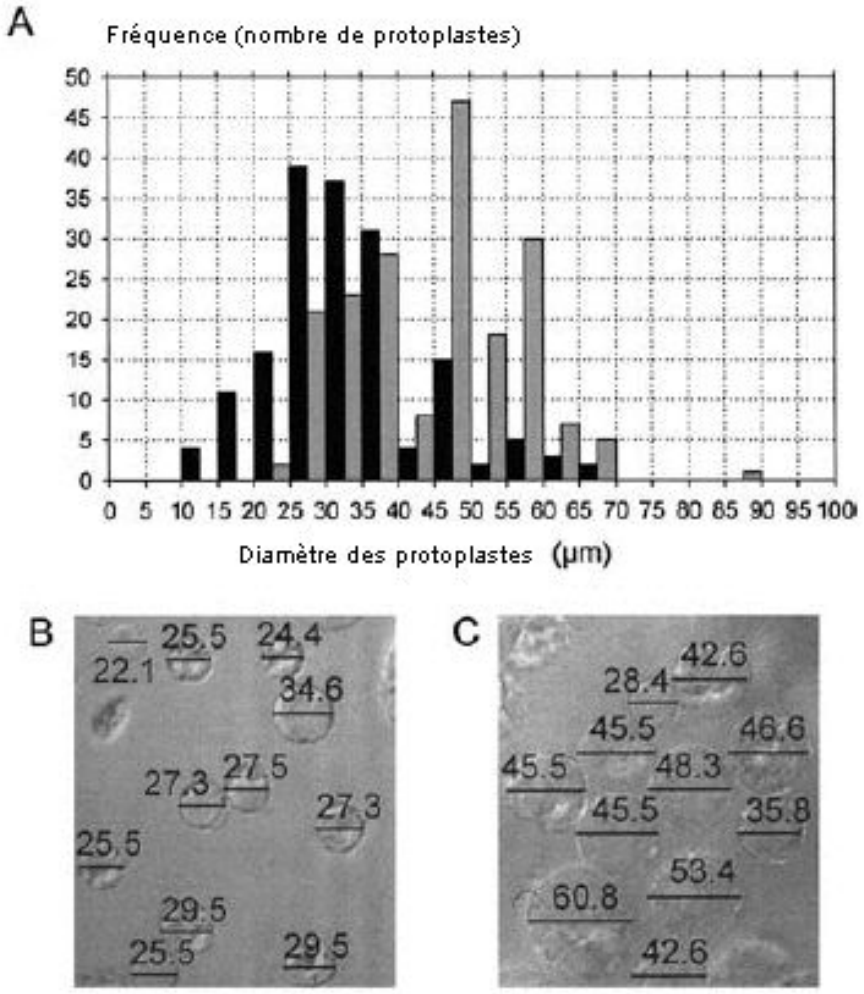


Figure 4

IV - B - 3 : Exploitez les documents proposés figure 4.

Réponse à la question IV–B–3

Distribution des tailles de type bimodale pour les deux types de protoplastes :

Protoplastes non transformés : les valeurs sont centrées autour 30 µm pour la plupart avec une petite proportion centrée autour de 45 µm.

Protoplastes transformés. Un petit premier lot se situe autour de 40 µm et un nombre plus important se situe autour de 50 µm.

La présence de l'AQP se traduit par un diamètre presque deux fois plus grand. L'expression de la protéine permet donc une croissance plus importante de la cellule.

Nom :	Prénom :	salle n° :

IV - C : Concluez en faisant un bilan de l'ensemble de vos réponses aux parties A et B.

Réponse à la question IV–C

L'AQP du tonoplaste peut s'exprimer dans les ovocytes ou les cellules de tomate.

Lorsque l'AQP est incorporée dans les ovocytes, la perméablité osmotique à l'eau est augmentée d'un facteur 15 environ. Chez la tomate, la présence de l'AQP se traduit par une croissance en taille des protoplastes environ deux fois plus importante. Les AQP peuvent se trouver sur la membrane plasmique, sur le tonoplaste ou bien dans d'autres compartiments cellulaires (RE ou autre). La transfection d'un gène d'AQP peut perturber sa distribution dans la cellule (blocage dans le RE par exemple ?)

Nom :	Prénom :	salle n° :

AGREGATION DE SV-STU 2009 : TP secteur a

Commentaires du TP de contre-option a

Le TP « a » intitulé « *Les mouvements d'eau entre les cellules et leur milieu* » comprenait quatre parties dont les trois premières étaient basées sur des expériences réalisables par des élèves de lycée. La dernière partie, consistait en une exploitation de données scientifiques concernant les aquaporines.

Les objectifs de ces TP reposent sur quatre idées :

- la mise en œuvre d'observations et d'expériences simples, sans difficulté technique, que les futurs professeurs peuvent être amenés à faire réaliser à leurs futurs élèves ;
- la recherche d'un formalisme intelligible qui permet de rendre compte des résultats et de les interpréter ;
- le calcul de variables physico-chimiques qui sous-tendent les phénomènes observés : concentration molaire, potentiel hydrique, potentiel osmotique ;
- la compréhension de résultats (immunoblotting, marquage à la GFP suivi par microscopie confocale) extraits de publications scientifiques et la recherche d'hypothèses explicatives.

Observations faites durant les séances de travaux pratiques

Les examinateurs ont constaté un certain nombre de points qu'il convient d'améliorer afin de mieux réussir ce type d'épreuve.

- Gérer l'espace de travail de façon rationnelle et organisée, afin d'éviter le renversement de solutions, l'encombrement de la paillasse.
- S'entraîner à utiliser le microscope optique : beaucoup de candidats oublient le rôle du diaphragme et/ou du condenseur pour optimiser l'observation de l'échantillon étudié ainsi que la procédure à suivre pour réaliser une bonne observation à l'objectif x 100 à l'immersion.
- Veiller à l'adéquation entre le montage réalisé et la représentation graphique correspondante.
- S'assurer de l'homogénéité du matériel d'expérimentation (parallélépipèdes de tubercules de pomme de terre dans la partie II) afin d'obtenir des résultats rigoureux.
- Bien lire les protocoles proposés et tout particulièrement les *errata* éventuels fournis. En effet, entre la date d'impression du sujet et le jour de l'épreuve, il peut arriver que le matériel disponible conduise le jury à modifier, légèrement, le texte initialement prévu.
- Gérer le temps en tenant compte de la longueur des activités proposées.

Observations liées aux réponses apportées par les candidats

Dans la partie I, le dessin et les explications manquent de précision, le calcul de la concentration molaire a posé problème, le plus souvent par méconnaissance de la formule du saccharose. La réalisation du graphe et son exploitation en partie II ont souvent été mal réalisées. La majorité des candidats a obtenu des résultats exploitables mais ils n'ont pas tenu compte de leur répartition au moment de tracer la courbe moyenne. Les candidats ont voulu tracer une droite unique alors que la courbe moyenne présentait deux segments de pente différente. La signification de la plasmolyse limite est méconnue et la discussion critique montre un manque de recul, notamment sur le caractère significatif des résultats obtenus (homogénéité des échantillons mesurés, variable étudiée, nombre de mesures, incertitude de mesure). La partie III est la mieux réussie tandis que la partie IV a été plus rarement traitée. L'immunoblotting de la question IV-A a souvent été mal interprété, les candidats n'ayant pas vu que l'absence de détection par l'anticorps anti-Cter (figure 1B) et la présence d'une réponse avec l'anticorps anti-Nter (figure 1C) montrait que la GFP était fixée sur l'extrémité C-terminale de l'aquaporine. Dans la partie IV-B, l'observation comparative des images obtenues en microscopie confocale a manqué de précision conduisant à des interprétations incomplètes et à des hypothèses souvent mal formulées. De même, le caractère bimodal des histogrammes de répartition des tailles de protoplastes a souvent été ignoré. Enfin, le bilan demandé à la question IV C a été souvent incomplet. Toutefois, un certain nombre de copies sont très équilibrées, témoignant de qualités d'organisation et de méthode dans la mise en œuvre des activités proposées alliées à une bonne compréhension des phénomènes observés, tant sur la partie pratique que sur la partie basée sur l'étude de documents.

Les moyennes obtenues

	Partie I (20)	**Partie II (40)**	**Partie III (20)**	**Partie IV (20)**
Moyenne	10,1	10,2	13,0	5,4
Ecart-type	2,74	4,67	4,64	3,76
MOYENNE	**7,75**			
ECART-TYPE	**2,21**			

Conclusion

La moyenne de cette épreuve de contre-option est basse. Le jury invite donc les candidats à ne pas négliger les travaux pratiques lors de leur préparation, tout particulièrement les activités de base (maniement du microscope, réalisation de montages, représentation figurative, mise en forme des résultats expérimentaux) qui constituent les fondamentaux de l'enseignement pratique des sciences de la vie dans les classes.

Nom :	Prénom :	salle n°:

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2009

TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITÉ DU SECTEUR B

Durée totale : 6 heures

Il est conseillé de faire les parties I à III dans ordre

Les parties IV à VI sont indépendantes

Les eaux courantes et l'évaluation de leur qualité

Ce sujet comporte 6 parties indépendantes :

- ***Partie I : Étude et détermination de microorganismes photosynthétiques*** *(pages 2 à 12)*
  - *Durée conseillée : 80 min* *20 points/90*
- ***Partie II : Évaluation de la qualité de l'eau dans différentes stations d'un cours d'eau à l'aide d'un indice de polluosensibilité : l'indice diatomique*** *(pages 13 à 20)*
  - *Durée conseillée : 45 min* *10 points/90*
- ***Partie III : Évaluation de la qualité de l'eau d'une station à l'aide de macro-invertébrés*** *(pages 21 à 31)*
  - *Durée conseillée : 100 min* *25 points/90*
- ***Partie IV : Étude d'un super prédateur l'écrevisse*** *(page 32)*
  - *Durée conseillée : 40 min* *10 points/90*
- ***Partie V : Étude de l'influence de super prédateurs sur un écosystème d'eau courante*** *(pages 33 à 41)*
  - *Durée conseillée : 60 min* *15 points/90*
- ***Partie VI : Reconnaissances raisonnées*** *(page 42)*
  - *Durée maximale : 35 min* *10 points/90*

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

Nom :	Prénom :	salle n°:

I- Étude et détermination de microorganismes photosynthétiques

L'objectif de cette partie est d'établir une clef de détermination simple à partir de l'étude comparée de trois cultures monospécifiques de microorganismes puis de l'appliquer à un biofilm se développant sur les galets d'un écosystème d'eau courante (biofilm périlithique).

I-A Étude comparée de trois microorganismes photosynthétiques issus de cultures mono spécifiques et d'un échantillon prélevé en milieu naturel

Matériel biologique à disposition du candidat :

- Trois tubes numérotés **1**, **2**, **3** contenant chacun une culture monospécifique de microorganismes ;

- Un tube numéroté **4** contenant un échantillon de biofilm périlithique prélevé en milieu naturel.

Matériel optique à disposition du candidat :

- Microscope ;

- Lames et lamelles ;

- Huile à immersion.

Matériel de coloration à disposition du candidat :

- Lugol fort ;

- Matériel nécessaire à la réalisation d'une coloration de gram et protocole de coloration.

Protocole de réalisation d'une coloration gram

- Réalisation du frottis : déposer au centre d'une lame une goutte de culture et l'étaler à l'aide de la pipette pasteur. Laisser sécher la lame en la plaçant sous une lampe afin d'accélérer le séchage. Faire un repère sur la lame permettant de localiser la face de la lame sur laquelle la culture a été déposée.

- Réalisation de la coloration : les différentes étapes de cette coloration seront réalisées sur un bac à coloration.

1- Coloration par le cristal violet. Laisser agir 30 secondes. Rincer sous un filet d'eau. Bien égoutter sur du papier absorbant.

2- Mordançage au lugol (solution d'iode iodo-iodurée) : étaler le lugol et laisser agir de 30 secondes. Rincer sous un filet d'eau et bien égoutter.

3- Décoloration rapide à l'alcool (95%) : verser goutte à goutte l'alcool sur la lame inclinée obliquement et surveiller la décoloration qui doit durer ~20 secondes. Le filet doit être clair à la fin de la décoloration. Rincer sous un filet d'eau et bien égoutter.

4- Recoloration à la safranine. Laisser agir de 30 secondes. Laver doucement à l'eau et bien égoutter.

5- Sécher la lame en la plaçant sous une lampe afin d'accélérer le séchage.

Nom :	Prénom :	salle n°:

I-A-1 Précisez l'objectif de la coloration de gram ainsi la signification des différentes colorations potentiellement observables. Une coloration violette est considérée comme positive et une coloration rose comme négative.

Réponse(s) à la question I-A–1 coloration de gram

Les étapes 1 et 2 colorent en violet le contenu de la bactérie. Le violet cristal se fixe sur les composants cytoplasmiques de toutes les bactéries et le Lugol permet de fixer cette coloration interne. L'étape 3 sert à décolorer le cytoplasme des bactéries qui seront dites « Gram négatives ». En effet, celles ci ont une paroi pauvre en peptidoglycane qui va laisser passer l'alcool (molécule lipophile) et qui décolorera le cytoplasme en éliminant le violet de gentiane. Au contraire, pour les bactéries dites « Gram positif » la paroi constitue une barrière imperméable à l'alcool car elle est composée d'une "couche" de peptidoglycane plus épaisse. Elles resteront alors violettes.

L'étape 4 est une contre-coloration ayant pour but de donner aux bactéries Gram négatives précédemment décolorées une teinte rose permettant de les visualiser au microscope. Les bactéries à Gram positif restées violettes seront évidemment insensibles à cette contre-coloration plus pâle que le violet imprégnant leur cytoplasme

I-A-2 Précisez l'objectif de la coloration au lugol ainsi que la signification des différentes colorations potentiellement observables.

Réponse(s) à la question I-A–2 coloration au lugol

Le Lugol est un réactif iodo-ioduré (I_2+IK) qui réagit avec les polymères de glucose présentant des liaisons α,1–4.
Il permet une coloration bleu-violet de l'amidon et brun-acajou du glycogène.
Une absence de coloration indique l'absence de α,1–4 glucanes.

I-A-3 Réalisez une étude comparée des 3 microorganismes issus des cultures monospécifiques.

- Effectuez des observations à l'œil nu et en utilisant le matériel optique approprié.

- Appliquez, **avec discernement,** les techniques de coloration à votre disposition.

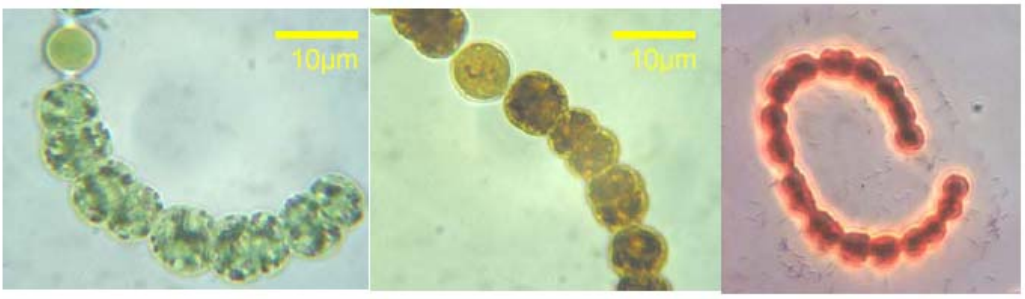
- **Tirez les conclusions** s'imposant en réalisant, dans chacun des cadres prévus, un schéma interprétatif rassemblant l'ensemble des informations ainsi obtenues.

Le résultat obtenu pour la coloration de gram sera montré à un examinateur qui jugera de la pertinence de la coloration, de la qualité de la préparation et du résultat obtenu.

Nom :	Prénom :	salle n°:

Réponse(s) à la question I-A-3-a microorganisme 1

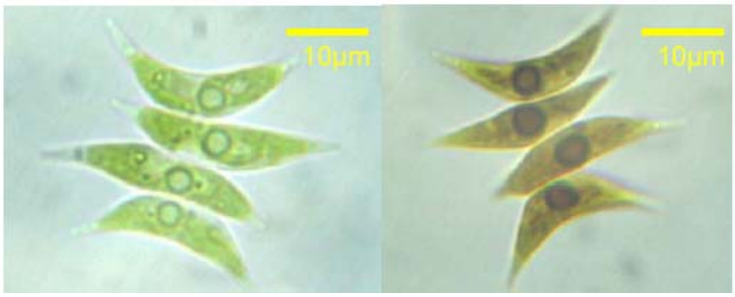
1



La culture à une coloration vert bleutée. Les micro-organismes sont filamenteux composés de cellules végétatives et d'hétérocystes. Aucun organite n'est visible et les cellules semblent entourées d'une paroi épaisse. Des pigment semblent accumulés à la périphérie des cellules végétatives. L'ajout de lugol confère une coloration brun-acajou aux cellules traduisant la présence de glycogène comme polysaccharide de réserve. L'ensemble de ces observations indique qu'il s'agit d'une cyanobactérie, la présence d'hétérocystes permet de préciser qu'il s'agit d'une nostocale fixatrice d'azote atmosphérique du genre *Anabaena (non exigé)*. La coloration de gram permet de préciser qu'il s'agit d'une bactérie gram négatif

Réponse(s) à la question I-A–3-b microorganisme 2 Réponse(s) à la question I

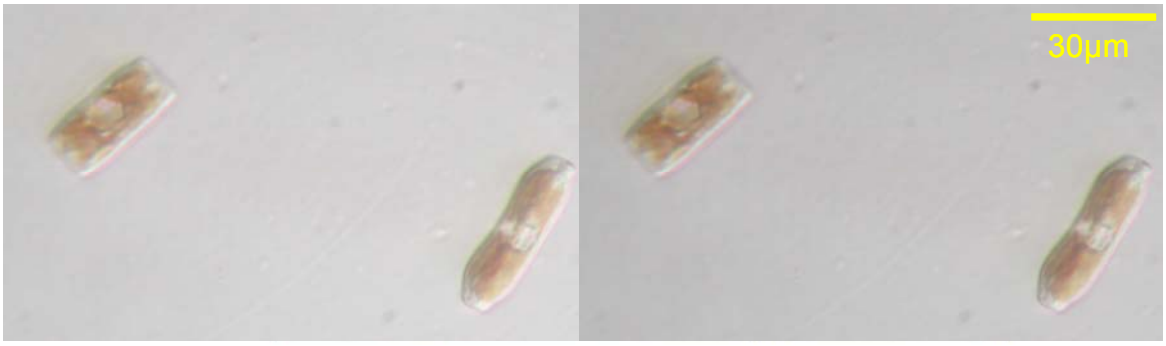
2



La culture a une coloration verte. Les micro-organismes sont composés de plusieurs cellules regroupées par 2 ou 4 (coenobe, *non exigé*). Des organites sont visibles (chloroplastes). L'ajout de lugol confère une coloration bleu-violet à une structure sphérique située dans le chloroplaste. Celle-ci est impliquée dans la synthèse d'amidon il s'agit du pyrénoïde. L'ensemble de ces information permet d'émettre l'hypothèse qu'il s'agit d'une chlorophycée (cellule eucaryote à réserve amylacée intraplastidiale). Les deux cellules situées à l'extrémité du coenobe présentent des expansions caractéristiques indiquant le genre *Scenedesmus (non exigé)*.

Réponse(s) à la question I-A–3-c microorganisme 3

3



La culture à une coloration brune. La présence de chloroplastes de couleur brune est visible. L'ajout de lugol ne modifie pas la coloration des microorganismes indiquant que le polysaccharide de réserve n'est pas un polymère de glucose présentant des liaisons α 1-4. L'ensemble de ces informations permet d'émettre l'hypothèse qu'il s'agit d'un organisme appartenant aux Chromoalvéolés (non exigé). L'absence de flagelle et la présence d'un frustule siliceux indiquent qu'il s'agit de diatomées. *Les termes de:bicontes-chromoalvéolés-straménopiles-bacillariophycées ou hétérochontes-bacillariophytes ou straménopiles-hétérokonta-ochrophyta-bacillariophyceae n'étaient pas exigés.*

Nom :	Prénom :	salle n°:

I-B Étude de la composition chlorophyllienne des trois microorganismes photosynthétiques issus de cultures monospécifiques et de l'échantillon prélevé en milieu naturel.

La mesure de la quantité relative des différents types de chlorophylles (a, b, c_1, c_2 et c_3 et d) peut apporter une information taxonomique sur les organismes photosynthétiques. Le solvant employé ici, l'éthanol 100%, permet une extraction efficace de tous les pigments chlorophylliens. La méthode de détermination de la composition chlorophyllienne repose sur le fait que chaque type de pigment chlorophyllien (a, b, c ou d) présente un spectre d'absorption de l'énergie lumineuse caractéristique (pics d'absorption enregistrés à certaines longueur d'onde). En mesurant les absorbances de solutions de pigments chlorophylliens aux longueurs d'onde correspondant à ces différents pics et en utilisant des algorithmes appropriés on peut faire une estimation de la composition en chlorophylle de chacun des microorganismes étudiés.

I-B-1 Détermination de la composition chlorophyllienne du microorganisme 2.

I-B-1-a Mesurez l'absorbance de la solution à 632, 649 et 665 nm et compléter le tableau ci-dessous.

Matériel à disposition du candidat :

- Une solution de pigments chlorophylliens extraits de la culture du microorganisme 2 (éthanol 100%)
- Deux cuves pour spectrophotomètre
- Une solution d'éthanol 100%
- Un spectrophotomètre avec son mode d'emploi

Absorbance$_{\text{Longueur d'onde}}$	**A_{632}**	**A_{649}**	**A_{665}**
Extrait 2	**0,160-0,180**	**0,290-0,350**	**0,650-0,780**

I-B-1-b Calculez les concentrations en chlorophylle (en g/m^3) dans l'extrait 2 en utilisant les équations suivantes et complétez le tableau ci-dessous où sont reportées les valeurs obtenues en appliquant cette méthode aux microorganismes 1 et 3 et à l'échantillon 4.

$$[\text{Chl } a] = -0{,}9394\ A_{632} - 4{,}2774\ A_{649} + 13{,}3914\ A_{665}$$

$$[\text{Chl } b] = -4{,}0937\ A_{632} + 25{,}6865\ A_{649} - 7{,}3430\ A_{665}$$

$$[\text{Chl } c \text{ (toutes formes)}] = 28{,}5073\ A_{632} - 9{,}9940\ A_{649} - 1{,}9749\ A_{665}$$

$$[\text{Chl}_{\text{totale}}] = 23{,}4742\ A_{632} + 11{,}4096\ A_{649} + 4{,}0735\ A_{665}$$

Concentration (g/m^3)	**[Chl *a*]**	**[Chl *b*]**	**[Chl *c*]**	**[Chl $_{\text{totale}}$]**
Microorganisme 1	2,6	-0,2	0,0	2,5
Microorganisme 2	**7-9**	**2-3**	**0,1-0,5**	**9-12**
Microorganisme 3	3,4	-0,1	0,5	3,9
Échantillon 4	2,4	0,4	0,4	3,2

Nom :	Prénom :	salle n°:

I-B-2 Détermination de la composition chlorophyllienne des microorganismes 1, 2, 3 et de l'échantillon 4. .

I-B-2-a Calculez la contribution relative (en pourcentage) de chaque pigment à la chlorophylle totale dans les extraits de pigments des micro-organismes 1, 2, 3 et de l'échantillon 4 et compléter le tableau ci-dessous.

	%Chl *a*	%Chl *b*	%Chl *c*
Microorganisme 1	100%(104,0)	0%(-8,0)	0%
Microorganisme 2	75-80%	25-20%	0,0%
Microorganisme 3	87,2%	0%(-2,6)	12,8%
Échantillon 4	75,0%	12,5%	12,5%

I-B-2-b Afin de s'affranchir de certaines incertitudes inhérentes à la méthodologie employée, on considère que le pigment est effectivement présent dans l'extrait si sa contribution relative à la chlorophylle totale est supérieure à 10%. **Concluez sur la composition chlorophyllienne des micro-organismes 1, 2, 3 et de l'échantillon 4.**

Réponse(s) à la question I-B–2-b composition chlorophyllienne des microorganismes 1, 2 et 3 et de l'échantillon 4.

- Le microorganisme 1 ne possède que de la chlorophylle a
- Le microorganisme 2 possède de la chlorophylle a et de la chlorophylle b
- Le microorganisme 3 possède de la chlorophylle a et de la chlorophylle c
- L'échantillon 4 possède de la chlorophylle a de la chlorophylle b et de la chlorophylle c (seuil 5%).

I-B-3 Etablissement d'une clef de détermination.

I-B-3 À l'aide de l'ensemble des informations établies en I-A et I-B construisez une clef de détermination simple permettant d'identifier les taxons auxquels appartiennent les microorganismes 1, 2 et 3. Ces taxons seront précisés.

Réponse(s) à la question I-B–3 clef de détermination

● Pas d'organite visible au microscope photonique (structure procaryotique), présence de chlorophylle a, coloration non vert-pur, coloration en brun de grains cytoplasmiques par le lugol : **Cynobacteria**

● Présence d'organites cellulaires et notamment de plastes (un ou plusieurs) observables au microscope photonique

■ plastes d'un vert pur, coloration en bleu-noir d'éléments figurés (amidon) dans les plastes, présence de chlorophylle a et b: **Chlorophycées**

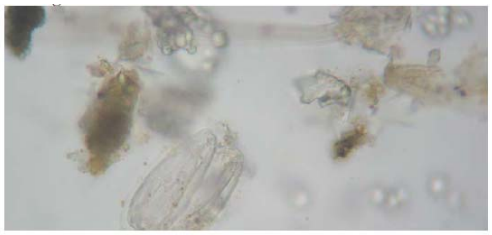
■ plastes bruns, absence de coloration plastidiale au lugol (pas d'amidon dans les plastes), présence de chlorophylle a et c **chromoalveolés –hétérochontes-stramenopiles,** cellules enfermées dans une logette siliceuse bivalve (frustule) : **Bacillariophycée.**

Nom :	Prénom :	salle n°:

I-B-4 L'échantillon 4 a été prélevé en grattant avec une brosse la surface de galets (surface totale approximative de 10 cm^2) prélevés dans un cours d'eau, l'Artière.

I-B-4-a Réalisez un montage et un dessin d'observation de cet échantillon de périlithon.

Réponse(s) à la question I-B–4-a échantillon prélevé en milieu naturel



On reconnaît dans le film périlithique, des frustules de diatomées, des éléments minéraux ainsi que de nombreuses autres structures filamenteuses ou globulaires d'origine organiques non identifiables.

I-B-4-b Quelle est la composition du périlithique des organismes photosynthétiques recueillis.

Réponse(s) à la question I-B–4-b composition du périlithon

L'échantillon comporte plusieurs types de micro-organismes photosynthétiques

La présence significative (>5% de la chlorophylle totale) de chlorophylle b indique la présence de Chlorophycées et la présence significative de chlorophylle c celle de Diatomées bien visibles dans l'échantillon. La présence de Cyanobactéries ne peut être exclue (présence de chlorophylle a). *Certains candidats ont réalisé une coloration GRAM sur le périlithon ce qui n'était pas attendu mais très pertinent pour mettre en évidence la présence de bactéries dans le biofilm perilithique.*

I-C Etude d'électronographies de trois organismes apparentés chacun à un des microorganismes 1, 2 et 3.

I-C-1 Sur les documents ci-dessous (documents 1-C_a, 1-C_b et 1-C_c), des numéros ont été portés. Indiquez quelle légende correspond à chaque numéro.

Réponse(s) à la question I-C–1 légende le l'électronographie 1-Ca

1 - membrane nucléaire et externe du chloroplaste

2- deuxième membrane du chloroplaste

3- pyrénoïde

4- membrane nucléaire et externe du chloroplaste

5- thylacoïde

6- noyau

7- dictyosome

8- nucléomorphe

9- les deux membranes internes du chloroplaste

Nom :	Prénom :	salle n°:

Réponse(s) à la question I-C–1 légende de l'électronographie 1-Cb

1 = thylakoïdes

2 : phycobilisomes

3 : carboxysome

4 : cyanophycine

5 : paroi

6 : membrane plasmique

Réponse(s) à la question I-C–1 légende le l'électronographie 1-Cc

1- amidon

2- pyrénoïde

3- thylakoïdes

4- double membranes de l'enveloppe chloroplastique

5- vacuole

6- noyau

7- paroi

I–C-2 Établir la correspondance, en la justifiant, entre les microorganismes fournis (1, 2 et 3) et les taxons illustrés par les électronographies

Réponse(s) à la question I-C–2 correspondance entre cultures et électronographies

Culture 1 :	électronographie : 1-Cb
Culture 2 :	électronographie : 1-Cc
Culture 3 :	électronographie : 1-Ca

I-C-3 Proposez une (des) hypothèse(s) permettant d'expliquer les différences ultrastructurales observées.

Réponse(s) à la question I-C–3 hypothèse explicative

Les chlorophycées résultent de l'endosymbiose primaire d'une cyanobactérie ce qui explique la membrane externe du chloroplaste (membrane d'endocytose du procaryote).

Les chromophycées résultent d'une endosymbiose secondaire : un unicellulaire eucaryote ayant phagocyté une algue rouge. Le nucléomorphe est le reste du noyau de l'algue rouge d'où les deux membranes autour des thylakoïdes (le chloroplastes de l'algue rouge) et les deux autres : la membrane plasmique de l'algue rouge et la membrane de phagocytose (la plus externe).

Nom :	Prénom :	salle n°:

II- Évaluation de la qualité de l'eau dans différentes stations d'un cours d'eau à l'aide d'un indice de polluosensibilité : l'indice diatomique

Les diatomées représentent un élément important des écosystèmes aquatiques et constituent un outil de contrôle de la qualité de l'eau. Dans cette optique, on se propose de comparer la microflore à diatomée dans différentes stations d'un cours d'eau : l'Artière. La carte II-1 permet de localiser géographiquement les différentes stations échantillonnées et le tableau II-1 donne les caractéristiques de ces différentes stations. Le protocole de détermination de l'indice de polluosensibilité est le suivant :

Prélèvement et inventaire des espèces présentes : un tronçon de rivière d'une dizaine de mètres de long contenant des galets est délimité. Les diatomées sont prélevées en brossant la surface supérieure des galets à l'aide d'une petite brosse à poils durs. La surface brossée doit représenter une surface d'environ 10cm^2. Après au moins quatre jours dans le péroxyde d'hydrogène, les échantillons peuvent être montés entre lame et lamelle en utilisant un résine de montage avec un indice de réfraction >1,6. L'inventaire et le dénombrement des différentes espèces présentes est réalisé au microscope en définissant un point de départ sur la lame et en balayant la préparation.

Calcul de l'indice de polluosensibilité ou IPS :

IPS = $\dfrac{\sum_{j=1}^{n} A_j V_j I_j}{\sum_{j=1}^{n} A_j V_j}$ avec Aj : abondance relative de l'espèce ou fréquence de l'espèce $A_j = \dfrac{N_j}{\sum_{j=1}^{n} N_j}$ X100

- N_j : effectif de l'espèce j
- I_j : indice de pollusensibilité de l'espèce j (varie entre 1 : taxon fortement résistant à la pollution et 5 : taxon très sensible à la pollution)
- V_j : valeur indicatrice de l'espèce j (varie entre 1 : faible poids écologique, taxon ayant une grande amplitude écologique et 3 : fort poids écologique, taxon ayant une faible amplitude écologique)

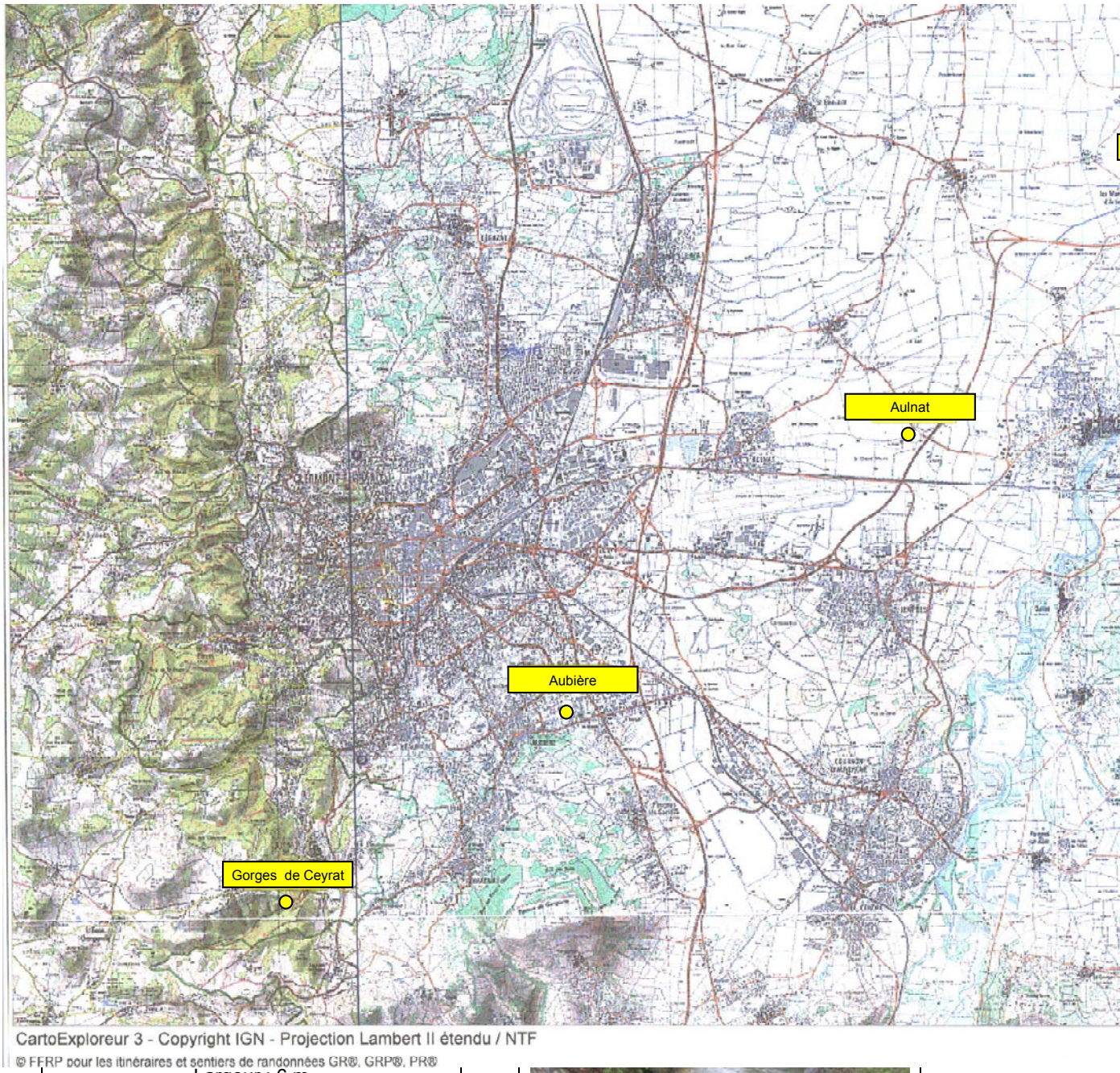
Transformation de la valeur obtenue en note/20 : l'IPS varie entre 1 et 5, cette valeur est transformée en note sur 20 et la qualité de l'eau est déterminée en utilisant le tableau suivant.

Tableau II-2 Conversion des IPS en valeur d'indice de qualité de l'eau

Qualité de l'eau	IPS
très bonne	> ou = 17
bonne	]17 - 13]
médiocre	]13 - 9]
mauvaise	]9 - 5]
très mauvaise	< 5

Nom :	Prénom :	salle n°:

Carte II-1 : Localisation des stations de prélèvement



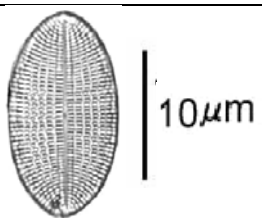
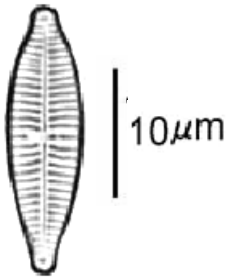
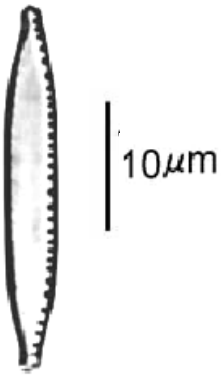
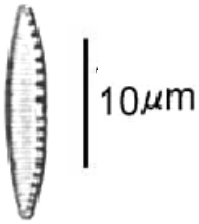
Largeur : 6 m Traces de recalibrage : berges artificielles Profondeur moyenne : 1 m Environnement : station de pompage Végétation des rives : arbustive dense	**4**	

Nom :	Prénom :	salle n°:

Nom : **Confluence Artière-Allier** Altitude : 300 m Pente : 1 % Largeur : 7 m Traces de recalibrage : aucune Profondeur moyenne : >2 m Environnement : étangs Végétation des rives: arborée éparse	**5**	

II-A Détermination de l'espèce de diatomée dominante dans une lame et identification de la portion de cours d'eau échantillonnée.

II-A-1 La lame X à votre disposition a été préparée selon le protocole décrit en II (Prélèvement et inventaire des espèces présentes). **A l'aide du tableau ci-dessous, déterminez l'espèce dominante de diatomée dans la lame.**

Cocconeis placentula	***Gomphonema parvulum***	***Nitzschia palea***	***Nitzschia frustulum***
			

Réponse(s) à la question II-A-1 espèce dominante

Le genre dominant dans l'échantillon est *Cocconeis*.

II-A-2 Confrontez l'identification établie en II-A-1 aux données du tableau de résultats (tableau II-3) et identifier la portion du cours d'eau dans laquelle le prélèvement a été réalisé.

Réponse(s) à la question II–A-2 portion du cours d'eau

Le prélèvement a été réalisé dans la portion de cours d'eau située en amont de la Station des 3 Rivières

II-B Calcul et interprétation de l'IPS

II-B-1 À l'aide du tableau II-3 calculez l'IPS dans les stations 1 et 3. Indiquez les valeurs obtenues dans les cases blanches encadrées en gras du tableau II-3.

Nom :	Prénom :	salle n°:

II-B-2 Concluez sur la qualité de l'eau de l'Artière dans ces cinq stations en complétant le tableau ci-dessous.

Station	1	2	3	4	5
IPS	*3,74*	*3,61*	*1,90*	*2,71*	*3,14*
Note /20	*14,97*	*14,43*	*7,61*	*10,86*	*12,56*
Qualité de l'eau	*bonne*	*bonne*	*mauvaise*	*médiocre*	*médiocre*

L'inventaire ci-dessous a été réalisé dans les cinq stations étudiées. Seul un petit nombre de taxons est listé dans le tableau II-3 alors que l'effectif total correspond à tous les taxons présents sur la lame.

Tableau II-3 : taxons retenus, effectifs (N_i), degré de sténoécie (V_i), indice de polluosensibilité (I_i) dans les cinq stations échantillonnées sur l'Artière.

	Taxons	N_i	A_i (%)	V_i	A_iV_i	I_i	$A_iV_iI_i$	IPS
Station 1	*Cocconeis placentula Ehrenberg var,euglypta(Ehr,) Grunow*	245	*57,24*	1	*57,24*	3,6	*206,06*	
	Navicula gregaria Donkin	25	*5,84*	1	*5,84*	3,4	*19,85*	
	Cocconeis placentula Ehrenberg var,lineata(Ehr,)Van Heurck	25	*5,84*	1	*5,84*	5	*29,2*	
	Achnanthes lanceolata(Breb,)Grunow var, lanceolata Grunow	23	*5,37*	1	*5,37*	4,6	*24,70*	
	Rhoicosphenia curvata (Kutzing) Grunow	22	*5,14*	1	*5,14*	4	*20,56*	
	Nitzschia inconspicua Grunow	14	*3,27*	1	*3,27*	2,8	*9,156*	
	Effectif total dans l'échantillon 1	**428**						*3,74*
Station 2	*Cocconeis placentula Ehrenberg var,euglypta(Ehr,)Grunow*	157		1		3,6		
	Achnanthes lanceolata(Breb,)Grunow var, lanceolata Grunow	60		1		4,6		
	Amphora pediculus (Kutzing) Grunow	32		1		4		
	Nitzschia inconspicua Grunow	31		1		2,8		
	Navicula subminuscula Manguin	22		1		2		
	Navicula gregaria Donkin	18		1		3,4		
	Cymbella sinuata Gregory	18		1		4,8		
	Nitzschia amphibia Grunow f,amphibia	17		2		2		
	Achnanthes minutissima Kutzing v,minutissima Kutzing	15		1		5		
	Navicula radiosa Kutzing var,tenella Cleve & Möller	13		1		4		
	Effectif total dans l'échantillon 2	**425**						*3,61*
Station 3	*Nitzschia palea (Kutzing) W,Smith*	60	*14,56*	3	*43,68*	1	*43,68*	
	Gomphonema pseudoaugur Lange-Bertalot	44	*10,68*	1	*10,68*	3	*32,04*	
	Cocconeis pediculus Ehrenberg	34	*8,25*	2	*16,5*	4	*66*	
	Achnanthes lanceolata(Breb,)Grunow var, lanceolata Grunow	32	*7,77*	1	*7,77*	4,6	*35,742*	
	Gomphonema parvulum (Kützing) Kützing var, parvulum	28	*6,8*	1	*6,8*	2	*13,6*	
	Nitzschia capitellata Hustedt in A,Schmidt & al,	26	*6,31*	3	*18,93*	1	*18,93*	
	Navicula cryptocephala Kutzing var,veneta (Kutz,)	26	*6,31*	2	*12,62*	1	*12,62*	
	Effectif total dans l'échantillon 3	**412**						*1,90*
Station 4	*Nitzschia frustulum (Kutzing) Grunow var,frustulum*	271		1		2		
	Gomphonema angustum Agardh	149		1		5		
	Nitzschia amphibia Grunow f,amphibia	38		2		2		
	Navicula permitis Hustedt	21		1		2,3		
	Navicula minima Grunow	18		1		2,2		
	Navicula subminuscula Manguin	15		1		2		
	Nitzschia palea (Kutzing) W,Smith	11		3		1		
	Gomphonema parvulum (Kützing) Kützing var, parvulum	10		1		2		
	Effectif total dans l'échantillon 4	**571**						*2,71*

Station 5	*Nitzschia frustulum (Kutzing) Grunow var,frustulum*	70		1		2		
	Navicula cryptotenelloides Lange-Bertalot	45		1		5		
	Nitzschia amphibia Grunow f,amphibia	26		2		2		
	Nitzschia fonticola Grunow in Cleve et Möller	23		1		2,3		
	Navicula subminuscula Manguin	19		1		2,2		
	Fragilaria virescens Ralfs	16		2		2		
	Nitzschia dissipata(Kutzing)Grunow var,dissipata	14		3		1		
	Gomphonema parvulum (Kützing) Kützing var, parvulum f	14		1		2		
	Effectif total dans l'échantillon 5	**383**						***3,14***

Carte II-2 : Carte du système d'assainissement de la communauté de communes Clermont Communauté

II-B-3 À l'aide des données cartographiques (Carte II-1 et II-2) et des caractéristiques des stations (Tableau II-1) interprétez les résultats obtenus concernant la qualité de l'eau de l'Artière.

Réponse(s) à la question II-B–3 qualité de l'eau de l'Artière

Faible perturbation en amont d'Aubière malgré la traversée des agglomérations de Ceyrat, Beaumont et Aubière. Ces communes sont raccordées au système d'assainissement de la communauté de communes. Les perturbations consistent essentiellement des aménagements du cours du lit (recalibrage).

A Aulnat une forte baisse de la qualité des l'eau est enregistrée elle est due aux rejets de la station d'épuration dans le milieu récepteur (l'Artière). Par ailleurs, l'activité agricole intensive de la Limagne Noire génère des apports en azote et phosphore dans l'Artière par lessivage et drainages des parcelles cultivées.

Les résultats obtenus dans les deux dernières stations permettent de mettre en évidence les capacités d'autoépuration du cours d'eau qui se traduisent par une nette amélioration de la qualité de l'eau avant la confluence avec l'Allier. Le cours de la rivière est fortement affecté avec des portions entièrement canalisées.

II-C Détermination de l'efficacité de la station des 3 Rivières.

Le tableau II-4 présente les normes de rejets définies par arrêté préfectoral et caractéristiques chimiques des eaux mesurées à l'entrée et à la sortie de la Station des 3 Rivières (valeurs semestrielles moyennes).

Tableau II-4 : normes de rejet et caractéristiques chimiques des eaux à l'entrée et à la sortie de la station des 3 Rivières.

Paramètre chimique	DCO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	MES (mg/L)	NH_4 (mg/L)	NGL (mg/L)	P-total (mg/L)
entrée de la station	455	203	194	29,35	46,39	5,82
sortie de la station	31	2	4	0,28	4,81	0,87
normes de rejet	80	25	30	4	10	1

DCO : demande chimique en oxygène, **DBO5** : demande biochimique en oxygène à cinq jours, **MES** : matières en suspensions, **NGL** : azote total, **P-total** : phosphore total.

La **DCO** (Demande Chimique en Oxygène) est une mesure de la consommation en oxygène nécessaire à l'oxydation par des oxydant forts des substances organiques et minérales contenues dans l'eau. L'oxydant

employé est le dichromate de potassium et la réaction se fait sous chauffage à reflux en milieu fortement acidifié pour avoir des conditions d'oxydation très sévères. La **DBO5** est la demande biochimique en oxygène à cinq jours dont le principe de dosage est résumé ci-dessous :

II-C-1 Indiquer les significations respectives de ces deux dosages (DBO5 et DCO).

Réponse(s) à la question II-C-1 DBO5 et DCO La DBO correspond à la quantité de dioxygène nécessaire aux microorganismes aérobies pour oxyder les matières organiques dissoutes ou en suspension dans l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables par des procédés d'autoépuration. La DBO mesure donc la quantité de matières biodégradables en 5 jours par oxydation biochimique. La DCO mesure la totalité des substances oxydables, ce qui inclut celles qui sont biodégradables. La DCO permet donc d'évaluer la charge polluante des eaux usées. Dans une eau résiduaire urbaine le rapport BCO/DBO est de l'ordre de 2

II-C-2 Calculez l'abattement (% de réduction) obtenu pour ces différents paramètres dans la station des 3 Rivières et compléter le tableau ci-dessous.

	DCO	DBO5	MES	NH_4	NGL	P-total
Abattement (%)	93,19	99,01	97,94	99,05	89,63	85,05

II-C-3 Conclure sur l'efficacité de la station des 3 Rivières.

Réponse(s) à la question II-C–3 efficacité de la station des 3 Rivières

La station d'épuration est très efficace (abattement supérieure à 80% pour chacun des paramètres mesurés) et les rejets ont des teneurs inférieures aux normes autorisées

II-D Détermination de l'impact de la station des 3 Rivières sur le milieu récepteur.

II-D- En utilisant l'ensemble des conclusions établies précédemment (Questions II-B à II-C) concluez sur l'impact de la station des 3 Rivières sur le milieu récepteur.

Réponse(s) à la question II-D impact de la station sur le milieu récepteur

Bien que la station soit efficace et que les rejets aient des teneurs très inférieures aux normes autorisées, le déversement des eaux traitées dans le milieu récepteur entraîne une importante diminution de la qualité de l'eau : de bonne à mauvaise.

Les capacités d'autoépuration du cours d'eau permettent ensuite d'améliorer celle qualité (médiocre à la confluence avec l'Allier).

III Évaluation de la qualité de l'eau d'une station à l'aide de macro-invertébrés

« L'IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) permet d'obtenir une information synthétique exprimant l'aptitude d'un site d'eau courante au développement des invertébrés benthiques toutes causes confondues. En raison du caractère indicateur des organismes étudiés, cette méthode permet d'apprécier la qualité biologique d'une station sans préjuger de la nature d'une quelconque perturbation » (Norme AFNOR NF

T90350 - Mars 2004). La station choisie, caractérisée par une homogénéité des faciès, est considérée comme représentative de l'**Artière** à l'Amont de Ceyrat (Tableau III-1).

Tableau III-1 Caractéristiques de la station

Nom du cours d'eau : Artière	**Nom de la station** : Gorges de Ceyrat
Commune : Ceyrat (63)	**Altitude** : 635 m
Nature géologique du bassin versant : volcanique	**Pente** : 10 %
Catégorie piscicole : I	**Station** : représentative
Largeur du lit mouillé : 2 m	**Objectif de l'étude** : Évaluation de la qualité de l'eau
Situation hydrologique : lit plein	**Longueur du site décrit** : 25 m
Faciès d'écoulement : rapide, escalier	**Trace de recalibrage** : aucune
Nature des berges : naturelles, verticales	**Ensoleillement habituel** : moyen à faible
Végétation des rives : arborée dense	**Environnement au droit du site** : forestier

L'IBGN repose sur un protocole précis d'échantillonnage de la mosaïque d'habitats. Une reconnaissance préalable du site à partir des berges est réalisée afin d'établir la cartographie de la station et de localiser les points de prélèvements à réaliser (Carte III-1). En effet, pour une station, l'échantillonnage de faune benthique est constitué de huit prélèvements de 1/20 m^2 choisis dans huit habitats distincts. Les habitats sont caractérisés par leur couple Substrat-Vitesse (S-V). Ils sont recherchés en suivant l'ordre des supports défini dans le tableau III-2 (de S9 à S0), la vitesse superficielle d'écoulement (V en cm/s) est alors mesurée et le recouvrement (% de la surface de la station occupé par le couple S-V) est précisé. Les prélèvements sont toujours effectués de l'aval vers l'amont (1 à 8).

Carte III-1 Carte de la station

Tableau III-2 Tableau d'échantillonnage de la station

N : numéro de l'échantillon, R= Recouvrement du couple S – V, h= hauteur d'eau (cm), S= Support prélevé

			Vitesse superficielle du courant v (cm/s				
	Support		**V>150**	**150>V>75**	**75>V>25**	**25>V>5**	**V<5**
S9	Bryophytes	**N** **R** **h** **S**	**7** **10%** **31,5** **Bryophytes**				
S8	Spermaphytes immergés	**N** **R** **h** **S**		**5** **<5%** **5** **renoncules**			
S7	Éléments organiques grossiers (litières, branchages, racines)	**N** **R** **h** **S**	**3** **10%** **17** **Branchages**				
S6	Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets 250 mm > **Ø** > 25 mm)	**N** **R** **h** **S**	**6** **45%** **4,5** **galets Ø 250 mm**				
S5	Granulats grossiers 25 mm > **Ø** > 2,5 mm	**N** **R** **h** **S**	**2** **10%** **5** **granulat Ø 10 mm**				
S4	Spermaphytes émergents de la strate basse	**N** **R** **h** **S**					
S3	Sédiments fins ± organiques "vases" **Ø** < 0,1mm	**N** **R** **h** **S**					**4** **<5%** **6** **vases**
S2	Sables et limons **Ø** < 2,5 mm	**N** **R** **h** **S**		**1** **10%** **10** **sables**			
S1	Surfaces naturelles et artificielles	**N**	**8**				

Nom :	Prénom :	salle n°:

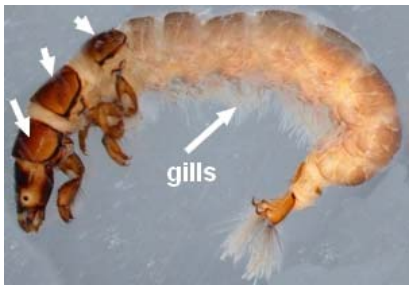
	(roches, dalles, sols, parois blocs Ø >250 mm)	R h S	<5% 3,5 roches	
S0	Algues ou à défaut, marne et argile	N R h S		

III-A Détermination et étude morphologique de macro-invertébrés

III-A-1 À l'aide de la clef de détermination mise à votre disposition et d'une loupe binoculaire déterminez les familles auxquelles appartiennent les organismes 3-1 et 3-2 récoltés dans l'échantillon 3, les organismes 6-1 et 6-2 récoltés dans l'échantillon 6 et l'organisme 4-1 récolté dans l'échantillon 4 .

Echantillon 3-1 : Gammaridae

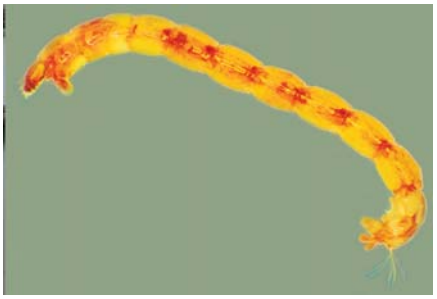
Echantillon 3-2 : Hydropsychidae



Echantillon 6-2 : Heptagenidae

Echantillon 6-1 : Simulidae

Echantillon 4-1 : Chironomidae

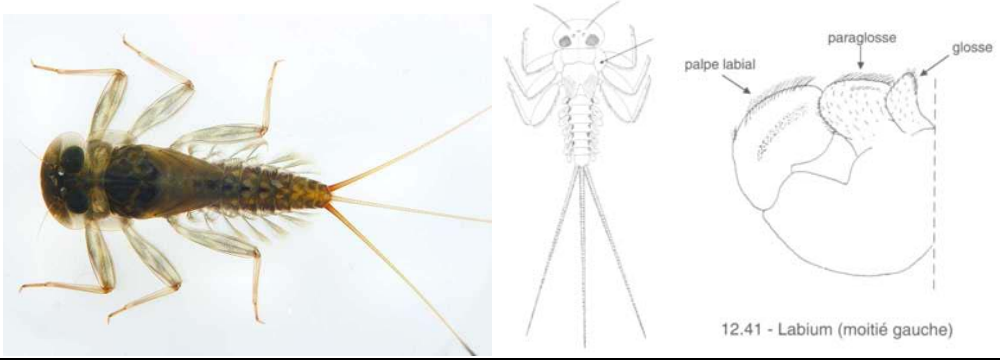


III-A-2 Afin de préciser les adaptations à leur milieu de vie de deux de ces organismes (6-2 et 4-1) réalisez une étude morphologique en utilisant le matériel optique approprié. Cette étude donnera lieu à l'établissement de dessins d'observation et à une conclusion argumentée. Veillez à préservez l'intégrité de l'échantillon 6-2

Nom :	Prénom :	salle n°:

III-A-2-a Étude morphologique de l'échantillon 6-2 et conclusion argumentée

Réponse(s) à la question III - A – 2-a : dessin d'observation

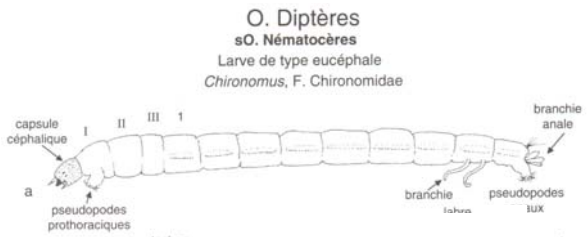


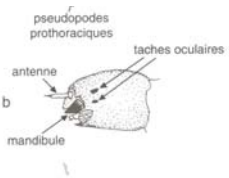
Réponse(s) à la question III - A – 2-b : conclusion argumentée

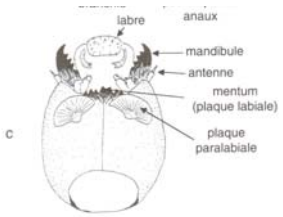
Heptagenidae : organisme rhéophile soumis à la dérive (entraînement par le courant) présentant un aplatissement dorso-ventral, des griffes développées et des yeux dorsaux. Larves pourvues de trachéo-branchies abdominales récoltées dans des habitats où la teneur en 0_2 est importante. Les larves d'*Ecdyonuridae* sont aplaties dorso-ventralement, et se plaquent sur le substrat elles offrent ainsi un minimum de prise au courant, ce qui leur permet de se maintenir momentanément à la surface des pierres et leur permet d' utiliser le moindre espace sous les galets.

III-A-2-b Étude morphologique de l'échantillon 4-1 et conclusion argumentée.

Réponse(s) à la question III - A – 2-b : dessin d'observation **/1,5**







Nom :	Prénom :	salle n°:

Réponse(s) à la question III - A – 2-b : conclusion argumentée

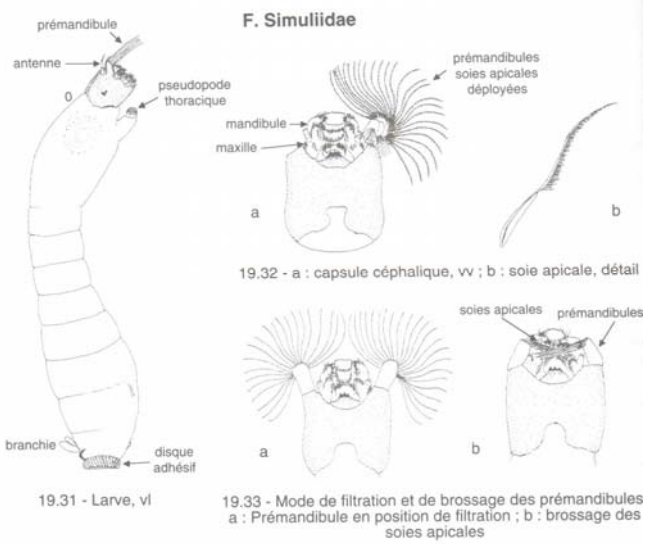
Chironomidae : organisme limnophile présentant des « branchies » [*Si le terme branchie est largement utilisé dans la littérature systématique, il est inadéquat comme ces expansions ne présentent aucune vascularisation*]. Par ailleurs l'hémolymphe contient un pigment respiratoire rouge (hémoglobine) constituant une adaptation à la vie dans un milieu pauvre en O_2. Généralement récoltées dans des substrats meubles où elles vivent plus ou moins enfouies, ces larves sont peu soumises à la dérive.

III-B Les macro-invertébrés des eaux courantes appartiennent à différents groupes fonctionnels trophiques : broyeurs, prédateurs, filtreurs, racleurs de substrat et mangeurs de substrat. Cet exercice à pour but de déterminer le groupe trophique auquel appartiennent les échantillons 6-1 et 6-2.

III-B-1--a Réalisez un montage *in toto* de l'organisme 6-1 entre lame et lamelle. Observez les parties antérieures et postérieures de ce dernier et réalisez un ou plusieurs dessins d'observation des structures observées que vous montrerez à un examinateur.

Réponse(s) à la question III - B – 1-a : Dessins d'observation

-éventail prémandibulaire -couronne de crochets de fixation et branchie



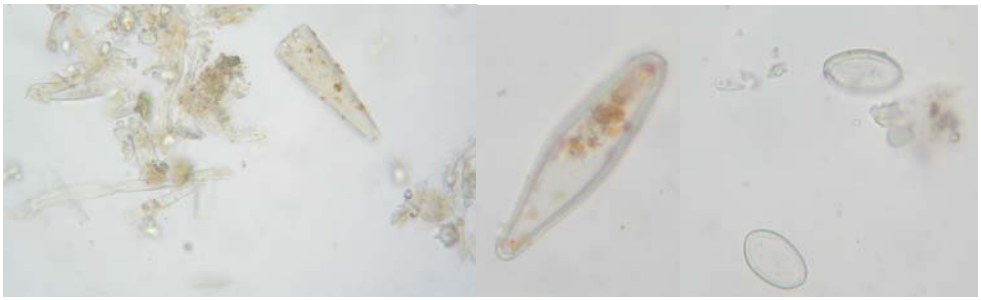
III-B-1--b Proposez une interprétation de ces structures et faites une hypothèse sur le groupe trophique auquel appartient l'organisme 6-1.

Réponse(s) à la question III-B–1-b interprétation des structures et hypothèse sur le groupe fonctionnel trophique. L'animal fixé par sa partie postérieure, déploie l'éventail labral ou prémandibulaire dans le courant et filtre les particules entraînées par celui-ci. Les particules retenues sont ensuite apportées vers les mandibules : organisme

filtreur. (La larve de Simulie tisse un petit tapis de soie sur la paroi des rochers et grâce à un système de crochets engagés dans les mailles de ce tapis elles peuvent se maintenir dans le courant).

III-B-2--a Réalisez un montage entre lame et lamelle du contenu digestif de l'échantillon 6-2 et faites un dessin d'observation dont un examinateur jugera de la pertinence et de l'exactitude.

Réponse(s) à la question III-B–2-a dessin d'observation



III-B-2-b Faites une hypothèse argumentée sur le groupe trophique auquel appartient l'organisme 6-2.

Réponse(s) à la question III-B–2-b hypothèse sur le groupe fonctionnel trophique

Contenu digestif caractérisé par la présence de nombreux frustules de diatomées (des genres *Nitzschia* et *Cocconeis cf tableau question II-A-1*) et d'éléments filamenteux (algues filamenteuses) : organisme racleur de substrat consommant le film périlithique grâce à un appareil broyeur légèrement modifié.

III-C Cet exercice permet une approche critique du protocole d'échantillonnage utilisé pour déterminer l'IBGN. Le tableau III-3 est la liste faunistique obtenue pour la station étudiée. Pour chaque taxon, le support sur lequel il a été récolté (S1 à S9) ainsi que le groupe fonctionnel trophique (GF) auquel il appartient sont précisés. Les chiffres en gras dans le tableau représentent les effectifs de chaque taxon.

Tableau III-3 Liste faunistique par support

		Supports							
Taxons	***GF***	**S1**	**S2**	**S3**	**S5**	**S6**	**S7**	**S8**	**S9**
Taeniopterygidae	*B*	**3**			**1**				**5**
Brachycentridae	*B*				**1**				
Leuctridae	*B*					**3**	**122**	**67**	
Goeridae	*RS*				**1**				
Leptophlebiidae	*B*			**1**	**2**	**4**	**25**		**2**
Nemouridae	*B*				**15**	**5**	**31**	**17**	**10**
Lepidostomatidae	*B*		**1**	**2**					
Hydroptilidae	*B*							**2**	
Heptagenidae	*RS*	**9**			**22**	**30**	**1**	**1**	
Polymitarcidae	*B*			**3**			**7**		
Potamanthidae	*B*							**24**	
Leptoceridae	*RS*				**1**				

Nom :	Prénom :	salle n°:

Rhyacophilidae	*P*						6	4	3
Limnephilidea	*B*		1				9	9	2
Baetidae	*B*	50		4	14	20	3		5
Elmidae	*RS*				1	3			3
Gammaridae	*B*	6		35	7	13	90	53	13
Ancylidaea	*RS*		1			3			
Bithyniidae	*B*			18					
Chironimidae	*MS*	26		109		1		6	16
Asellidae	*B*								1
Glossiphonidae	*P*		1		2				
Oligochètes	*MS*	3	3	8		8	3	3	1
Phryganeidae	*B*		2			1		9	
Oligoneuriidae	*B*								1
Dryopidae	*B*								1
Helophoridae	*B*		1						
Hydraenidae	*B*								2
Limoniidae	*P*					5			
Sciomyzidae	*P*							4	
Simulidae	*F*		6		68	190	56	80	
Syrphidae	*P*			5					
Tipulidae	*B*						1	1	
Beraeidae	*B*						3		
Planaridae	*P*	3	1	3	3		27	44	2
Effectif par support		100	17	188	138	286	384	324	67

B : broyeurs, *P* : prédateurs, *F* : filtreurs, *RS* : racleurs de substrat et *MS* : mangeurs de substrat.

III-C-1 Proposez un critère simple permettant d'estimer rapidement (sans calcul compliqué) le « degré d'attractivité » ou « habitabilité » des supports. L'appliquez aux différents supports échantillonnés dans l'Artière.

Réponse(s) à la question III-C–1: habitabilité des différents supports

Le « degré d'attractivité » ou « habitabilité » des substrats peut être estimé par le nombre de taxons susceptible de participer à la variété totale dans chacun des huit habitats prélevés.

L'effectif par h › mais qui comporte un ef nerait une information plu

	S1	*S2*	*S3*	*S5*	*S6*	*S7*	*S8*	*S9*
Effectif total	*100*	*17*	*188*	*146*	*278*	*384*	*327*	*67*
nombre taxons	*7*	*9*	*10*	*12*	*13*	*14*	*14*	*15*

III-C-2 Comparez la répartition des groupes fonctionnels sur les supports S3, S6 et S7.

Réponse(s) à la question III-C–2 répartition des groupes fonctionnels trophiques dans différents supports

	Substrat		
Groupe fonctionnel (%)	S3	S6	S7
B	34	16	76
RS		13	
F		70	15
MS	62		
P	4	2	9

Nom :	Prénom :	salle n°:

La macrofaune benthique des substrats meubles est dominée par des organismes mangeurs de substrat, celle des pierres et galets par des organismes filtreurs et celle des éléments organiques par des broyeurs.

III-C-3 À l'aide des données précédentes et des pourcentages de recouvrement des couples S-V dans la station étudiée commentez le protocole d'échantillonnage retenu. Proposez un autre principe d'échantillonnage.

Réponse(s) à la question III-C–3: critique du protocole d'échantillonnage

Les prélèvement sont réalisés dans les substrats selon l'ordre définit dans le tableau i.e. selon leur **degré d'attractivité décroissante pour les macro invertébrés benthiques.** Cette méthode cherche à rendre compte de la diversité des habitats de la station mais cet effort optimisé n'est pas nécessairement représentatif de l'importance respective des faciès d'écoulement et des types de substrat de la station.
Dans la station échantillonnée sur l'Artière, l'habitat dominant est celui représenté par les pierres et les galets qui présente une habitabilité moyenne. Les habitats représentés par les éléments organiques et les vases présentent un pourcentage de recouvrement sensiblement plus faible.

Un autre principe d'échantillonnage pourrait être de prélever les habitats en fonction d'un pourcentage de recouvrement décroissant : échantillonner des habitats principaux et marginaux et en tenir compte dans l'exploitation de l'analyse faunistique.

III-D L'objectif de cet exercice est de déterminer la qualité de l'eau de l'Artière dans la station étudiée à l'aide de l'IBGN. Celui-ci est établi à partir du tableau III-4 comprenant les 9 groupes faunistiques indicateurs en lignes et les 14 classes de variétés taxonomiques en colonnes.

Tableau III-4 : Tableau de détermination de l'IBGN (Norme AFNOR NF T90350 - Mars 2004)

Classe de variété		**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
	Σt	> 50	49 45	44 41	40 37	36 33	32 29	28 25	24 21	20 17	16 13	12 10	9 7	6 4	3 1
Taxons indicateurs	**GI**														
Chloroperlidae Perlidae Perlodidae Taeniopterygidae	**9**	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
Capniidae Brachycentridae Odontocéridae Philopotamidae	**8**	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
Leuctridae Glossosomatidae Beraeidae Goeridae Leptophlébiidae	**7**	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
Nemouridae Lepidostomatidae Sericostomatidae Ephemeridae	**6**	19	18	17	16	15	14	13	12	10	9	8	7	6	5
Hydroptilidae Heptageniidae Polymitarcidae Potamanthidae	**5**	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Leptoceridae Polycentropodidae	**4**	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4

Nom :	Prénom :	salle n°:

Psychomyidae Rhyacophilidae															
Limnephilidae (1) Ephemerellidae (1) Hydropsychidae Aphelocheiridae	**3**	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
Baetidae (1) Caenidae (1) Elmidae (1) Gammaridae (1) Mollusques	**2**	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
Chironomidae (1) Asellidae (1) Achètes Oligochètes (1)	**1**	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

(1) Taxons représentés par au moins dix individus. Les autres par au moins trois individus

Pour déterminer l'IBGN, on détermine successivement :

- la colonne de référence donnée par la variété taxonomique de l'échantillon (**Σt**) égale au nombre total de taxons récoltés. Les valeurs de variété taxonomique sont regroupées en 14 classes de variété (ex : 25<Σt <28 : classe de variété : 8)

-la ligne de référence donnée par le groupe faunistique indicateur (**GI**) en ne prenant en compte que les taxons indicateurs représentés dans les échantillons par au moins 3 ou 10 individus selon les taxons. La détermination du GI s'effectue en prospectant la colonne GI du tableau de haut en bas (de GI=9 à GI=1) et en arrêtant l'examen à la première présence significative (n ≥ 3individus ou n ≥ 10 individus) d'un taxon appartenant à un groupe indicateur. Si la liste faunistique indique 2 Perlidae, 3 Limnephilidae et 12 Baetidae le GI est de 2.

- la note de l'IBGN correspond à la valeur de la case située à l'intersection de la colonne classe de variété et de la ligne GI. En l'absence significative de taxon indicateur, la note I.B.G.N. =0

-l'I.B.G.N peut aussi être calculé à partir de la formule suivante : I.B.G.N. = G.I. + (C.V. -1) avec IBGN ≤20.

III-D-1 Déterminez l'IBGN obtenu pour cette station en utilisant les deux modes de calcul.

Réponse(s) à la question III-D–1 détermination de l'IBGN

Ici le nombre de taxon est de 35, la classe de variété est donc 10. Le taxon indicateur est celui des *Taenopterygidae* représenté par 9 individus dans la station donc n>3, le Groupe indicateur est donc 9 et l'IBGN est de 18.

Σt= 35, C.V.=10 et G.I=9, I.B.G.N= 10 + (9-1)=18

III-D-2 L'IBGN privilégie les habitats les plus biogènes et repère les taxons les plus sensibles sans considérer leur proportion relative ni la conformité par rapport à une liste faunistique de référence par conséquent, la note présente probablement la station dans sa qualité optimale. Certaines familles polluosensibles peuvent présenter des genres ou des espèces plus résistants que les autres aux

perturbations. Le poids important ainsi donné au GI peut entraîner une surestimation de la note indicielle. Il est dès lors utile d'estimer en partie la robustesse du résultat en supprimant le premier groupe indicateur de la liste faunistique et en déterminant l'IBGN avec le groupe indicateur suivant sans modifier la richesse taxonomique. Plus l'écart entre les deux valeurs est important, moins la note de l'IBGN est robuste.

III-D-2 Évaluez la robustesse de la note obtenue.

Réponse(s) à la question III-D–2 évaluation de la robustesse de la note obtenue.

Ici le second taxon indicateur est Leuctridae (effectif 192>3) car les Brachicentridae ne sont représenté que par un seul individu. L'IBGN est alors de 16.

III-D-3 Estimation de la qualité biologique (SEQ Bio)

Le système d'évaluation de la qualité biologique (SEQ bio) vise principalement à apprécier la qualité biologique de la rivière. La norme NF T90 350 de mars 2004 fournit une correspondance entre l'IBGN et la qualité hydrobiologique de l'eau (Tableau III-5)

Tableau III-5 Conversion de l' IBGN en valeur d'indice de qualité de l'eau

Qualité de l'eau	IBGN	GI
très bonne	> ou = 17	=9
bonne	]17 - 13]	7 et 8
médiocre	]13 - 9]	5 et 6
mauvaise	]9 - 5]	3 et 4
très mauvaise	< 5	≤2

III-D-3–a Déterminez la qualité biologique de l'Artière dans les Gorges de Ceyrat.

Réponse(s) à la question III-D–3-a évaluation de l'indice de qualité de l'eau

IBGN à 16 (test de robustesse) : qualité bonne

III-D-3-b Comparez le résultat obtenu a celui déterminé avec l'IPS (Partie II)

Réponse(s) à la question III-D–3-b comparaison des indices

IPS qualité bonne donc cohérence entre les résultats.

IV- Etude d'un super prédateur : l'écrevisse

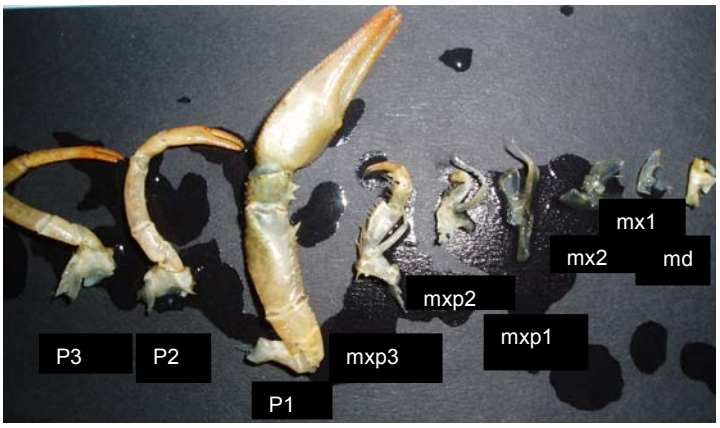
IV-A Réalisez une présentation des appendices de l'écrevisse qui interviennent dans la nutrition en écrivant le nom de l'appendice à côté de celui-ci.

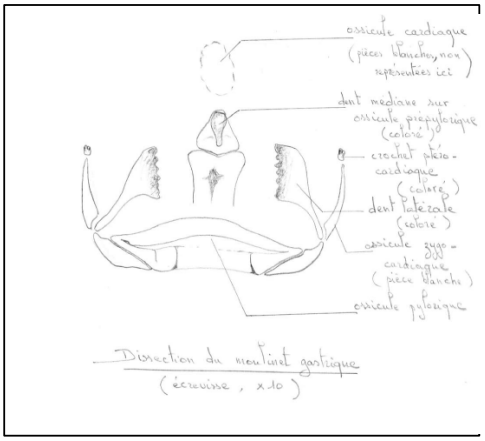
Nom :	Prénom :	salle n°:

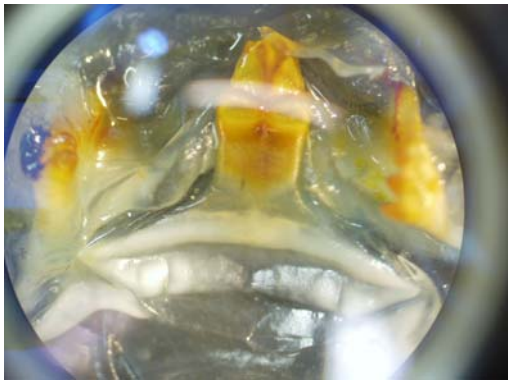
IV-B Réalisez une dissection du « moulinet gastrique ». Pour cela, prélevez l'estomac puis ouvrez le en réalisant une incision transversale de la partie antérieure, prolongée par deux incisions latérales vers l'arrière. Basculez vers l'arrière le toit de cet estomac.

IV-C Dessinez et légendez cette dissection. Présentez à un examinateur ce dessin avec la dissection ainsi que la présentation précédente (IV-A).

Réponse(s) à la question IV-C dessin d'observation du moulinet gastrique







Nom :	Prénom :	salle n°:

Effets des super prédateurs sur les caractéristiques d'un écosystème d'eau courante.

L'objectif de ce travail de recherche est de tester les effets de la richesse spécifique de super prédateurs sur le fonctionnement d'un écosystème d'eau courante. Cette étude est réalisée au moyen d'un système de rivières artificielles alimentées par les eaux de la rivière BRÅÅN du Sud de la Suède Les dispositifs expérimentaux utilisés sont au nombre de 16. Ces derniers ainsi que la stratégie expérimentale retenue sont schématisés ci-dessous.

Les filets de 10mm de vide de maille évitent l'entrée d'organismes de grande taille mais permettent l'entrée de macro-invertébrés.

Les filets de vide de maille de 4 ou 5mm permettent la sortie de particules en suspension mais empêchent la sortie de macro-invertébrés.

Les caractéristiques des super prédateurs introduits dans les systèmes expérimentaux sont les suivantes :

Écrevisse signal	**Truite fario**	**Loche franche**
Pacifastacus leniuscus	*Salmo trutta*	*Barbatula barbatula*
L'écrevisse signal ou écrevisse de Californie est omnivore et se nourrit d'algues, de détritus et de macro-invertébrés. Son activité de recherche de nourriture perturbe le sédiment. Les adultes peuvent occasionnellement capturer et consommer des poissons.	La truite fario se nourrit des invertébrés d'origine aquatique ou aérienne qui dérivent dans le courant. Ce sont des prédateurs visuels qui provoquent peu de perturbation du sédiment. Les adultes (>15cm) peuvent consommer des poissons et des écrevisses.	La loche est un prédateur nocturne qui fouille la surface du substrat à la recherche de macro invertébrés (ex Chironomidés) modifiant ainsi la surface du sédiment.
Age : 1an (Juvéniles)	Age : truite de l'année	Age : 2 ou 3 ans
Taille : 44,4 mm ± 4,2	Taille : 51 mm ± 4,0	Taille : 72,8 mm ± 5,0

Les paramètres mesurés suite à l'introduction de super prédateurs dans les rivières artificielles sont :

- La biomasse et la diversité des macro-invertébrés répartis en groupes fonctionnels trophiques : filtreurs, mangeurs de substrat, prédateurs, broyeurs ou racleurs de substrat.

- La biomasse algale benthique (périphyton) et biomasse de particules déposées sur les supports artificiels.

Les résultats sont testés à l'aide d'analyses de variance multivariée (MANOVA) ou non (ANOVA). Lorsque les analyses de variance indiquent un effet significatif de la richesse spécifique des super prédateurs, un test

de Tukey est réalisé pour déterminer entre quels niveaux de richesse spécifique existent des différences significatives.

V-A Objectifs des combinaisons de super prédateurs réalisées

V-A-1 Déterminez la richesse spécifique des super prédateurs dans chacun des dispositifs expérimentaux.

Réponse(s) à la question V-A–1 richesse spécifique

Système expérimental 1 et 2 : 0	*Système expérimental 9 et 10 :2*
Système expérimental 3 et 4 : 1	*Système expérimental 11 et 12 :2*
Système expérimental 5 et 6 :1	*Système expérimental 13 et 14 :2*
Système expérimental 7 et 8 : 1	*Système expérimental 15 et 16 :3*

V-A-2 Commentez le protocole expérimental retenu.

Réponse(s) à la question V-A–2 protocole expérimental

La stratégie expérimentale retenue permet de tester à l'aide de duplicats les effets de 3 niveaux de richesse spécifique (0, 1, 2 et 3) tout en maintenant constant l'effectif des prédateurs (n=6).

Cette stratégie permet également de tester les différences entre prédateurs donc de tester l'influence de l'identité des prédateurs sur le fonctionnement de l'écosystème.

Les prédateurs utilisés présentent des modalités différentes de recherche de nourriture mais ont des régimes alimentaires qui se chevauchent : tous consomment des macro invertébrés.

V-B Effet de la richesse spécifique des super prédateurs sur la biomasse des macro-invertébrés.

<u>Figure V-1</u> : biomasse de macro invertébrés appartenant à différents groupes fonctionnels trophiques (moyenne ± S.E. : erreur standard) en fonction de la richesse spécifique des super prédateurs.

Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre les combinaisons de super prédateurs.

V-B Interprétez les résultats obtenus concernant les effets de la richesse spécifique des super prédateurs sur la biomasse des macro-invertébrés (<u>Fig. V-1</u>).

Réponse(s) à la question V-B effet des super prédateurs sur la biomasse des macro-invertébrés

Absence d'effet significatif de la richesse spécifique des prédateurs sur la biomasse de tous les groupes fonctionnels trophiques. Ceci pourrait être du aux apports continus de proies (macro-invertébérs) par l'eau de la rivière.

Nom :	Prénom :	salle n°:

V-C Effet de la richesse spécifique des super prédateurs sur la diversité des macro-invertébrés.

La diversité des proies est estimée avec la forme réciproque de l'indice de diversité de Simpson (RSDI) dont la formule est la suivante :

$$RSDI = \frac{1}{D} \quad \text{avec} \quad D = \frac{\sum_{i=1}^{S} n_i(n_i - 1)}{N(N-1)} \quad \text{soit} \quad RSDI = \frac{N(N-1)}{\sum_{i=1}^{S} n_i(n_i - 1)}$$

D : indice de Simpson, S : richesse spécifique, n_i : effectif de l'espèce i et $N = \sum_{i=1}^{S} n_i$

V-C-1-a Calculez la valeur de RSDI lorsque la communauté est représentée par une seule espèce.

Réponse(s) à la question V-C–1-a RDSI pour une communauté comportant une espèce

Lorsque la communauté ne comporte qu'une seule espèce l'effectif de cette espèce est égal à l'effectif total et

$$RSDI = \frac{N(N-1)}{N(N-1)} = 1$$

Nom :	Prénom :	salle n°:

V-C-1-b Calculez la valeur de RSDI lorsque la communauté à un effectif total de 100 individus et est composée de 5 espèces ayant toutes le même effectif.

Réponse(s) à la question V-C–1-b RDSI avec N=100, S=5 ayant toutes le même effectif

Lorsque toutes les espèces ont le même effectif celui-ci est égal à $\frac{N}{S}$ et $RSDI = \frac{N(N-1)}{S\frac{N}{S}\left(\frac{N}{S}-1\right)} = \frac{N-1}{\left(\frac{N}{S}-1\right)}$

Une communauté composée de 5 espèces et ayant un effectif total de 100 individus présentera un RSDI de

$$\frac{99}{(20-1)} = 5{,}2$$

<u>Figure V-2 :</u> diversité des macro-invertébrés estimée avec la forme réciproque de l'Indice de Simpson (moyenne ± S.E : erreur standard) pour différents niveaux de richesse spécifique de super prédateurs.

Les lettres différentes indiquent des différences significatives entre les combinaisons de super prédateurs.

.

V-C-1-c Commentez les valeurs de diversité des macro-invertébrés obtenues.

Réponse(s) à la question V-C–1-c diversité des macro-invertébrés

L'indice de diversité global compris entre 1 et 3 est faible et indique une dominance d'un petit nombre de taxons. La diversité est plus élevée pour les prédateurs (entre 2 et 4) que pour les filtreurs (2 : Chironomides dominants)

V-C-2 Pour décrire certaines interactions au sein d'un réseau trophique, on utilise les termes d'espèces redondantes et d'espèces complémentaires. Des espèces redondantes sont des espèces qui accomplissent une même fonction dans un écosystème. Des espèces complémentaires accroissent les performances des communautés au-delà de ce qui est attendu d'après les performances des espèces individuelles.

V-C-2-a Indiquez les effets attendus d'une augmentation de la richesse spécifique de super prédateurs sur la diversité de leurs proies pour des espèces de super prédateurs soit redondantes soit complémentaires.

Réponse(s) à la question V-C–2-a communauté constituée d'espèces complémentaires ou d'espèces redondantes

Des espèces redondantes sont des espèces qui accomplissent une même fonction dans un écosystème. Si les espèces de super prédateurs sont totalement redondantes une augmentation de la richesse spécifique de super prédateurs ne devrait avoir aucun effet sur un paramètre caractérisant les proies (ici la diversité des proies).

Des espèces complémentaires accroissent les performances des communautés au-delà de ce qui est attendu d'après les performances des espèces individuelles. Si les espèces de super prédateurs sont complémentaires, une augmentation de la richesse spécifique des super prédateurs devrait affecter un paramètre caractérisant les proies (ici la diversité des proies).

Nom :	Prénom :	salle n°:

V-C-2-b Commentez l'effet de la richesse spécifique des super prédateurs sur la diversité des macro-invertébrés.

Réponse(s) à la question V-C–2-b effet des super prédateurs sur la diversité des macro-invertébrés

La diversité des macro-invertébrés filtreurs et mangeurs de substrat n'est pas affectée par la richesse spécifique des super prédateurs.

La diversité totale des macro-invertébrés est plus faible dans les traitements avec un prédateur par rapport à la diversité en absence de prédateur. Aucun effet significatif n'est enregistré suite à une augmentation de la richesse spécifique de prédateur. Les résultas obtenus sur la diversité totale des macro invertébrés indiquent donc une **redondance fonctionnelle** entre les super prédateurs sur la communauté de macro invertébrés considérée dans son ensemble.

Des différences significatives existent entre le niveau de richesse spécifique des super prédateurs et la diversité des macro-invertébrés prédateurs: les traitements avec les trois espèces de prédateurs présentent une diversité de macro invertébrés prédateurs plus faible que les traitements sans prédateur ou avec un seul prédateur. On remarque également une augmentation de la diversité des macro-invertébrés prédateurs suite à l'introduction d'un super prédateur (richesse specifique de 1). Ce type d'effet est classiquement interprété comme étant le résultat d'une limitation de la compétition interspecifique au sein d'un niveau trophique (niveau n) par un organisme appartenant au niveau trophique immédiatement supérieur (niveau n+1). Les résultas obtenus sur la diversité des macro invertébrés prédateurs indiquent donc une **complémentarité fonctionnelle** entre les super prédateurs sur la communauté de macro invertébrés prédateurs.

V-D Effet de la richesse spécifique des super prédateurs sur les caractéristiques de l'écosystème.

Fig. V-3-a : Poids sec moyen des détritus (± écart type) pour différents niveaux de richesse spécifique de super prédateurs.

Fig. V-3-b : Biomasse algale benthique exprimée en concentration en chlorophylle a µg/cm^2 (± écart type) pour différents niveaux de richesse spécifique de super prédateur

V-D-1 Interprétez l'effet de la richesse spécifique des super prédateurs sur l'accumulation de détritus.

Réponse(s) à la question V-D–1 effet des super prédateurs sur l'accumulation de détritus

La quantité de détritus accumulée diminue d'un facteur 10 avec l'augmentation de la richesse spécifique des prédateurs.

La présence d'organismes de grande taille affecte l'accumulation de détritus probablement par bioturbation.

Un effet de l'identité du prédateur est observé puisque tous les traitements avec la loche franche présentent une quantité plus faible de détritus. Son activité de recherche de nourriture remet en suspension les détritus qui sont emportés par le courant. Un effet similaire mais de moindre amplitude est observé pour la truite.

Nom :	Prénom :	salle n°:

V-D-2 Commentez l'effet de la richesse spécifique des super prédateurs sur la biomasse algale benthique.

Réponse(s) à la question V-D–2 effet des super prédateurs sur la biomasse algale

La biomasse algale benthique n'est pas affectée par la présence d'écrevisse ou de truite lorsqu'elles sont introduites seules mais augmente significativement dès que deux espèces de super prédateurs sont introduites simultanément. Une tendance semble se dégager entre l'identité des prédateurs et la biomasse algale benthique puisque celle-ci est plus élevée et significativement différente du contrôle en présence de loche (seule ou en association avec d'autres super prédateurs).

Fig. V-4 Biomasse algale benthique en fonction du poids sec de détritus

V-D-3 Interprétez la relation obtenue entre biomasse algale benthique et pois sec de détritus

Réponse(s) à la question V-D–3 relation biomasse algale benthique et poids sec de détritus.

Une corrélation négative significative est obtenue entre biomasse algale benthique et la biomasse de détritus. Une diminution de la quantité de détritus sur le substrat permet d'augmenter la pénétration de l'énergie lumineuse à la surface du substrat ce qui permet d'augmenter la biomasse algale benthique.

V-D-4 Certaines espèces ont une fonction structurante sur l'écosystème parce qu'elles affectent ou déterminent la structure du milieu. Ce sont les organismes « ingénieurs ».

V-D-4 A partir des conclusions établies précédemment (V-D-1 à V-D-2) déterminez si parmi les super prédateurs introduits certains peuvent être qualifiés d'organismes ingénieurs.

Réponse(s) à la question V-D–4 organismes ingénieurs

La loche, poisson benthique fouilleur agit comme un organisme ingénieur de l'écosystème. Son activité de recherche de nourriture remet en suspension les détritus qui sont emportés par le courant. De plus, la bioturbation engendrée en diminuant la quantité de détritus affecte de façon indirecte la biomasse algale benthique. Un effet similaire mais de moindre amplitude est observé pour la truite. Par contre, cette étude montre de faibles effets (voire une absence d'effet) d'engineering de l'écrevisse sur le milieu.

VI- Reconnaissances raisonnées.

Pour chaque échantillon, indiquez le groupe systématique le plus précis possible, ainsi que les caractéristiques écologiques principales de l'espèce.

Ech.	Groupe	Espèce	Données biologiques
1	**Salicacées**	**Salix alba**	Ripisylve (1° ceinture)
2	**Poacées**	**Phalaris arundinacea**	Ripisylve (phragmitaie)
3	**Aceracées**	**Acer negundo**	Ripisylve (1° ceinture)

Nom :	Prénom :	salle n°:

4	**Salicacées**	**Populus nigra**	Ripisylve (2° ceinture)
5	**Betulacées**	**Alnus glutinosa**	Ripisylve (2° ceinture)
6	**Fabacées**	**Colutea arborecens**	Thermophile calcicole
7	**Lamiacées**	**Stachys sylvatica**	Ripisylve
8	**Scrofulariacées**	**Scrofularia nodosa**	Ripisylve
9	**Celastracées**	**Evonymus europaeus**	Ripisylve (3° ceinture)
10	**Cannabinacées**	**Humulus lupulus**	Ripisylve (2° ceinture)
11	**Odonates anisoptères (libellules)**	**Sympetrum**	Larve de libellules, vie aquatique
12	**Salmonidés**	**Saumon atlantique (Salmo**	Mer et rivières
13	**Ophidiens Natricidés**	**Couleuvre vipérine (natrix maura)**	inféodée aux rives de lacs et de rivières.
14	**Passeriformes motacillidés**	**Bergeronnette des ruisseaux (**Motacilla cinerea**)**	La bergeronnette des ruisseaux est très dépendante de l'eau, surtout une eau courante, souvent à proximité des
15	**Rongeurs**	**Hutte de castor (castor fiber)**	Semi-aquatique
16	**Siluriformes**	**Poisson-chat (ameiurus melas)**	Lacs et cours d'eau lents
17	**Coraciiformes Alcédinidés**	**Martin pêcheur (**Alcedo atthis**)**	Le martin-pêcheur se rencontre au bord des eaux calmes, propres et peu profondes. Les rives, pourvues d'arbres et de poteaux utilisés comme des perchoirs sont appréciés
18	**Falconiformes Pandionidés**	**Balbuzard pêcheur (Pandion haliaetus)**	séjourne à proximité de milieux aquatiques : bord des lacs, fleuves, grands étangs, rivières
19	**Passeriformes cinclidés**	**Cincle (Cinclus cinclus)**	rives des cours d'eau rapides, dans les endroits rocailleux et escarpés et prioritairement en altitude
20	**Odonates zygoptères (demoiselles)**	**Calopteryx sp.**	Aux bords des eaux vives

Nom :	Prénom :	salle n°:

AGREGATION DE SV-STU 2009 – TP secteur B

Commentaire

L'épreuve de travaux pratiques du secteur B portait sur les organismes des eaux courantes et leur utilisation potentielle pour évaluer la qualité de ces dernières. Elle avait pour ambition de tester les candidats sur une diversité de compétences techniques simples (montages, observation, coloration, mesure d'absorbance, analyse morphologique comparative, utilisation de clef de détermination et dissection) et d'exploitation de documents mises en œuvre dans une démarche d'analyse permettant non seulement d'aboutir à des conclusions argumentées mais également à leur analyse critique. Pensant que la biologie des organismes ne consiste pas seulement en l'analyse d'organismes dans un cadre académique, nous nous sommes aussi attachés à montrer aux candidats que celles-ci peuvent être utilisées dans un but diagnostique de la qualité environnementale. Par ailleurs, certaines des activités proposées dans ce TP peuvent constituer des pistes d'activités pouvant être réinvesties en classe puisqu'une grande partie du matériel biologique utilisé peut être collectée facilement par un enseignant de biologie.

Le défaut le plus fréquemment rencontré est une tendance à n'utiliser les documents que comme prétextes à la restitution de notions théoriques alors que les objets biologiques devraient être le point de départ d'une démarche interprétative, essentielle pour de futurs enseignants de SVT. A plusieurs reprises le jury devait évaluer l'adéquation entre les préparations des candidats et leur restitution d'une part et l'adéquation entre ces restitutions et les conclusions qui en étaient déduites d'autre part. Toute réponse non déduite de cette démarche interprétative a été pénalisée. 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.

Exercice 1

L'objectif de cet exercice était de mettre en relation des connaissances théoriques et des observations afin de produire une clef de détermination permettant l'identification d'organismes présents dans un échantillon issu du milieu naturel : un biofilm périlithique. L'intérêt de la coloration au lugol (permettant de préciser la nature et la localisation cellulaire des réserves) a rarement été comprise. De trop nombreux candidats bien qu'ayant répondu de façon correcte à la question concernant l'objectif de la coloration gram n'ont pas hésité à effectuer cette coloration sur des organismes…eucaryotes. Le plus souvent, les microorganismes n'ont pas été observés à l'aide de l'objectif adéquat. Extrêmement rares, sont les candidats qui ont observé leur préparation en utilisant l'objectif X100 et l'huile à immersion.

Le jury a pu constater des lacunes dans la mise en œuvre d'une mesure aussi simple qu'une mesure d'absorbance : en effet de nombreux candidats ne refaisaient pas le zéro du spectrophotomètre après avoir changé la longueur d'onde d'émission. L'ensemble des candidats montre un niveau faible en cytologie. Souvent deux ou trois structures seulement sont reconnues sur les électronographies. Globalement, les candidats ont eu des difficultés à mettre en relation les différentes conclusions

obtenues (structure cellulaire, nature et localisation des réserves et contenu chlorophyllien) pour élaborer une synthèse sous forme de clef de détermination alors que les aspects relatifs à la théorie endosymbiotique ont été correctement restitués par une majorité de candidat. De façon surprenante alors que, l'énoncé mentionnait clairement que le dernier échantillon provenait du milieu naturel, un nombre non négligeable de candidats n'a pu répondre à la dernière question étant convaincu que le terme périlithon était le nom de genre d'un organisme ! Le jury invite donc les candidats à ne pas négliger l'étymologie : peri signifie autour et lithos pierre. Perilithon définit donc l'ensemble des organismes se développant à la surface d'éléments minéraux. L'exercice a été réussi de manière inégale alors qu'il ne reposait que sur l'utilisation de manipulations simples et sur la mobilisation de connaissances classiques dans un contexte un peu inhabituel.

Exercice 2

L'objectif de cet exercice était de faire appliquer aux candidats une première méthode d'évaluation de la qualité des eaux courantes : un indice de pollusensibilité de la microflore périlithique à diatomées. La détermination du genre dominant de diatomée et le calcul de cet indice n'ont pas posé de problème à la majorité des candidats alors que l'analyse des résultats obtenus sur cinq stations échantillonnées dans un cours d'eau a révélé des erreurs regrettables pour de futurs enseignants de SVT. En effet, un nombre non négligeable de candidats pense qu'une station d'épuration a pour vocation d'épurer l'eau d'une rivière ! Une lecture attentive des protocoles de dosage de la DB0 et de la DCO devait permettre aux candidats ne connaissant pas la signification de ces mesures d'en proposer une interprétation correcte ou tout du moins logique. Nombreux ont considéré que ces indices permettent de mesurer le taux d'oxygénation de l'eau (donné par la première mesure !). Enfin, la dernière question permettait de mettre en évidence que les notions de normes de rejets autorisées et bonne qualité environnementale sont des notions différentes ce qui a rarement été explicité dans les copies.

Exercice 3

Cet exercice visait à élaborer une analyse critique du protocole d'échantillonnage mis en oeuvre dans une seconde méthode d'évaluation de la qualité des cours d'eau : l'IBGN.

Partie A - L'identification ainsi que l'étude morphologique des macro-invertébrés a été réalisée correctement par la majorité des candidats. Toutefois, un grand nombre d'entre eux ont eu une difficulté à élaborer une conclusion argumentée concernant les adaptations de ces organismes (forme du corps, appareil respiratoire etc.) aux caractéristiques de leur microhabitat. Le jury attendait en effet une distinction clairement établie entre un organisme rhéophile vivant à la surface d'éléments minéraux grossiers et un organisme limnophile vivant enfoui dans la vase et non pas des adaptations à la vie en milieu aquatique en général. De plus, de nombreux candidat ont fait une confusion entre mise en évidence des adaptations au milieu et justification de la position systématique !

Partie B - Les montages demandés et les dessins d'observation associés afin de déterminer les groupes fonctionnels trophiques ont globalement été bien réalisés. Toutefois, leur interprétation argumentée a posé problème à certains candidats. La structure de l'éventail prémandibulaire des Simulies, s'il elle n'était pas connue des candidats, ce qui d'ailleurs n'était pas exigé, devait conduire à émettre une hypothèse sur son rôle dans la filtration des particules en suspension dans l'eau. Très peu de candidats ont interprété la couronne de crochets postérieure comme un dispositif de fixation au substrat. Par ailleurs, le jury a tenu compte de la diversité des contenus digestifs observés par les candidats dans la mesure où leur interprétation était cohérente avec leur observation.

Partie C - Globalement, la répartition des groupes trophiques dans les microhabitats et la détermination de l'IBGN n'ont pas posé de problème aux candidats mais l'analyse critique du protocole d'échantillonnage n'a été réalisée de façon pertinente que par un nombre extrêmement limité d'entre eux. Celle-ci faisait pourtant appel à des connaissances classiques relatives à la signification de l'abondance et de la diversité des organismes dans un écosystème mais qu'il fallait appliquer à un cas concret

Exercice 4

Le jury a été surpris de constater qu'un exercice aussi classique que la présentation d'appendices de l'écrevisse puisse s'avérer délicat pour un nombre important de candidat. La difficulté principale rencontrée ayant été l'identification des appendices (certains candidats n'hésitant pas à mentionner l'existence de plusieurs paires de mandibules etc.). La dissection du moulinet gastrique, moins classique a été réalisée de façon tout à fait correcte par un grand nombre de candidat. Cependant beaucoup d'entre eux n'ont pas obtenu l'ensemble des points correspondants car ils n'ont pas pris la peine de recouvrir cette dissection avec une quantité d'eau suffisante et de l'observer avec la loupe binoculaire à leur disposition. Les attentes du jury concernant le dessin d'observation se limitaient à une représentation en adéquation avec leur observation, comportant une échelle et des légendes simples.

Exercice 5

Cet exercice visait à tester la compréhension d'un protocole expérimental et la maîtrise de notions classiques d'écologie que sont la biomasse, la richesse spécifique, la diversité spécifique, la redondance ou complémentarité fonctionnelle et enfin la notion d'organisme ingénieur ou architecte.

Cet exercice a été dans l'ensemble mal réussi en raison d'une méconnaissance de l'interprétation de résultats de tests statistiques simples. Ainsi, la majorité des candidats a éprouvé de grandes difficultés à interpréter les différences non-significatives. Certains les qualifiant de différentes malgré tout, d'autre de « non-comparables ». Plusieurs candidats ont même affirmé que les « barres d'erreurs gênaient l'interprétation ». Le jury tient à rappeler qu'un grand nombre d'expérimentation scientifique repose sur l'obtention de mesures répétées et de leur comparaison à l'aide de tests statistiques, ces notions font pourtant explicitement partie des pré-requis du programme général ! Dans cet exercice,

par exemple, les différences non significatives des biomasses des macroinvertébrés mesurées en présence ou en absence de super prédateur devaient être interprétées comme une absence d'effet notable des super prédateurs sur ce paramètre. Les corrélations ont été mieux analysées mais un certain nombre de candidats confond encore le paramètre mesuré et la variable testée. Enfin, les notions d'écologie ont le plus souvent été abordées de façon totalement déconnectée de l'analyse des documents. Le jury attendait, bien évidemment que les notions théoriques soient abordés à l'issue d'une analyse rigoureuse des résultats expérimentaux.

Exercice 6

Les reconnaissances proposées étaient constituées par des organismes inféodés aux rivières (sauf un « intrus » volontairement introduit) et ne présentaient pas de difficultés majeures de détermination pour les étudiants ayant une culture naturaliste. Cependant, les bonnes identifications sont rares, et les mauvaises ou imprécises très fréquentes. Des confusions « classiques » (entre le genre *Betula* et le genre *Populus* pour l'échantillon 4, entre un anisoptère et un zygoptère pour les échantillons 11 et 20 par exemple) sont très fréquentes. Bien peu de candidats ont déterminé correctement l'échantillon 2 (la baldingère), et l'échantillon 15 (hutte de castor a laissé beaucoup de candidats perplexes, un certain nombre d'entre eux ayant tenté de déterminer les arbres visibles au lointain de la photo (« forêt de mélèzes », « épicéa », « pin de Douglas »). La détermination des animaux ou de leur trace a souvent révélé de grandes imprécisions, aussi bien concernant les données biologiques (campagne, montagne, mer) que le groupe qui était souvent très large (« Insecte », « Oiseau »…) ou très approximatif (« Poisson »…) que pour l'espèce (loutre au lieu de castor… aigle, buse, faucon au lieu de balbuzard-pêcheur…). Que penser d'interprétations aussi fantaisistes que abeille ou termite pour l'échantillon de larve de *Sympetrum*, anisoptère ; daurade, morue ou cabillaud pour l'échantillon de saumon atlantique ; cobra ou crotale pour la couleuvre vipérine ; rouge-gorge pour la bergeronnette des ruisseaux ; fourmilière, tourbière ou résultat de la tempête de 99 pour la hutte de castor ; coelacanthe pour le poisson-chat ; oiseau-mouche, martin chasseur africain ou pic épeiche pour le martin pêcheur… !

Seuls 5 % des candidats n'ont pas traité la question V et 13% n'ont pas abordé la question IV ce qui semble traduire un effort pour aborder l'ensemble des questions posées. La partie II a globalement été la mieux réussie permettant d'obtenir, en moyenne, une note équivalente à 12/20. La moyenne des notes obtenues pour les parties I, III et V est de l'ordre de 7/20 (respectivement 7,28, 7,16 et 7,18) alors que les candidats ont obtenu, en moyenne, une note équivalente à 6,4/20 pour la partie VI et à seulement 6,2/20 pour la partie VI. Le jury invite donc les candidats à ne pas négliger les exercices classiques tels que la présentation des appendices d'un arthropode et surtout à renforcer leur culture naturaliste afin, non seulement, d'améliorer leur note à l'exercice de reconnaissance mais surtout de mieux connaître leur environnement et tout simplement l'objet de leur discipline.

Nom :	Prénom :	salle n° :

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2009

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DU SECTEUR B

CANDIDATS DES SECTEURS A ET C

Durée totale : 2 heures

« Laisses de mer »

Transfert de matière entre les écosystèmes

Les quatre parties sont indépendantes. Deux d'entre elles nécessitent des manipulations (partie I et partie III), prévoyez donc votre organisation en conséquence.

Partie I : Analyse de laisses de mer, origine et transformation de la matière — page 2

durée : 50 minutes – barème : 7 /20

Partie II : Devenir de la matière dégradée — page 6

durée : 15 minutes – barème : 3 /20

Partie III : Entrée de la matière dans les réseaux trophiques — page 10

durée : 45 minutes – barème : 7 /20

Partie IV : Un aperçu de la diversité du réseau trophique — page 15

durée : 10 minutes – barème : 3 /20

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

Nom :	Prénom :	salle n° :

PARTIE I : Analyse de laisses de mer, origine de la matière et transformation

durée conseillée : 50 minutes – barème : 7 /20

En hiver, les conditions météorologiques induisent souvent des tempêtes marines qui érodent les fonds océaniques dont une partie est ramenée sur les continents et déposée sur les plages. Ces dépôts nommés « laisses de mer » sont donc particulièrement importants en hiver et représentent un transfert de matière depuis les mers vers les continents compris entre 18 et 500 kg de matière sèche par m². Les échantillons 1 et 2 que vous possédez ont été ramassés sur cette plage approximativement aux emplacements précisés sur la photographie ci-dessous.

Figure 1 - Photographie d'une plage sous le Cap Canaille (Cassis, Bouches du Rhône)

et situation des échantillons 1 et 2.

I – A : À l'aide d'une analyse morphologique vous proposerez une hypothèse sur la nature de l'organe ainsi que la position systématique de l'espèce dont il est issu. Vous présenterez votre réponse sous la forme d'un schéma annoté dans l'encadré de la page 3.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Réponse à la question I – A

La présence de feuilles plus ou moins dégradées, de leurs écailles d'insertion, ainsi que de racines adventives et de leurs traces indique que l'organe est une tige. Cette dernière est renflée, à croissance plus ou moins orthotrope indique qu'il s'agit d'un rhizome. Les feuilles engainent la tige et présente une nervation parallèle ce qui pourrait indiquer qu'il s'agit d'une monocotylédone.

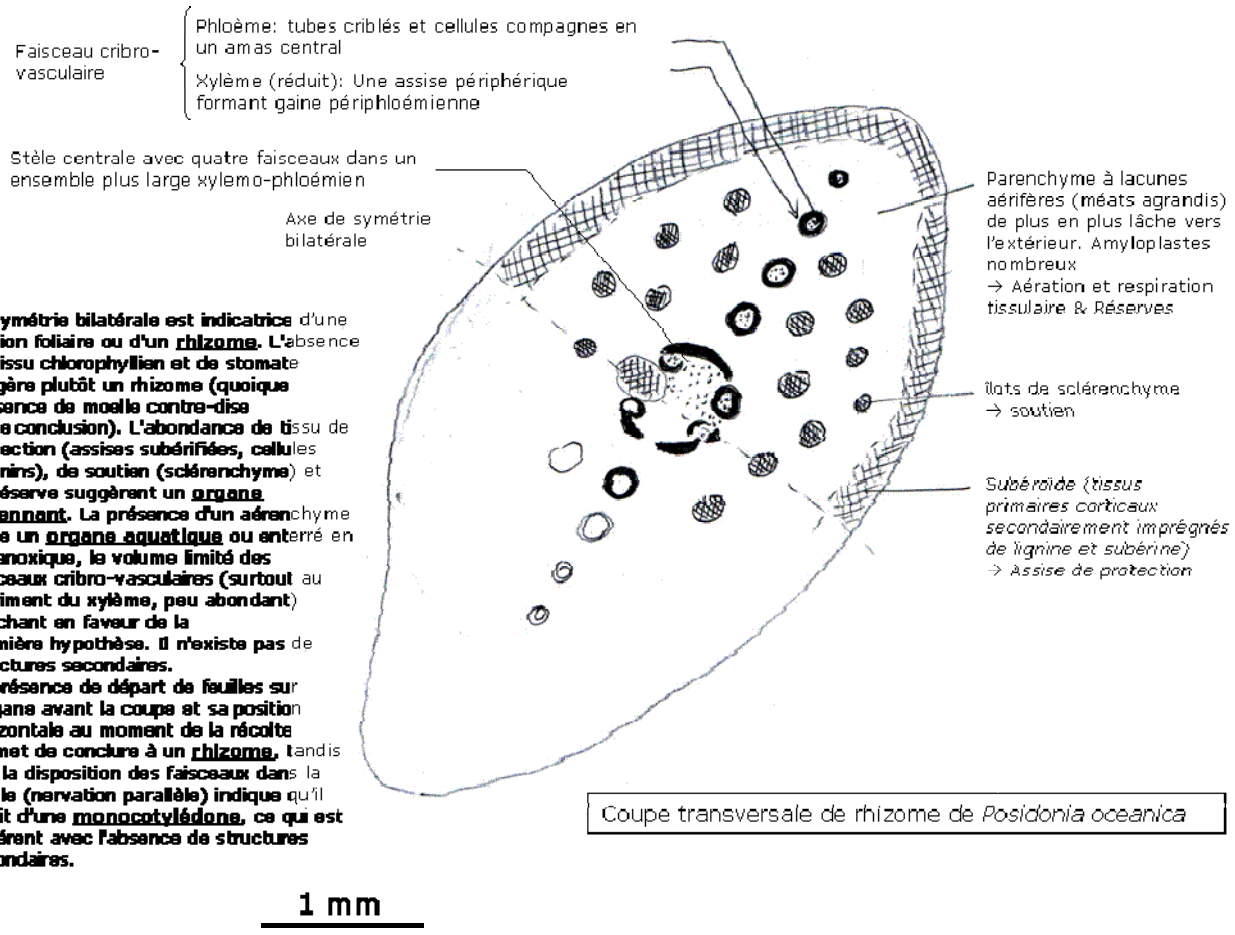
→ Rhizome de monocotylédone

I – B : À l'aide d'une ou plusieurs coupes histologiques colorées au carmin-vert d'iode, vous identifierez la nature de l'organe ainsi que la position systématique de l'espèce dont il est issu, en présentant des arguments supplémentaires par rapport à l'hypothèse précédemment proposée. Vous présenterez votre réponse, dans l'encadré de la page 4, sous la forme d'un schéma anatomique utilisant les figurés conventionnels des dessins de biologie végétale, annoté, ainsi qu'un court commentaire concluant sur vos observations.

Vous prendrez soin d'appeler un examinateur pour viser votre travail technique <u>une fois le dessin réalisé</u>.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Réponse à la question I – B



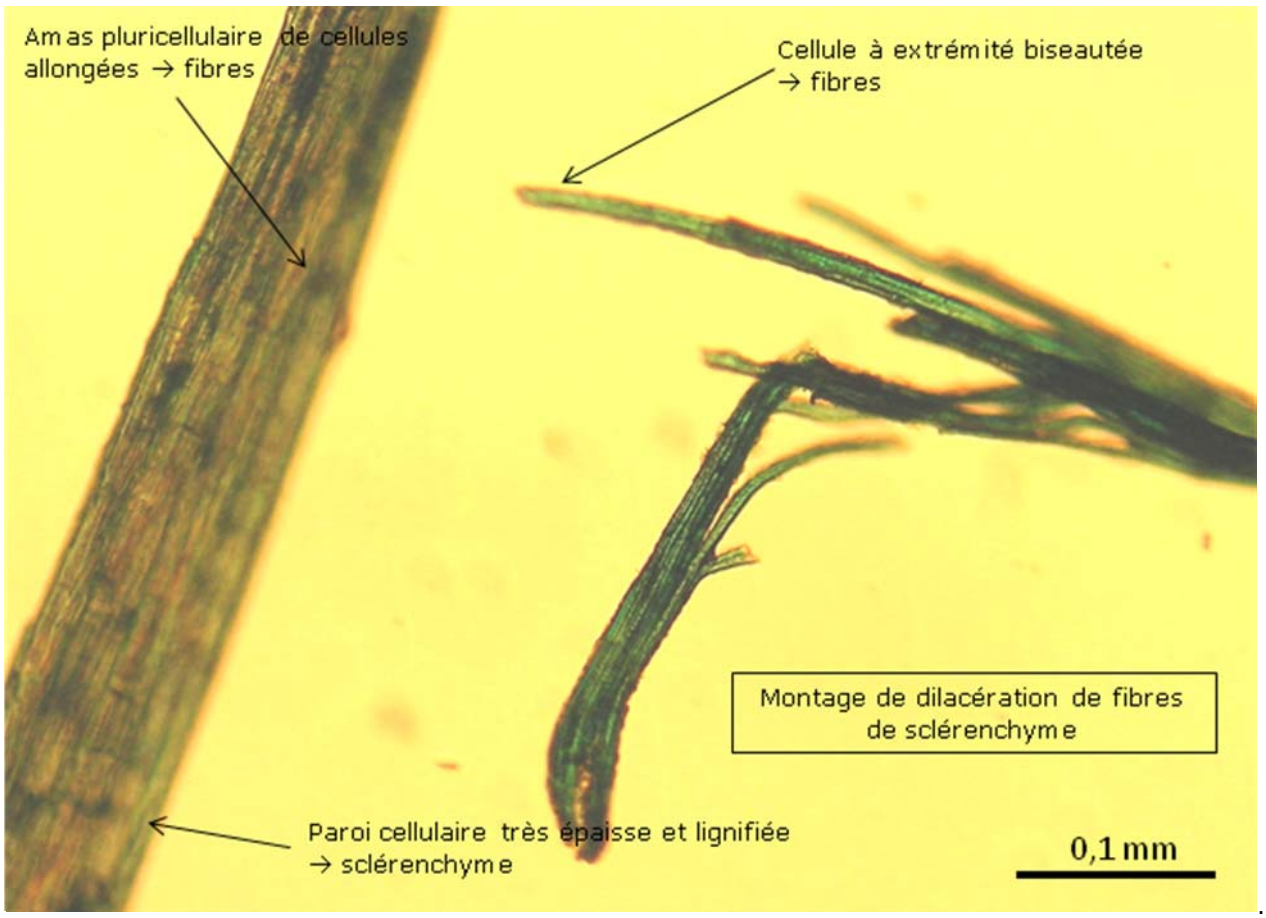
La symétrie bilatérale est indicatrice d'une **portion foliaire ou d'un <u>rhizome</u>. L'**absence **de tissu chlorophyllien et de stomate suggère plutôt un rhizome (quoique l'absence de moelle contre-dise cette conclusion). L'abondance de ti**ssu de **protection (assises subérifiées, cellu**les **à tanins), de soutien (sclérenchyme**) et **de réserve suggèrent un <u>organe pérennant</u>. La présence d'un aéren**chyme **signe un <u>organe aquatique</u> ou enterré en sol anoxique, le volume limité des faisceaux cribro-vasculaires (surtout** au **détriment du xylème, peu abondant**) **penchant en faveur de la première hypothèse. Il n'existe pas** de **structures secondaires.**
La présence de départ de feuilles sur l'organe avant la coupe et sa position **horizontale au moment de la récolte permet de conclure à un <u>rhizome</u>, t**andis **que la disposition des faisceaux dans** la **feuille (nervation parallèle) indique** qu'il **s'agit d'une <u>monocotylédone</u>, ce qui est cohérent avec l'absence de structures secondaires.**

Coupe transversale de rhizome de *Posidonia oceanica*

I – C : Réalisez un montage d'une dilacération de l'échantillon 2 après attaque acide (acide acétique) et coloration au carmin-vert d'iode et représentez vos résultats dans l'encadré de la page 5, sous la forme d'un dessin de détail annoté et d'un bref commentaire d'interprétation des structures observées. Identifiez l'origine des structures observées en lien avec la coupe de la question précédente.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Réponse à la question I – C



→ Correspondance avec les structures mises en évidence sur la coupe de rhizome (îlots de sclérenchyme) Certaines (très rares) préparations ont pu mettre en évidence des trachéides et éléments de vaisseaux issus du xylème.

Ainsi dans ses pelotes sont des amalgames de fibres de sclérenchymes, coriaces et peu dégradables (lignine) cassées en fragments.

I – D : Proposez un scénario-hypothèse expliquant la formation de ces deux échantillons.

Réponse à la question I – D

Les échantillons 1 et 2 représentent des stades de fragmentation et d'altération de l'appareil végétatif des posidonies. Le premier est une partie du rhizome, arrachée au cours d'une tempête, dont les frondes ont été altérées mécaniquement (rupture) et chimiquement (cellulose par rapport à lignine). L'échantillon 2 correspond aux fragments des fibres de sclérenchyme des feuilles et rhizome qui ont été rompus et amalgamés en boules par le va et vient dans les galets.

Nom :	Prénom :	salle n° :

PARTIE II : Devenir de la matière dégradée

durée conseillée : 15 minutes – barème : 3 /20

II – A : Devenir de la matière dégradée sur le continent

Les courants marins font que les « laisses de mer » ne se déposent pas de manière homogène sur les plages. Ces laisses peuvent héberger des communautés d'invertébrés riches et diversifiées (arachnides, insectes, crustacés). L'abondance et la richesse (moyennes et intervalles de confiance sur 20 carottages dans chaque situation) de ces communautés sont comparées sur deux zones (même altitude d'une même plage) dont les apports moyens en « laisses de mer » diffèrent (figure 2). La première amasse $2{,}0.10^{-2}$ m^3 de « laisses » par m^2 de plage (histogramme noir) et la seconde $1{,}1.10^{-2}$ m^3 par m^2 (histogramme blanc). Par rapport à cette situation témoin (A), deux expérimentations sont réalisées : la première consiste à ajouter $1{,}0.\ 10^{-2}$ m^3 par m^2 de laisses sur les deux zones (résultats en B), la seconde consiste à enlever $1{,}0.10^{-2}$ m^3 par m^2 sur les deux zones (résultats en C).

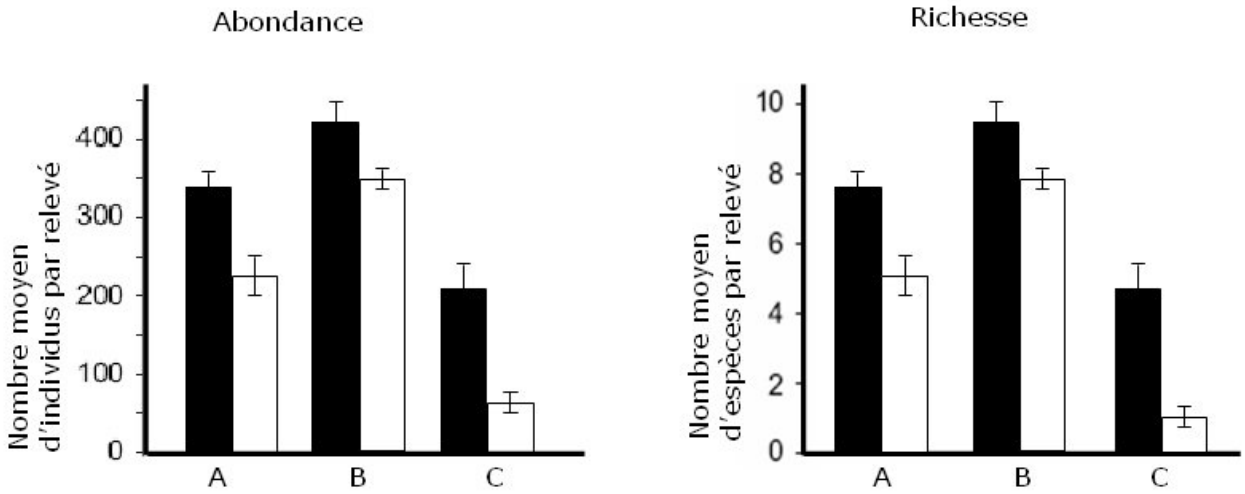


Figure 2

II – A – 1 : Analysez le document ci-dessus.

Réponse à la question II – A – 1

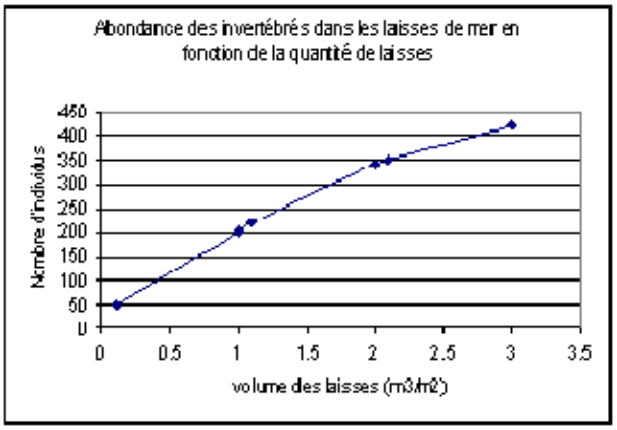
Les résultats sont similaires pour l'abondance et la richesse. L'abondance comme la richesse sont d'autant plus fortes que la quantité de laisses est importante. L'ajout (ou le retrait) de matière organique induit une augmentation (un appauvrissement) de l'abondance ou de la richesse.

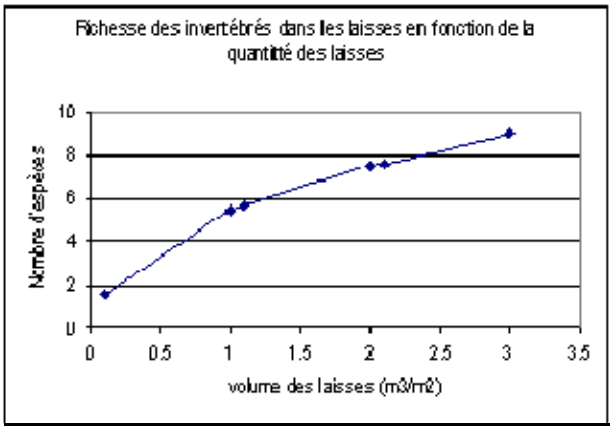
Nom :	Prénom :	salle n° :

II – A – 2 : Montrez comment varient l'abondance et la richesse en fonction de l'apport en laisses de mer et concluez quant au processus de régulation de la structure des communautés d'invertébrés.

Réponse à la question II – A – 2

Graphique : abondance (et richesse) en fonction de la quantité de laisses.





Relation linéaire positive entre l'abondance et la richesse des invertébrés dans les laisses. La quantité de matière importée sur les plages conditionne l'abondance et la richesse des communautés d'invertébrés.

→ Régulation bottom-up de la structure des communautés d'invertébrés des laisses de posidonies

II - B : Devenir de la matière dégradée dans la mer

Les herbiers à posidonies forment des prairies sous-marines littorales. Chaque année, l'herbier se développe sur sa masse initiale par croissance verticale des rhizomes. La biomasse verticale accumulée d'anciens rhizomes et de racines est nommée la « matte ». Les tempêtes hivernales endommagent la matte ainsi que les feuilles, et le matériel est alors pris par les courants. Le document ci-dessous (figure 3) se propose d'étudier l'impact de l'herbier sur la dynamique sédimentaire de ces débris. À une même profondeur de 15 m, sont comparées des zones adjacentes d'herbiers à posidonies (ronds noirs) et des zones sableuses (ronds blancs). Sur le fond, dans chaque zone, sont déposées 20 boîtes de Pétri ouvertes (diamètre 8,7 cm, hauteur 1,3 cm) contenant une biomasse identique de fragments de feuilles de *Posidonia oceanica* (longueur moyenne 3,5 mm, largeur moyenne 1 mm). Sur chaque site l'hydrodynamisme est mesuré et converti en indice de vitesse de courant. Après 24 h les boîtes de Pétri sont récupérées, le reste de matériel séché et pesé pour estimer la biomasse perdue. Les histogrammes représentent la biomasse sèche moyenne ainsi que son intervalle de confiance pour les 20 boîtes.

Nom :	Prénom :	salle n° :

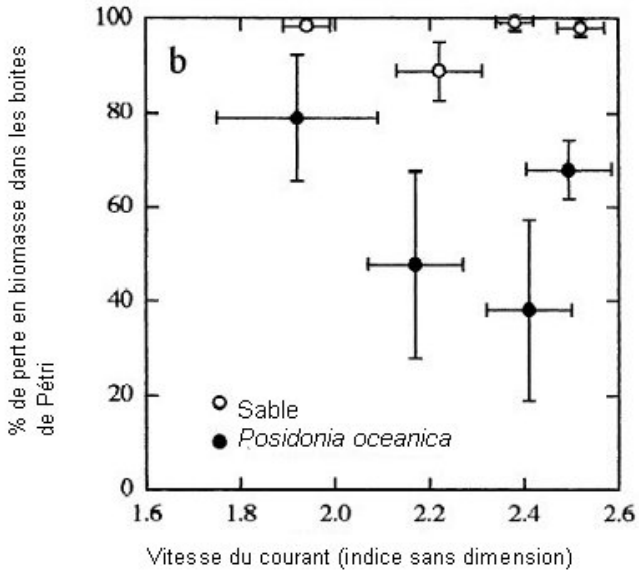


Figure 3

II – B – 1 : Analysez le document ci-dessus.

Réponse à la question II – B – 1

Quelle que soit la vitesse du courant (donc la zone considérée) la perte de biomasse dans les boites de Pétri posées dans les herbiers est plus faible que celle dans les boites disposées sur le sable. Ainsi les herbiers de posidonies induisent une moindre remise en suspension de matière que les témoins sur le sable.

Sur un des sites précédents, 20 godets à sédimentation sont déposés à différentes hauteurs au-dessus du sable ou au-dessus (et dans) l'herbier à posidonies. Au bout de 3 jours les godets sont remontés et la matière qu'ils contiennent est séchée et pesée. Les résultats sont récapitulés dans le graphe ci-dessous (figure 4) présentant les biomasses moyennes entourées de leurs intervalles de confiance. La ligne pointillée matérialise la canopée de l'herbier à posidonies.

Nom :	Prénom :	salle n° :

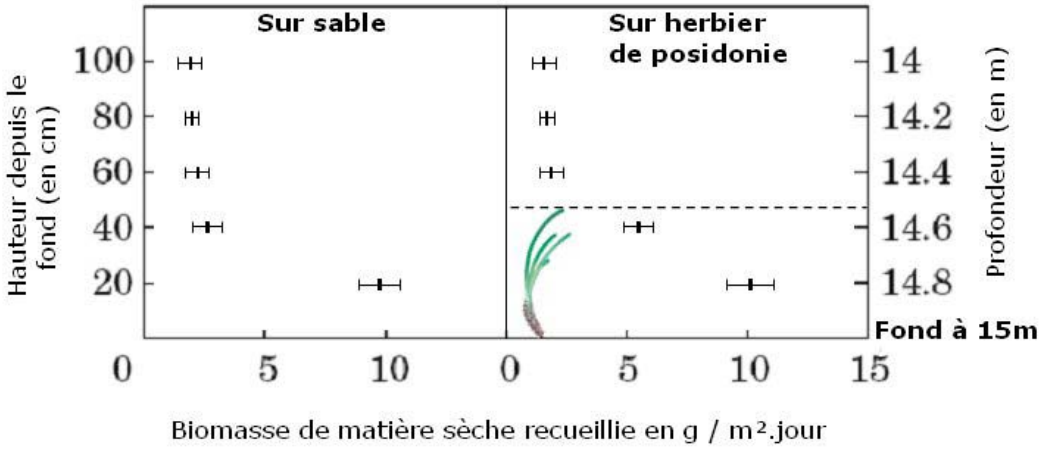


Figure 4

II – B – 2 : Analysez le document ci-dessus.

Réponse à la question II – B – 2

Le taux de sédimentation (pluie de matière organique) au sein de l'herbier ou sur les zones sableuses adjacentes est identique si ce n'est au niveau de la canopée de l'herbier (h=40 cm) où les frondes induisent sans doute un amoindrissement des courants et favorisent localement la sédimentation.

II – B – 3 : Concluez quant à l'effet de l'herbier de posidonies sur la dynamique sédimentaire en confrontant les figures 3 et 4.

Réponse à la question II – B – 3

La sédimentation au sein de l'herbier (formation de la matte) est donc associée à une moindre reprise en suspension des particules déjà déposées et non pas à un taux de sédimentation plus fort.

Nom :	Prénom :	salle n° :

PARTIE III : L'entrée de la matière dans les réseaux trophiques

durée conseillée : 45 minutes – barème : 7 /20

III – A : L'utilisation des isotopes stables du carbone et de l'azote permet de décrypter le devenir de la matière dans les réseaux trophiques. La figure ci-dessous (figure 5) illustre les signatures isotopiques des producteurs primaires (en gras), de la matière organique dans le sédiment d'un herbier (MOS), et des tissus musculaires pour les consommateurs primaires (*Mytilus galloprovincialis*, Amphipodes, Isopodes, Palaemonidés = groupe de crevettes) ou secondaires (Téléostéens herbivores et carnivores) et détritivores (Holothurie) d'une baie méditerranéenne couverte d'un herbier à posidonies.

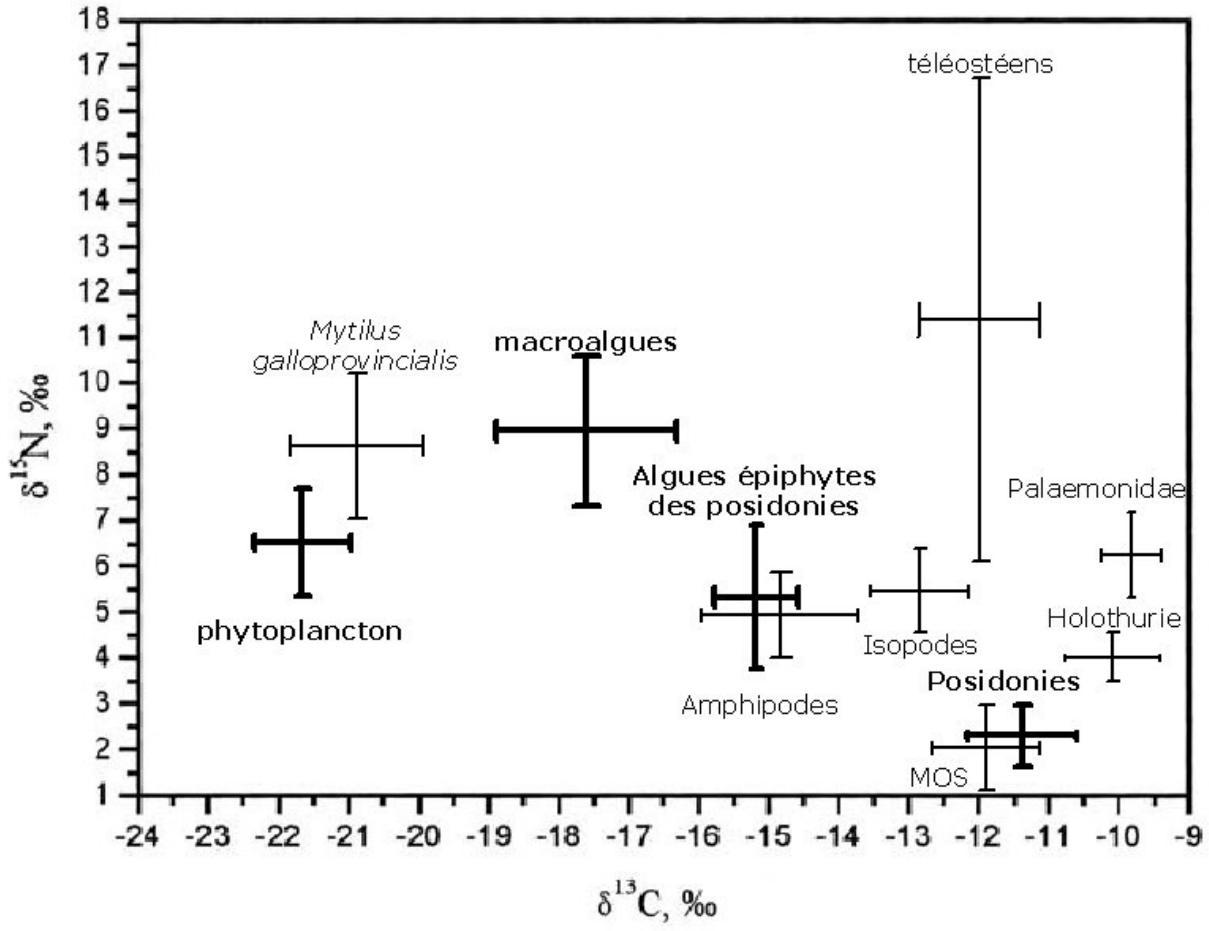


Figure 5

Le principe de l'utilisation des isotopes stables en écologie alimentaire repose sur l'assertion « *you are what you eat* » c'est-à-dire que la signature isotopique du consommateur est dépendante de celle de sa ressource alimentaire moyennant un enrichissement moyen de 0,5 à 1,5 ‰ pour le carbone et entre 2 et 4 ‰ pour l'azote.

Ce principe repose sur l'accumulation de l'isotope lourd dans les tissus, car les isotopes légers (que ce soit ^{12}C ou ^{14}N) sont majoritairement excrétés.

III – A – 1 : En quoi le scénario local est-il propice à l'utilisation de cette méthode ?

Réponse à la question III – A – 1

Les signatures isotopiques des producteurs primaires sont très discriminées (non chevauchantes) ce qui permet d'assigner une signature isotopique à la ressource végétale alimentaire des hétérotrophes.

III – A – 2 : Que concluez-vous de la signature isotopique de la matière organique sédimentée dans l'herbier de posidonies ?

Réponse à la question III – A – 2

La matière organique sédimentée présente une signature isotopique identique à celle de la matière vivante de posidonie. Ainsi la sédimentation au sein de l'herbier est due à de la matière morte (fragments et particules issues de l'altération des feuilles, des rhizomes cf. partie I…) de posidonie.

III – A – 3 : Quels sont les régimes alimentaires putatifs des différents consommateurs dont les signatures isotopiques sont spécifiés ? Concluez quant à l'importance des posidonies dans le devenir de la matière au sein des réseaux trophiques.

Réponse à la question III – A – 3

Holothurie et palaemonidés ← MOS et posidonie vivantes

Amphipodes ← algues épiphytes des posidonies

Isopodes ← régime mixte de posidonies et des algues épiphytes des posidonies

Moules ← phytoplancton

Téléostéens ← crustacés se nourrissant de posidonies et téléostéens (des carnivores secondaires)

Nom :	Prénom :	salle n° :

Suite de la réponse à la question III – A – 3

La moule (*Mytilus galloprovincialis*) est un organisme littoral de Méditerranée, illustré ici (figure 6) en position de vie. Le siphon, à la bordure lisse, est exhalant, l'ouverture festonnée est inhalante.

Figure 6 - Moules (ici *Mytilus edulis*) en position de vie

III – B : Réalisez une dissection de l'animal proposé. Vous sortirez l'animal de sa coquille et le présenterez dans la cuvette, orienté <u>en position de vie</u>. Vous tâcherez de retrouver les structures observées sur la photographie afin d'ébaucher la circulation de l'eau au sein de l'animal. Vous présenterez (page 13) votre dissection sous la forme d'un schéma annoté en mettant l'accent sur les organes impliqués dans la prise alimentaire et la digestion. Vous conclurez vos observations en justifiant la position systématique de l'animal disséqué.

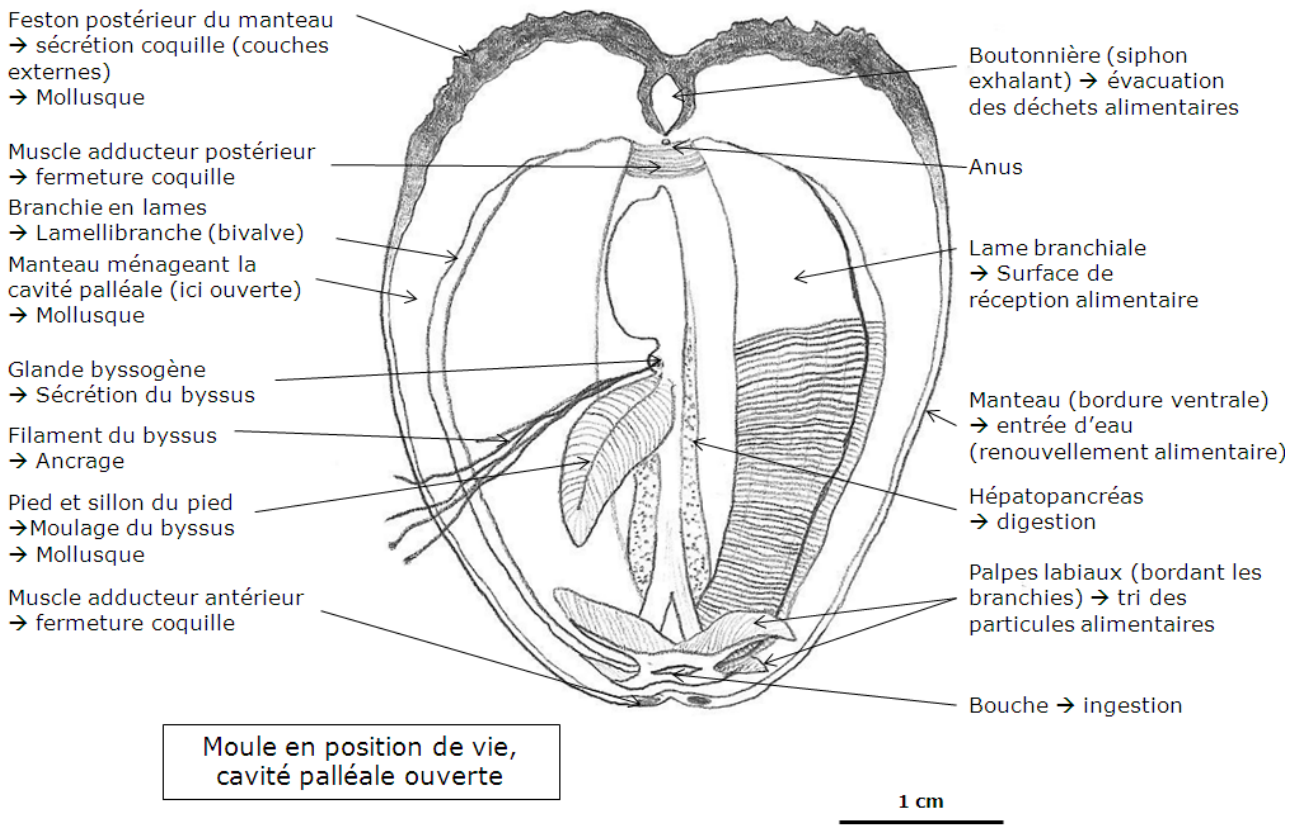
Nom :	Prénom :	salle n° :

Réponse à la question III - B

Gestes techniques : Ouverture de cavité palléale sans déchirer les bordures du manteau ni la boutonnière

Orientation dans la cuvette (tête en bas = position de vie)

Position systématique **Fonction alimentaire**



Commentaire :

Capture des particules alimentaires par les branchies (grande surface, mucus), ingestion par la bouche après tri par les palpes. Digestion dans l'estomac (sans tige cristalline) puis l'intestin via les sécrétions de l'hépatopancréas et évacuation via l'anus au niveau de la boutonnière (dorsale).

Position systématique :

Métazoaires bilatériens - Mollusque (pied, coquille, manteau) Lamellibranche (coquille bivalve et branchies en lames) Filibranche (branchies formées de la superposition de filaments branchiaux)

Nom :	Prénom :	salle n° :

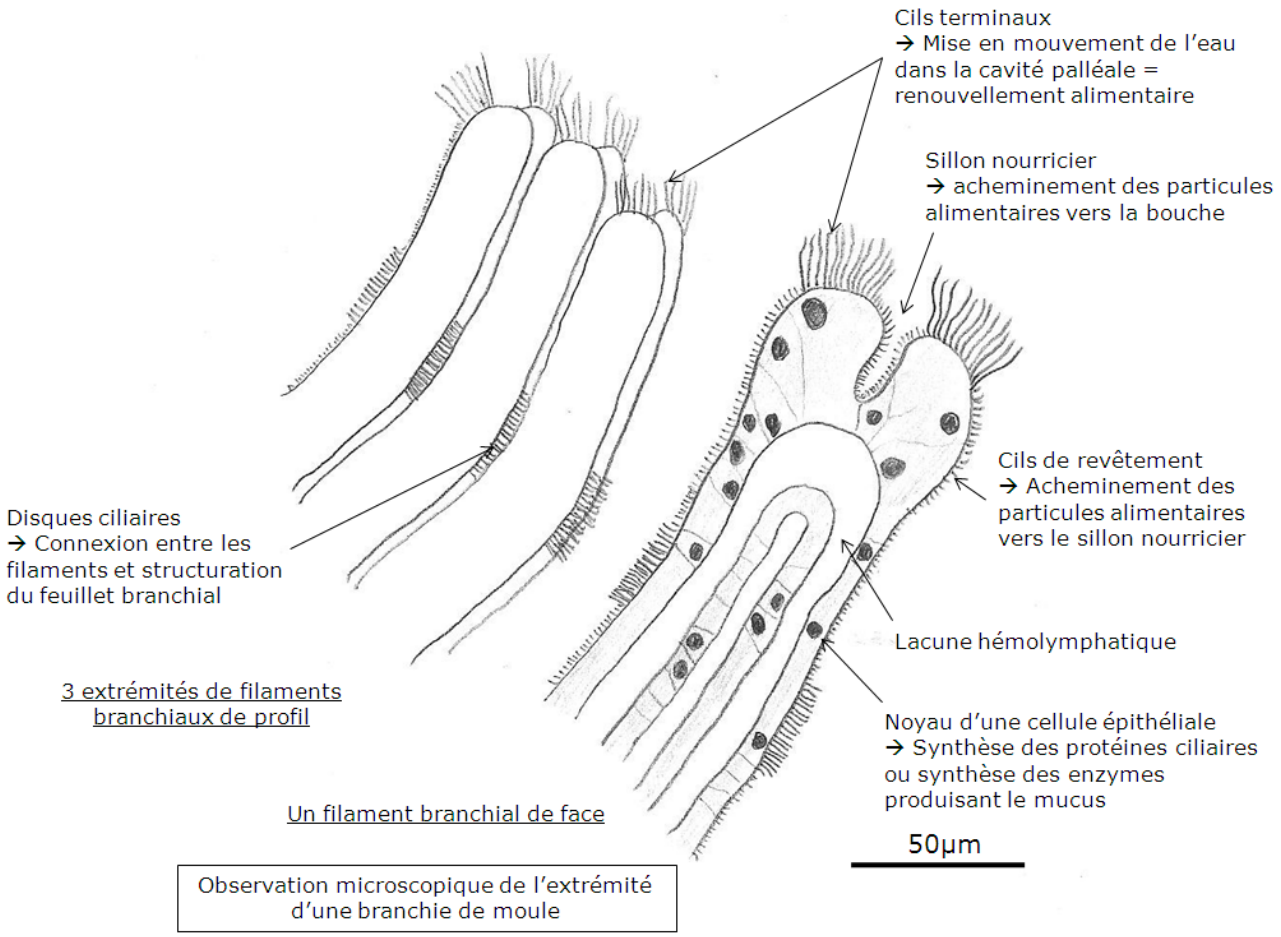
Le saupoudrage de particules de craie colorée de différents diamètres sur une moule vivante ouverte permet de mettre en évidence des mouvements différentiels en fonction de la taille des particules : les grosses particules migrent sur les branchies puis sur les bordures latérales du manteau pour être évacuées vers l'arrière, les moyennes et fines particules migrent sur les branchies pour former un cordon alimentaire à l'extrémité des branchies et être dirigées vers l'avant de l'animal.

III – C : Mettez en évidence les supports organiques de filtration alimentaire chez la moule par un ou plusieurs montages que vous jugerez opportuns.

<u>Vous appellerez un membre du jury</u>, une fois le compte-rendu réalisé, sous la forme de dessins annotés, dans le cadre ci-dessous.

Réponse à la question III – C

Montage de branchie (épaisseur unique – quelques filaments ordonnés (et pas enchevêtrés) – connexions entre filaments successifs – structure d'un filament et sillon nourricier)

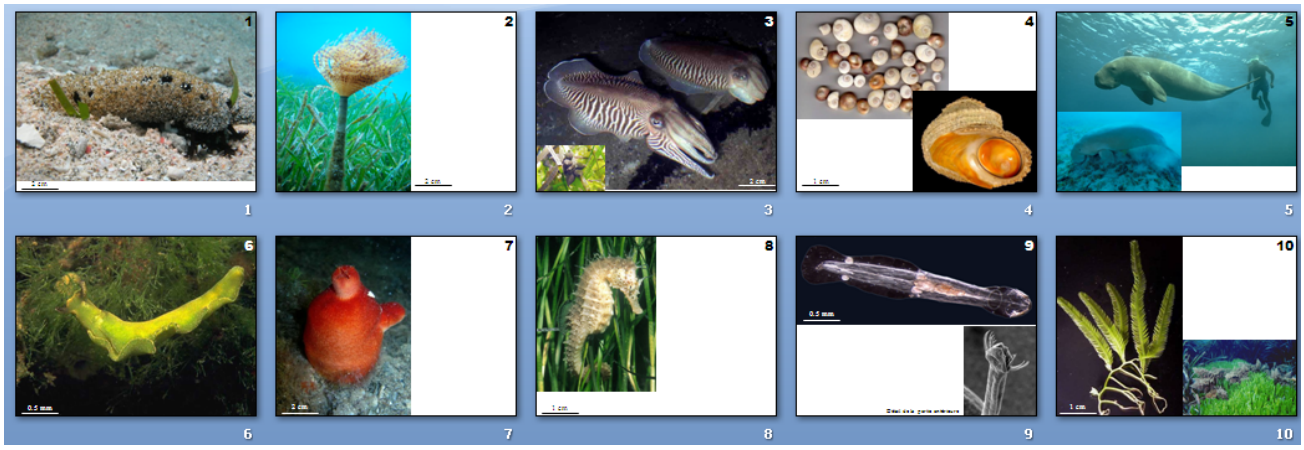


Nom :	Prénom :	salle n° :

PARTIE IV : Un aperçu de la diversité du réseau trophique … et pas forcément en Méditerranée

durée conseillée : 10 minutes – barème : 3 /20

Tableau des reconnaissances photographiques



Remplissez le tableau ci-dessous.

Numéro	Identification	Régime alimentaire
1	Holothurie noire (*Holothuria forskali*) Holothuride Echinoderme	Dépositivore (matière organique sédimentaire)
2	Spirographe (*Spirographis spallanzani* = *Sabella spallanzani*) Annélide Polychète Sabellidés	Suspensivore (bactéries, matière organique dissoute)
3	Sèche (*Sepia officinalis*) Mollusque Céphalopode décapode	Carnivore (crustacés)
4	Coquille et opercule (œil de Sainte Lucie) du turbo rugueux (*Bolma rugosa* = *Turbo rugosa*) Gastéropode Prosobranche	Herbivore (base d'herbier) et épiphytes des bases de frondes de posidonies
5	Dugong (*Dugong dugong*) Mammifère sirénien	Herbivore : posidonie et autres monocotylédones marines.
6	*Elysia viridis* Mollusque gastéropode opisthobranche	Herbivore (algues vertes)
7	Ascidie rouge (*Halocynthia papillosa*) Urochordé ascidiacée	Suspensivore (bactéries, matière organique particulaire et dissoute)
8	Hippocampe (*Hippocampus ramulosus*) Téléostéen Syngnathidae	Planctonophage (copépodes et autres petits crustacés)
9	Chaetognathe (*Sagitta setosa*)	Prédateur planctonophage benthique dans l'herbier
10	*Caulerpa taxifolia* (algue verte)	Autotrophe et compétitrice de la posidonie

Nom :	Prénom :	salle n° :

AGREGATION DE SV-STU : TP secteur b

Cette épreuve de TP de contre-option était dévolue à l'étude du cycle de la matière depuis sa production par les herbiers à posidonies jusqu'à sa dégradation et son transfert à la fois dans les chaînes trophiques continentales et marines.

Le TP comportait deux parties nécessitant des manipulations (chacune sur 7 points), une partie théorique (sur 3 points) et les reconnaissances (sur 3 points). Ainsi les candidats pouvaient s'organiser en commençant par exemple par les coupes et coloration, et répondre à la partie théorique entre les manipulations. Trop nombreux sont les candidats qui se sont laissés prendre par le temps et n'ont pas réussi à produire des dessins ou schémas correctement annotés ou bien simplement des dissections de qualité. En conséquence, bien que l'épreuve ne comportait qu'un nombre limité d'exercices, sa moyenne est de 8,16 ± 1,91 [min = 2,87 – max = 13,76].

Partie I (analyse des laisses de mer à posidonies)

La première partie permettait d'analyser une étape du transfert de matière depuis le milieu marin vers le continent par l'étude raisonnée et l'identification d'un rhizome de posidonie et des boules de fibres fragmentées issues des feuilles et des rhizomes de cet organisme. Les échantillons n'étaient pas particulièrement difficiles à analyser mais leur morphologie peu commune et leur état de déshydratation ont découragé beaucoup de candidats qui ont renoncé à dessiner ce qu'ils voyaient. À part quelques conclusions fantaisistes (cônes de gymnospermes, cycas, crustacé cirripède) beaucoup ont réussi à identifier un axe caulinaire de monocotylédone. Certains candidats ont malgré tout cru reconnaître une algue alors même qu'ils mettaient en évidence des racines, des feuilles et de la lignine !

La réalisation de la coupe de rhizome n'a pas posé de problème majeur, certaines coupes étaient mêmes magnifiques, alors que le geste n'était pas spécialement aisé. Malheureusement 19% des candidats n'ont pas tenté l'exercice. Il est aussi dommage que la qualité des observations n'ait pas été à la hauteur du travail technique. Les candidats ayant obtenu les meilleures notes à cette question ne sont pas ceux qui ont réalisé les plus belles coupes mais ceux qui les ont bien observées, même si elles étaient médiocres. La majorité des candidats a confondu les îlots de sclérenchyme, très abondants dans la coupe, avec les faisceaux cribrovasculaires (plus difficilement repérables) mais cela leur a permis de conclure à une tige de monocotylédone (en utilisant les arguments faux du grand nombre de faisceaux et de leur distribution pluricyclique). Très peu de candidats ont repéré les amyloplastes qui permettaient de conclure à la fonction de réserve du parenchyme cortical et donc à la pérennance de l'organe. De même l'aérenchyme qui permettait de conclure à un organe souterrain ou sub-aquatique a rarement été identifié. Ces tissus étaient pourtant repérables sur la majorité des coupes ce qui montre la faiblesse des capacités d'observations des candidats sur leur propre travail technique.

Ces faibles capacités d'observation conduisent à des dessins d'une qualité très médiocre. Le trait est souvent grossier et l'adéquation avec l'observation la plupart du temps hasardeuse. Les figurés conventionnels utilisés en anatomie végétale ne sont pas connus de la majorité des candidats. Certains d'entre eux ont même dessiné une coupe de tige de dicotylédone, en inventant la présence de tissus (cambium, bois, liber) totalement absents des coupes. Représenter ses propres observations de manière la plus fidèle possible permettait d'obtenir une note correcte même si l'interprétation restait sommaire.

Le montage de dilacération ne présentait pas de difficultés techniques particulières et permettait de valoriser les candidats simplement soigneux. Pourtant prés de la moitié des candidats n'ont pas fourni de schéma d'observation sur cette question ! Ceux qui l'ont fait ont facilement identifié les fibres lignifiées et quelques-uns ont établi la correspondance avec les îlots de sclérenchyme de la coupe de rhizome. Quelques conclusions fantaisistes et dépourvues de bon sens ont abouti sans analyse à pelote de réjection de rapaces !

La reconstitution de l'histoire de ces deux échantillons a bien été réussie par les candidats qui avaient simplement étudié les échantillons correctement. Ainsi cette partie de l'épreuve de TP a été de loin la plus discriminante.

Partie II (transfert de la matière dans les écosystèmes)

Cette partie pourtant peu payante en termes de points (3/20) a donné lieu à un surinvestissement de la part de la majorité des candidats. Il est inquiétant de voir de futurs professeurs de SVT délaisser les coupes et dissections au profit d'exercices théoriques.

Les documents sont dans l'ensemble compris mais très mal exploités. Beaucoup ne savent pas analyser avec clarté un graphique et se limitent à une paraphrase fastidieuse à lire, uniquement descriptive, dont ils ne savent pas tirer d'informations précises. Trop souvent une description dépourvue de conclusion ou de synthèse est proposée.

11% des candidats pensent à retranscrire les données sous forme de graphiques à la question II-A-2 et 10% des candidats connaissent la notion de bottom-up.

2% élaborent une conclusion finale réellement correcte et pensent à confronter la figure 3 et la figure 4 pour établir que l'herbier à posidonies permet une meilleure sédimentation non pas à cause d'un taux de sédimentation plus fort (puisqu'il n'y a aucune différence de biomasse recueillie dans les godets situés de 60 à 100 cm du fond sur fond sableux et sur herbier) mais à cause d'un amoindrissement du courant qui limite la remise en suspension des particules. Plusieurs candidats ont pensé que l'échelle verticale sur sable (à gauche) et sur herbier de Posidonie (à droite) étaient différentes et déploraient que les deux figures n'étaient pas comparables !

Quelques candidats ont toutefois fait preuve d'une certaine pertinence et d'une jolie finesse de réflexion.

Partie III (La moule et son alimentation)

Cette partie était considérée comme classique et aurait du permettre de récupérer des points comme les manipulations techniques étaient simples. Force est de constater que l'ouverture d'une moule (fraichement ébouillantée), alors que c'est un des modèles animaux du programme général de l'agrégation, n'est pas un geste technique considéré comme simple par la majorité des candidats. Près de 20% des candidats n'ont pas du tout touché à l'animal ce qui est préoccupant à ce niveau d'étude et au vu de la fonction auxquelles les candidats se présentent.

Les moules ont été pour la plupart déchiquetées, le manteau et la boutonnière ont été très souvent endommagés. La présentation de la dissection de la cavité palléale a été catastrophique. La moitié des candidats A et seulement 20% des candidats C ont présenté leur dissection sous l'eau. Les lampes, quant à elles, n'ont été que très rarement utilisées. Le jury a été littéralement consterné d'observer des moules, à peine étalées sur du papier bristol, à sec. Il est inquiétant qu'à ce niveau de connaissance et de pratique universitaire, la discrimination des candidats ait été effectuée sur la capacité à mettre de l'eau dans une cuvette par rapport à ceux qui ne l'ont pas fait. Trop peu de présentations (moins de 5) ont été réalisées avec de petites étiquettes bristol épinglées sur les organes de la moule impliqués dans la fonction alimentaire. Le libellé de la question imposait explicitement cette mise en évidence dans la cuvette à dissection grâce à ces étiquettes disposées sur les différentes structures ou grâce à l'introduction d'une pince dans l'orifice buccal ou dans la boutonnière pour en en matérialiser l'existence. La faible qualité technique des dissections de moules, a conduit à des restitutions de mauvaise qualité, les candidats n'ayant pas compensé par une meilleure qualité d'observation. L'orientation (la tête en bas, ou sur le côté comme la photographie l'illustrait) de la moule n'a pas toujours été respectée. Cet exercice facile a donné lieu tout de même à quelques excellentes dissections et copies.

Le montage de filaments branchiaux n'a été réalisé que par 25% de candidats. La discrimination là encore n'a donc pas été faite sur la qualité des montages mais bien sur le fait d'avoir tenté de les réaliser. Certaines préparations étaient d'excellente qualité et permettaient d'observer toutes les structures ciliaires impliquées ainsi que le sillon nourricier à l'extrémité des filaments branchiaux. Les comptes rendus des montages de branchies ont été encore une fois très inégaux en fonction de la précision de l'observation.

En ce qui concerne l'exploitation des documents, l'immense majorité des candidats n'a pas vu que les signatures isotopiques des différents producteurs primaires étaient distinctes (non chevauchantes). Ceci donné lieu à des considérations très vagues, sur les écosystèmes en général alors que le jury attendait des candidats qu'ils dégagent les caractéristiques de cet écosystème particulier avec quatre groupes de producteurs primaires nettement ségrégés. Si la question 2 a été globalement mieux traitée, les candidats indiquaient rarement que la contribution des posidonies à la MOS était due à la dégradation de leurs rhizomes, feuilles et racines.

Finalement, cette partie qui pouvait être considérée comme fort classique s'est avérée très sélective mettant en avant des compétences très différentes de la part des candidats.

Partie IV (Une aperçu du réseau trophique)

Les reconnaissances ont été plutôt bien réussies dans l'ensemble (notamment par les géologues) malgré quelques identifications fantaisistes (anémone de mer pour ascidie, fougère pour la caulerpe). Cet exercice classique est destiné à évaluer la culture naturaliste des candidats et non leur capacité à apprendre par cœur une classification phylogénétique, il est donc inutile de préciser la totalité de l'ascendance phylogénétique de l'espèce à identifier (métazoaire, bilatérien, amniote, mammifère pour dire dugong).

Nom :	Prénom :	salle n° :

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2009

TRAVAUX PRATIQUES DE SPECIALITÉ DU SECTEUR C

Durée totale : 6 heures

Géodynamique de la Méditerranée occidentale

Les travaux proposés dans le cadre de cette épreuve pratique sont consacrés à la géologie de la Méditerranée occidentale et de ses marges. Les différentes parties peuvent être traitées de manière indépendante, mais doivent être mises en relation.

Vous devez répondre directement sur les feuilles, dans les espaces prévus à cet effet, et rendre la totalité des pages numérotées dans le livret ainsi que le calque et le papier millimétré.

L'épreuve se compose de 5 parties distinctes :

- **Partie I :** Cadre tectonique et cinématique de la Méditerranée occidentale — page 2
  questions 1 à 5 – barème : 15 /100 – durée conseillée : 60 minutes.
- **Partie II :** Le Bassin Ligure, la Corse et la Provence — page 7
  questions 6 à 15 – barème : 25 /100 – durée conseillée : 90 minutes, dont 20 minutes de durée maximale d'observation.
- **Partie III :** Le magmatisme — page 19
  questions 16 à 19 – barème : 25 /100 – durée conseillée : 90 minutes, dont 20 minutes de durée maximale d'observation.
- **Partie IV :** L'épisode messinien — page 26
  questions 20 à 24 – barème : 20 /100 – durée conseillée : 75 minutes.
- **Partie V :** Le modèle d'évolution — page 31
  questions 25 à 27 – barème : 15 /100 – durée conseillée : 45 minutes.

AVANT DE RENDRE VOTRE DOSSIER, VÉRIFIEZ QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOS NOM, PRÉNOM ET NUMÉRO DE SALLE EN TÊTE DE CHACUNE DES FEUILLES.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Partie I : Cadre tectonique et cinématique de la Méditerranée occidentale

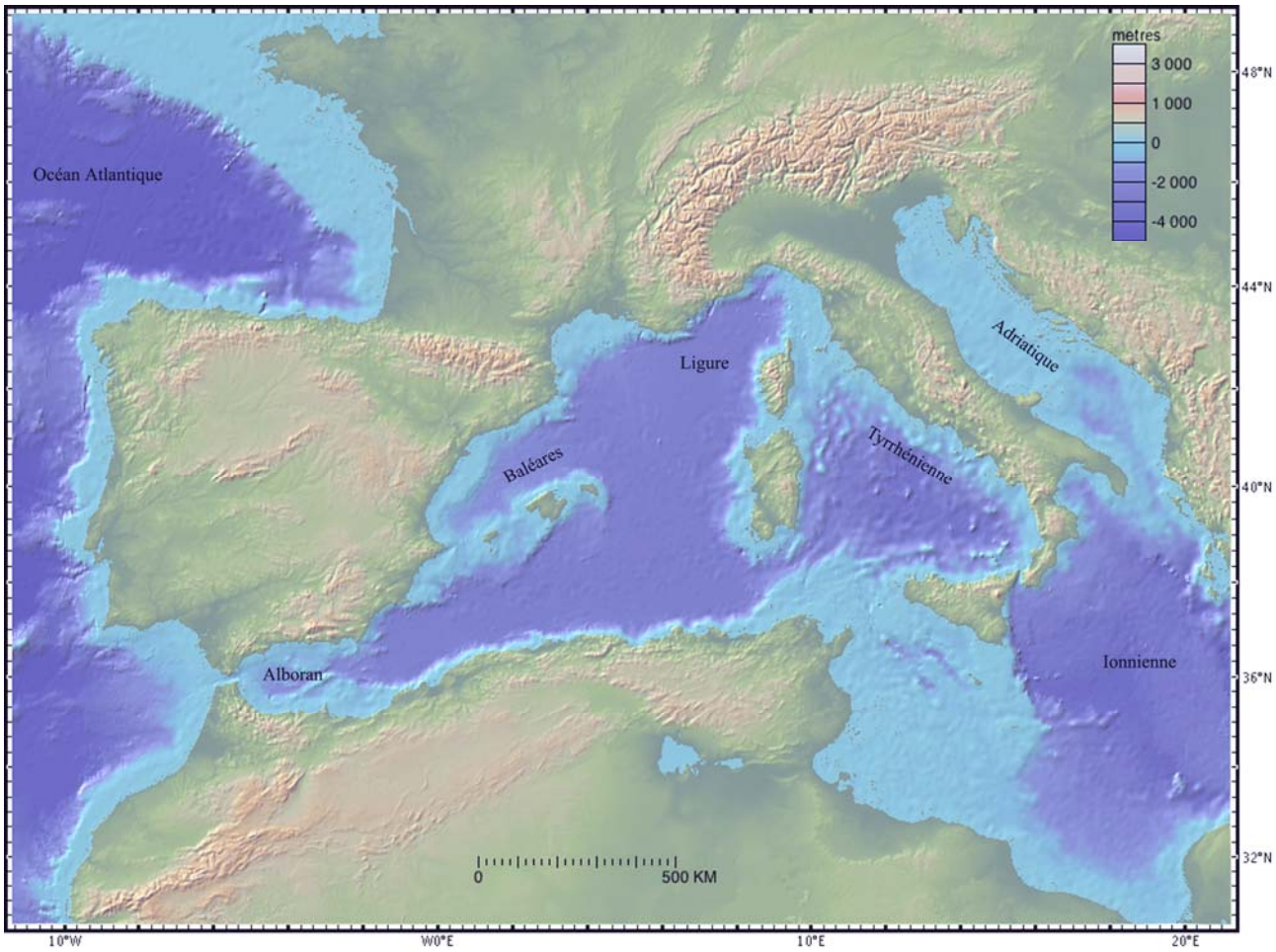


Figure 1 : Topographie et bathymétrie de la Méditerranée occidentale et de son pourtour (source Geomap)

<u>Question 1</u> : Dégagez les principales caractéristiques du Bassin Ligure et du Bassin Tyrrhénien à partir de la figure 1. Expliquez la différence d'apparence du fond marin entre ces deux bassins.

Réponse à la question 1

La Méditerranée occidentale est constituée de deux bassins principaux : Liguro-Provençal et Tyrrhénien. Ces bassins sont entourés de chaînes de montagnes : Pyrénées, Alpes, Apennins au Nord et Bétiques et Maghrébides au Sud. Ces deux bassins, séparés par la Corse et la Sardaigne, ont une profondeur comprise entre 2000 et 3000 m et le bassin Liguro-Provençal est en moyenne plus profond.

Dans le bassin Ligure, le fond marin a un aspect lisse du fait de la forte épaisseur de la sédimentation qui masque les reliefs alors qu'il présente de nombreuses aspérités dans le bassin Tyrrhénien. Cette différence d'apparence ainsi que la différence de profondeur moyenne traduit la différence d'âge entre le bassin Ligure (24 Ma) et le bassin Tyrrhénien (5 Ma).

Nom :	Prénom :	salle n° :

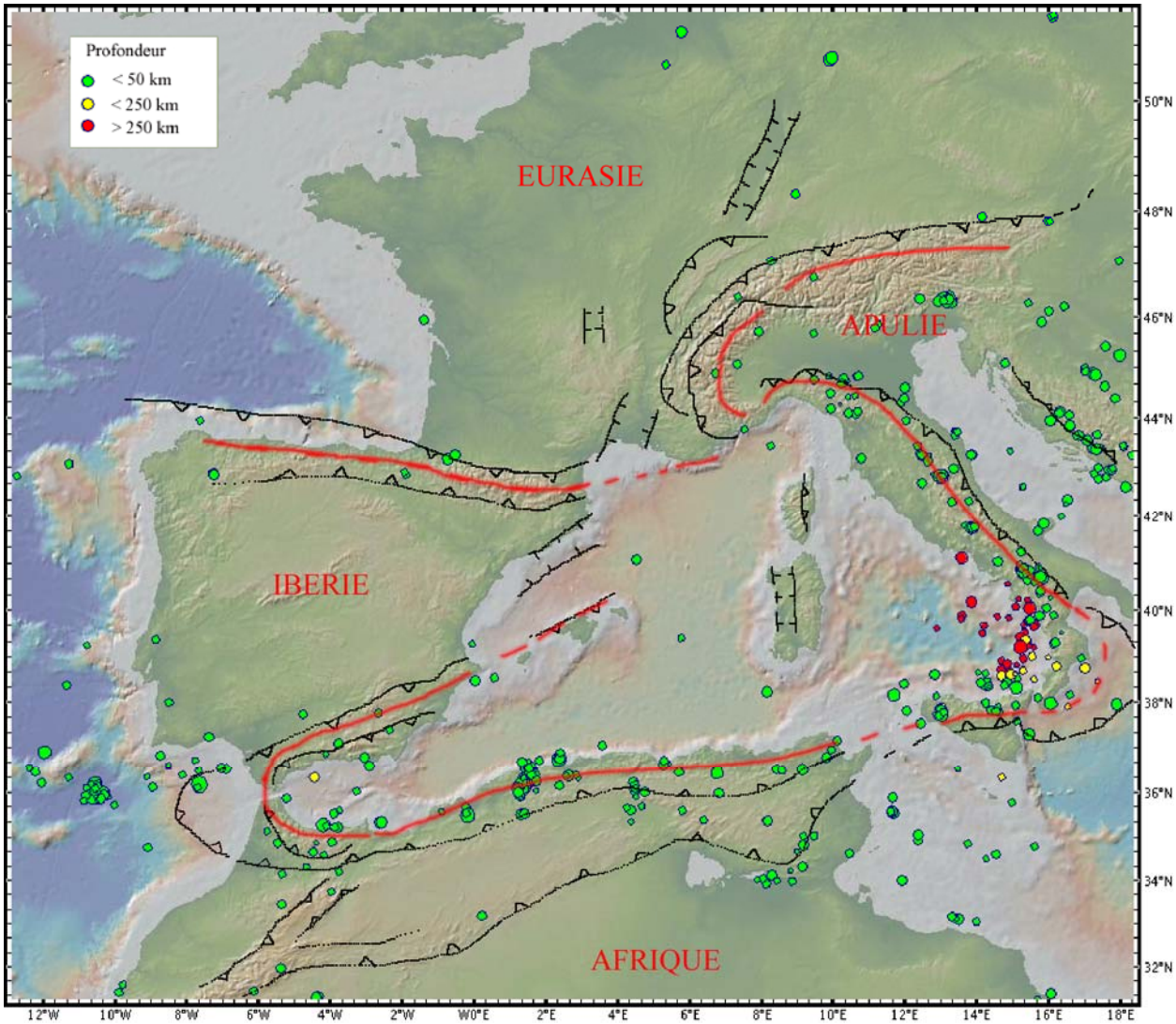


Figure 2 : Carte de répartition des séismes en Europe de l'Ouest et en Méditerranée occidentale
Magnitude comprise entre 3 et 7, séismes enregistrés entre 1964 et 2009 (source Geomap)

<u>Question 2</u> : Commentez la répartition des différents séismes (figure 2). Indiquez sur la figure 2 les principales limites de plaques.

Réponse à la question 2

Les séismes marquent la limite des plaques. Ils sont particulièrement abondants sur la marge Nord-Africaine, dans la partie occidentale (Bétique, Alboran, Rif) et orientale (Apennins, Sicile, Calabre) de la Méditerranée occidentale.

Au niveau de l'arc siculo-calabrais les séismes profonds traduisent la présence d'un plan de Benioff qui souligne une subduction active vers l'Ouest.

La faible sismicité dans le bassin Liguro-Provençal montre que ce domaine n'est pratiquement plus actif aujourd'hui.

Nom :	Prénom :	salle n° :

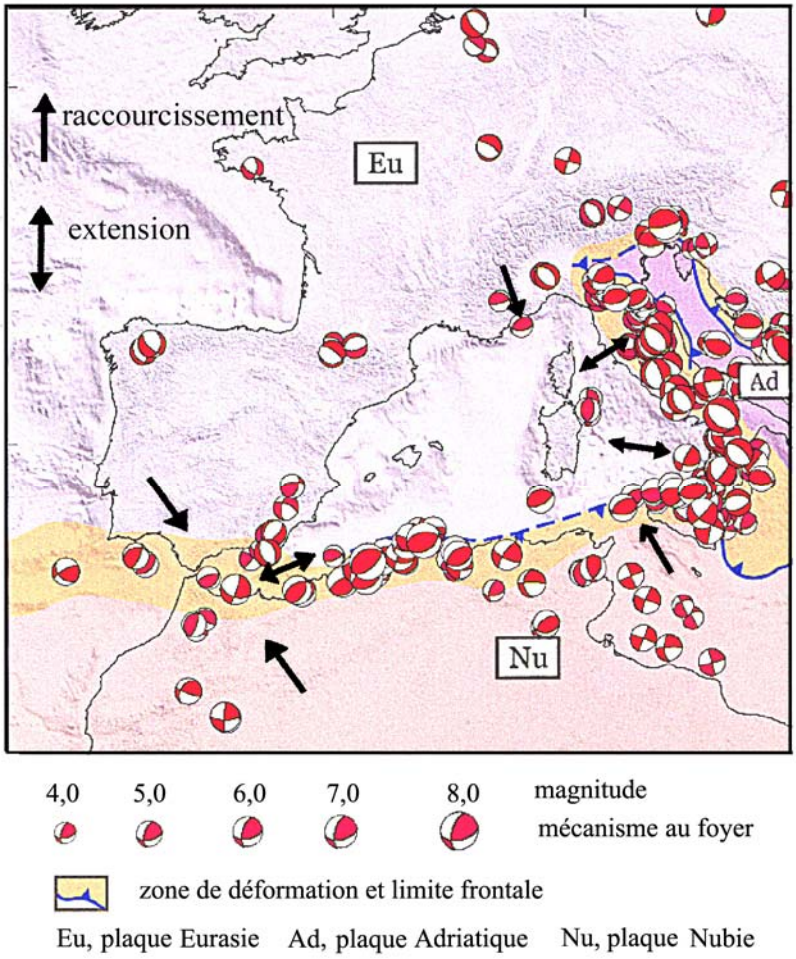


Figure 3 : Carte de répartition des mécanismes au foyer en Europe de l'Ouest et en Méditerranée occidentale (extrait de la carte géodynamique de la Méditerranée – CCGM - 2004)

<u>Question 3</u> : Commentez la répartition des différents mécanismes au foyer (figure 3). Indiquez sur la figure 3 les directions principales de raccourcissement et d'extension.

Réponse à la question 3

La distribution de la sismicité montre la localisation de la déformation active (chaînes, subductions).

Les mécanismes au foyer permettent de préciser la cinématique des zones actives :

- en raccourcissement (Maghrebides, Alpes du sud)

- en extension (Alpes internes, Apennins, Nord Alboran)

Nom :	Prénom :	salle n° :

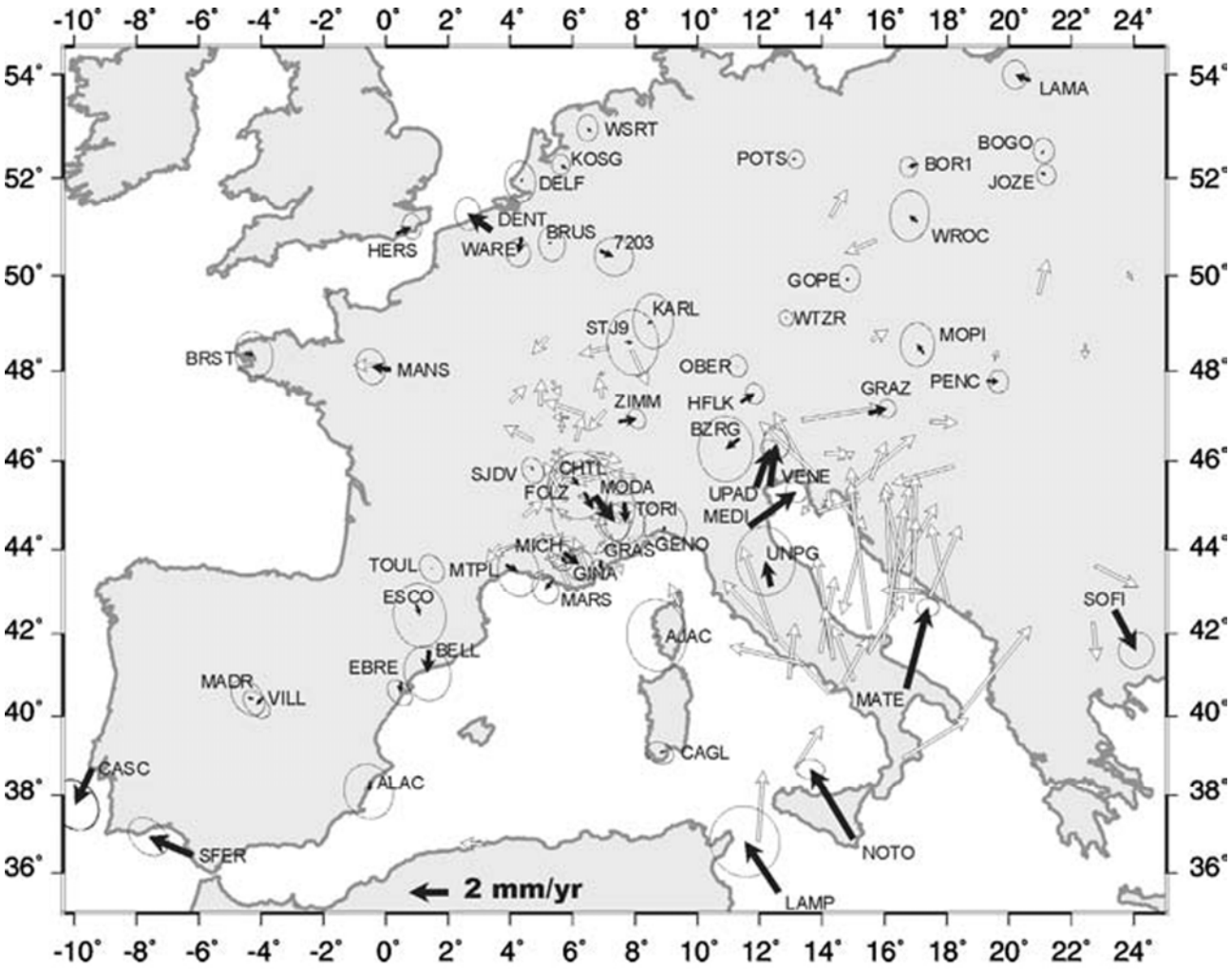


Figure 4 : Carte des champs de vitesse de l'Europe de l'Ouest et de la Méditerranée occidentale (tiré de Nocquet et Calais, 2004)

L'Eurasie est considérée comme stable. Les flèches noires indiquent les vitesses calculées à partir de stations d'enregistrement continu, les flèches blanches à partir de sites de campagne.

<u>Question 4</u> : Discutez les différentes directions et vitesses de déplacement sur la figure 4.

Réponse à la question 4

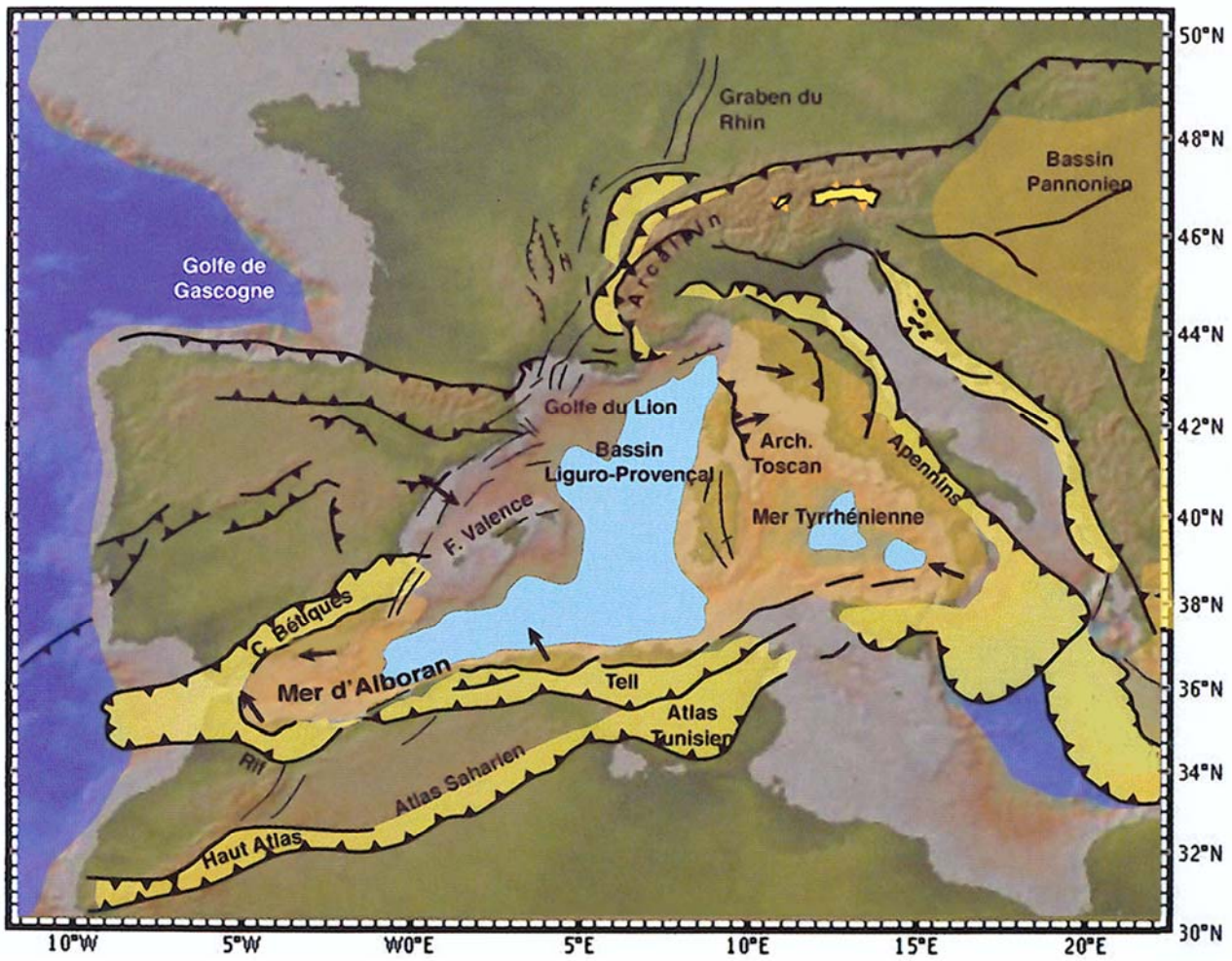
La convergence globalement Nord-Sud entre les plaques Afrique et Eurasie est légèrement oblique. Elle est relativement lente (entre 5 et 10 mm/an) et plus rapide vers l'Est.

La cinématique est assez complexe dans le détail en raison de la géométrie complexe des limites de blocs (arc bético-rifain, arc siculo-calabrais, arc alpin). Le bloc apulien est animé d'un mouvement assez rapide vers le nord, légèrement différent de celui de l'Afrique.

Nom :	Prénom :	salle n° :

<u>Question 5</u> : À partir de la figure 1 et en vous appuyant sur les figures 2, 3, et 4, dessinez, sur le calque fourni, un schéma structural qui présente les grandes structures géologiques (zones de subduction, fronts de chaînes, bassins sédimentaires, etc.) et les principales directions cinématiques de la Méditerranée occidentale. Commentez ce schéma.

Réponse à la question 5



Modifié d'après Jolivet et al. 2008 (Géodynamique méditerranéenne)

La Méditerranée occidentale résulte de la convergence N-S de l'Afrique et de l'Eurasie. Elle est constituée par un ensemble de bassins (Alboran, Liguro-Provençal, Tyrhénien) qui se sont formés en position d'arrière-arc suite à la subduction de la Téthys. Les mouvements actuels sont marqués par un raccourcissement N-S et une extension E-W avec la formation de 2 arcs opposés : l'arc bético-rifain à l'Ouest et l'arc siculo-calabrais à l'Est, associés à des zones de subduction aux géométries courbes.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Partie II : Le Bassin Ligure, la Corse et la Provence

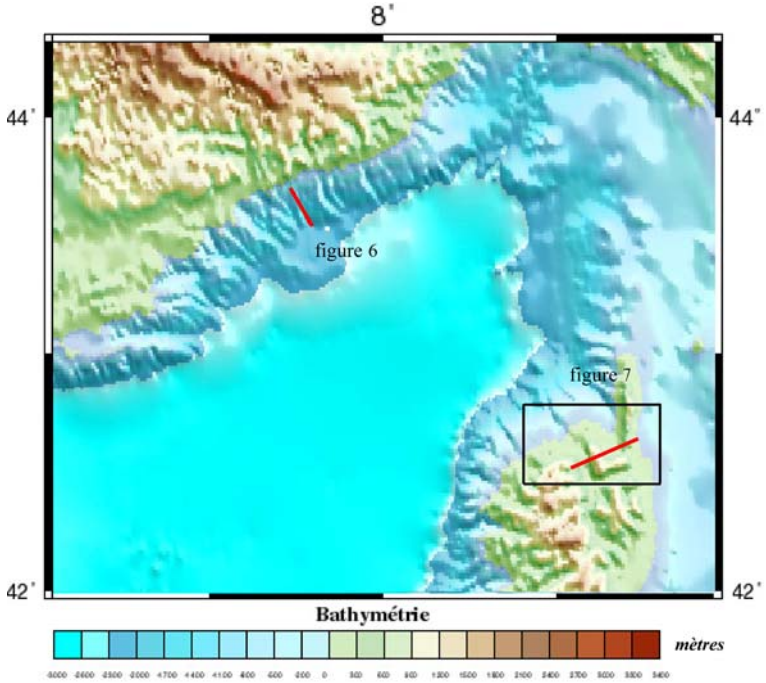


Figure 5 : Carte bathymétrique du Bassin Ligure avec localisation des figures 6 et 7

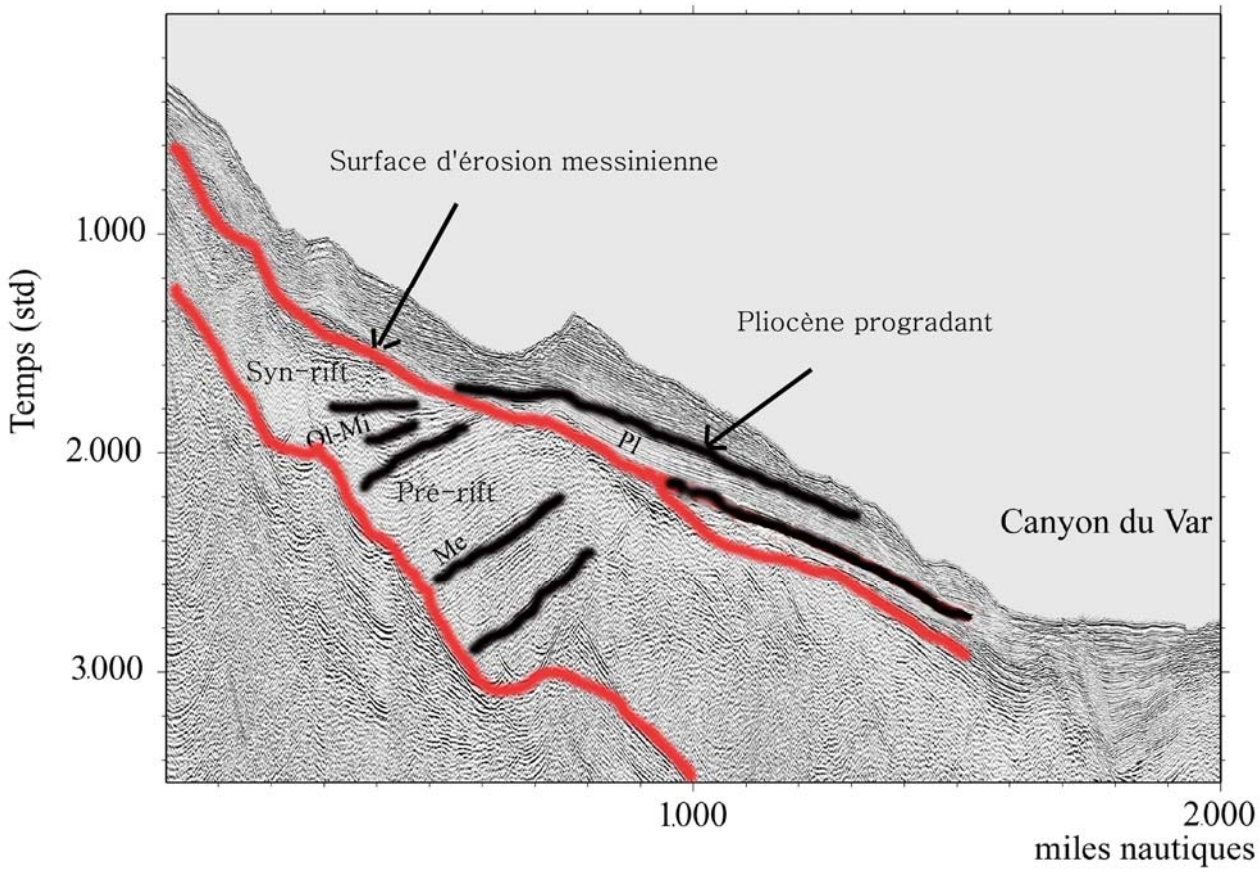


Figure 6 : Profil sismique migré au large de Saint Jean Cap Ferrat (Sage, 2009)
Localisation sur la figure 5

Pl = Pliocène ; Ol-Mi = Oligo-Miocène ; Me = Mésozoïque

Nom :	Prénom :	salle n° :

<u>Question 6</u> : Interprétez le profil sismique directement sur la figure 6. Commentez et dégagez la chronologie des principaux événements qui ont été enregistrés.

Réponse à la question 6

Le profil montre :

- l'extension oligo-miocène de la marge provençale marquée par la formation de blocs basculés (sédiments pré-rift, syn-rif).

- l'événement messinien marqué par une surface d'érosion liée à l'abaissement du niveau de la mer.

- le remplissage pliocène associé à la remise en eau et marqué par une progradation des dépôts.

<u>Question 7 :</u> Réalisez une coupe géologique selon le trait indiqué sur la figure 7a, sur le profil topographique fourni en annexe. Commentez l'extrait de la carte (figure 7a) et la coupe géologique réalisée, en insistant sur l'histoire enregistrée par ce secteur de la Corse au cours du Miocène.

Réponse à la question 7

Le secteur Nord de la Corse traversé par la coupe montre les relations entre les deux grands ensembles : corse varisque et corse alpine.

On y observe principalement :

- le chevauchement de la nappe de Balagne constituée de flysch et d'ophiolites, sur un bassin éocène discordant sur le socle varisque à l'W.

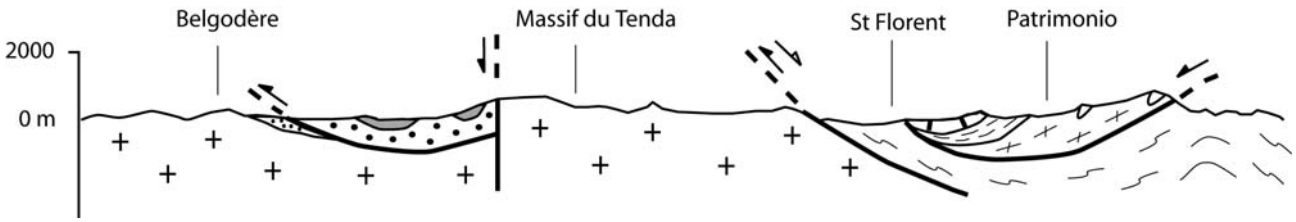
- la nappe est interrompue par une faille normale à regard Est qui la met en contact avec le socle varisque.

- le massif du Tende (Corse varisque) est limité à l'Est par un contact anormal (faille de détachement) qui effondre le domaine alpin pré-structuré en nappes. Ce contact correspond à une inversion du contact chevauchant des nappes.

- le Miocène de St Florent est discordant sur les nappes alpines

- entre St Florent et Bastia, les nappes correspondent à un empilement d'unités de croûte océanique (ophiolites métamorphisées) et de croûte continentale (gneiss).

L'édifice de nappe est replissé (anticlinal du cap Corse)



Nom :	**Prénom :**	**salle n° :**

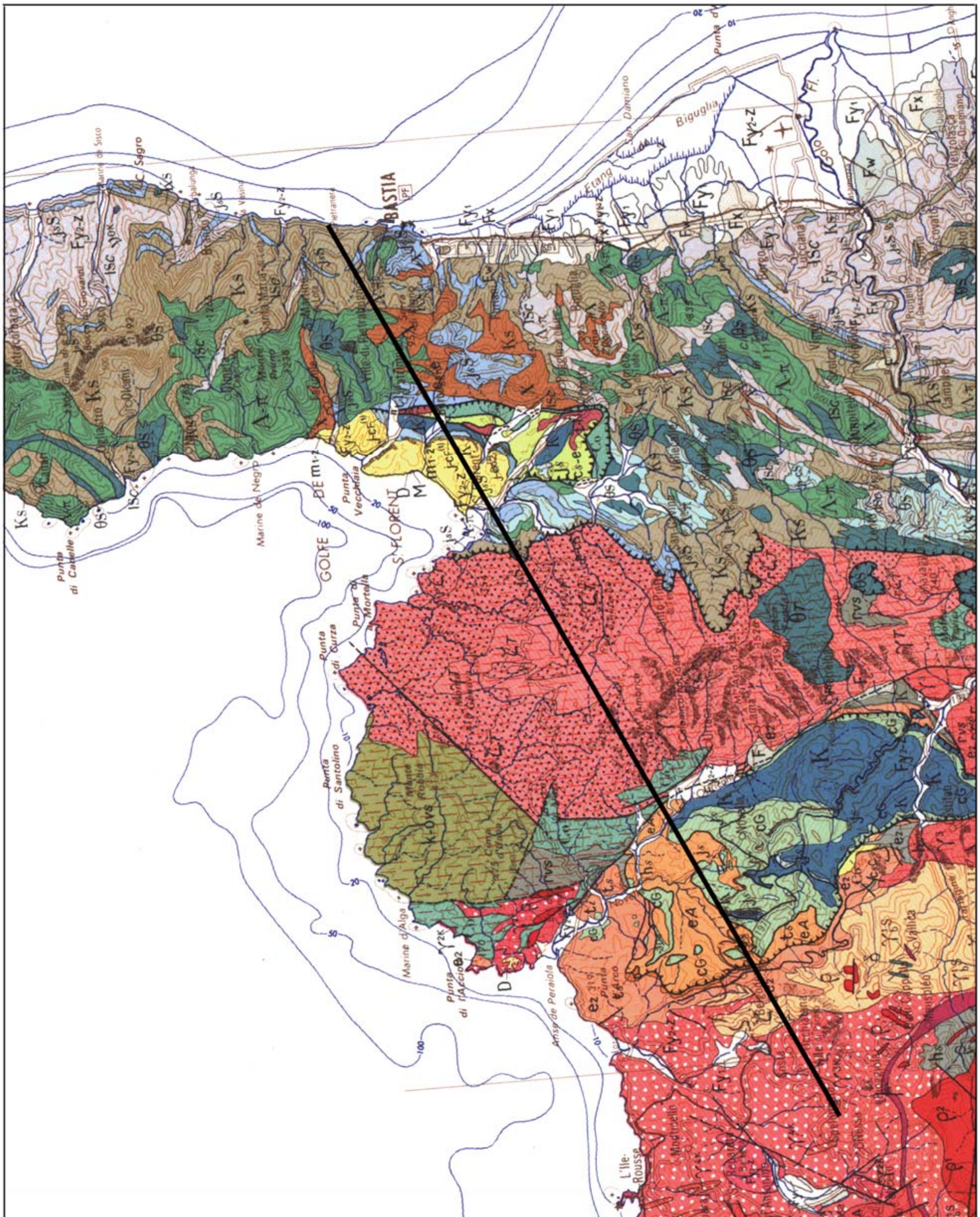


Figure 7a : Extrait de la carte géologique de la Corse au 1/250 000 (éditions du BRGM)

Nom :	Prénom :	salle n° :

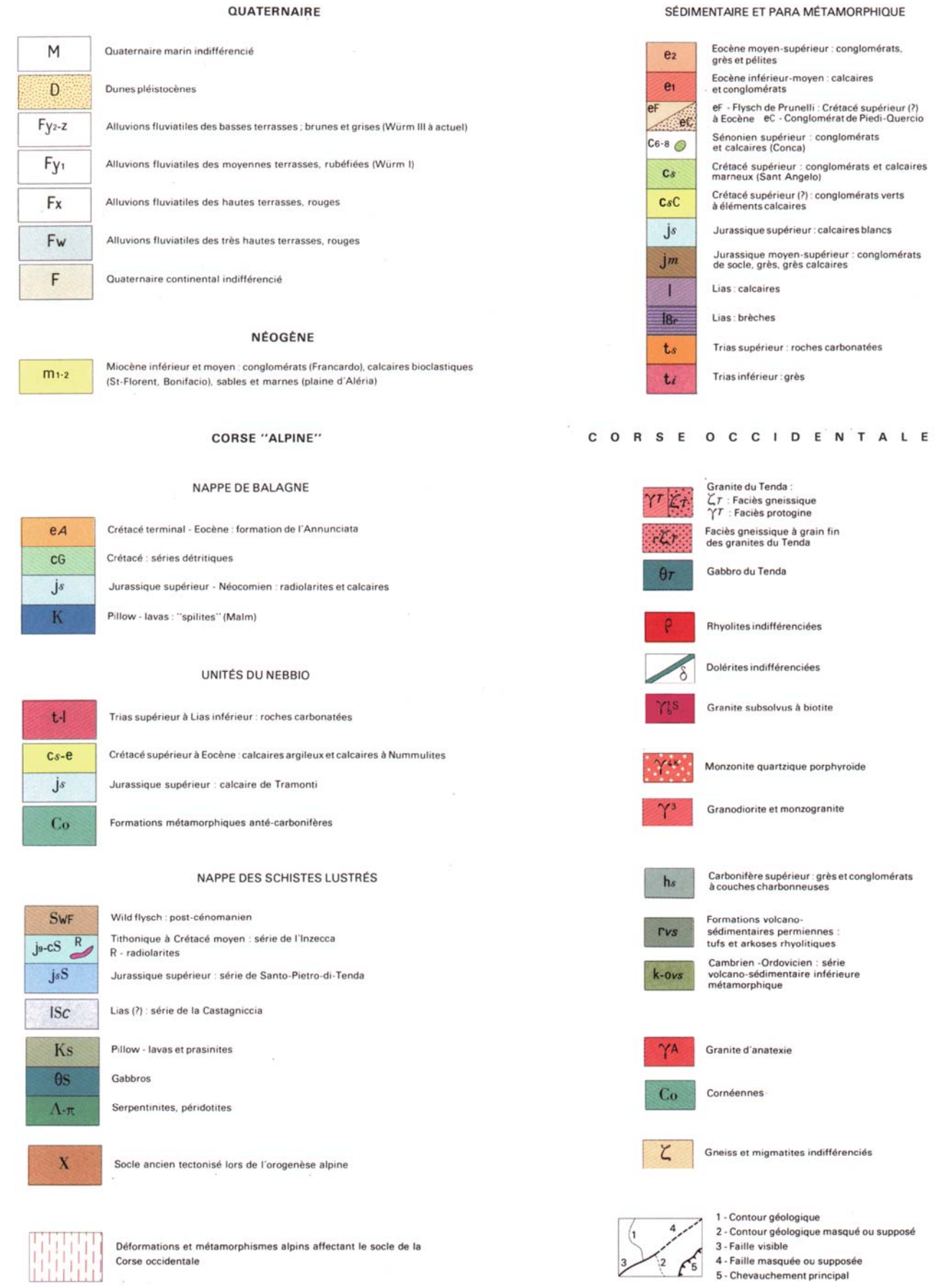


Figure 7b : Légende de la carte géologique de la Corse au 1/250 000 (éditions du BRGM)

Nom :	Prénom :	salle n° :

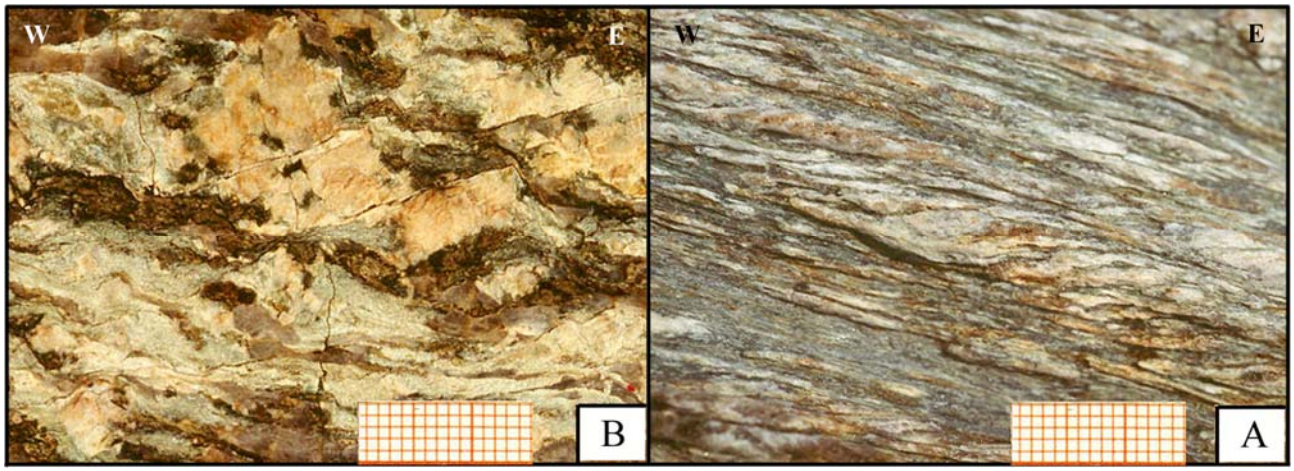


Figure 8 : Photographies des affleurements de roches visibles au niveau du Massif du Tenda (localisation sur le profil topographique).

<u>Question 8</u> : Sachant que les roches A et B (figure 8 et localisation sur le profil topographique fourni) proviennent du même protolithe, expliquez l'évolution de la structure observée entre A et B. Précisez la nature du contact entre la nappe des schistes lustrés et le massif du Tenda situé à l'Ouest de St Florent. Argumentez votre réponse.

Réponse à la question 8

La roche A est un granite qui montre un début de déformation ductile, marqué par l'acquisition d'une foliation et par la recristallisation du quartz de manière asymétrique autour des porphyroclastes de feldspath (proto-mylonite).

La roche B présente une stade beaucoup plus évolué de la déformation ductile avec une diminution de la taille des grains et une asymétrie très prononcée qui indique un mouvement d'effondrement vers l'est du compartiment oriental (nappes des schistes lustrés).

Le contact entre la nappe des schistes lustrés et le massif du Tenda est donc une zone de cisaillement ductile normale (détachement).

Nom :	Prénom :	salle n° :

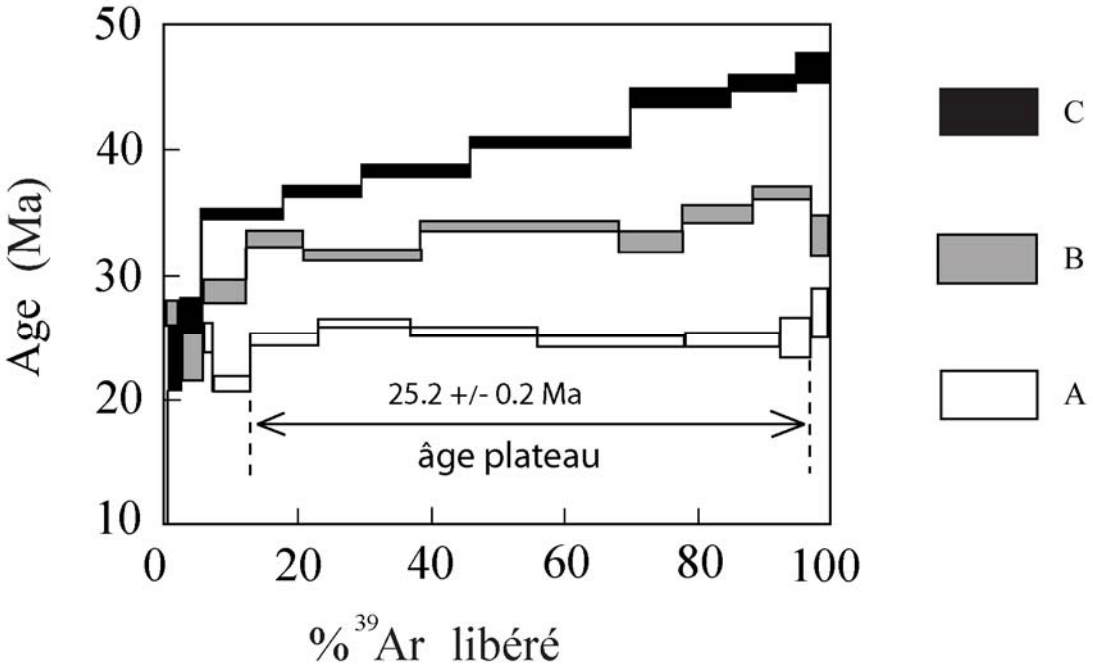


Figure 9 : Spectres d'âges $^{39}Ar/^{40}Ar$ (tiré de Brunet, 2000)

<u>Question 9</u> : Discutez l'allure des spectres d'âge $^{39}Ar/^{40}Ar$ (figure 9) obtenus au niveau du contact entre la nappe des schistes lustrés et le massif du Tenda à l'Ouest de St Florent (figure 7a).

Les échantillons ont été récoltés dans le socle du massif du Tenda, le long d'une coupe perpendiculaire au contact avec les schistes lustrés : A près du contact, B dans une position intermédiaire et C au cœur du massif.

Réponse à la question 9

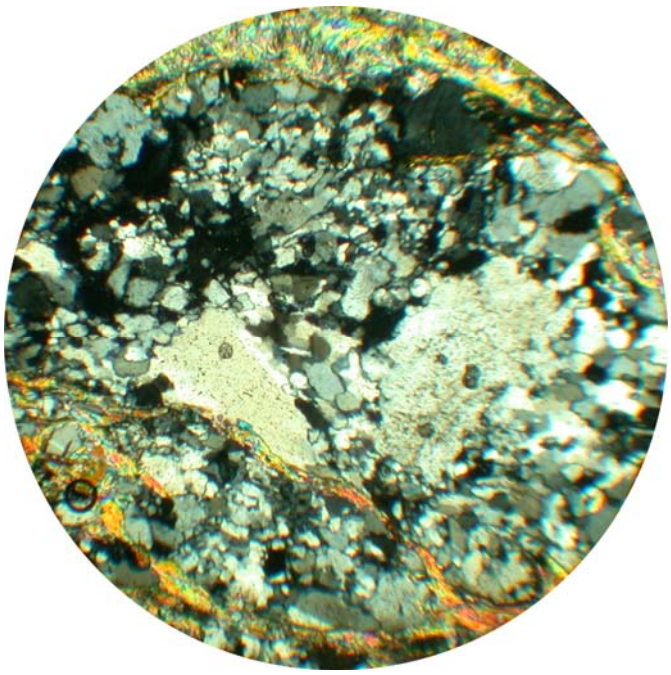
Les spectres d'âges (B et C) montrent une perturbation des étapes de basse température qui traduit une réouverture du système isotopique lié à un événement correspondant au spectre (A) avec l'âge plateau à 25.2 Ma.

L'ouverture de plus en plus marquée des spectres des échantillons en se rapprochant du contact entre le massif du Tende et la nappe des schistes lustrés souligne la relation entre cet événement et le jeu extensif de la zone de cisaillement ductile.

Nom :	Prénom :	salle n° :

<u>Question 10</u> : Observez la lame mince de roche (lame A), correspondant à la roche de l'affleurement A (figure 8). Faites un dessin d'observation et commentez-le. Pouvez-vous préciser les conditions dans lesquelles s'est formée cette roche ? Quel nom donneriez-vous à cette roche ?

Réponse à la question 10



La recristallisation dynamique du quartz et la cristallisation de micas blancs (phengites) traduisent des conditions de basse température. Cette roche est marquée par une déformation ductile cisaillante avec une diminution de la taille des minéraux. Il s'agit d'une mylonite de granite.

Nom :	Prénom :	salle n° :

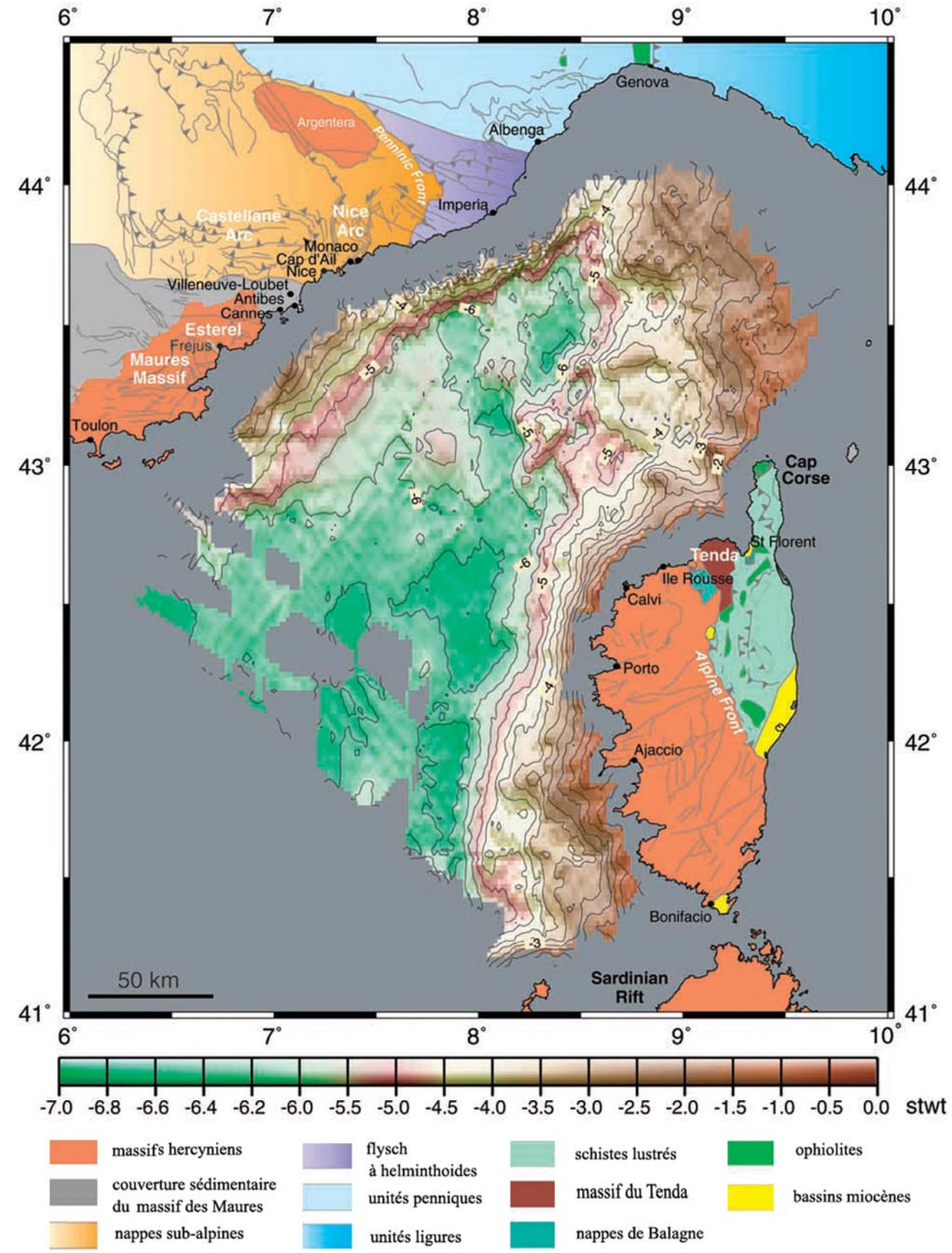


Figure 10 : Carte du toit du socle dans le Bassin Ligure, et des ensembles géologiques observés à Terre (tiré de Rollet et al., 2002)

Les unités sont en seconde temps double (stwt)

Nom :	Prénom :	salle n° :

<u>Question 11</u> : Commentez le document 10.

Réponse à la question 11

Les bordures émergées du bassin Ligure entre la Corse et la Provence sont constituées de croûte continentale de nature hétérogène (socle paléozoïque, couverture méso-cénozoïque, unités alpines allochtones, etc.). Les marges continentales sont très étroites avec des pentes très raides. Elles sont symétriques et ne comportent pas de plateau continental.

Le centre du bassin est caractérisé par un domaine effondré à faible relief dans lequel on n'observe pas de ride axiale. On considère que la croûte au centre du bassin est de nature océanique.

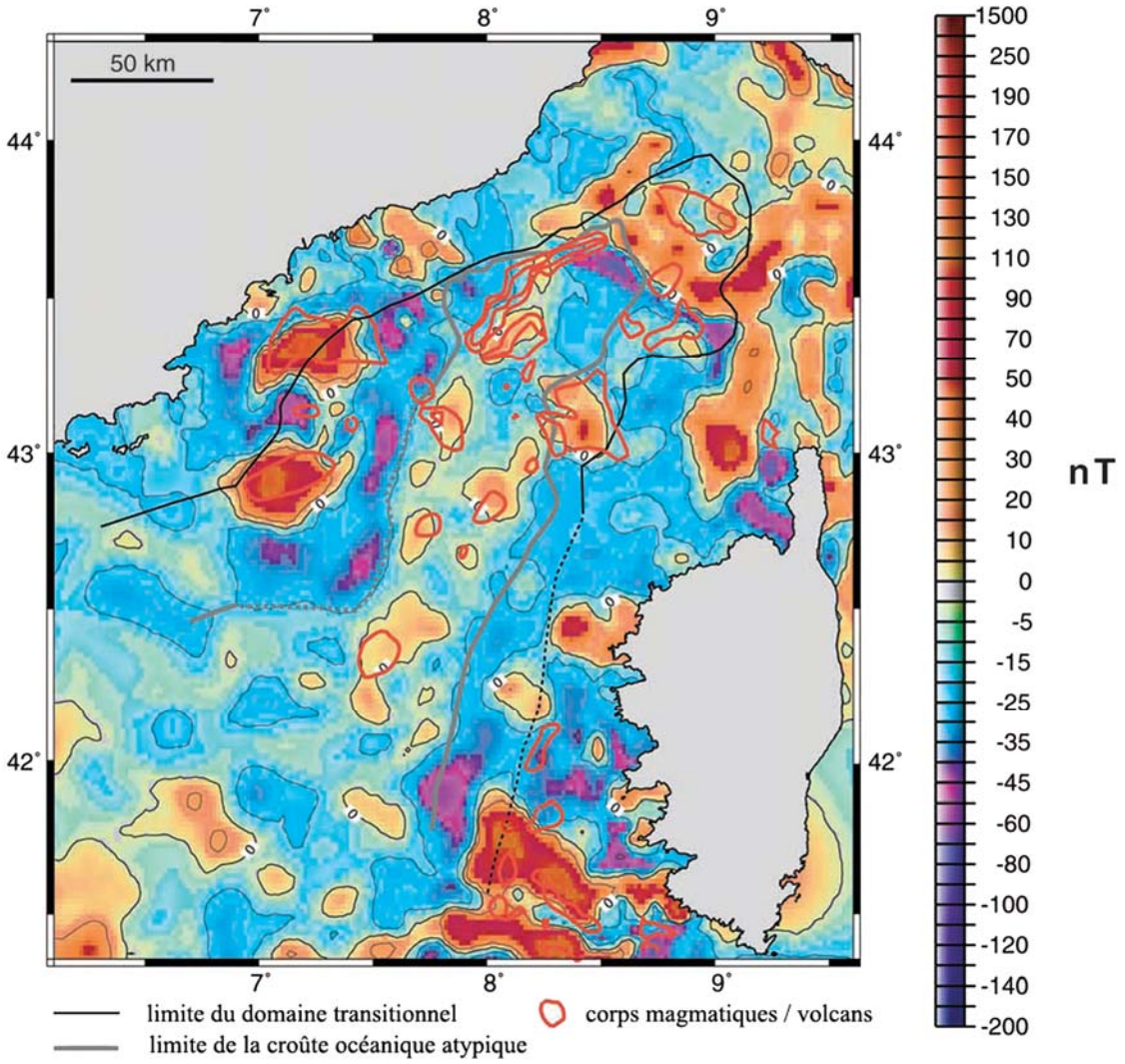


Figure 11 : Carte des anomalies magnétiques et des édifices volcaniques dans le Bassin Ligure (tiré de Rollet et al., 2002)
Les unités sont en nanoteslas (nT)

Nom :	Prénom :	salle n° :

<u>Question 12</u> : Discutez la répartition des anomalies magnétiques (figure 11). Quelle est l'origine du paléomagnétisme enregistré ?

Réponse à la question 12

Les anomalies magnétiques sont réparties de manière symétrique par rapport à l'axe du bassin Ligure. Leur répartition n'est pas linéaire, mais irrégulière et discontinue. Elles correspondent à des anomalies ponctuelles, qui sont interprétées comme des zones de volcanisme.

Le paléomagnétisme est enregistré par les roches volcaniques.

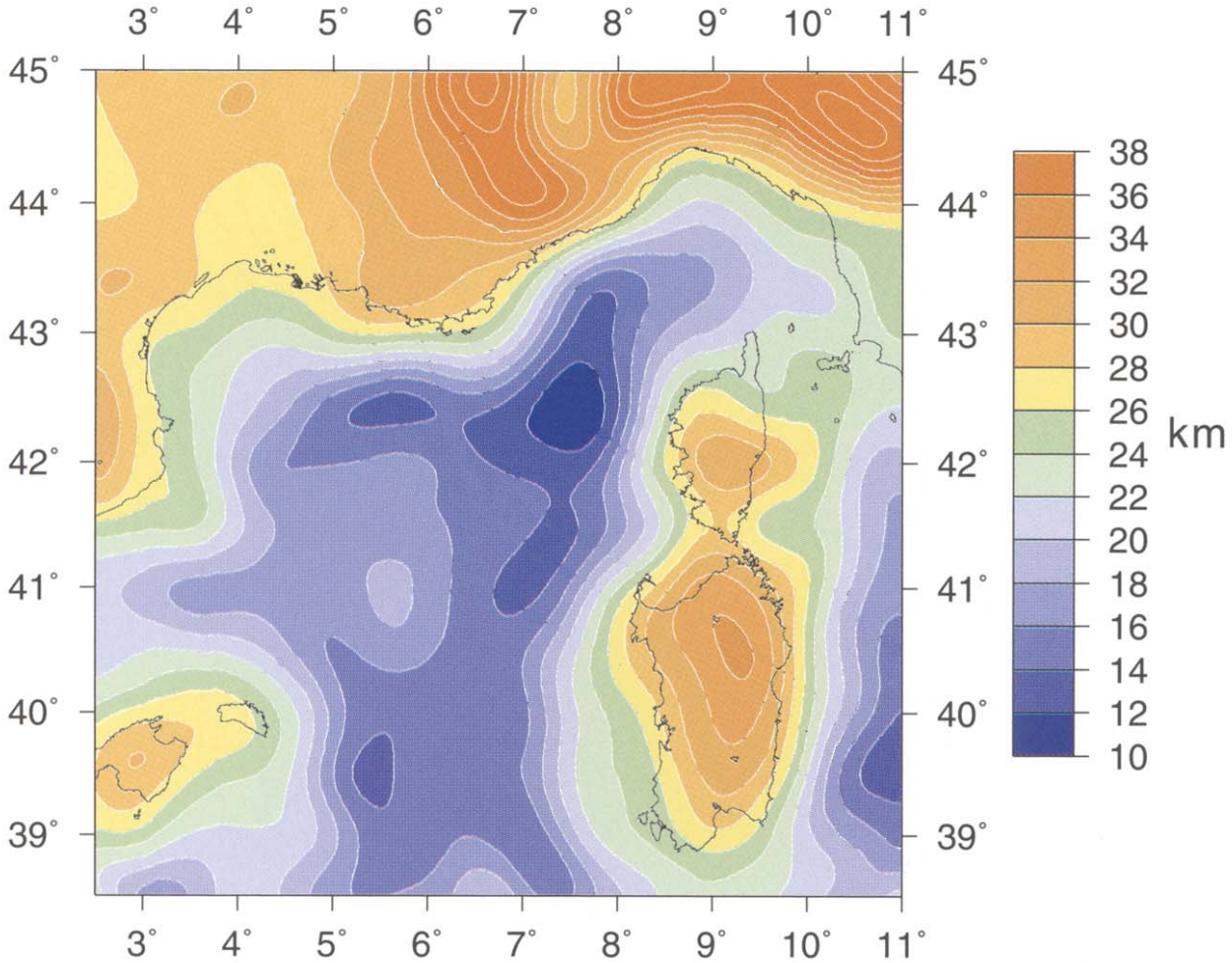


Figure 12 : Profondeur estimée du Moho (tiré de Chamot-Rooke, 1999)

Modèle obtenu par inversion gravimétrique 3D (la profondeur du Moho est indiquée par intervalles de 2 km).

<u>Question 13</u> : Commentez la figure 12.

Réponse à la question 13

La remontée du Moho au centre du bassin Ligure traduit un amincissement de la croûte continentale et son passage à une croûte océanique.

Nom :	Prénom :	salle n° :

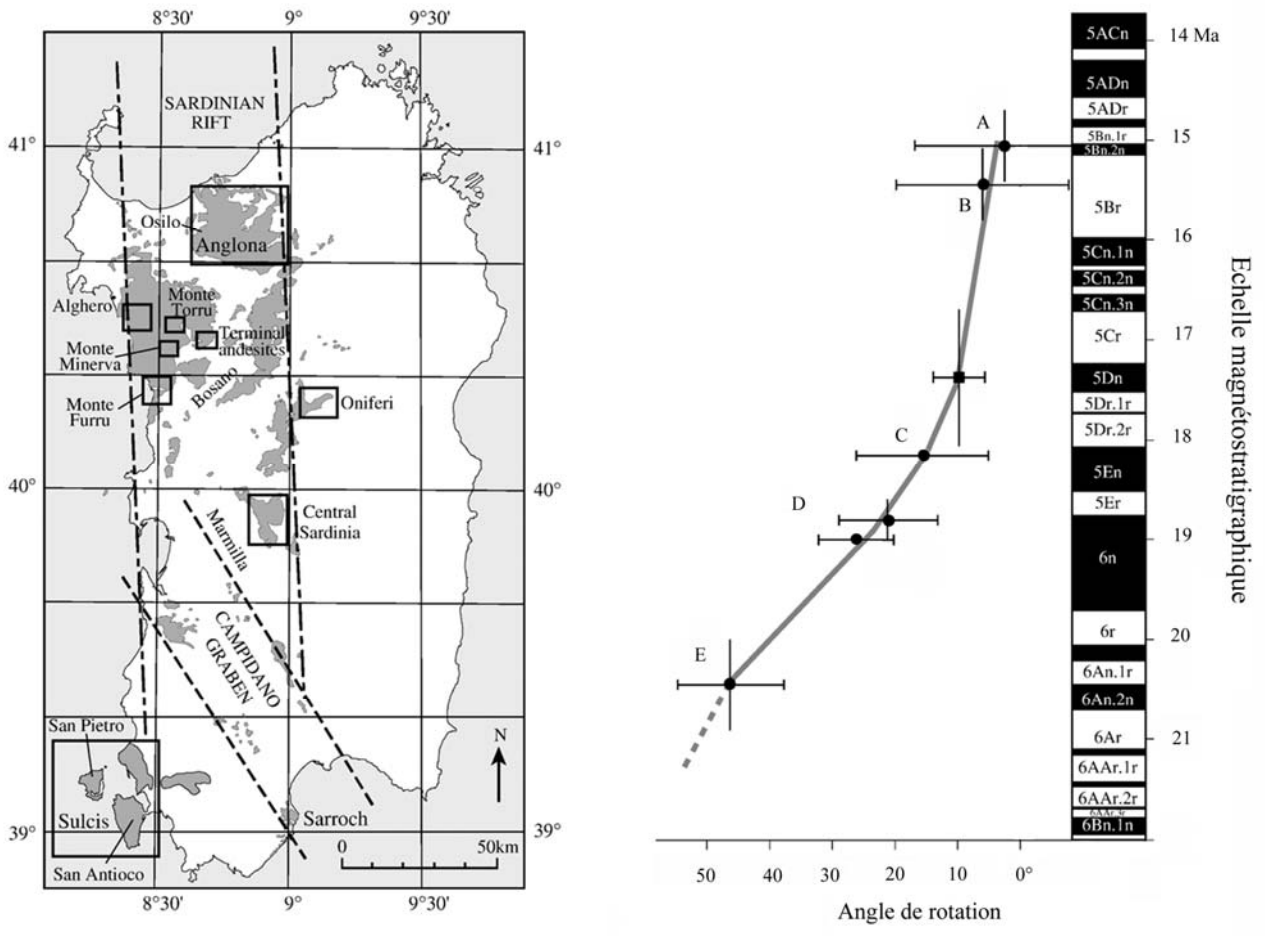


Figure 13 : La rotation de la Sardaigne par rapport à l'Eurasie considérée comme stable (tiré de Gattacceca, 2007).

Les cercles représentent les résultats obtenus sur des roches volcaniques, les carrés ceux obtenus sur les sédiments de la région de Marmilla. La barre d'erreur verticale correspond à l'intervalle de temps de mise en place des ensembles volcaniques et sédimentaires.

A : Andésites terminales ; B : Sulcis ; C : Monte Furru ; D : Monte Minerva/Monte Torru/Osilo ;
E : Sardaigne centrale/Alghero/Oniferi

<u>Question 14</u> : Commentez le document 13.

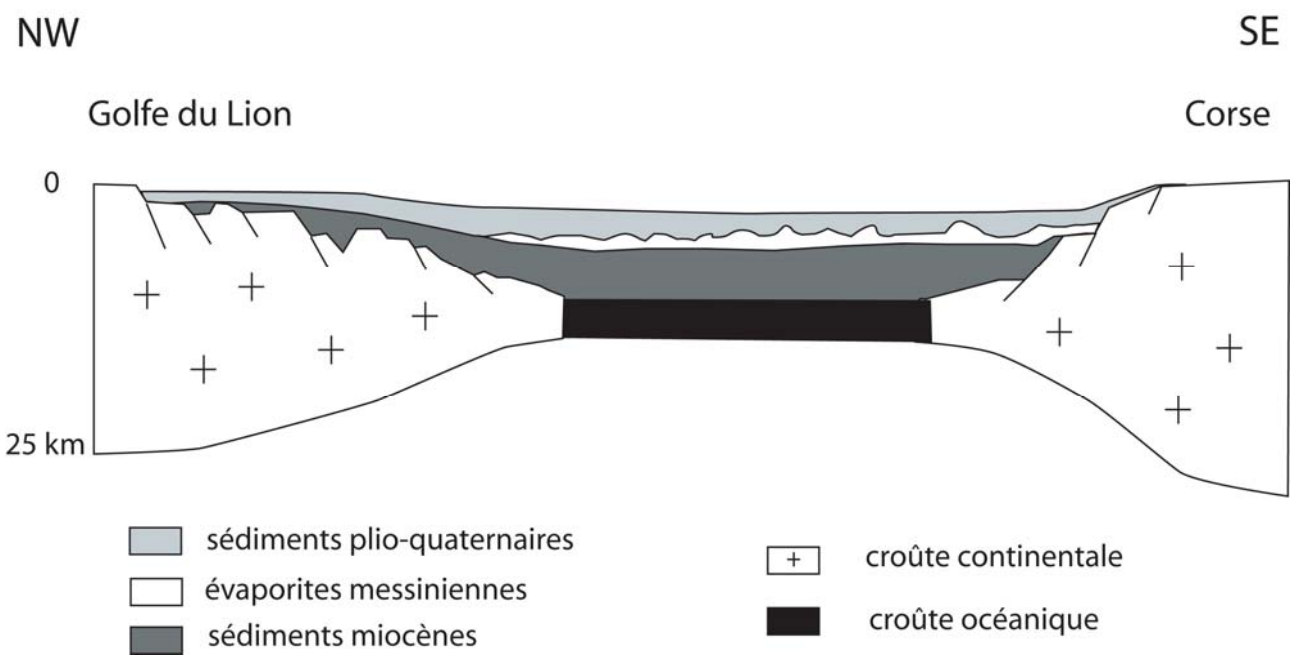
Réponse à la question 14

Les données montrent que la Sardaigne effectue une rotation de l'ordre d'environ 30° entre 20 et 16 Ma.

Nom :	Prénom :	salle n° :

<u>Question 15</u> : Dessinez une coupe à l'échelle crustale du Bassin Ligure et de ses marges, entre Provence et Corse, en vous appuyant sur les documents 6 à 13.

Réponse à la question 15



Nom :	Prénom :	salle n° :

Partie III : Le magmatisme

De nombreuses roches magmatiques d'âge oligocène affleurent dans le SE de la France.

Figure 14 : Localisation des principaux affleurements de magmatisme d'âge oligocène dans le SE de la France

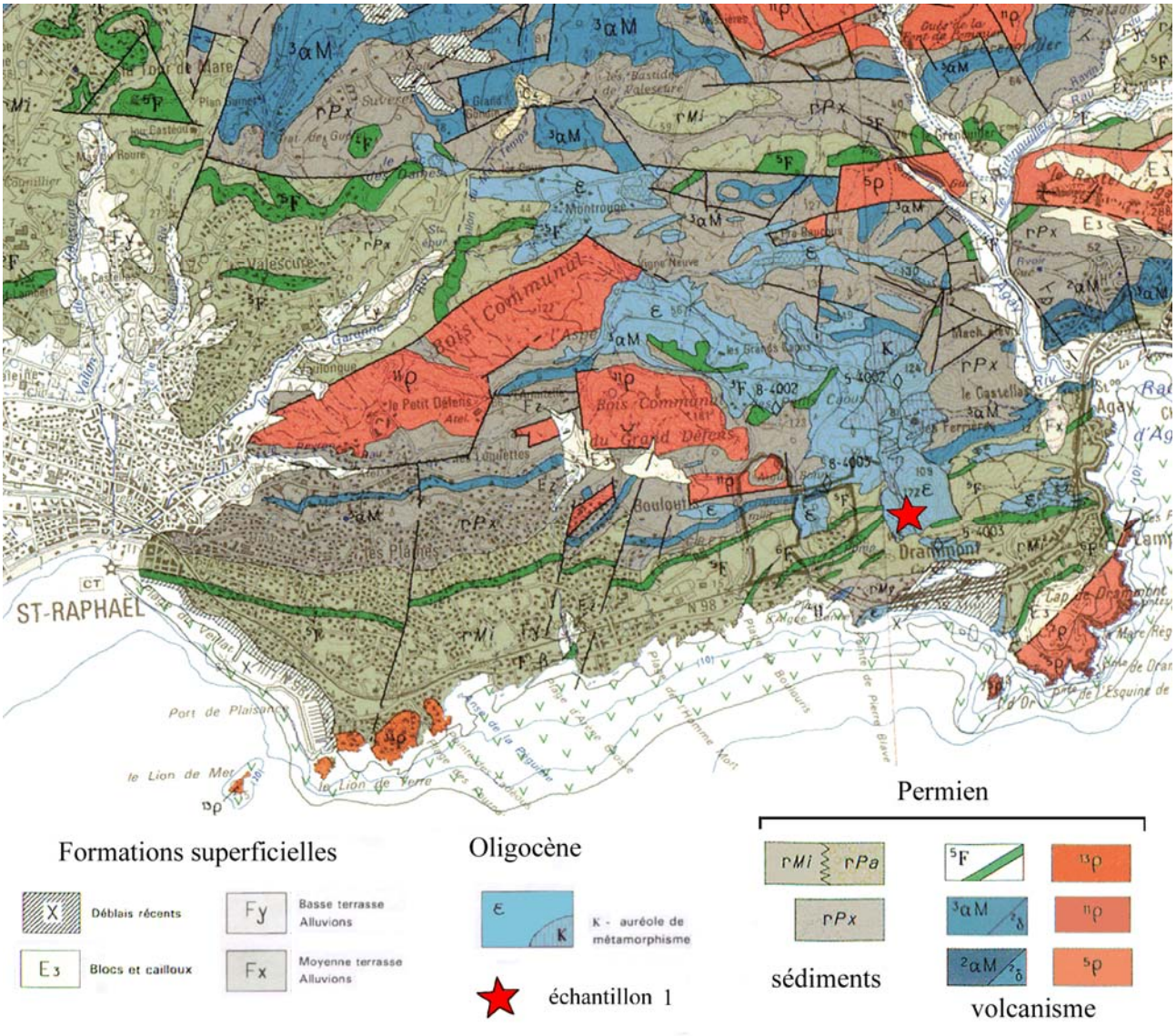


Figure 15 : Extrait de la carte géologique de Fréjus-Cannes au 1/50 000 (éditions du BRGM)

Nom :	Prénom :	salle n° :

<u>Question 16</u> :

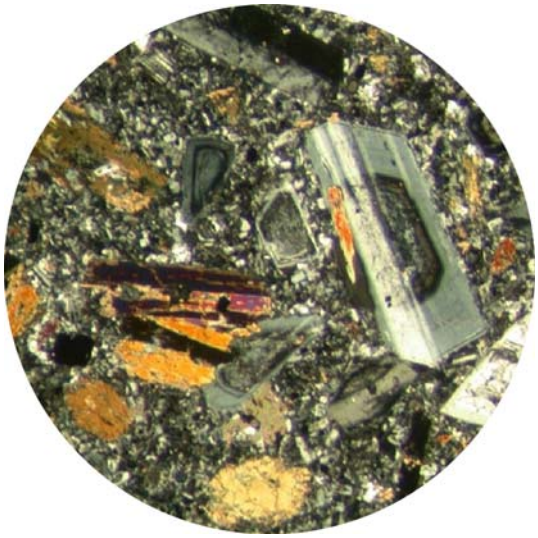
A - Observez l'échantillon macroscopique (roche n° 1). Faites un dessin de cet échantillon.

B - Observez la lame mince (lame n° 1). Faites un dessin d'observation de cette lame.

Commentez vos observations sachant que la roche et la lame proviennent de l'affleurement localisé sur la figure 15.

Réponse à la question 16

A -



B -

Cette roche a une texture microgrenue porphyrique. Elle est essentiellement constituée de phénocristaux de plagioclases zonés et d'amphiboles. Elle renferme également quelques phénocristaux de quartz, de feldspath potassique, de pyroxène et de biotite. La mésostase est finement cristallisée. Il s'agit d'une microdiorite quartzique (Esterellite).

Cette roche se trouve en Provence à l'Est de St Raphaël (Figure 15), où affleure un corps magmatique d'âge oligocène intrusif dans les formations permiennes. Elle s'est mise en place près de la surface sous forme d'une intrusion stratiforme.

Nom :	Prénom :	salle n° :

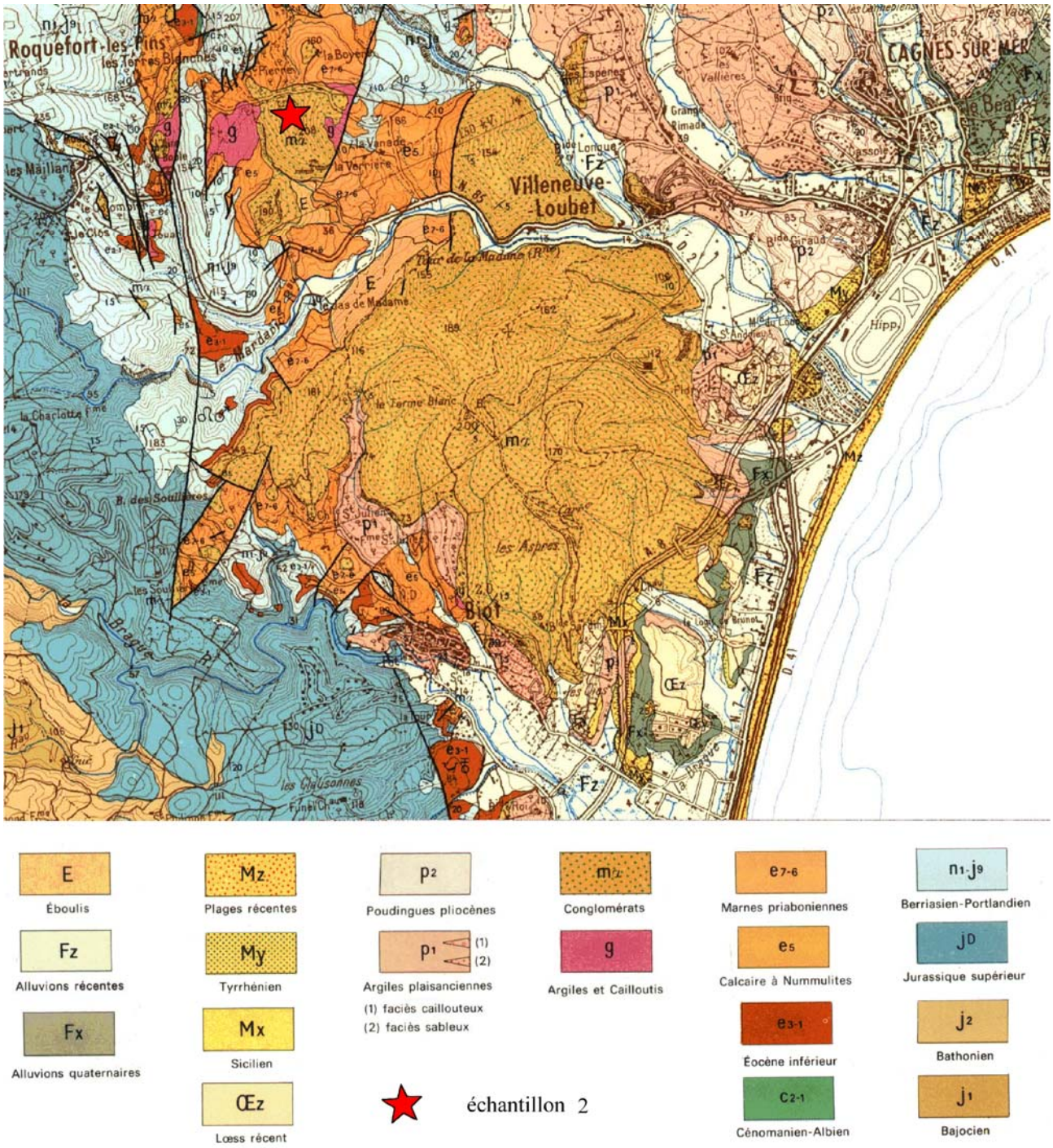


Figure 16 : Extrait de la carte géologique de Grasse au 1/ 50 000 (éditions du BRGM)

Nom :	Prénom :	salle n° :

Figure 17 : Photographie de l'affleurement correspondant à l'échantillon 2 (localisation sur la figure 16)

<u>Question 17</u> :

A - Observez l'échantillon macroscopique (roche n° 2). Faites un dessin de cet échantillon.

B - Observez la lame mince (lame n° 2). Faites un dessin d'observation de cette lame.

Commentez vos observations sachant que la roche et la lame proviennent de l'affleurement localisé sur la figure 16.

Réponse à la question 17

A -

Nom :	Prénom :	salle n° :

Réponse à la question 17

B -

La région de Biot à l'Ouest de Nice est marquée par la présence d'un volcanisme d'âge oligocène de type explosif.

La roche a une texture microlithique. Elle est essentiellement constituée de phénocristaux de plagioclases et d'amphiboles, de microlithes et d'une phase amorphe. Il s'agit d'une andésite.

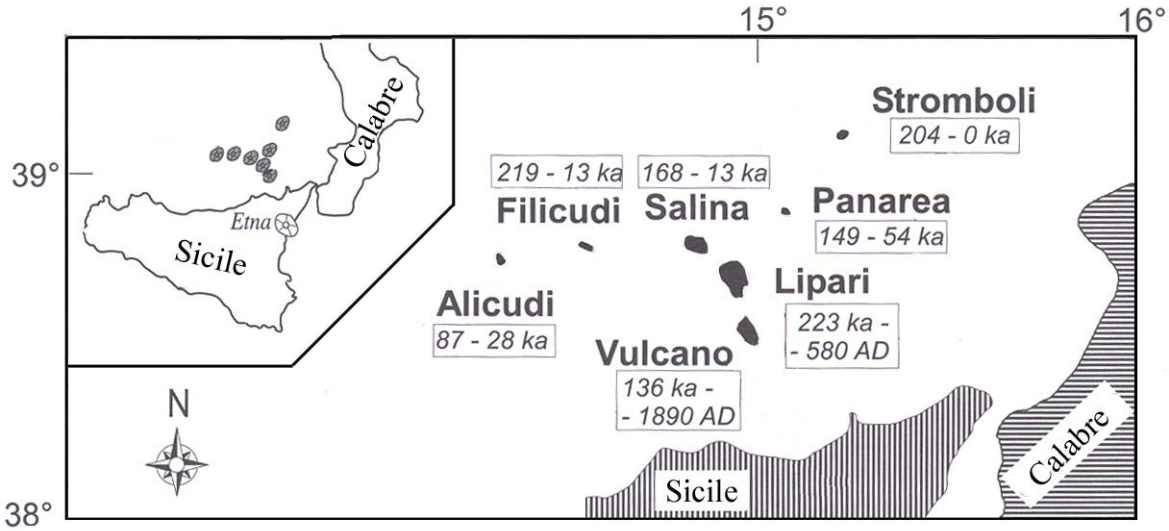


Figure 18 : Carte schématique des îles éoliennes avec l'âge des principaux volcans

Nom :	Prénom :	salle n° :

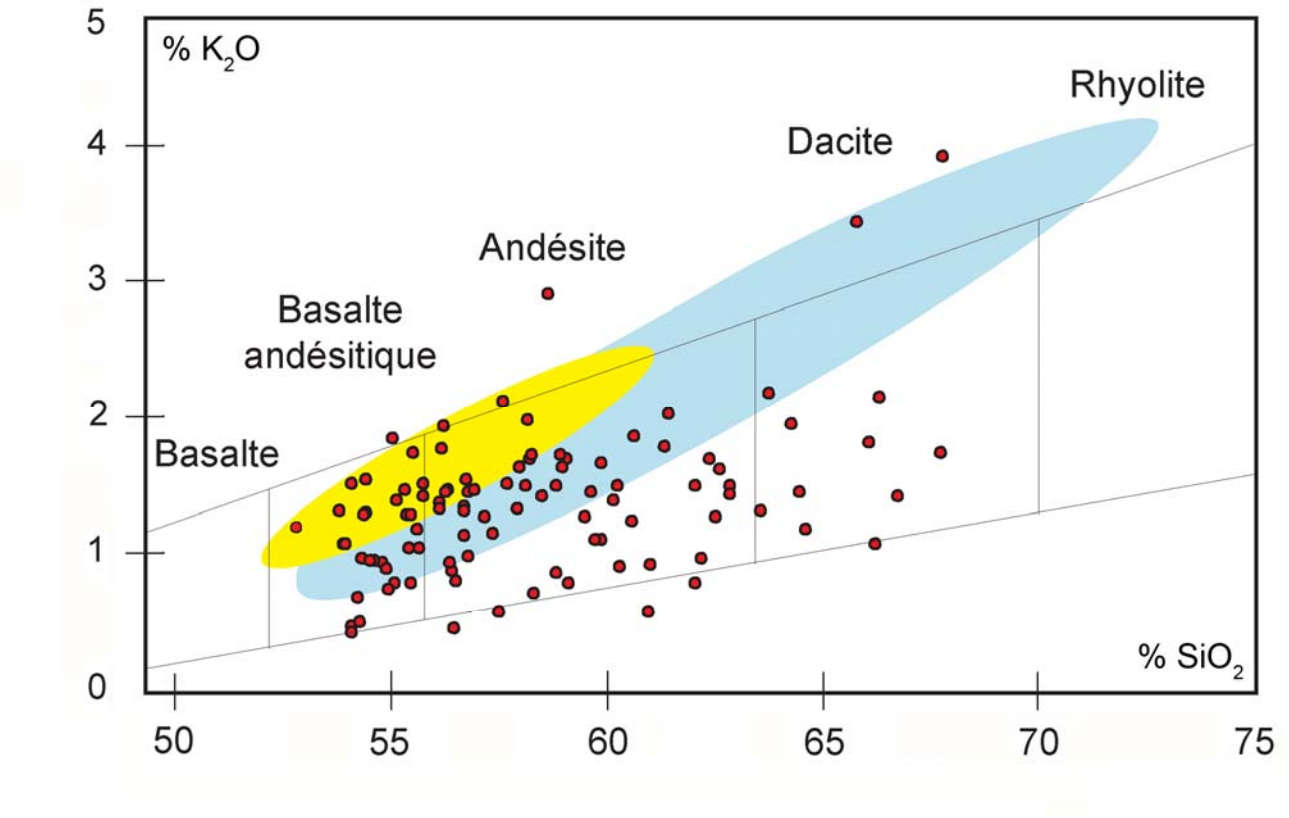


Figure 19 : Diagramme K_2O / SiO_2 des roches magmatiques du SE de la France et des îles éoliennes

(tiré de Giraud, 1983 & Francalanci et al., 2007)

Volcanisme de la Provence (cercles rouges) ; volcanisme des îles éoliennes : tache jaune (Alicudi) et tache bleue (Salina)

<u>Question 18</u> : Expliquez la variabilité géochimique des roches magmatiques du SE de la Provence (figure 19). Comparez ces données avec celles des roches volcaniques des îles éoliennes de Salina et d'Alicudi. Que pouvez-vous en déduire concernant l'origine de ces roches ?

Réponse à la question 18

Les roches magmatiques d'âge oligocène du SE de la Provence se placent dans le domaine calco-alcalin. La variabilité de ces roches s'explique par le phénomène de cristallisation fractionnée.

D'un point de vue géochimique ces roches d'âge oligocène sont identiques à celles du volcanisme actuel des îles éoliennes, lié à la subduction ionienne sous la Sicile et la Calabre.

Nom :	Prénom :	salle n° :

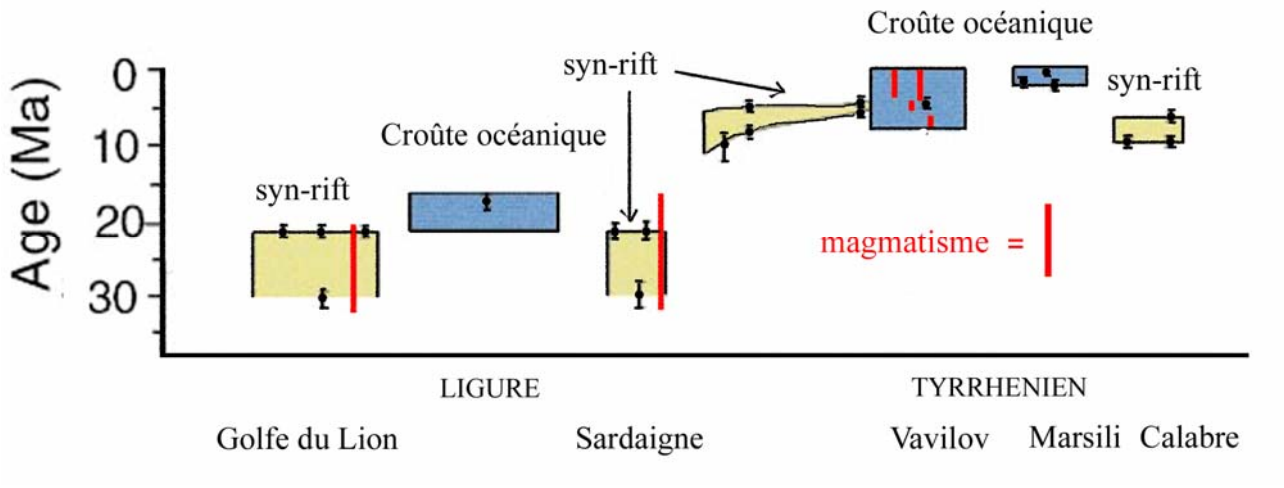


Figure 20 : Âge de l'extension et du magmatisme à partir des données stratigraphiques et radiométriques en Méditerranée occidentale (tiré de Faccenna et al., 2001). Les traits rouges correspondent aux épisodes magmatiques

<u>Question 19</u> : Que suggère la répartition spatiale et temporelle du magmatisme entre le Golfe du Lion et la Calabre, figurée sur la figure 20 ?

Réponse à la question 19

La répartition du magmatisme suggère :

- l'ouverture du bassin Ligure entre 30 Ma (rifting) et 15 Ma (océanisation)
- puis l'ouverture du bassin Tyrrhénien à partir de 10 Ma.

On remarque une période de calme entre 15 et 10 Ma, qui sépare ces deux épisodes d'ouverture rapide.

Cela traduit donc une migration de l'ouverture du bassin d'arrière-arc vers l'Est en direction de l'actuelle subduction ionienne sous la Sicile.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Partie IV : L'épisode messinien

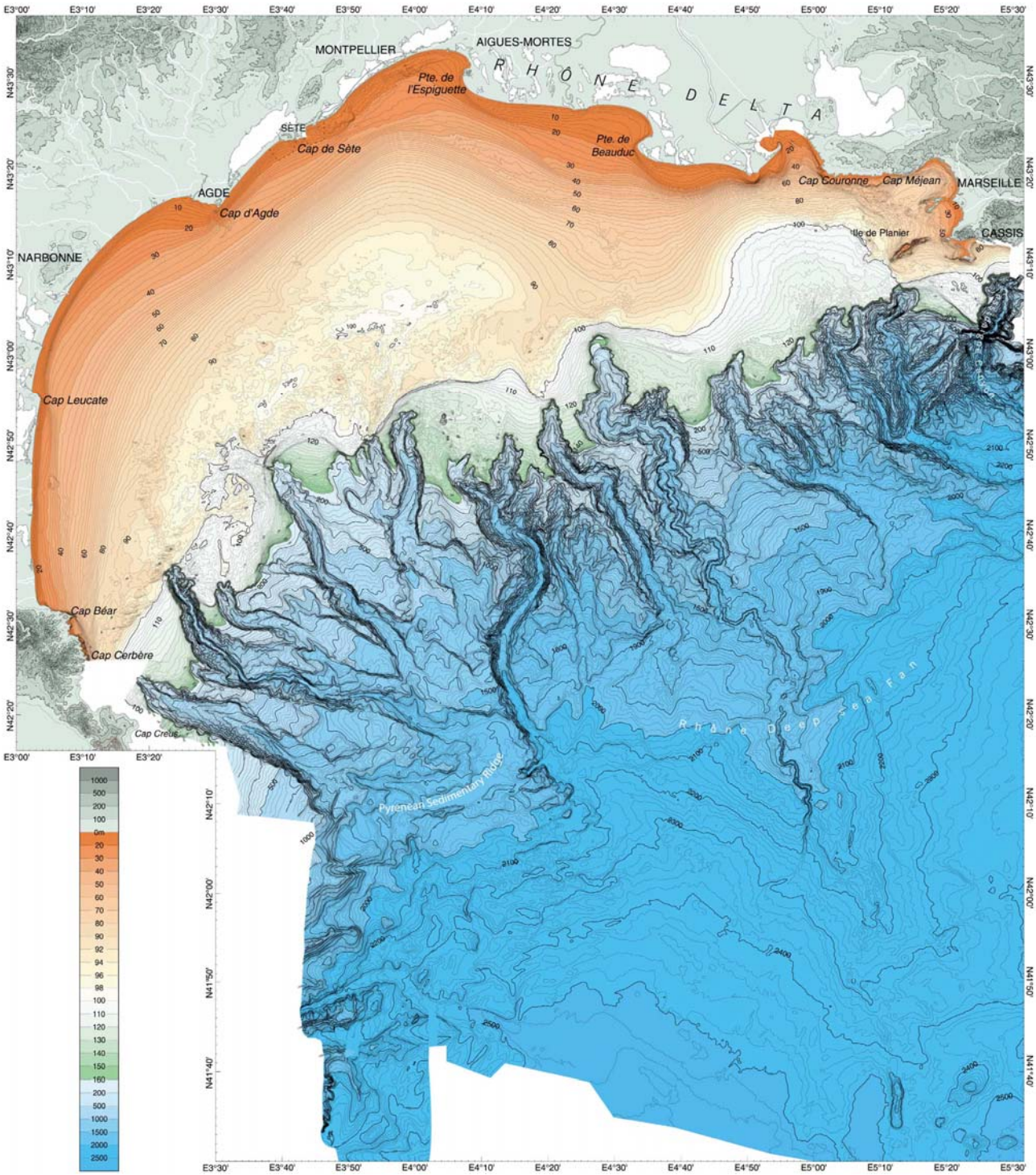


Figure 21 : Carte bathymétrique du golfe du Lion (tiré de Berne et Gorini, 2005)

Nom :	Prénom :	salle n° :

<u>Question 20</u> : Commentez et interprétez les structures visibles dans le golfe du Lion sur la figure 21.

Réponse à la question 20

Différents domaines s'individualisent :

- une plateforme, qui constitue le plateau continental et supporte le delta sous-marin du Rhône,
- une pente continentale marquée par de nombreux et profonds canyons sous-marins perpendiculaires à la côte,
- un glacis continental avec de fortes accumulations sédimentaires.

Les canyons résultent d'une forte érosion liée à une variation plio-quaternaire du niveau marin.

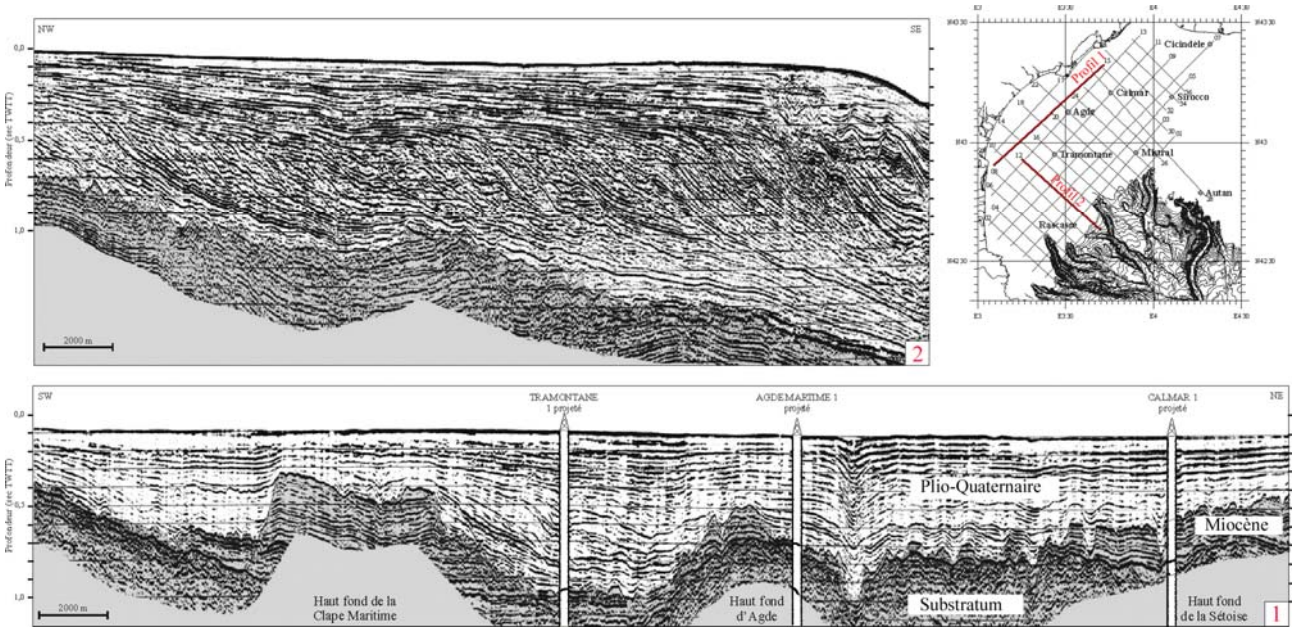


Figure 22 : Profils sismiques LRM15 (profil 1) et LRM12 (profil 2) dans le golfe du Lion avec plan de position des lignes sismiques (tiré de Lofi, 2002).

<u>Question 21</u> : Interprétez et commentez les profils sismiques sur la figure 22.

Réponse à la question 21

Le profil sismique parallèle à la côte (profil 1) montre l'existence de canyons à remplissage pliocène. Il s'agit de paléo-vallées messiniennes correspondant au prolongement des fleuves actuels (Aude, Herault, etc.) qui isolent par érosion des hauts topographiques messiniens (La Clape , Agde, etc.). Ces vallées tronquent les sédiments miocènes anté-méssiniens et sont comblées par une sédimentation plio-quaternaire. Cet épisode correspond à l'abaissement du niveau marin en Méditerranée (crise messinienne).

Le profil sismique perpendiculaire à la côte (profil 2) montre des sédiments plio-quaternaires dont la géométrie est progradante, au-dessus de la surface d'érosion messinienne. Cet épisode correspond au comblement des canyons pendant la remise en eau de la Méditerranée.

Nom :	Prénom :	salle n° :

Figure 23 : Photographie d'un affleurement au niveau de la vallée de la Têt (près de Nefiach, Pyrénées orientales)

<u>Question 22</u> : Interprétez et commentez les structures visibles sur la photographie de la figure 23. Peut-on proposer une corrélation avec les profils de la figure 22 ?

Réponse à la question 22

On observe un corps sédimentaire d'échelle hectométrique, à litage oblique, constitué de conglomérats avec des galets très arrondis, correspondant à un environnement deltaïque. La stratification soulignée par les bancs plus gréseux et argileux présente un pendage relativement fort. La géométrie de ce corps sédimentaire est caractéristique d'une sédimentation deltaïque progradante qui remplit les « rias » messiniennes au début du Pliocène (épisode Zancléen). Cette géométrie est comparable à celle qui est observée dans le profil sismique 2 de la figure 22.

Nom :	Prénom :	salle n° :

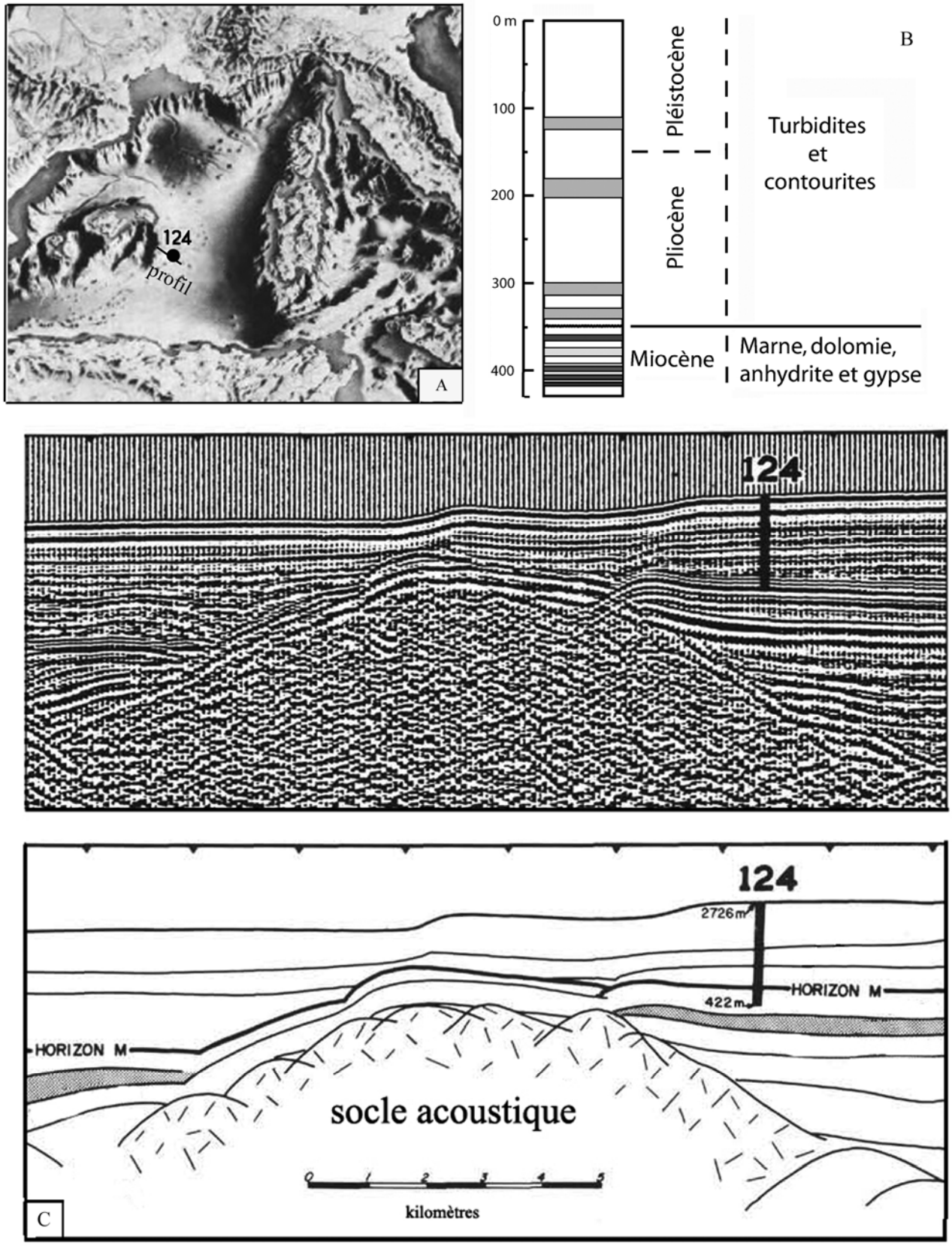


Figure 24 : Les données du leg XIII (Deep Sea Drilling Project)

A – Localisation du forage 124 et du profil sismique ; B - Log du forage 124 ; C - Profil sismique et son interprétation

Nom :	Prénom :	salle n° :

<u>Question 23</u> : Quelles sont les principales informations contenues dans la figure 24 ?

Réponse à la question 23

Le forage 124 atteint les niveaux supérieurs de la couche d'évaporites messiniennes après avoir traversé une grande épaisseur de sédiments terrigènes turbiditiques plio-quaternaires.
Le socle acoustique révélé par le profil sismique correspond à un diapir qui déforme les séries sédimentaires encaissantes.

<u>Question 24</u> : Retracez les principaux événements qui ont marqué l'histoire de la Méditerranée à la fin du Miocène et au début du Pliocène. Quelles sont les causes possibles de ces événements ?

Réponse à la question 24

A la fin du Miocène (Messinien), un abaissement du niveau marin d'environ 2000 m se produit entre 6 Ma et 5,3 Ma et provoque une crise évaporitique.
Le retour brutal de la mer et son remplissage se produit au début du Pliocène (Zancléen).
Les causes majeures envisagées pour expliquer la crise messinienne sont :
- la fermeture de la connection entre l'océan Atlantique et la mer méditerranée au niveau de Gibraltar
- les variations d'eustatisme et du climat global

Nom :	Prénom :	salle n° :

Partie V : Le modèle d'évolution

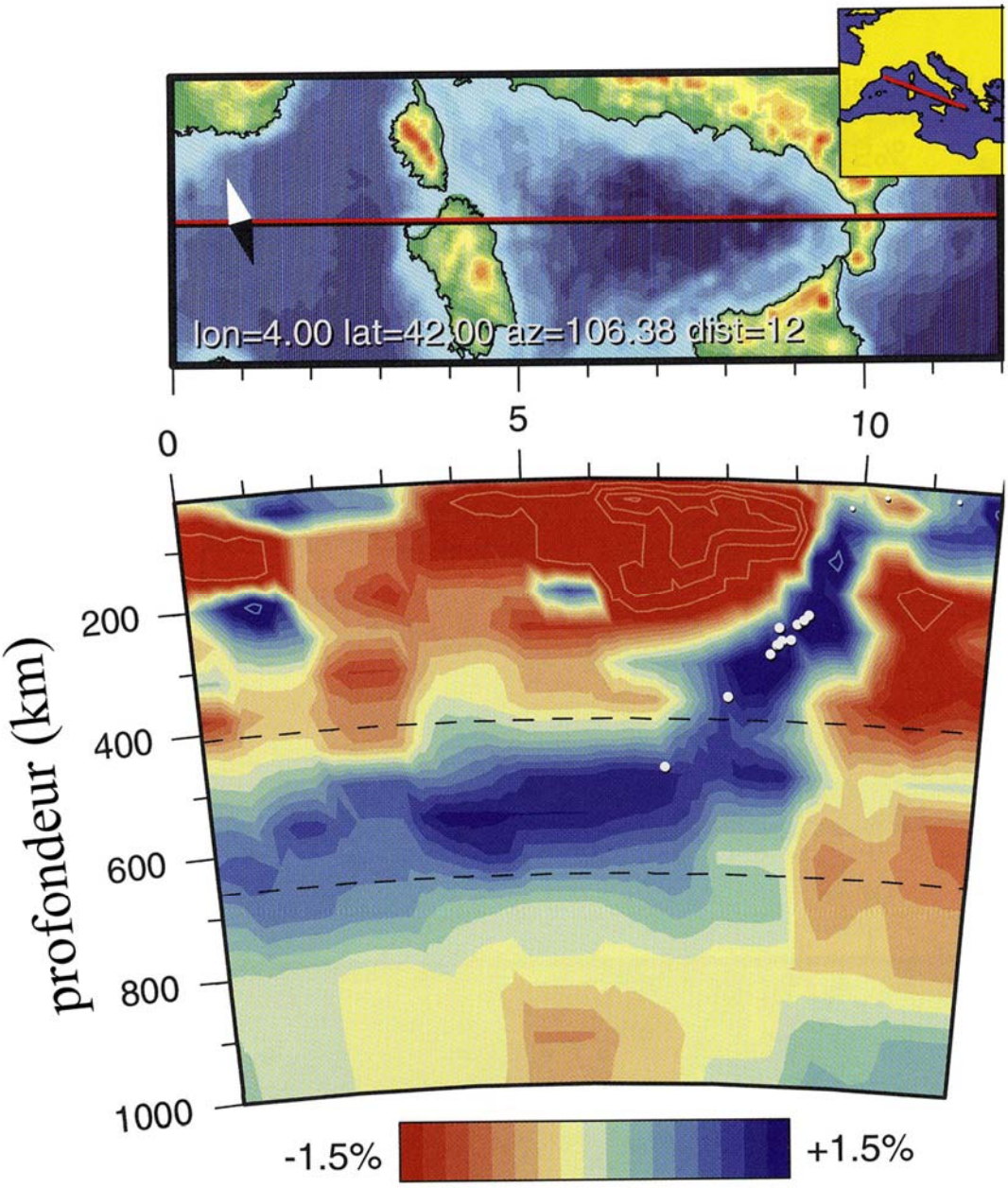
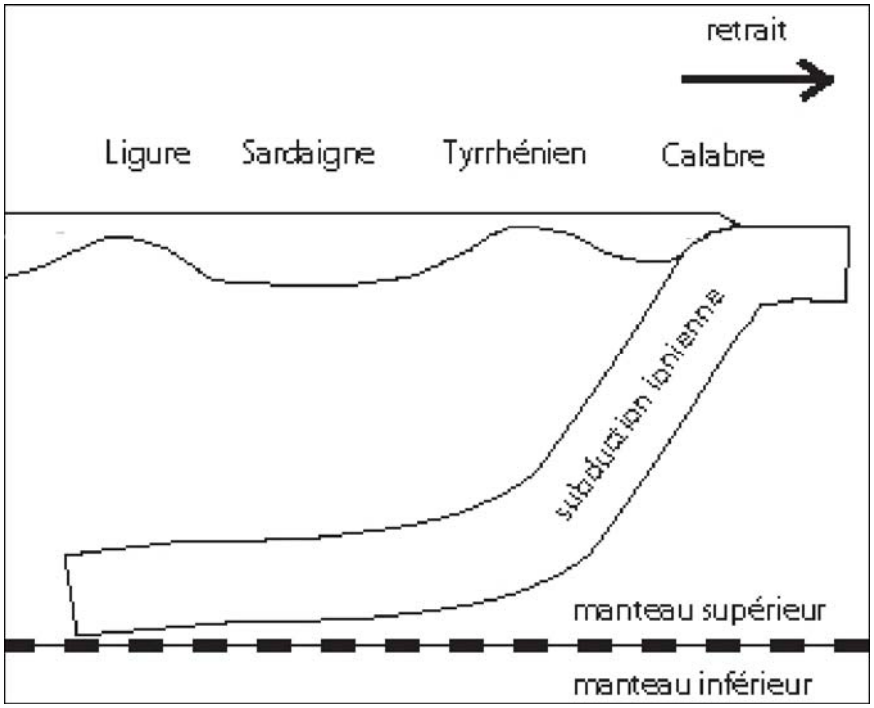


Figure 25 : Carte et coupe de tomographie sismique de la partie Nord de la Méditerranée occidentale

Nom :	Prénom :	salle n° :

<u>Question 25</u> : Faites un schéma interprétatif et commentez la figure 25.

Réponse à la question 25



La tomographie sismique montre l'existence d'un panneau lithosphérique qui plonge sous la Calabre jusqu'à la discontinuité manteau supérieur / manteau inférieur (650 km). Ce panneau s'aplatit sur cette discontinuité sans la traverser à cause du saut de viscosité.

Nom :	Prénom :	salle n° :

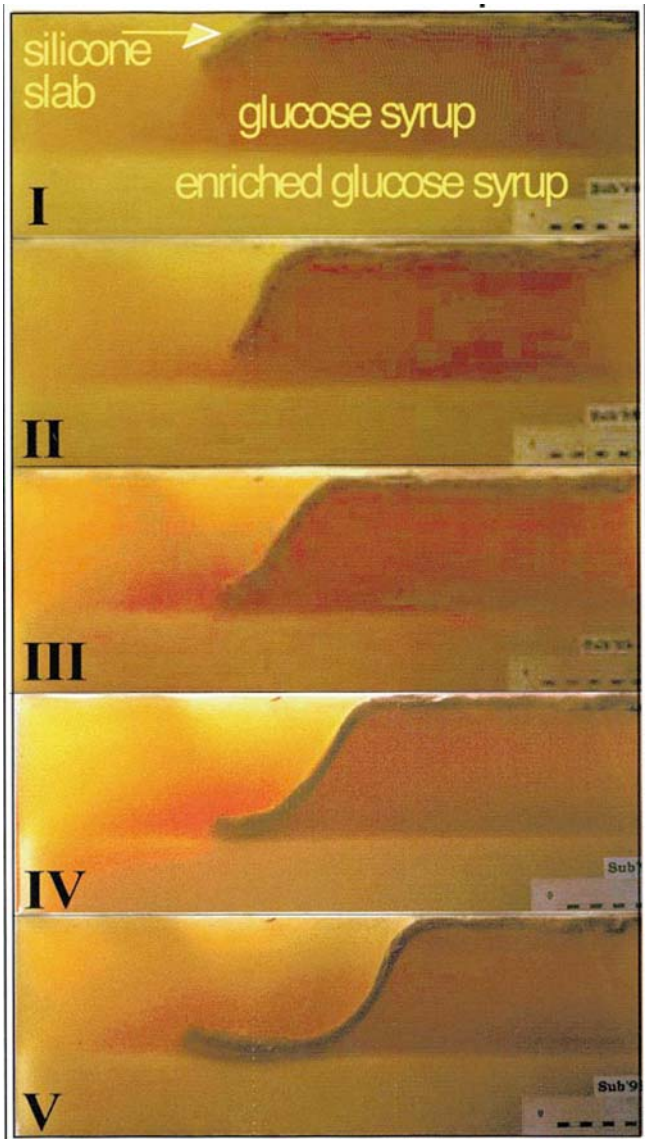


Figure 26 : Modélisation analogique (Faccenna, 2001)

Le modèle est réalisé à l'intérieur d'un réservoir en plexiglas rectangulaire. Le comportement visqueux du panneau lithosphérique plongeant est simulé en utilisant une plaque de silicone. Le manteau est simulé à partir de sirop de glucose, dont on fait varier la viscosité en fonction de la quantité de sucre. Les rapports de viscosité entre panneau plongeant/manteau supérieur et manteau inférieur/supérieur sont respectivement de 350 et de 30. Cinq étapes successives ont été photographiées.

<u>Question 26 :</u> Commentez la figure 26.

Réponse à la question 26

Cette expérience analogique montre l'influence de la discontinuité manteau supérieur / manteau inférieur sur la vitesse de la subduction. L'existence de cette discontinuité rhéologique entraîne le plissement du panneau plongeant et ralentit sa progression. Cette modélisation permet d'expliquer le ralentissement du retrait enregistré entre 15 et 10 Ma. Elle illustre les relations entre la tectonique de surface et le comportement en profondeur des panneaux lithosphériques.

Nom :	Prénom :	salle n° :

<u>Question 27</u> : Proposez un modèle d'évolution de la Méditerranée occidentale entre l'Oligocène et l'Actuel. Vous intégrerez dans ce modèle les principales données tirées de l'analyse des documents précédents.

Réponse à la question 27

A la fin de l'Eocène l'océan alpin est complètement fermé et la collision a soudé le bloc apulien à la plaque Eurasie.

Le domaine océanique téthysien rattaché à la plaque Afrique rentre alors en subduction vers le Nord. La subduction s'accompagne du retrait du panneau plongeant et provoque l'installation d'un régime en extension dans le futur domaine liguro-provençal au Nord du bloc corso-sarde. Ce rifting arrière-arc est marqué à l'Oligocène par la formation de fossés d'effondrements et la mise en place d'un volcanisme calco-alcalin en Provence .

Au cours du Miocène le bassin liguro-provençal s'individualise. Il sépare la Provence au NW et le bloc corso-sarde au SE, qui subit une rotation. Il y a alors formation de marges passives en extension avec des blocs basculés et création d'une croûte océanique atypique. Cet épisode extensif est également enregistré en Corse avec la formation de bassins en extension.

Le bassin Tyrrhénien s'ouvre plus tardivement à la fin du Miocène vers 10 Ma. Il se caractérise par un fort amincissement crustal qui va conduire à l'ouverture de bassins à croûte océanique (Marsili et Vavilov) à partir de 5 Ma.

L'activité actuelle est marquée par une forte sismicité et un volcanisme actif localisé au niveau de l'arc siculo-calabrais qui signent la présence de la subduction de la croûte océanique du bassin ionien.

La migration vers l'Est de l'extension et du magmatisme dans cette partie du domaine méditerranéen depuis l'Oligocène jusqu'à l'Actuel peut être expliqué par le retrait progressif de la zone de subduction au cours du temps.

AGREGATION DE SV-STU : TP secteur C

Cette année, le sujet de TP C abordait la géodynamique de la Méditerranée occidentale. Il a été conçu pour amener les candidats à montrer leur compétence dans des champs très diversifiés des géosciences et faire preuve d'esprit de synthèse à travers l'analyse de supports variés.

La première partie précisait le cadre tectonique et cinématique de la Méditerranée occidentale à partir de la répartition des reliefs, de la sismicité et des données de la géodésie.

La deuxième partie décrivait le Bassin Ligure et ses marges corse et provençale à partir de profils sismiques, d'une coupe géologique, d'analyse de roches à différentes échelles d'observation, de données géochronologiques et de plusieurs cartes (anomalies magnétiques, profondeur du Moho, etc.).

La troisième partie abordait le magmatisme à partir de l'observation d'échantillons macroscopiques et de lames minces de roches, complétée par des données géochimiques et géochronologiques.

La quatrième partie concernait la crise de salinité messinienne abordée à partir de données bathymétriques, de profils sismiques, d'observations d'affleurement et de données de forage.

La cinquième partie consistait à réaliser une synthèse à partir des données précédentes, complétées par des données tomographiques et une expérience de modélisation analogique.

La première partie sur le cadre tectonique et cinématique de la Méditerranée occidentale a été globalement bien traitée. Les candidats ont bien vu l'opposition nette entre le Bassin Liguro-Provençal et la Mer Tyrrhénienne du point de vue de la bathymétrie. La profondeur moindre de la Tyrrhénienne a été souvent interprétée comme un indice d'un âge plus récent et son aspect plus rugueux comme le fait du volcanisme. Les candidats ont rarement interprété l'aspect lisse du bassin Liguro-Provençal comme une conséquence d'une épaisse couche de sédiments. La distribution des séismes n'a pas fait de difficultés en général et les séismes profonds du sud de l'Italie ont bien été interprétés comme l'indice d'une subduction de la Mer Ionienne sous la Tyrrhénienne. De rares candidats ont mis la subduction dans le mauvais sens. La plupart des candidats ont également correctement interprété les mécanismes au foyer; très rares sont ceux qui ont inversé failles normales et failles inverses. La lecture de ce type de données semble donc rentrée dans les mœurs. Par contre, l'interprétation des données GPS a souvent été faible voire fantaisiste. Nous n'attendions pas de développement complexe mais la simple constatation que l'Afrique est animée d'un mouvement oblique sur la limite de plaques et que la région de l'Adriatique monte vers le Nord dans une direction légèrement différente de celle de l'Afrique et avec une vitesse proche. Le schéma structural a de façon générale été bien dessiné, à de rares exceptions près. Cependant les zones de subduction ne sont pas toujours bien placées, en particulier dans la région des Apennins. Certains candidats connaissaient visiblement la géodynamique de cette région mais ne savaient pas où placer exactement les structures.

La deuxième partie sur le Bassin Ligure, la Corse et la Provence était plus difficile et les résultats s'en ressentent. Le profil sismique, pourtant simple, a été très diversement interprété. Les candidats ont assez souvent vu les failles normales et les séries syn-rift, voire le post-rift mais ils dessinent les réflecteurs sans se préoccuper de leur géométrie réelle. Nous espérions voir un vrai pointé de la sismique, mais nous n'avons eu le plus souvent que quelques traits grossiers. La discordance messinienne n'a pas été souvent reconnue. De manière surprenante la coupe proposée sur la carte au 1/250 000ème de la Corse a été le plus souvent massacrée. On peut mettre à la décharge des candidats la difficulté de la coupe, mais elle est par ailleurs représentée dans plusieurs ouvrages. La géologie de la Corse devrait faire partie de la formation de base des étudiants en géologie. Les candidats qui ont dessiné correctement les sédiments du bassin d'avant-pays éocène sont très rares et la géométrie des chevauchements était souvent très fantaisiste. L'analyse des deux photographies d'affleurement a parfois été conduite de manière satisfaisante, mais les candidats ont tendance à vouloir retrouver ce qu'ils connaissent et nombreux sont ceux qui ont vu de la fusion partielle et des migmatites alors qu'il n'y avait à voir qu'un début de mylonitisation dans un granite et une déformation plus avancée pour la deuxième photo. Le sens de cisaillement très clair sur les deux photos a rarement été interprété correctement. Il est possible de le discuter sur la photo de la protomylonite, mais le micaschiste très cisaillé de l'autre affleurement ne laissait pas de doute. Certains candidats, assez rares, ont fait le lien avec la coupe et ont discuté la signification de la zone de cisaillement où ces images avaient été prises. Les spectres d'âge Ar/Ar ont très rarement été interprétés correctement. Si certains candidats ont bien vu l'évolution de la forme des spectres depuis le centre du massif du Tende vers la bordure, ils ont rarement parlé de la réouverture du système isotopique à l'approche de la zone de déformation maximale. Pour un nombre non négligeable de candidats ce type de données était totalement nouveau. La lame mince a donné lieu aux interprétations les plus diverses et, chose surprenante, de nombreux candidats ont vu de la sillimanite dans cette lame, ce qui corroborait leur interprétation de migmatites vue plus haut. Il n'y avait bien sûr pas de sillimanite dans cette lame mais simplement du quartz et des micas blancs, avec de rares feldpaths. La carte du toit du socle du Bassin Liguro-Provençal a été assez mal interprétée dans l'ensemble mais un nombre important de candidats a quand même vu le caractère assez lisse du socle océanique, le caractère abrupt des marges et la complémentarité de lithologies entre les marges opposées. L'analyse de la carte magnétique était difficile. Les candidats ont surtout vu les fortes anomalies liées aux volcans, assez rarement le caractère plus ou moins symétrique des anomalies de plus faible intensité. La carte de profondeur du Moho n'a pas posé de difficultés majeures et la rotation paléomagnétique de l'axe corso-sarde a été en général bien comprise. La coupe crustale du Bassin Ligure et des ses marges a rarement été faite correctement. Les candidats semblent n'avoir aucune notion des échelles verticales et ils ont assez rarement mobilisé l'ensemble des informations obtenues dans les questions précédentes.

La troisième partie sur le magmatisme a été relativement bien traitée. La reconnaissance macroscopique et en lame mince des échantillons de roches n'a pas posé de problème majeur. A partir des deux échantillons présentés, il fallait reconnaître des roches magmatiques de composition très voisine mais de textures différentes, reflétant un mode de mise en place en surface pour l'une et en semi-profondeur pour l'autre. Leur mode de mise en place pouvait d'ailleurs également être déduit des cartes géologiques fournies. De manière surprenante certains candidats ont reconnu et décrit des roches sédimentaires et métamorphiques à partir de ces échantillons.

Le diagramme géochimique montre que les roches du SE de la Provence et certaines des îles éoliennes se placent globalement dans un même domaine à signature calco-alcaline correspondant à un contexte de subduction. La différentiation magmatique était le processus attendu pour expliquer la variabilité géochimique de ces roches magmatiques.

La datation du rifting, puis de la formation de la croûte océanique dans le bassin ligure et dans le bassin tyrrhénien mettait l'accent sur le diachronisme de l'ouverture de ces bassins. On pouvait également noter qu'une période de calme entre 15 et 10 Ma sépare ces deux épisodes d'extension. Cette particularité n'a pas été relevée par les candidats.

La quatrième partie sur la crise de salinité messinienne était abordée à partir de documents classiques présents dans plusieurs ouvrages.

L'analyse de la carte bathymétrique du golfe du Lion n'a été menée correctement que par très peu de candidats. La plupart d'entre eux ont lié l'existence des nombreux canyons visibles sur la pente continentale à une baisse du niveau marin au Messinien alors que ces canyons résultent d'une variation du niveau marin au Plio-Quaternaire, quoique la plupart de ces canyons se forment à l'emplacement d'anciens canyons messiniens..

Les profils sismiques ont souvent été interprétés de manière très fantaisiste en terme de stratigraphie séquentielle. Ce type d'analyse semble encore assez mal maîtrisé par une grande majorité des candidats.

L'interprétation du profil sismique et du forage a été traitée de manière satisfaisante avec la reconnaissance des couches salifères supérieures du Messinien à la base des séries turbiditiques plio-quaternaires, ainsi que la structure diapirique qui perce les séries encaissantes.

Au final, les candidats ont fait preuve d'une bonne connaissance théorique sur la crise de salinité messinienne et sur ses causes, mais ils ont très peu appuyé leur argumentaire sur l'analyse des documents proposés.

La cinquième partie sur le modèle d'évolution a fait l'objet de traitement très variés selon les candidats. La coupe tomographique a souvent été bien comprise mais l'interprétation qui en est présentée graphiquement est bien souvent fantaisiste. On ne voit pas la croûte sur cette image, ni l'arc volcanique qui sont à des échelles inaccessibles à ce type de tomographie. La majeure partie

des candidats a bien vu le panneau plongeant se coucher dans la zone de transition entre le manteau supérieur et le manteau inférieur. Le modèle analogique était visiblement déjà connu de nombreux candidats et il a été assez généralement bien interprété mais certains candidats se sont polarisés uniquement sur le fait que le panneau plongeant se couche sur la transition entre les deux manteaux et en ont oublié le retrait de la fosse. Le modèle d'évolution régional a rarement été traité de manière complète, il était pourtant assez facile de remobiliser les connaissances accumulées au cours du devoir.

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

CONCOURS EXTERNE – ÉPREUVES D'ADMISSION – session 2009

TRAVAUX PRATIQUES DE CONTRE-OPTION DU SECTEUR C

CANDIDATS DES SECTEURS A ET B

Durée totale : 2 heures

Des massifs plutoniques particuliers en Bretagne Nord

Ce livret contient 24 pages de texte et de figures.

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 :

Partie I : une épreuve de lecture et utilisation de carte géologique page 2
Barème : 3 /20 durée conseillée : 20 minutes

Partie II : une épreuve de pétrologie et minéralogie page 7
Barème : 8 /20 durée conseillée : 45 minutes,
dont 10 minutes de durée maximale d'observation.

Partie III : une épreuve de géochimie page 16
barème : 9 /20 durée conseillée : 55 minutes

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

Partie I : Lecture et utilisation de cartes géologiques

De nombreux massifs plutoniques dévono-carbonifères affleurent dans le massif Armoricain.

La plupart des granitoïdes résultent du recyclage de métasédiments situés à différents niveaux de la croûte continentale. Cependant, certains granites sont associés à des roches mafiques : c'est le cas des massifs plutoniques tardi-orogéniques composant l'alignement des granites rouges au nord du massif Armoricain. Les sources restent à caractériser, qu'elles soient mantelliques ou crustales, afin de discuter de possibles implications géodynamiques. Les mécanismes de différenciation sont également à identifier.

Cette épreuve porte sur les massifs de Ploumanac'h et de St-Jean-du-Doigt. À Ploumanac'h les granites rouges dominent largement les roches mafiques, les proportions sont inversées à Saint-Jean-du-Doigt.

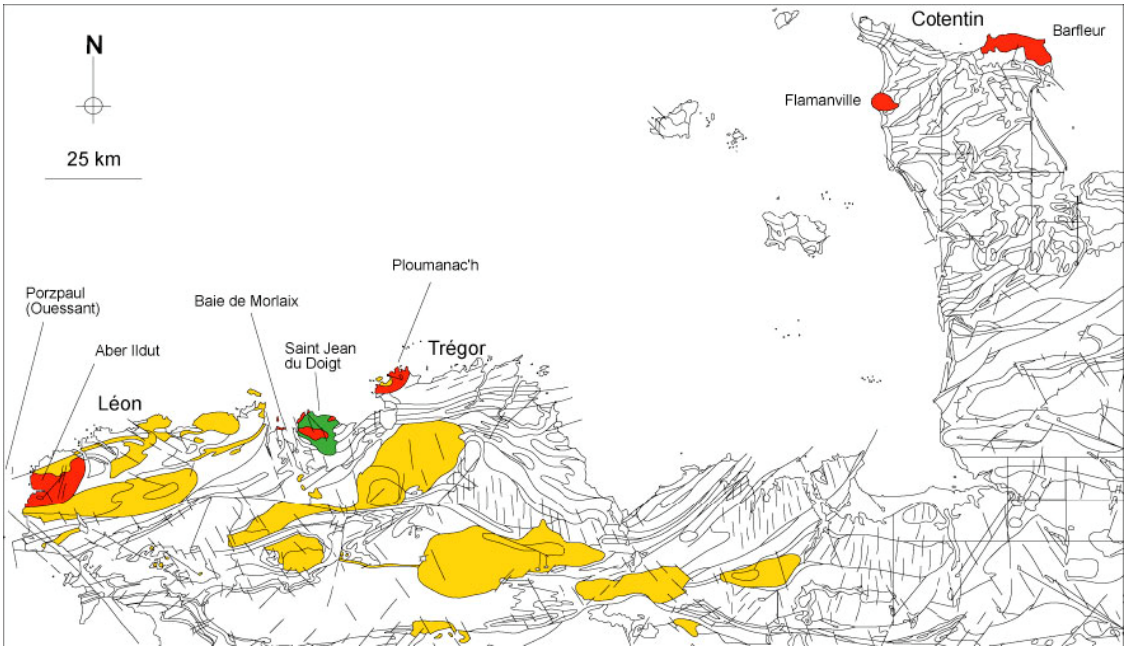


Figure 1 : Carte des intrusions dévono-carbonifères au nord du massif Armoricain. En rouge : granites rouges ; en ver :: massif gabbroïque de St-Jean-du-Doigt ; en jaune : autres granites.

Extrait simplifié de la carte géologique de France au 1 000 000ème.

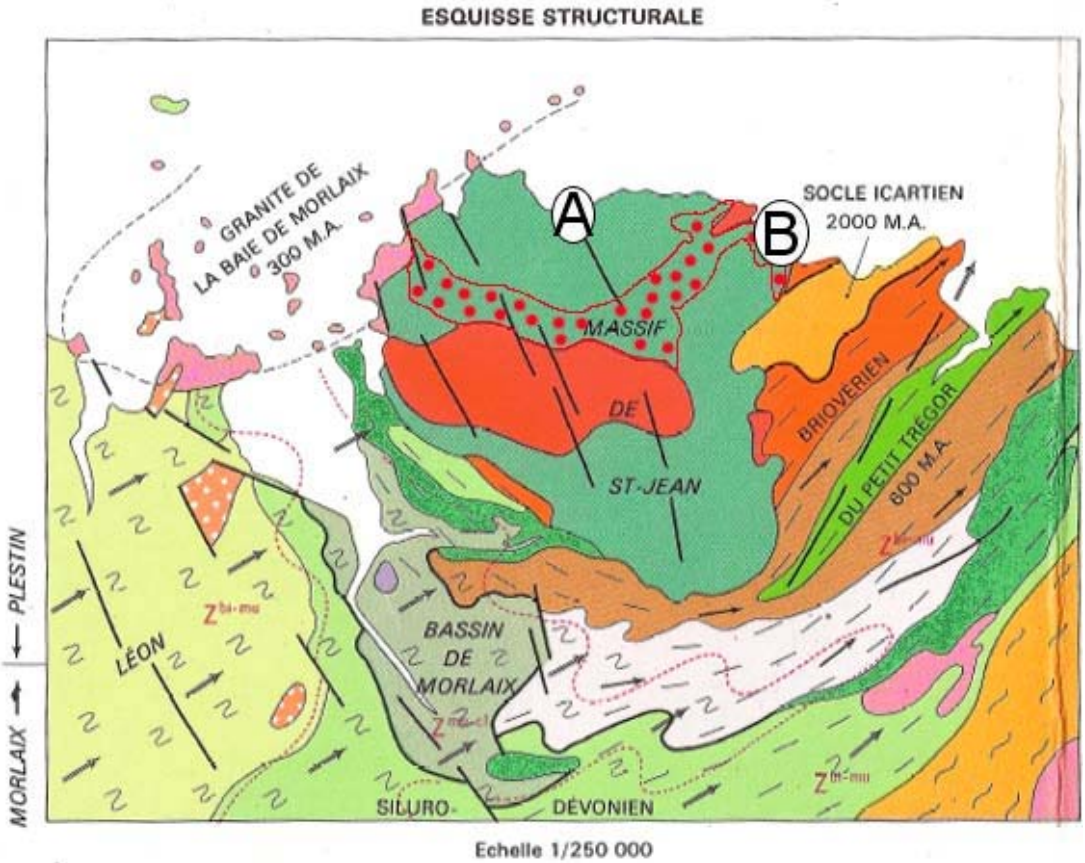


Figure 2 : Schéma structural du massif de St Jean-du-Doigt.

D'après la carte de Plestin-les-grèves au 1/50 000.

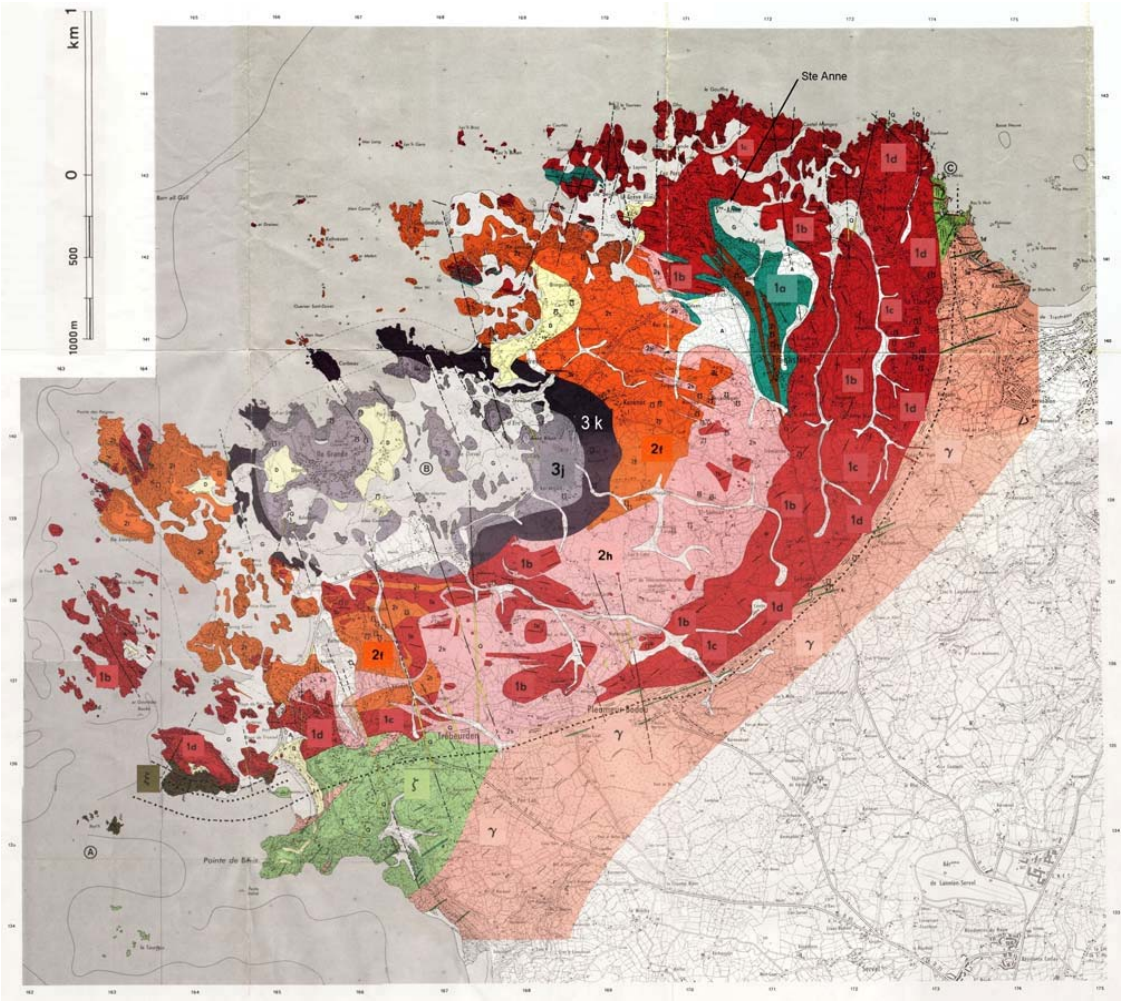


Figure 3 : Carte géologique du massif de Ploumanac'h (d'après Barrière 1977)

Les légendes correspondantes sont données par la figure 4, page 5

Formations postérieures au complexe

G — Gravier, sable, vase, galets (estran)

A — Alluvions fluviatiles

D — Dunes + head

} Formations récentes

Q — Filons hydrothermaux à quartz-améthyste et épontes kaolinisées

Complexe de Ploumanac'h

Groupe 3 : Dernière unité intrusive - Granites de l'Ile Grande

3 k — Granite externe à deux micas : monzogranite à affinité leucogranitique, à grain moyen, gris-blanc, muscovite abondante.

3j — Granite interne à biotite : monzogranite, à grain moyen (parfois fin), gris-bleu à gris-blanc, muscovite accessoire vers la périphérie.

Groupe 2 : Granites intermédiaires

2 i — Aplites de Trégastel : roses, non foliées. Texture labile, parfois porphyrique allant des vraies aplites aux granites à grain très fin. Biotite en quantité variable (moins de 3%). Tourmaline, grenat, accessoires.

2h — Granite de Woas-Wen : leucomonzogranite saccharoïde, rose à violacé, pauvre en biotite. Muscovite accessoire.

2g — Filons à disposition planaire interne oblique : micromonzogranite à microgranodiorite gris-sombre, à biotite ; structure fluidale bien développée.

2f — Granite de Canton : monzogranite à biotite, à grain fin et porphyrique ; gris rosé, bleuté ou violacé (les monzogranites, à grain très fin et non porphyriques, de l'Ile aux Herbes et de Haren, trop peu affleurants, ne sont pas distingués du type Canton).

Groupe 1 : Première unité intrusive : granites à gros grain, roches basiques et hybrides

1e — Filons de kersantite, microdiorite quartzique ou microgranodiorite, à structure fluidale, de couleur sombre. Ces filons recoupent la disposition planaire des granites à gros grain, roches basiques et hybrides, mais sont aussi parfois affectés par elle.

Formation synchrone majeure

1d — Granite de la Clarté : syénogranite à gros grain, rose vif, à quartz, microcline, oligoclase, biotite (hornblende accessoire)

1c — Terme de transition entre les deux granites à gros grain

1b — Granite des Traouiéros : monzogranite porphyroïde, rose sombre, à quartz, microcline, oligoclase, biotite, hornblende.

1a — Roches basiques et hybrides : gabbronorite, gabbro à hypersthène, gabbro, diorite, monzodiorite, monzonite, diorite quartzique, granodiorite. En général à grain fin, sombre à très sombre. Présence fréquente d'ocelles de quartz et de mégacristaux de feldspath potassique et oligoclase.

Formations encaissantes

ε — Filons de dolérite et métabasites

γ — Granite de Perros-Guirec : à grain moyen, gris rose. Granite cadomien rétromorphosé, plus ou moins tectonisé, et à nombreuses dépendances aplitiques de bordure.

ξ — Cornéenne de l'Ile Milliau et du Roc'h : métagraywackes rubanés avec méta-arkoses et quartzites ; sombres et lités ; à grain très fin et taches de cordiérite. Andalousite, sillimanite, corindon, grenat : accessoires.

ζ — Blastomylonites de Trébeurden : gneiss finement oeillés clairs à sombres et leptynites : composition allant des granites aux diorites quartziques. Formation en grande partie d'origine éruptive (orthogneiss).

Figure 4 : Légendes de la carte (figure 3)

I - A : À partir du schéma structural du massif de St jean du Doigt (figure 2, page 3) et de la carte du massif de Ploumanac'h (figure3, page 4), proposez pour chaque massif plutonique une possible chronologie de mise en place des différentes roches composant le massif.

Réponse(s) à la question I - A

La figure 1 permet de voir un alignement SW-NE des intrusions dévono-carbonifères, de l'Aber Ildut jusqu'à Barfleur, suggérant une relation géographique et donc une histoire commune plausible de ces massifs.

Le schéma structural du massif de St Jean du doigt montre une intrusion dans des terrains siluro dévonien et dévono-carbonifères.

Le massif est essentiellement gabbroïque mais il présente des granites en son cœur et il existe une large zone de mélange gabbro-granitique. Le granite semble intrusif mais le mélange suggère une continuité dans la mise en place. On peut penser à une mise en place synchrone des deux magmas.

La carte du massif de Ploumanac'h montre une disposition annulaire des roches magmatiques de l'extérieur vers l'intérieur : roches du groupe 1 (granites à gros grains et gabbros) puis groupe 2 (granites intermédiaires) puis groupe 3 (granite de l'Ile grande) suggérant une mise en place chronologique des unités externes puis internes.

La mise en place du gabbro semble ici aussi synchrone de celle du granite à gros grains.

Partie II : Épreuve de pétrologie et de minéralogie

II - A : Les associations pétrogénétiques du massif de Ploumanac'h

II - A : Les relations à l'échelle de l'affleurement *de l'anse Ste Anne (Trégastel, figure 3)*

La photographie 5a montre les relations existant à l'interface entre la roche 1 et la roche 2.

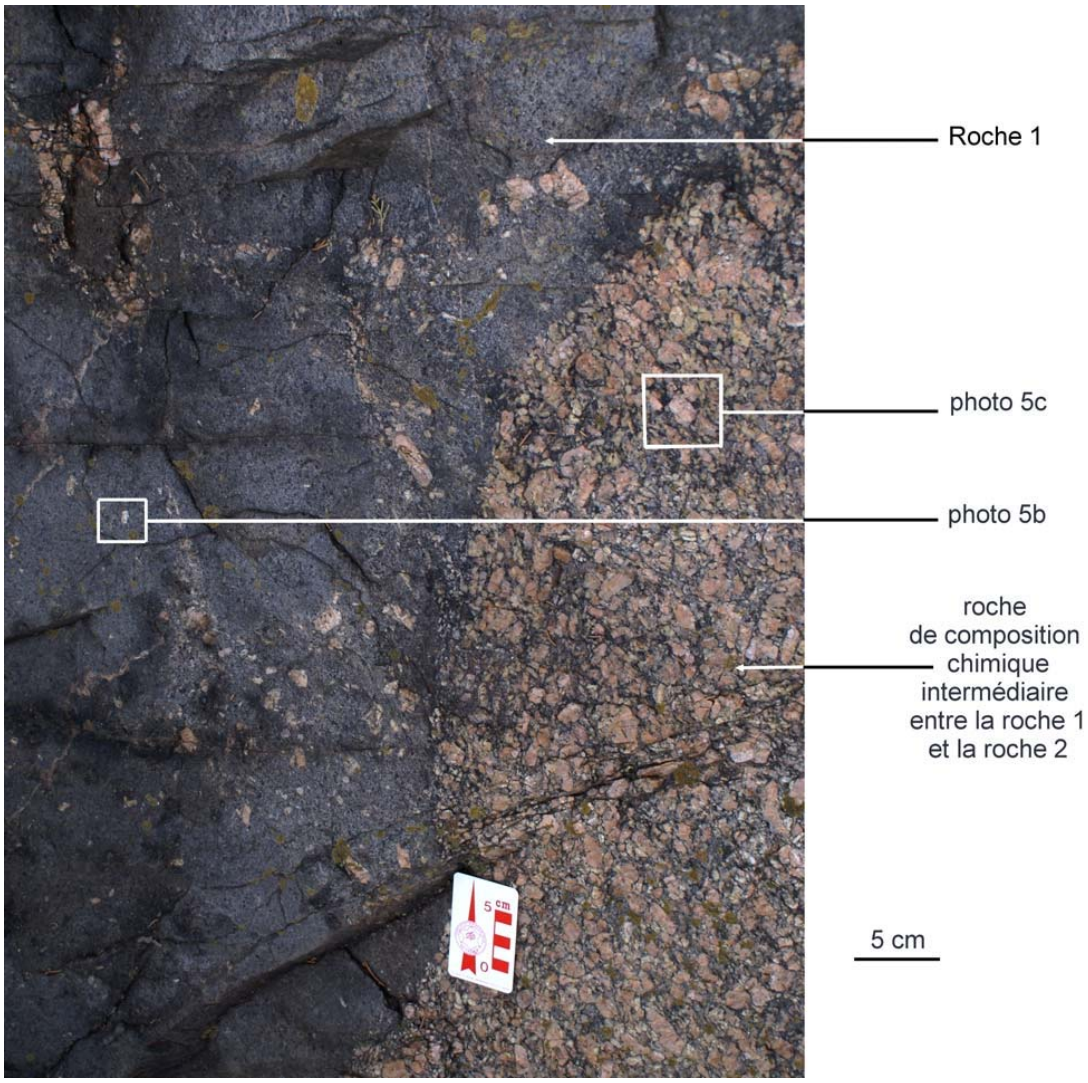


Figure 5a : Relations des roches dans l'anse Ste Anne (Trégastel). Les photographies 5b et 5c sont des détails de ces relations.

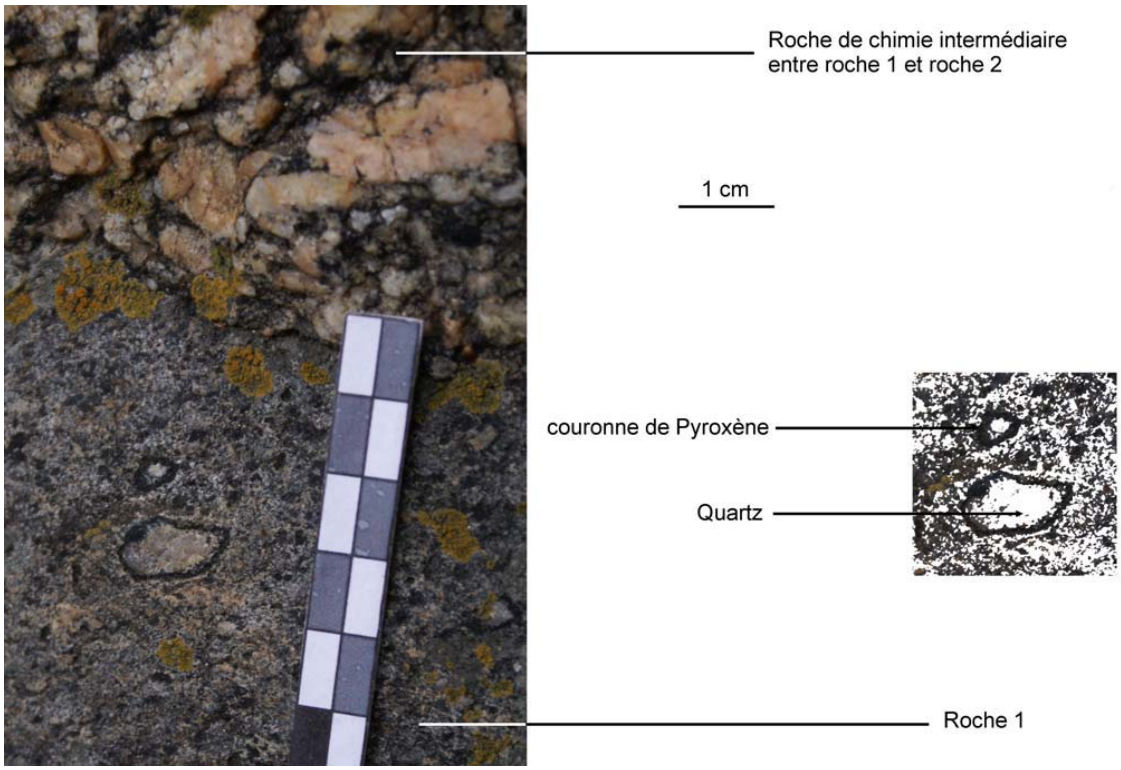


Figure 5b : Détails du contact.

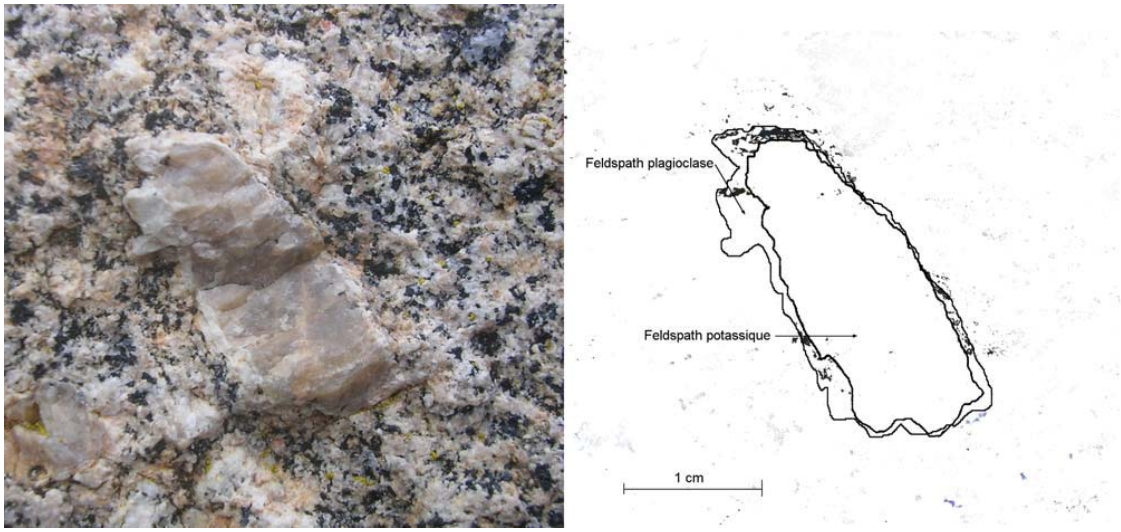


Figure 5c : Détails dans la roche de chimie intermédiaire.

II - A : Décrivez la figure 5a. Expliquez rapidement ce que représentent les structures des figures 5b et 5c.

En intégrant les données de la figure 6, proposez une hypothèse sur le mode de formation de ces structures.

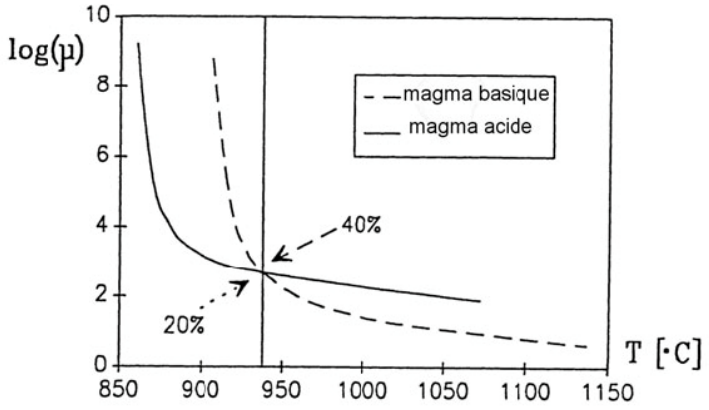


Figure 6 : Estimation des viscosités de magmas acides et basiques en fonction de la température d'équilibre obtenue après leur mise en contact (~température du magma acide). Le calcul est effectué à partir des compositions chimiques en éléments majeurs, une teneur en eau de 4 %, avec une teneur en critique en cristaux de 60 % (au-delà de laquelle les interactions entre les cristaux dominent et où le magma développe des propriétés non-newtoniennes), et une pression de 4 kbar.

Réponse(s) à la question II - A

Description figure 5a

A l'interface entre la roche 1 et la roche 2 il existe une roche de composition intermédiaire.

La roche 1 est une roche sombre et la roche intermédiaire présente des phénocristaux roses dans une « matrice » noire.

On observe des phénocristaux roses disséminés dans la roche 1 au niveau de la limite.

Sur la carte de Ploumanac'h on peut lire que nous sommes au contact entre gabbros et granites à gros grains de l'unité1.

La roche 1 est une roche basique ; elle correspond au niveau 1a du groupe1 ; c'est un gabbro.

La roche 2 est sans doute le granite 1b du groupe 1.

La roche intermédiaire correspond peut être à un mélange des deux magmas : les relations avec le gabbro montre un contact peu net, sinueux et des phénocristaux roses des deux côtés => pas de relation géométrique brutale entre les deux roches.

De petits filonnets roses dans le gabbro indiquent une éventuelle postériorité de mise en place de la roche 2 par rapport au gabbro, mais un gabbro non encore solidifié.

Explications des structures 5b et 5c

Structure 5b : dans le gabbro on observe des quartz « blindés »par une couronne de pyroxène. Le quartz, non automorphe, de forme arrondie (ocelle de quartz), est allochtone et n'est pas en équilibre avec le magma gabbroïque d'où la couronne réactionnelle de pyroxène. Le quartz provient vraisemblablement de la roche2, du granite.

Structure 5c : dans la roche intermédiaire (mais aussi dans le gabbro visible en haut à droite de la figure 5a), on observe des feldspaths potassiques avec bordure de plagioclase. Cela illustre le même type de phénomène : le feldspath potassique en équilibre avec un magma granitique ne l'est pas avec un magma gabbroïque ou intermédiaire, une couronne réactionnelle de plagioclase se forme.

Les figures montrent des déplacements de cristaux et la possibilité d'avoir des roches de composition intermédiaire : ni le magma gabbroïque, ni le magma granitique n'était solide. Les ocelles de quartz et les cristaux de feldspaths potassiques (microcline, oligoclase) en cours de cristallisation dans le magma granitique ont été injectés dans le magma gabbroïque et ont réagi avec celui-ci.

Il y a eu échange mécanique de cristaux entre les deux magmas contemporains et immiscibles.

Apport de la figure 6 : hypothèse de formation

Le graphique montre qu'il existe une possibilité d'avoir un magma acide et un magma basique à la même viscosité. Les magmas basiques sont en général plus chauds et plus fluides que les magmas acides.

Ici la viscosité semblable est réalisée pour 60% de cristallisation totale (20% pour le magma acide et 40% pour le magma basique) à une température de l'ordre de 940°C (à 4 kb).

Cela permet de confirmer la possibilité d'échanges mécaniques de minéraux entre deux magmas synchrones et de viscosité égale mais immiscibles.

Remarque : La coexistence des deux magmas pose le problème de leur genèse et de leur relation. Le magma basique est d'origine mantellique.

II - B : Les associations pétrogénétiques du massif de Saint-Jean-du-Doigt.

II. **B. 1 :** L'affleurement de Poul Rodou (Guima‘c) (voir secteur B sur la figure 2, page 3).

Le site de Poul Rodou présente de remarquables alternances gabbro-dioritiques. La diorite, claire, est facilement identifiable au sein d’un ensemble gabbroïque sombre relativement homogène qui montre toutefois localement des cumulats à amphiboles.

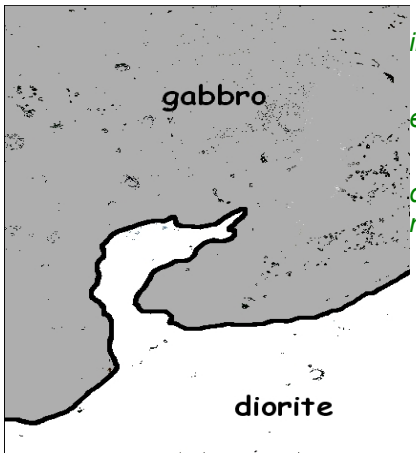
a **b**

Figure 7a et 7b : Deux affleurements sur la plage de Poul Rodou

II - B - 1 : Réalisez un croquis légendé de chaque affleurement et résumez en quelques phrases ce qu'apporte l'étude de ces structures en terme de chronologie et de dynamique de mise en place.

Réponse(s) à la question II - B - 1

croquis 1

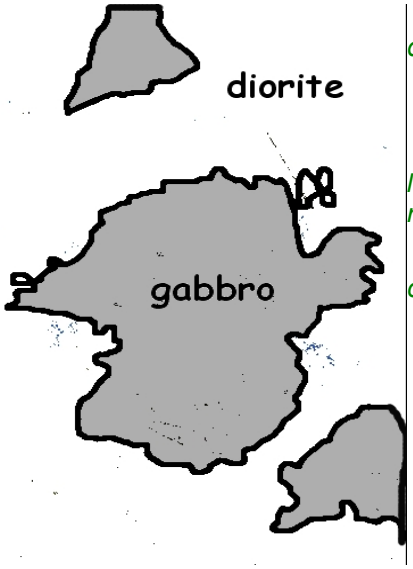


la photo montre un « diapir »magmatique de diorite injecté dans le gabbro.

Les contours sont arrondis : le gabbro n'est pas encore solide quand le magma dioritique se met en place.

Le matériel dioritique moins dense semble remonter dans le gabbro (pas d'indication sur d'éventuelles modifications d'orientation du massif).

croquis 2



Ici le gabbro se retrouve en « inclusion » dans la diorite.

Les limites des enclaves sont arrondies.

Deux suggestions envisageables :

le magma gabbroïque semble antérieur au magma dioritique mais non encore solidifié.

Ou on est en présence d'un magma basique plus chaud qui se solidifie par trempe dans le magma dioritique.

conclusions

Les deux affleurements, situés dans le secteur B, montrent une mise en place quasi synchrone des deux magmas : le magma basique est antérieur mais non solidifié quand le magma dioritique s'injecte.

On peut faire l'hypothèse d'un faible contraste de viscosité.

II - B - 2 : L'affleurement de la plage de Saint-Jean-du-Doigt (voir secteur A sur la figure 2, page 3).
On retrouve ici la même association gabbro-diorite mais les structures sont différentes.

Figure 8 : Relations gabbro diorite à Saint-Jean-du-Doigt.

II - B - 2 : Résumez en quelques lignes en quoi ces structures différent des précédentes et ce qu'elles suggèrent en terme de dynamique de mise en place.

Réponse(s) à la question II - B - 2

On retrouve des enclaves de gabbro dans de la diorite, mais ce qui est remarquable ici, c'est l'aspect anguleux des enclaves basiques. Nous sommes en présence d'une brèche magmatique.

Le gabbro est solidifié, donc refroidi, lorsque le magma dioritique s'injecte. On peut parler de fracturation hydraulique (ou encore de magmatic stoping).

Le contraste de viscosité est ici très important.

Sur le schéma structural on peut noter que l'on se situe dans une zone (secteur A) où seuls les gabbros sont répertoriés ce qui indiquerait l'importance des dits gabbros par rapport aux diorites.

II - B - 3 *: L'affleurement de la Plage du bourg (Plougasnou) (voir secteur A de la figure 2, page 3).*

À l'ouest de l'anse de la plage du bourg de Plougasnou, on peut observer à la fois sur les blocs polis de grande taille et sur les affleurements de belles morphologies pétrogénétiques, toujours liées à la coexistence de la diorite et du gabbro.

Figure 9 : Les relations gabbro diorite à Plougasnou.

II - B - 3 : Résumez en quelques lignes en quoi ces structures diffèrent des précédentes (figures 7 et 8) et ce qu'elles suggèrent. Faites un rapide bilan général concernant le massif de Saint-Jean-du-Doigt.

Réponse(s) à la question I - B - 3

Les enclaves gabbroïques montrent ici un mélange plus approfondi des deux magmas : elles sont allongées, à contours arrondis, alignées dans une même direction au sein de la diorite.

La diorite apparaît plus sombre que sur les affleurements précédents.

Cet affleurement (secteur A) montre un mélange mécanique des deux magmas immiscible (un début d'émulsion ?).

On peut noter des indices de déformation : foliation, boudinage.....

Bilan :

En 7a et b, on observe une injection de magma dioritique dans un gabbro en cours de cristallisation et des figures diapiriques de diorite. L'affleurement révèle une proximité de la zone d'injection.

En 8, l'injection de magma dioritique s'est faite par fracturation hydraulique dans un gabbro plus solide, plus refroidi.

En 9, un mélange entre les deux magmas fluides immiscibles explique les structures observées. Il existe un gradient de déformation entre 8 et 9.

On peut proposer en bilan l'idée de la fossilisation d'une chambre magmatique. (pas fond de la chambre car pas de cumulats visibles).

(Le massif de St Jean du doigt peut être rangé dans les corps intrusifs de type MASLI : Mafic Silicic Layered Intrusion.)

Partie III : Les apports de la géochimie

III - A : L'étude du massif de Ploumanac'h

III - A - 1 : Les relations entre les différentes unités

minéral en %	roche1	roche2	granite unité2	granite unité3
quartz	3	37	30	28,5
feldspaths potassiques	0	45	31	42
plagioclases	50	15	32	20
Minéraux colorés accessoires	47	biotite 3	7	biotite 5,5 muscovite 4

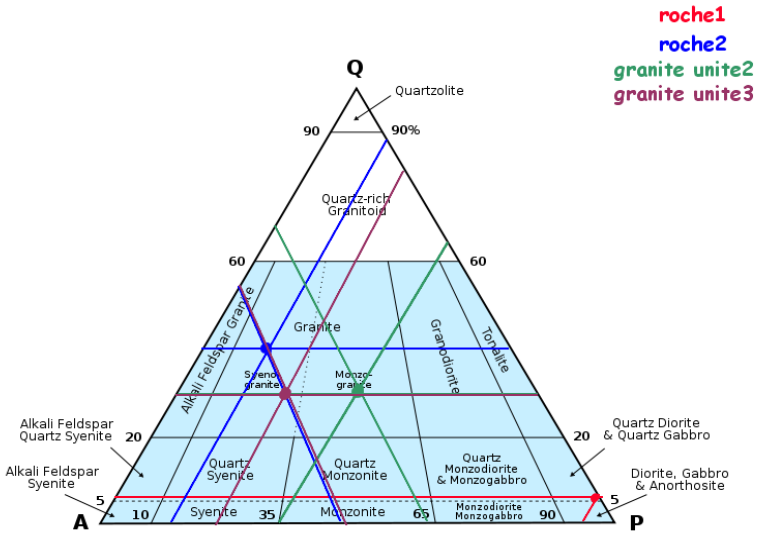


Figure 10 : Composition minéralogique simplifiée des roches du massif de Ploumanac'h.

Figure 11 : Diagramme de Streckeisen pour les roches plutoniques.

III - A - 1 : Replacez (par des croix légendées) les roches du massif de Ploumanac'h dans le diagramme de Streckeisen. Formulez une hypothèse expliquant les dispositions observées.

Réponse(s) à la question III - A - 1

Selon la minéralogie proposée, la roche 1 est un gabbro.

La roche 2 est un granite (syénogranite). Le granite de l'unité 2 est plutôt un monzogranite et celui de la 3 de nouveau un syénogranite.

Les trois granites sont très proches. Le granite de l'unité 3 est cependant un peu plus alumineux (présence de muscovite).

On peut suggérer une parenté entre les 3 granites : ils ont le même âge et une localisation restreinte. On ne peut pas parler de série : le dernier mis en place n'est pas plus siliceux seulement plus alumineux ..

III - A - 2 : L'origine des magmas

L'étude des rapports isotopiques Rubidium/Strontium permet de proposer une origine aux granites de l'unité 1.

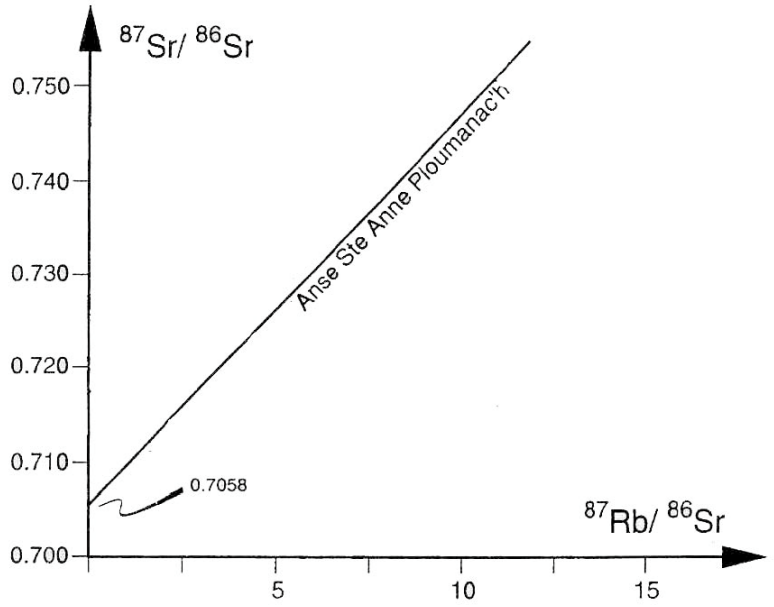


Figure 12 : Valeur des signatures isotopiques initiale de l'isochrone Rb-Sr roches totales obtenue sur l'ensemble G1 (roches 1 + roches 2) de Ploumanac'h.

III - A - 2 : Qu'elle est l'origine des roches 1 et 2 de l'unité 1 ?

Réponse(s) à la question III - A - 2

Granites et gabbros de l'unité 1 ont la même origine. Les rapports Sr donnent une origine mantellique à cette unité.(0,7058)

III.B. L'étude du massif de Saint-Jean-du-Doigt

L'échantillonnage se divise en quatre groupes :

- les gabbros (sens large), trouvés dans les secteurs A et B,
- les monzogabbros du secteur A,
- les monzonites et les monzonites à quartz du secteur A , et une diorite du secteur B,
- les granites secteur B et granite de Lanmeur.

L'étude a pour but de permettre d'établir les relations de parenté entre les différentes roches et de trouver les mécanismes de leur genèse ainsi que leur origine.

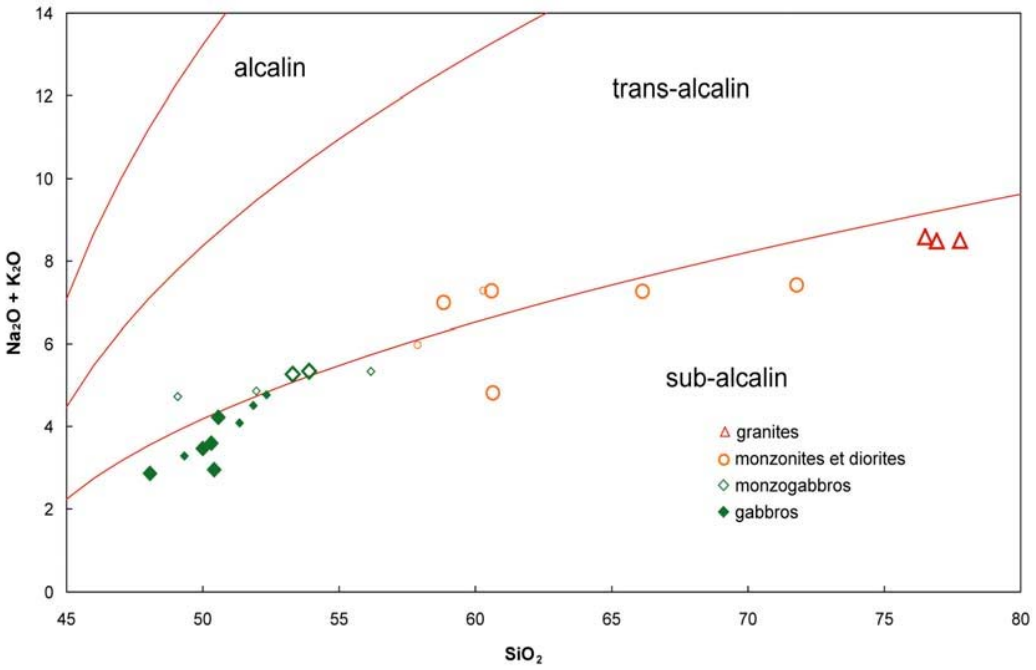


Figure 13 : Diagramme des alcalins (Na_2O+K_2O) - SiO_2 (en pourcentage pondéral) des échantillons de Saint-Jean-du-Doigt. Séparation des champs selon Middlemost (1997)

III - B - 1 : L'apport des éléments majeurs

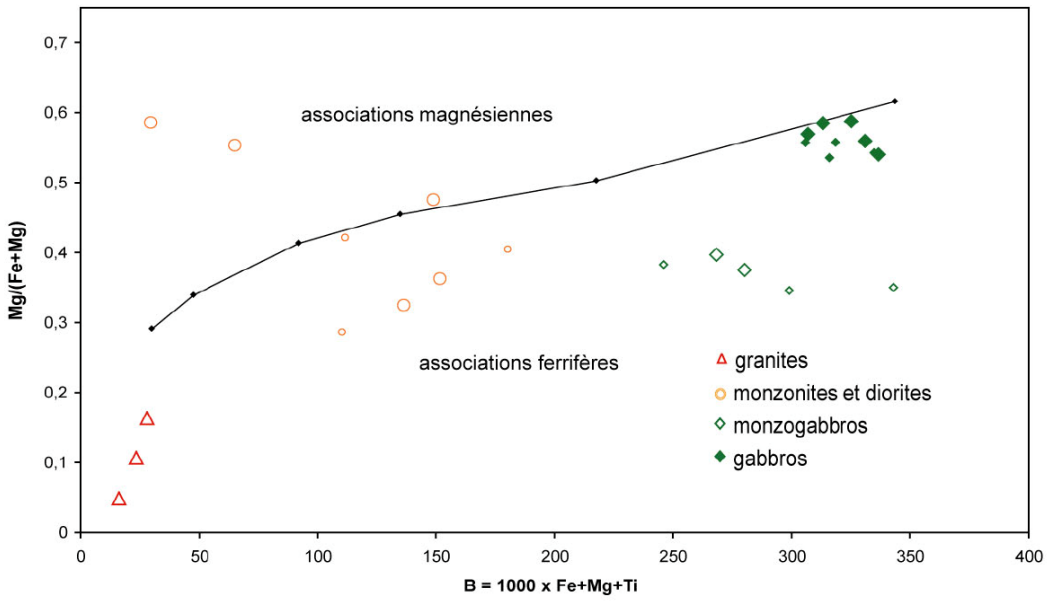


Figure 14 : Diagramme séparant les lignées de différenciation ferrifères et magnésiennes à partir des composition cationiques des échantillons de Saint-Jean-du-Doigt,
La courbe noire matérialise la position de référence de la lignée calco-alcaline classique, où les proportions Fe-Mg sont à l'équilibre.

III - B - 1 : Utilisez les renseignements fournis par les figures 13 et 14 pour préciser les relations entre les différentes roches du massif de Saint-Jean-du-Doigt et formulez des hypothèses sur les mécanismes de leur genèse.

Réponse(s) à la question III.B.1

Figure 13 : toutes les roches du massif de St Jean du doigt sont globalement alignées dans un champ moyennement alcalin (limite trans et sub alcalin).

Des termes gabbroïques aux granites, on peut lire une suite quasi continue d'évolution chimique : il s'agit d'une série magmatique des termes les moins différenciés (gabbros) aux termes les plus différenciés (granites).

Figure 14 : cette figure met en évidence le caractère ferrifère de la série (sauf 2 monzonites magnésiennes). Les gabbros sont les moins ferrifères.

Le massif de St Jean du Doigt est constitué d'une série magmatique de roches subalcalines à transalcalines ferropotassiques.

III - B - 2 : L'apport des éléments traces

Les teneurs en éléments en traces sont présentées sous forme de spectres multi-élémentaires et de terres rares, normalisés aux chondrites.

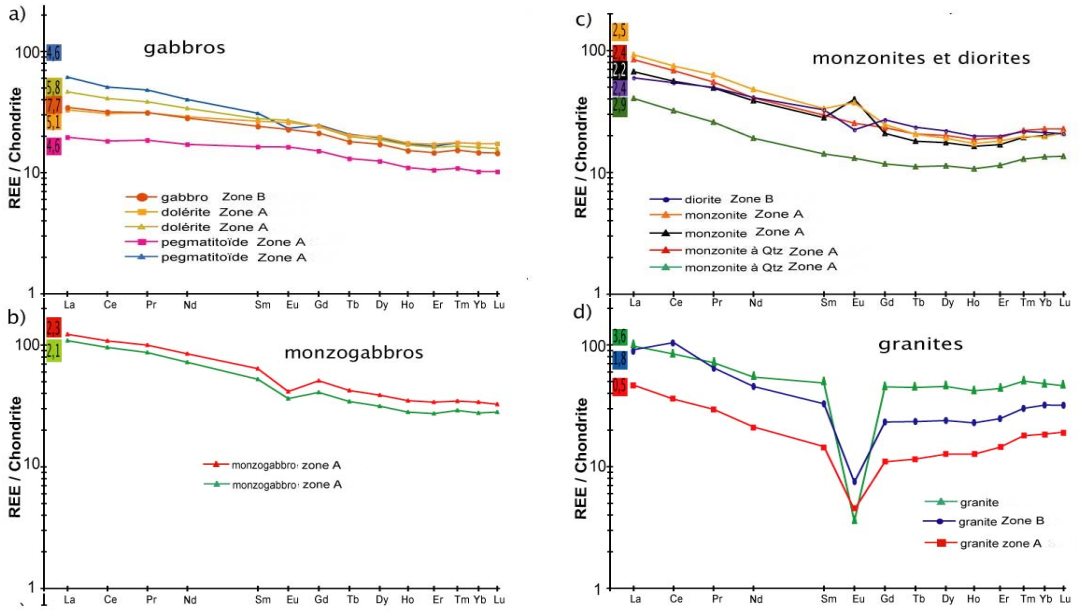


Figure 15: a, b, c, d : Spectres de terres rares des échantillons du massif de St-Jean-du-Doigt, normalisés aux chondrites. Les εNd (à 300 Ma) sont notés à gauche des spectres (voir page 25). Pour chaque spectre, la légende indique la nature pétrologique et la zone d'échantillonnage .

III - B - 2 : Vous rappellerez en quelques lignes le comportement de ces éléments lors de la fusion partielle et l'intérêt de ce type d'analyse. Vous comparerez rapidement les spectres des différentes roches.

Réponse(s) à la question III - B - 2

Intérêts de l'étude des éléments traces

Les éléments traces présentent deux types de comportement lors de la fusion partielle (ou lors de la cristallisation dans le magma). Les éléments « compatibles » se retrouvent préférentiellement dans les solides alors que les « incompatibles » se concentrent préférentiellement dans les liquides.

D = coefficient de distribution solide-liquide = concentration de l'élément dans le minéral /concentration de l'élément dans le liquide en équilibre.

D>1 => élément compatible ex : Cr,Co,Ni

D<1 => élément incompatible ex : Cs, La, Sr, Nd,Eu.....

Les éléments compatibles se concentrent dans les roches résiduelles lors de la fusion partielle. Les éléments incompatibles gagnent préférentiellement les liquides de fusion partielle.

De manière très simplifiée, le manteau est « enrichi » en compatibles et la croûte continentale est « enrichie »en incompatibles.

L'étude de ces éléments permet d'estimer la zone source du magma, le taux de fusion partielle ou encore le degré de contamination.

Comparaisons des spectres

La compatibilité des éléments est de plus en plus grande de gauche à droite.

Les spectres des 4 groupes sont relativement plats mais la pente légèrement négative des plus aux moins incompatibles montrent une légère concentration en incompatibles (par rapport à la norme chondritique).

On observe une anomalie négative en Eu faible pour les monzogabbros et plus forte pour les granites.

=> L'analyse des terres rares de ces différentes roches rend compte du cogénétisme des roches du massif. L'enrichissement en incompatibles est relativement homogène et seules les anomalies en Eu sont spécifiques des groupes.

III - B - 3 : L'epsilon néodyme et les rapports Strontium

Les variations du rapport $^{143}Nd/^{144}Nd$ étant relativement modestes (^{147}Sm est un nucléide possédant une demi-vie très longue), on utilise couramment une notation *ε (epsilon),* « mesurant » l'écart entre la valeur du rapport $^{143}Nd/^{144}Nd$ de la roche mesurée et la valeur du rapport $^{143}Nd/^{144}Nd$ du CHUR au même âge. La mesure de cet écart présente l'avantage de comparer plus facilement les rapports $^{143}Nd/^{144}Nd$. Le tableau propose des résultats sur les échantillons du massif de Saint-Jean-du-Doigt.

nature	secteur	$^{87}Sr/^{86}Sr$	$(^{87}Sr/^{86}Sr)$initial	^{143}Nd /^{144}Nd	εNd à t 0	εNd à t 300Ma
granite		0,819261	0,7108	0,512674	0,7	1,8
granite	zone B	0,819676	0,7106	0,512655	0,3	3,6
monzonite à Qtz	zone A	0,707263	0,7065	0,512676	0,7	2,9
monzonite à Qtz	zone A	0,705915	0,7055	0,512643	0,1	2,4
diorite	zone B	0,707338	0,7070	0,512668	0,5	2,4
monzonite	zone A	0,708330	0,7047	0,512644	0,1	2,2
monzonite	zone A	0,707339	0,7050	0,512632	-0,1	2,5
monzogabbro	zone A	0,707246	0,7047	0,512633	-0,1	2,1
monzogabbro	zone A	0,707856	0,7049	0,512634	-0,1	2,3
gabbro	zone B	0,705259	0,7032	0,512962	6,3	7,7
dolérite	zone A	0,706384	0,7052	0,512850	4,1	5,8
pegmatitoïde	zone A	0,705571	0,7047	0,512768	2,5	4,6

Tableau 1 : Compositions isotopiques des échantillons du massif de Saint-Jean-du-Doigt (Qtz = quartz).

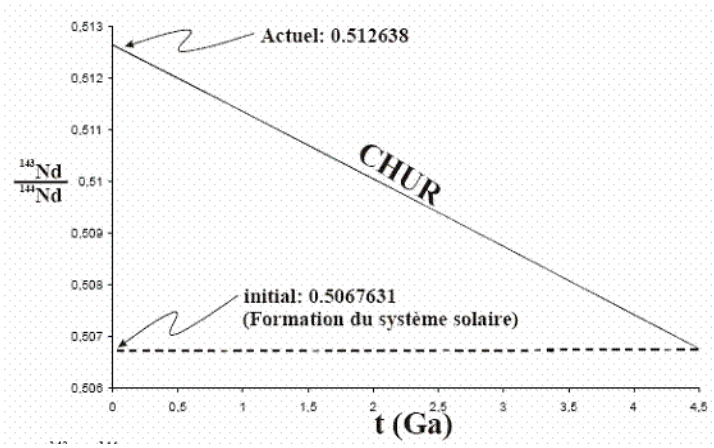
III - B - 3 : Après avoir rappelé ce qu'était le CHUR, vous analyserez rapidement le tableau.

Réponse(s) à la question III - B - 3

définition du CHUR

Le CHUR= chondritic uniform reservoir représente l'évolution isotopique en néodyme d'un système (météorite chondritique) ayant gardé un caractère isolé depuis la création du système solaire il y a 4,6 Ga.

Les chondrites sont considérées comme du matériel du système solaire non intégré à des planètes.



analyse du tableau

Les rapports $^{87}Sr/^{86}Sr$ suggèrent des origines différentes pour certaines roches :

Les granites ont une signature ambigüe $^{87}Sr/^{86}Sr \geq 0,710$

Les monzogabbros, monzonites et diorite ont une origine mantellique commune mais vraisemblablement avec plus ou moins de contamination crustale .

Les gabbros ont une signature mantellique.

Le peu de différence entre les rapports $^{143}Nd/^{144}Nd$ ne permet pas de tirer de conclusion.

Les échantillons montrent des εNd recalculés à 300Ma très positifs et en corrélation avec chaque groupe pétrographique, (quelque soit la zone d'origine).

4,6 à 7,7 pour les gabbros

2,5 à 2,9 pour les monzonites

2,1 à 2,3 pour les monzogabbros

très variables pour les granites entre 1,8 et 3,6.

Si l'on compare aux rapports Sr, on voit que les εNd reflètent l'appartenance plus ou moins mantellique des magmas d'origine : plus le chiffre est élevé et plus le magma est proche du manteau d'origine. La grande variabilité pour les granites suggèrent une origine mixte plutôt que crustale.

Le tableau confirme l'idée de cogénétisme de toutes ces roches.

Les différences proviendraient de phénomènes de différenciation magmatique et/ou de contamination crustale.

III - B - 4 : En résumant les différentes données géochimiques et pétrogénétiques (*cf* partie II) du massif de Saint-Jean-du-Doigt, vous ferez une courte synthèse sur l'origine de ces diverses roches.

Le massif gabbroïque de St Jean du Doigt peut être considéré comme une chambre magmatique fossile.

Les inclusions magmatiques ont enregistré les différentes relations entre deux magmas immiscibles de viscosités égales ou très différentes, selon leur localisation dans la chambre magmatique.

Les roches magmatiques acides et basiques ont une origine mantellique commune. Les roches analysées appartiennent à une série magmatique subalcaline à transalcaline ferropotassique.

Les termes les plus différenciés sont le résultat de différenciation magmatique mais aussi de contamination crustale.

Toute réponse qui propose une plausible origine est valorisée si elle est cohérente.

AGREGATION DE SV-STU :
Oral de spécialité A

La leçon de spécialité A est proposée sous la forme d'un titre accompagné de quelques documents ou objets fournis par le jury. Après 4 heures de préparation, le candidat est invité à présenter sa leçon pendant 50 minutes. La leçon est ensuite suivie d'un entretien de 25 minutes qui, dans un premier temps, revient sur le sujet de la leçon, avant d'aborder d'autres thèmes portant sur l'ensemble du secteur A.

Les documents fournis par le jury revêtent une importance particulière, car ils peuvent aider le candidat à mieux cerner le sujet de la leçon, ou à l'orienter vers quelques aspects spécifiques mais essentiels du sujet. En revanche, les documents ne couvrent pas tous les aspects du sujet, il est donc indispensable que la leçon soit construite sur l'exploitation conjointe des documents fournis par le jury et de documents et matériels choisis par le candidat.

La plupart des documents proposés sont des transparents rapportant les résultats d'expériences scientifiques, que le candidat doit présenter au jury, interpréter et replacer dans le contexte de la leçon pour alimenter sa démonstration. Le jury constate que ces documents sont souvent mal exploités, aussi bien au niveau de leur présentation que des conclusions tirées de leur interprétation. Certains candidats donnent l'impression de découvrir les documents au moment de leur présentation, et dans ces conditions, il est très difficile d'en faire une exploitation satisfaisante.

Tout d'abord, il est conseillé d'annoter les documents pour en souligner les résultats principaux et les conclusions qui en découlent (pas directement sur le document, mais sur un transparent le recouvrant) et ceci pour deux raisons: la première est de les rendre plus compréhensibles pour l'auditoire en faisant ressortir les points importants. La seconde, qui est la principale, est d'offrir au candidat des points de repère lui permettant d'exposer clairement son interprétation sans être obligé de refaire en direct tout le raisonnement, et en étant sûr de ne rien oublier. Le jury voit en effet des candidats perdre du temps à relire toutes les légendes et essayer de retrouver leurs conclusions, ce qui est très périlleux compte tenu du stress lié à la présentation. Enfin, les candidats doivent prendre le temps nécessaire pour présenter, expliquer et exploiter les documents, car de trop nombreux transparents passent trop vite pour que l'auditoire puisse comprendre quoi que ce soit. Le fait de disposer de documents fournis par le jury ne doit pas empêcher les candidats d'utiliser du matériel supplémentaire susceptible d'illustrer certains aspects de la leçon. Les candidats ne doivent pas hésiter à demander tout échantillon ou matériel biologique qu'ils jugent intéressant dans le cadre du sujet proposé. L'exploitation à bon escient de matériel choisi par le candidat lui-même est jugée très positivement, car elle permet au jury d'apprécier sa créativité.

La maitrise des différents thèmes du programme du secteur A est très variable suivant les candidats, cependant quelques points apparaissent particulièrement mal connus par un nombre important de candidats:

- les principes de base de l'immunologie (déroulement de la réponse immunitaire, interactions cellulaires, mécanismes de genèse de la diversité des anticorps ou des récepteurs T)

- organisation générale et fonctionnement du système nerveux (potentiel d'équilibre et potentiel d'action, intégration neuronale)

- les grandeurs physiques et chimiques, leurs unités et leur quantification

Le jury insiste sur le fait que détailler un mécanisme au niveau moléculaire ne sera apprécié que si le candidat est capable de nous expliquer ce que l'approche moléculaire apporte à la compréhension des phénomènes biologiques. Par exemple, faire le schéma détaillé de la présentation de peptides par le CMH aux lymphocytes T, sans être capable d'expliquer en quoi cela contribue à la compréhension du polymorphisme des réponses immunitaires face à un pathogène dans la population, ne valorise pas le candidat.

Par ailleurs, certains ouvrages de la bibliothèque ne sont presque jamais demandés par les candidats lors de la préparation des leçons, alors qu'ils constituent des ouvrages de référence dans leur domaine. C'est le cas, par exemple, de "Biochemistry and molecular biology of plants ", de Buchanan, Gruissem et Jones dont il n'existe malheureusement pas de traduction française, mais qui est abondamment illustré et qui contient des données relativement récentes sur de nombreux aspects moléculaires et cellulaires de la physiologie végétale.

Oral de contre-option secteur A

Cette épreuve est basée sur un exposé suivi d'un entretien. Elle ne concerne que des candidats de spécialité Sciences de la Terre. L'exposé est cadré dans le programme général et dure 40 minutes. Suit un entretien de 5 minutes centré sur le sujet de la leçon présentée, puis un entretien de 10 minutes élargi sur le domaine A et enfin un entretien de 10 minutes dans le domaine B. C'est au cours de l'entretien que peuvent être évoquées les questions d'actualité. Le jury tient à souligner quelques points importants concernant cette épreuve, de façon non exhaustive.

Quelques remarques sur les prestations des candidats pendant l'exposé

* Maitrise scientifique :

La maitrise des sujets posés est très variable suivant les candidats. Certains font preuve d'une réelle et profonde maitrise du sujet et utilisent même parfois des connaissances relatives au domaine de spécialité A. D'autres au contraire semblent avoir acquis leurs connaissances uniquement pendant la préparation, ce qui ne permet pas en général une maitrise suffisante. Le jury rappelle que les sujets choisis en contre-option sont des sujets relativement classiques, sans piège, et qu'une bonne préparation permet d'y faire face très sereinement à condition de ne négliger aucun domaine. Des lacunes scientifiques importantes ont en particulier été constatées dans la connaissance des protocoles expérimentaux utilisés en biologie cellulaire et moléculaire, dans la connaissance chimique des composés du vivant, dans la maitrise des notions physico-chimiques et sur certains points de physiologie.

* Conception des exposés :

Bien que les sujets soient généralement cernés, on constate un certain nombre d'erreurs de compréhension. Le jury rappelle que la phase d'analyse du sujet, en début de préparation est un instant fondamental. Pendant cette phase, il faut cerner les termes du sujet, en avoir une définition claire, et l'exprimer au moment de l'introduction. Il faut dégager clairement les axes du sujet. Ce sont ces axes qui vont conditionner la construction du plan. Les erreurs constatées dans la conception des sujets proviennent le plus souvent d'un déficit dans cette phase d'analyse et parfois d'un manque de maitrise du sujet.

* Forme des exposés :

Elle est en général satisfaisante. Le tableau est souvent bien tenu, avec un plan progressivement inscrit, l'expression graphique est en général correcte, la voix est posée dans la plupart des cas, et enfin la durée des exposés est le plus souvent cadrée. Quelques problèmes d'orthographe apparaissent parfois mais ils sont finalement assez marginaux. Certains exposés néanmoins restent beaucoup trop ternes, monocordes et sans réel dynamisme. Il est conseillé aux candidats de s'investir activement dans la prise de parole et de faire vivre leur exposé. Ils peuvent par exemple introduire du contraste vocal dans les différentes phases de leur discours et ne pas hésiter à se déplacer pour montrer précisément les objets servant à étayer la leçon. En effet, les candidats doivent penser à introduire des activités variées à partir de différents supports, et à les placer judicieusement pour améliorer le rythme de la progression. Toutes ces qualités sont cruciales dans l'exercice de leur futur métier d'enseignant.

* Argumentation expérimentale et utilisation des modèles :

L'argumentation expérimentale des exposés est un point faible récurrent. Les modèles sont en général affirmés, sans qu'on en connaisse les arguments. L'appui sur des données expérimentales est incontournable dans la construction d'un exposé en biologie. Il est évidemment impossible de tout démontrer mais les candidats doivent prévoir au moins une phase dans laquelle ils exposent un protocole, ils expriment des résultats et en tirent des conclusions logiques. De la même façon, il serait souhaitable de ne pas oublier que les modèles ne représentent pas la réalité : ils tentent de s'en approcher en synthétisant des faits de façon obligatoirement simplificatrice. Il serait donc souhaitable d'utiliser davantage le conditionnel et d'introduire une part de doute lorsqu'on utilise un modèle.

* Mise en contexte biologique :

C'est aussi un point faible souvent constaté. Les faits sont souvent désincarnés, surtout lorsqu'on travaille au niveau moléculaire et les candidats oublient fréquemment la problématique biologique qui sous-tend leur exposé. Il faut donc penser à contextualiser les faits en se recentrant par exemple sur les grandes fonctions du vivant ou sur les significations adaptatives ou évolutives. Il serait bon aussi de garder à l'esprit l'utilité éventuelle des connaissances soulevées : application médicales, industrielles…

Quelques remarques sur les prestations au cours de l'entretien

* Niveau scientifique :

Là encore, le niveau scientifique est très variable suivant les cas. Les examinateurs élargissent l'entretien au-delà du champ de la leçon, parfois sur des domaines très variés, en changeant de domaines plusieurs fois dans l'entretien. Il n'est pas rare de tomber alors sur un champ complètement méconnu. Le jury rappelle qu'une bonne préparation ne doit exclure aucun des domaines du programme général.

* Interactivité de l'entretien :

Le jury attend bien sur de la réactivité de la part du candidat. C'est la condition qui permet de développer un jeu de question/réponse interactif. Ceci permet de tester aussi bien les connaissances que les capacités de réflexion. L'exercice est certes difficile car il demande au candidat de la vivacité d'esprit, mais c'est une qualité très appréciée du jury. Certains exposés se déroulent ainsi de façon très satisfaisante. D'autres par contre démontrent, hélas, un manque de pugnacité ou de réactivité de la part du candidat.

Leçons de spécialité A

Agrobacterium tumefaciens

ARNs et fonctionnement cellulaire

De la cellule germinale primordiale à l'ovocyte II chez les vertébrés

Interactions en immunologie

Interactions et différenciation cellulaires

Interactions lymphocyte T/lymphocyte B : des premiers modèles aux modèles actuels

Invalidation d’un gène pour l’étude d’une pathologie humaine

L’utilisation de la transgenèse pour l’études pathologies humaines

La cellule et l'eau

La contribution des vaisseaux dans la circulation sanguine chez les Mammifères

La dynamique des génomes eucaryotes

La fécondation chez les mammifères: mécanismes, conséquences et applications

La méiose et ses conséquences

La migration des cellules : développement et cancer

La mort cellulaire programmée chez les végétaux

La notion de gène : évolution historique et conceptions actuelles

La spermatogenèse chez les Mammifères

La thérapie cellulaire : méthodes et applications

La thérapie génique : attentes et difficultés

L'adhésion cellulaire

Le bois

Le chromosome eucaryote

Le contrôle de la procréation humaine

Le cytosquelette des cellules eucaryotes

Le fonctionnement cardiaque à l'échelle cellulaire

Le génome des mitochondries

Le métabolisme énergétique à l'échelle de l'organisme chez l'Homme

Le renouvellement tissulaire

Le rôle de l'auxine dans la croissance des Angiospermes

Le rôle du calcium dans les cellules musculaires

Les ARNm

Les bases cellulaires de la communication nerveuse

Les canaux membranaires

Les cellules embryonnaires animales communiquent et s’informent

Les cellules excitables

Les cellules osseuses et leurs différenciations chez le Mammifère adulte

Les cellules souches dans l’organisme humain

Les facteurs de croissance et leurs récepteurs: mode d'action et pathologies.

Les immunoglobulines

Les interactions enzymes-substrats

Les levures : organismes modèles en génétique

Les messages qui construisent le système nerveux

Les mutations

Les outils du génie génétique

Les pigments du chloroplaste

Les protéines nucléaires

Les réactions du muscle à l'activité sportive

Les risques de propagation des transgènes dans l'environnement

Les structures protéiques

Les transitions épithélium-mésenchyme

Les types trophiques à l'échelle cellulaire

L'hématie

Mécanismes de formation des tumeurs

Mise en mouvement du milieu intérieur chez l'Homme

Principes et apports du séquençage des génomes

Qu'est-ce qu'un virus ?

Réplication de l’ADN

Transgenèse végétale à partir de l'exemple des fruits

Utilisation des plantes transgéniques en agriculture

Leçons de contre-option ab

Centromères et télomères : des éléments essentiels du chromosome eucaryote

La cellule musculaire striée squelettique

La procréation médicalement assistée

La respiration cellulaire

La synthèse protéique dans son contexte cellulaire

La transduction des signaux extracellulaires

L'adhérence intercellulaire

Le brassage génétique chez les procaryotes

Le fonctionnement du néphron chez l'Homme

Le maintien de l'intégrité du génome

Le virus de la mosaïque du tabac

L'eau et la cellule

Les cellules adhèrent entre elles et au substrat.

Les cellules cancéreuses.

Les cellules cardiaques et leur fonctionnement

Les cellules embryonnaires animales communiquent et s'informent

Les défenses des végétaux contre les organismes pathogènes

Les défenses immunitaires chez les mammifères

Les évènements cellulaires, moléculaires et métaboliques lors de la métamorphose chez les amphibiens

Les formes d'énergie dans les cellules

Les interactions nucléo-cytoplasmiques programment la vie de la cellule

Les levures

Les messages qui construisent le système nerveux

Les parois végétales

Les pigments des végétaux

Les relations entre gènes et protéines

Mitose et méiose

Obtention et utilisations des plantes transgéniques

Qu'est-ce qu'un virus ?

Réponses de l'organisme humain à l'exercice musculaire

Rôle du foie dans la régulation de la glycémie

Stabilité et variabilité de l'ADN

AGREGATION DE SV-STU 2009 : oral secteur B

Commentaires généraux

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 avoir une vision naïve et à

adopter une point de vue et un vocabulaire superficiels ou 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. La vision de l'évolution et de des mécanismes évolutifs s'est également souvent révélée superficielle et caricaturale.

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.

Epreuve 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 pas 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 rappelions 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 <u>sa</u> 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. Les membres du jury tiennent à insister sur le fait que la leçon est un exercice scientifique avec toutes les exigences de raisonnement et de justification que cela impose. Il est regrettable de voir des leçons où les connaissances sont présentes mais simplement restituées et énoncées dans une juxtaposition sans raisonnement. Ces leçons conduisent le plus souvent à un échec au concours, alors que les entretiens révèlent que dans bon nombre de cas, les candidats avaient la capacité de mener sa leçon autrement.

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. Certains sujets de leçons peuvent moins que d'autres

s’appuyer sur des ouvrages et des ressources bibliographiques. C’est alors une raison supplémentaire pour soigner l’analyse des documents imposés, en extraire les informations pertinentes et formuler explicitement des hypothèses et/ou conclusions, trop souvent absentes. En revanche, les documents ne couvrent en général pas tous les aspects du sujet. 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. 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 écrit dans un autre contexte que celui de la leçon. Trop souvent aussi, la présentation de la théorie précède l'exploitation des documents, ce qui est 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.

Epreuve 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, puis dans la deuxième contre-option.

Le jury déplore le nombre élevé de leçons souvent très théoriques, où les connaissances sont restituées de manière dogmatique, sans réelle réflexion sur le contenu du sujet et trop peu ou maladroitement illustrées. Quand les candidats choisissent d'illustrer leur leçon, c'est malheureusement trop souvent en multipliant les exemples sans approfondissement 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 (éventuellement à partir de quelques clichés) qui doivent permettre au candidat de se re-concentrer dans un autre champ disciplinaire.

Leçons de spécialité B

Autofécondation et allofécondation

Biologie et physiologie des végétaux des milieux secs

Biologie, écologie et évolution des mammifères

Choix du partenaire et sélection sexuelle chez les Vertébrés

Classifications traditionelles et classifications évolutives

Conséquences de la fécondation chez les Angiospermes : les fruits et les graines

Du stade végétatif au stade reproductif chez les Angiospermes

Facteurs du milieu et morphogenèse chez les végétaux

Gènes du développement et évolution des plans d'organisation

La biologie des graines

La circulation de l'eau dans la plante

La compétition interspécifique

La dispersion chez les végétaux (on ne parlera pas de la dispersion du pollen)

La dissémination : spores, graines et fruits

La diversité des algues

La diversité des modes de vie des champignons

La domestication des plantes cultivées

La métamorphose : transition écologique

La mise en place du comportement chez les animaux

La prédation

La recherche de la nourriture chez les animaux

La réponse de l'organisme humain à l'effort physique

La reproduction asexuée chez les végétaux : modalités et conséquences écologiques

La reproduction sexuée des Angiospermes

La respiration pulmonaire chez les Vertébrés

La sélection sexuelle

La vie dans la zone intertidale

La vie dans l'écosystème récifal

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 planctonique

L'activité cardiaque dans l'organisme humain

L'adaptation humaine à l'altitude

Le bilan hydrique chez les animaux terrestres

Le chant des oiseaux : mécanismes neurophysiologiques et importance biologique

Le choix de l'habitat chez les animaux

Le comportement territorial

Le contrôle photopériodique de la reproduction chez les Mammifères

Le passage de la mauvaise saison (hiver) chez les phanérophytes

Le polymorphisme génétique

Le rein : organe de l'équilibre hydrominéral (chez les Mammifères)

Le rôle des micro-organismes dans le cycle de l'azote

Le système circadien des Mammifères

L'équilibre hydrique chez les végétaux terrestres

Les animaux et la mauvaise saison

Les appendices des Arthropodes

Les apports de la domestication à la compréhension des mécanismes évolutifs

Les conséquences évolutives des modifications génomiques

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 mécanismes photosynthétiques de type C4 et CAM et leur intérêt écologique

Les modalités de la prise alimentaire

Les perturbations et la dynamique des écosystèmes

Les phylogénies et leurs utilisations

Les relations gamétophyte/sporophyte chez les Embryophytes

Les relations insectes - végétaux

Les relations interspécifiques et la structure des communautés

Les relations sources / puits chez les végétaux terrestres

Les réponses des végétaux à la sécheresse

Les rôles des vaisseaux sanguins

Les soins parentaux chez les Vertébrés : coûts et bénéfices

Les squelettes des animaux

Les successions écologiques

Les symbioses microorganismes - Angiospermes

Les systèmes à contre-courant

Les systèmes d'appariement chez les Mammifères et les Oiseaux

Les tropismes

Les végétaux et l'altitude

L'homme et la biodiversité

L'importance de la vie ralentie chez les végétaux

L'organisation sociale chez les Hyménoptères

L'organisation sociale chez les Vertébrés

L'oxygène dans la vie des végétaux

Nutrition azotée chez les végétaux terrestres

Organisation et évolution du génome des Eucaryotes

Osmorégulation et ionorégulation en milieu aquatique

Parasitisme et mutualisme

Phéromones et vie sociale chez les Insectes

Pollen et pollinisation

Sélection naturelle et sélection artificielle

Transferts de matière et d'énergie dans les écosystèmes

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

Leçons de contre-option ba

Excrétion et milieu de vie

La biodiversité

La nutrition des autotrophes

La reproduction asexuée

La vie dans la zone intertidale

La vie fixée chez les animaux

L'adaptation des Embryophytes au milieu aérien

Le passage de la mauvaise saison chez les animaux

Le polymorphisme génétique

Les compartiments liquides extracellulaires des métazoaires

Les formes de l'azote et leur utilisation par les organismes

Les interactions plantes - champignons

Qu'est-ce qu'un fruit ?

Recherche de nourriture et prise alimentaire chez les Insectes

Respiration et milieu de vie

AGREGATION DE SV-STU 2009 : Oral secteur C

Leçon de spécialité

La leçon d'option a la particularité de demander au candidat de construire, autour d'un "titre", une démarche scientifique qui s'appuie sur des documents imposés par le jury et d'autres qu'il choisit librement. L'objectif est de répondre à une problématique claire que le candidat doit bien définir, d'emblée, en fonction de ses connaissances du sujet et des documents fournis. Les sujets de leçons peuvent être vastes, plus focalisés, classiques ou non. Les leçons plus complexes en apparence ne sont pas moins bien traitées que des leçons "classiques" (ex. "les marges passives", etc.). La bibliographie en sciences de la Terre s'étant considérablement enrichie ces dernières années, il est tentant de se borner à utiliser "l'ouvrage", qui traite quasi exclusivement du sujet et à aller chercher dans d'autres références, seulement quelques détails. C'est un écueil à éviter.

Trop souvent les documents fournis par le jury, assez peu nombreux en général (5 à 6 grand maximum), sont sous exploités ou mal utilisés ; ils ne servent alors qu'à l'illustration rapide d'un aspect de la leçon. C'est souvent le cas lorsque le titre de la leçon a mal ou partiellement perçu et que les documents fournis n'ont pas été suffisamment analysés et compris durant la préparation. Ils ont alors beaucoup de mal à s'insérer correctement dans la leçon. Ces documents ne sont pas donnés au hasard ! Ils sont là pour permettre au candidat, d'après leur analyse détaillée, de réaliser des démonstrations qui l'aident à argumenter, à montrer ses capacités de raisonnements scientifique et pédagogique. Les candidats doivent bien réfléchir à quand et pourquoi utiliser tel ou tel document imposé et aux liens pouvant exister entre eux (fréquents !); certains documents fournis en appellent d'autres et le candidat doit également s'en rendre compte. Finalement, une vraie réflexion sur la signification et l'utilisation des documents doit donc être réalisée durant le temps de préparation de la leçon.

En géologie, les cartes et les échantillons sont à ce titre très mal exploités en général. Il est vrai que la réflexion à mener sur ces documents est peut être plus difficile ou déroutante pour les candidats que sur des tableaux, des photographies, etc. On attend alors de leur part, et c'est très rarement le cas, qu'ils intègrent réellement ces données dans leurs démonstrations ou leurs raisonnements.

En ce qui concerne maintenant le matériel supplémentaire, il doit être choisi et exploité avec la même rigueur que celui qui est imposé et avec la même pertinence.

Enfin, durant la leçon, le candidat doit partir des faits. Il faut décrire puis analyser, avant d'interpréter. L'inverse a souvent été constaté (pour parler des caractéristiques d'une chaîne de montagnes, la sismique et la gravimétrie sont présentées avant les roches métamorphiques, ou les arguments cartographiques (chevauchements, etc.). Dans le déroulement de la leçon, les transitions entre les

différentes parties sont rarement soignées ; elles sont essentielles et doivent apparaître logiques, voir évidentes ! La leçon doit avoir une colonne vertébrale (les documents sortis à bon escient), et un fil conducteur, qui doit permettre au jury de suivre le candidat dans sa démarche, dans sa logique, dans son raisonnement et ses démonstrations.

Enfin, durant l'entretien qui suit la leçon, le jury déplore le manque de culture géologique, pourtant attendu chez des candidats dont le choix s'est porté sur cette spécialité.

Leçon de contre-option c

La leçon de contre-option c demande au candidat de construire autour d'un sujet en liaison avec le programme de connaissances générales sciences de la Terre et de l'univers une démarche fondée sur une problématique claire définie lors de l'introduction.

Il est essentiel que la démarche privilégie l'observation des faits, présentés à partir de matériels et/ou illustrations choisis et exploités : échantillons, images, cartes géologiques, etc. Un défaut trop fréquemment rencontré est l'absence d'exploitation réelle des documents présentés. Ceux-ci viennent également trop souvent en appui a posteriori d'un concept énoncé auparavant de façon théorique alors qu'ils devraient servir de base à la démarche.

Les aspects essentiels du sujet doivent être abordés et les connaissances essentielles dans le domaine du sujet doivent être clairement présentées. Le niveau des connaissances des candidats peut être qualifié d'hétérogène : des connaissances solides parfois, mais trop souvent des connaissances limitées, voire insuffisantes.

La présentation de la leçon, d'une durée maximale de 40 minutes, est suivie d'un entretien portant sur différents aspects des sciences de la Terre et de l'univers :

- dans un premier temps, les questions visent à préciser et/ou compléter certains points du sujet ;

- l'entretien est ensuite élargi à d'autres aspects du programme de connaissances générales et/ou à la question scientifique d'actualité portant en 2009 sur les « ressources minérales et énergétiques ». Le jury a constaté trop souvent un manque de connaissances sur les applications pratiques des sciences de la Terre : il paraît pourtant indispensable que de futurs enseignants témoignent d'une bonne culture scientifique autour de questions largement médiatisées et qu'ils pourraient avoir à discuter avec leurs futurs élèves.

Leçons de spécialité C

Cinématique actuelle en Méditerranée

Composition des enveloppes terrestres

Différents types de bassins sédimentaires d'après l'analyse de la carte géologique au millionième

Dynamique de la chaîne alpine

Dynamique de la Terre interne

Énergie solaire et climat

Évolution de la biodiversité au cours du temps

Genèse des magmas granitiques

Géodynamique de la Méditerranée

Influence de la vie sur l'environnement au cours des temps géologiques

La différenciation de la Terre

La diversité des roches magmatiques

La lithosphère

La lithosphère continentale

La lithosphère océanique

La mesure du temps en Géologie

La nucléosynthèse et les grandes étapes de la formation du système solaire

La sismicité de la France dans son cadre géologique

La stratigraphie séquentielle

La subduction océanique

La variabilité climatique naturelle au Cénozoïque

L'archéen

Le couplage océan-atmosphère

Le noyau

Le système solaire

Le volcanisme cénozoïque en France métropolitaine

L'échelle des temps géologiques

L'enregistrement sédimentaire des variations du niveau marin

Les glaciations

Les marges continentales de la France métropolitaine

Les météorites

Les mouvements verticaux de la lithosphère

Les silicates

Les transferts de matière du continent à l'océan

Les variations du CO_2 dans l'atmosphère terrestre : mise en évidence, causes et conséquences

Métamorphisme et déformation des roches à différentes échelles

Métamorphisme et géodynamique

Nature et structure de la lithosphère continentale à partir de la carte géologique de la France au millionième

Originalité de la Terre dans le système solaire

Origine et évolution des Hominidés

Origine et évolution des magmas basaltiques

Rôle de la tectonique des plaques sur le climat

Rôle de la vie dans la formation des roches

Sondes géophysiques et géochimiques de la Terre inaccessible

Subduction et collision

Transferts thermiques et mouvements de grande échelle dans les enveloppes du globe

Vitesse des processus géologiques

Leçons de contre-option ca

Accumulation sédimentaire et géodynamique

Aléa et risque volcanique

Cadre géodynamique et évolution des bassins sédimentaires

Cadre géodynamique et évolution des bassins sédimentaires

Chaîne andine et chaîne alpine

Chronologie absolue : 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

Énergie solaire et bilan énergétique de la Terre

Évolution de la biosphère et coupure des temps géologiques

Évolution de la biosphère et coupure des temps géologiques

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 Pacifique

Glaciers et sédiments associés

Gravimétrie et structure du globe à différentes échelles

Importance de la convection en géodynamique interne et externe

Influence de la lithologie et du climat sur le modelé du paysage

La biosstratigraphie

La biostratigraphie

La collision continentale

La collision continentale à partir de l'exemple de l'Himalaya

La collision continentale à partir de l'exemple des Alpes

La croûte océanique : structure et mise en place

La différenciation magmatique

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 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 sur les marges passives

La Terre comparée aux autres planètes telluriques

L'accrétion océanique

L'Archéen

Le champ magnétique terrestre : origine et évolution

Le magmatisme lié à la formation et à l'évolution des chaînes de montagnes

Le noyau terrestre

Le volcanisme dans les DOM et sa signification géodynamique

Le volcanisme tertiaire et quaternaire en France métropolitaine

L'échelle des temps géologiques

L'érosion des continents et la sédimentation terrigène

Les bassins sédimentaires observés sur la carte de France au millionième dans leur cadre géodynamique

Les crises biologiques dans l'histoire de la Terre

Les cycles du carbone

Les différents types de métamorphisme et leur signification géodynamique à partir de la carte de

France au millionième

Les dynamismes éruptifs

Les évaporites

Les glaciations

Les grandes accumulations sédimentaires détritiques

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 grands cycles orogéniques à partir de la carte de France au millionième

Les magmas : origine et évolution

Les marges actives

Les marges continentales actuelles de la France métropolitaine

Les marges passives

Les marqueurs de la collision continentale

Les métamorphismes liés à la formation des Alpes

Les météorites

Les microfossiles : utilisation biostratigraphique

Les nappes d'eau souterraines : ressources en eau, sources d'énergie

Les planètes du système solaire

Les ressources énergétiques du sous-sol

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

Magmatisme et géodynamique

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

Planètes telluriques et planètes gazeuses

Réservoirs, flux et processus impliqués dans le cycle de l'eau

Rifting et ouverture océanique

Leçons de contre-option cb

La mobilité verticale de la lithosphère

Les marqueurs de la cinématique des plaques à différentes échelles de temps

La composition de la Terre

Les données géologiques sur l'origine de la vie

Altération et érosion des continents

La reconstitution des paléoenvironnements marins

Les basaltes

L'énergie solaire reçue par la Terre : devenir et effets

Les grandes lignes de l'histoire géologique du Massif Armoricain à partir de cartes géologiques au choix du candidat

Les métamorphismes liés au cycle alpin en France

La distribution d'énergie solaire à la surface de la Terre et ses conséquences

Les marqueurs géologiques et géochimiques des glaciations

La biosphère au Paléozoïque

Les grandes lignes de l'histoire géologique du Massif Central paléozoïque à partir de cartes géologiques au choix du candidat

Chronologie relative : principes et applications

La reconstitution des paléoenvironnements continentaux

Géologie de l'océan Indien

La stratigraphie séquentielle

L'effet de serre

L'univers et les grandes étapes de la formation du système solaire

La rythmicité dans les processus sédimentaires

Le cycle externe de l'eau

Paléomagnétisme et cinématique lithosphérique

Utilisation biostratigraphique et paléoécologique des fossiles

Les bassins houillers en France

Formation des enveloppes terrestres

Les échanges océan-atmosphère

Les grandes lignes de l'histoire géologique du Jura à partir de cartes géologiques au choix du candidat

Le métamorphisme : marqueur géodynamique

Le paléomagnétisme : marqueur de la géodynamique océanique et continentale

L'expansion océanique

La Pangée

Les enregistrements des paléoclimats

Le magmatisme d'origine mantellique

Les différents types de marges continentales

Métamorphisme et conditions de pression et de température

Les granitoïdes

Les dorsales océaniques

Aléa et risque sismique

Les ophiolites

Les grandes lignes de l'histoire géologique des Alpes à partir de cartes géologiques au choix du candidat

Utilisation des roches dans la construction

Sismologie et structure du globe

Rôle de la vie dans la genèse des roches

La chaleur interne de la Terre

Extension cénozoïque en France métropolitaine

Les ressources énergétiques fossiles

Les bioconstructions carbonatées

Modelé et relief en terrain calcaire

La déformation cassante

Les rifts continentaux

L'énergie interne du globe et sa dissipation

Récifs et sédimentation péri-récifale

Les courants océaniques

La mobilité de la lithosphère

Le cycle externe de l'eau

Du plancton à la roche (évolution de la matière organique exclue)

Transferts de matières du continent à l'océan

Exploitation et protection des ressources en eau

LISTE DES OUVRAGES ET DES LOGICIELS DISPONIBLES POUR LES EPREUVES ORALES D'ADMISSION

Ouvrages de SV Ouvrages de STU Logiciels sites internet capturés

Il n'y aura pas d'accès direct à internet

Les listes ci-dessous sont données à titre indicatif et provisoire

Le jury se réserve le droit d'y apporter de légères modifications avant le début des épreuves orales

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.*

Alais C., Linden G., Miclo L. (2003) – Biochimie alimentaire*. Dunod 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. (2004). 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.*

Callen J-C (2005*)* – Biologie cellulaire .Des molécules aux organismes . *Dunod éd.*

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.*

Combarnous 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.*
Macheix J.J. Fleuriet A,Jay-Allemand C.(2005) – Les composés phénoliques. *Presses polytechniques et universitaires romandes 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.*
Mûller-Esterl W (2007) – Biochimie et biologie moléculaire . *Dunod 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. (2001). - L'analyse des génomes. *Nathan éd.*
Brondex F. (1999 et 2003). - 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.*

Gibson G. & Muse S. V. (2004). - Précis de génomique. *De Boeck éd.*
Gouyon P.H, Arnould J, Henry J-P (1996) –Les avatars du gènes. La théorie néodarwinienne de l'évolution . *Belin 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.*
Henry J.-P. Gouyon P-H (1998) – Précis de génétique des populations . *Masson 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.*
Le Guyader H. (2003). Classification et évolution. *Le Pommier éd.*
Lewin B. (2001). - Gènes. *Flammarion Médecine-Sciences éd.*
Luchetta Ph. & coll. (2004). - Evolution moléculaire. *Dunod éd.*
Maynard-Smith J. & Szathmary 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.*
Schilthuizen M. (2002). Mouches, Grenouilles et Pissenlits : Les mécanismes de la spéciation. *Dunod éd.*
Serre J – L (2006) Génétique . *Dunod .éd.*
Serre J.-L. (1997 et 2006)). - 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*.

Borrel Th. (1996) – Les virus . *Nathan 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. (2001et 2008). - 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 et 2004). - 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.*

Roland J-C, Callen J – C (2007) – Atlas Biologie cellulaire . *Dunod 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 et 2004). - Biologie du développement. *Dunod éd.*

Martial. (2002). - L'embryon chez l'homme et l'animal. *INRA / INSERM éd.*

Moore K.L. (1989). - Eléments d'embryologie humaine. *Vigot éd.*

Poirier J., Cohen I. & Bandet S. (1980). - Embryologie humaine. *Maloine éd.*

Pourquié O. (1995). - Biologie du développement. La construction du système nerveux. *Nathan éd.*

Pourquié 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.*
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.*
Génetêt 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) Exercice physiology.*Lippincoot 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.*

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.*
Richard D.Orsal D.(2007) – Neurophysiologie. Organisation et fonctionnement du système nerveux. *Dunod 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.*
Rupper, Fox, Barnes (2004). Invertebrates zoology. *Seventh ed.*
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. & Beaufils 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, tomes 1 & 2. *Dunod éd.*
Beaumont A. & Cassier P. (1972). - Biologie animale. Les Cordés. Anatomie comparée des Vertébrés. *Dunod éd.*
Beaumont A, Cassier P., Truchot JP (1998). Biologie et physiologie animale. Cours et questions
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 Mandibulates 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.*
Combes C.(2001) – Interactions durables, Ecologie et évolution du parasitisme . *Dunod éd.*
Crubezy E., Braga J. & Larrouy G. (2002). - Anthropobiologie. *Masson éd.*
Dajoz R. (1974). - Dynamique des populations. *Masson éd.*
Dajoz R. (2000 et 2006). - 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 et 2004). - 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.*

Larcher W. (2003). Physiological Plant Ecology – Ecophysiologie and Stress Physiology of functional groups. *Springer éd.*
Lepoivre P. (2003). - Phytopathologie. *De Boeck & Presses agronomiques de Gembloux éd.*
Levêque Ch. (2001). - Ecologie : de l'ecosystème à la biosphère. *Dunod éd.*
Levêque Ch. & Monoulou J.-C. (2001). - La biodiversité : dynamique biologique et conservation. *Dunod éd.*
Levêque Ch. & Siama Y. (2008). - Développement durable, nouveau bilan. *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.(2005) – Eléments d'écologie : Ecologie appliquée . *Dunod éd.*
Ramade F. (1984). - Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale. *McGraw-Hill éd.*
Ramade F. (2003) – Eléments d'écologie : Ecologie fondamentale . *Dunod éd.*
Ramade F.(2006) – Des catastrophes naturelles . *Dunod éd.*
Ricklefs R. & Miller G. L. (2005). - Ecologie. *De Boeck éd.*
Thomas F., Renaud F.& Guegan J.-F. (2005). - Parasitism et ecosystems. *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 mutiplication 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 resistance 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 Synthéses. *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 et 2004). - Biologie végétale. *Dunod 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*

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.*
Strivastava LM. (2002) – Plant growth and developpement : hormones and environnement
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 parasités *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.*
Gaussen 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 et 2007). - 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 et 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, méditeranéennes. *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 & Vrielinck B. (1993). - Atlas Tethys : Paleoenvironmental maps. *CCGM/CGMW.*
Dercourt J. & Paquet J. (1999 et 2006). - 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*
Mascle G. (2008). Les roches, mémoire du temps. *EDP Sciences ed.*
Foucault A. & Raoult J. F. (1988et 2005). - Dictionnaire de Géologie. *Masson éd.*

Géochronique – De la géologie aux géosciences , mars 2007 – Le plomb, juin 2007 – Géosciences marines en France , inclusions vitreuses et volcanisme etnéen, diamants de culture, année internationale de la Planète Terre , septembre 2007 – Matière organique , décembre 2007 . BRGM
Mac Kenzie W.S., Adams A.E. (1996). Atlas d'intiation à la pétrographie. *Masson ed*
Mattauer M – (1998) –Ce que disent les pierres . *Belin éd.*
Cordier P., Leroux H. (2008). Ce que disent les minéraux. *Belin éd.*
Nataf H.C . –Sommeria J.(2000) – La physique et la Terre *. Belin /CNRS Editions*
Pomerol Ch., Lagabrielle Y. & Renard M. (2000). - Eléments de Géologie. *Dunod éd.*
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.*

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 et 2006). - Sédimentologie. *Dunod éd.*
Meunier A. (2002). Argiles. *SGF éd.*
Collectif (Pour la Science). (1984). - Cette roche nommée pétrole. *Belin / Pour la Science éd.*
Collectif (Association des sédimentologistes 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.

Delmas R., Megie G., Peuch VE. (2005). Physique et chimie de l'atmosphère (avec Cdrom). *Belin éd.*
Delmas R., Chauzy S., Verstraete JM., Ferré H. (2007). Atmosphère, océan et climat. *Belin éd*.
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.*
Lezine AM.(2009). Le pollen : outil d'étude de l'environnement et du climat au quaternaire. *SGF éd.*
Margat J. (2004). - Atlas de l'eau dans le bassin méditerranéen. *CCGM/ Plan bleu/ Unesco.*
Meyer R. (1987). - Paléoaltérites 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.*
Solomon S. &coll. (2007). Climate change 2007, the physical science basis. *Campbridge university press 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., Andrault 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.*
Brun JP., Fort X. (2008). Entre sel et Terre. Structures et mécanismes de la tectonique salifère. *SGF 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 & coll. (2008) – Géodynamique de méditerranéenne. *Vuibert 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. G*ordon & Breach Science Publishers éd.*
Lliboutry L. (1998). - Géophysique et Géologie. *Masson éd.*
Machetel P. (2008). Les pulsations de la Terre : dynamique du manteau. *SGF 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.*
Philip H., Bousquet JC., Masson F. (2007). Séismes et risques sismiques : approches sismo-tectoniques. *Dunod 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. & Munschy 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.*
Hoffert M. (2008). Les nodules polymétalliques dans les grands fonds océaniques. *SGF éd.*
Nahon D. &coll. (2008). Géosciences de l'environnement: traceurs isotopiques, pédologiques, magnétiques. *SGF éd.*
Pelissionnier H. (2001). - Réflexions sur la métallogénie. *Les ouvrages de l'industrie minérale 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 & Breacb 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 et II : Stratigraphie et paléogéographieII : 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. (1999et 2006). - 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 et 2004). - 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 (Soc. géol.). (1993). - Pleins feux sur les volcans. *SGF / APBG éd.*
Collectif sous la direction de De Wever P. (2003). - Le volcanisme : Cause de mort et source de vie. *Vuibert / MNHN 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 Cotardiere 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.*

Sotin C., Grasset O., Tobie G. (2009). Planétologie, géologie des planètes et des satellites. *Dunod éd.*

10 –Stratigraphie

Elmis S. & Babin C. (1994et 2006). - 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. & coll. (1987). - Stratigraphie : Méthodes, Principes, Applications. *Doin éd.*

Pomerol Ch. & Babin C. (1975). - Stratigraphie et Paléogéographie. Ere Paléozoïque. *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.*

Senut B. (2008). Grands Singes/Hommes, quelles origines ? 20 millions d'années d'évolution des Hominoïdes. *SGF éd.*

LISTE DES CARTES MISES A 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
Ressources mondiales des eaux souterraines, Edition 2008, 1/40 000 000
Carte des anomalies magnétiques du monde, Edition 2007, 1/50 000 000
Carte sismo-tectonique du monde, Edition 2001, réduction au 1/50 000 000
Carte mondiale du stress, CCGM, Edition 2008, 1/46 000 000
Carte géologique du Nord de l'Europe, Edition 2003, 1/4 000 000
Carte géologique de l'Europe, édition 2007, réduction au 1/10 000 000
Carte géologique du quaternaire des Pyrénées, 1/400 000
Carte géologique des Pyrénées, 1/400 000
Carte structurale de l'Eurasie orientale, Edition 2008, 1/12 500 000
Carte métallogénique de l'Amérique du Sud, Edition 1983, 1/5 000 000
Carte métallogénique internationale de l'Afrique, Edition 2002, 1/5 000 000
Carte géologique internationale de l'Afrique n°1 à 6, UNESCO, Edition 1986, 1/5 000 000
Le Sahara à l'Holocène, Edition 1993, 1/5 000 000
Carte sismo-tectonique du Moyen-Orient, Edition 1992, 1/5 000 000
Carte métamorphique du Sud et de l'Est asiatique, Edition 1984, 1/10 000 000
Carte structurale de l'Atlantique nord, Edition 2008, 1/20 000 000
Carte sismotectonique du monde 1/25 000 000 CCGM
Carte géologique de l’Europe
Carte géologique de l’Europe nouvelle édition 2005 CCG
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 200
Les secteurs de la Terre et de la mer en Europe du Nord. 1/4 000 000. Land and sea areas of Nothern 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 géological Hazards map 1/7700 000 (2 cartes + notice). Carte 1 : mainly endodynamic origins
Eastern Asia géological 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 Mediterranée au 1/ 13 000 000 - CCGM Carte 1: tectonique et cinématique
Carte géodynamique de la Mediterranée au 1/ 13 000 000 - CCGM Carte 2 : séismicité 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 Chambery 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 dépot 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 Armoricain
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 d'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

Carte de Montpellier	
Carte de Briançon (au 1/80 000)	
Cartes géologiques au 1/50 000	
A	
Abbeville	Annecy Bonneville
Ambrazac	Argentan
Agen	Aubagne-Marseille
Aix en provence	Aulus les Bains
Alençon	Aurillac
Allos	Auxerre
Anduze	Avesnes
Angers	Avignon
B	
Baie du Mont Saint-Michel	Bolbec
Banières 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	Bricquebec-surtainville
Belle Ile en terre	Brignoles
Besançon	Brioude avec Langeac (montage)
Beziers	Brive la Gaillarde montagne
Blaye sainte luce	Broons
	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 carrières
Château Chinon	Coutras
Château landon	Craonne
Château salins	Creil
Châteaurenard	Crest
Châtillon sur seine	Cuers
D	
Dieulefit	Dole
Damartin en Goële	Domène
Dax	Douai
Die	Douarnenez
Digne	Doulaincourt
Dijon	Draguignan
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
Gerarmer	Grenoble
Gevray-Chambertin	Guillestre
H	
Hyères-Porquerolles	
Huelgoat	
I-J-K	
Iholdy	
Ile de Groix	
Is sur Tille	
Issoire	
Joigny	
L	
La Chapelle en Vercors	Le Faou
La Grave	Le Fousseret
La Javie	Le Mans
La Mure	Le Mas d'Azil
La Roche Bernard	Les Alpilles
La Rochette	L'Isle Adam
Lagny	Lodève
Langeac avec Brioude (montage)	Lons Le Saunier
Lanslebourg	Lorient
Larche	Lourdes
Largentière	Luc en Diois
Lavelanet	Lunel
Le conquet	Lunéville
M	
Maîche	Moncontour
Manosque	Mont de Marsan
Marquise	Montaigut
Martinique	Montargis
Maubeuge	Montceau les mines
Mauriac	Montélimar
Mens	Montivilliers Etretat
Menton Nice	Montmelian
Metz	Montpellier

Mirecourt	Morez bois d'amont
Millau	Morlaix
Modane	Morteau
Moirans en montagne	Mouthe
Molsheim	Moûtiers
Monbeliard	Mulhouse- Mullheim
N	
Nancy	
Nantes	
Narbonne	
Neufchâteau	
O	
Oloron-St Marie	
Orcières	
Orgelet Le Bourget	
Ornans	
P	
Pamiers	Plouarzel Ile d'Ouessant
Paris	Pointe du raz
Parroy	Poligny
Pau	Pontarlier
Perpignan	Pont-Croix
Pertuis	Pontgibaud
Pessac	Pontivy
Pézenas	Pontoise
Pleaux	Pouilly en Auxois
Plestin les Grèves	
Q	
Questembert	
Quingey	
Quintin	
R	
Rivesaltes	
Remiremont	
Riom-ès-montagnes	
Roman St Isère	

Rambervillers	
Renvez	
Rocroi	
Roquesteron	
S	
Saillagouse	St Avold
Saintes	Seyssels
Salins les Bains	St Bonnet
Samoëns Pas de Morgins	St Cast
Sarlat la Caneda	St Chinian
Sarrebourg	St Christophe en Oisan
Sarreguemines	St Claude
Saugues	St Dié
Saulieu	St Etienne
Sault de Vaucluse	St Flour
Savenay	St Gaudens
Saverne	St Girons
Séderon	St Jean d'Angély
Sélestat	St Jean de Maurienne
Senlis	St Martin Vésubie
Sens	St Mihiel
Serres	St Rambert en Bugers
Seynes	Strasbourg
T	
Tarare	Toul
Taverne	Toulon
Terrasson	Tréguier
Thiers	Trélon
Thonon châtel	Tulle -montage avec Brive-
Tonnerre	
V	
Valence	Vigneulles les Hattonchatel
Vermenton	Villers-Cotterets
Versailles	Vittel
Vicdessos	Vizille

Vic-sur-Cère	Voiron
Vieille Aure	Vosges parties orientale-centrale
Vif	
W-X-Y-Z	

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 (Micrelec 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).**

o Rifts à Djibouti**.**

Conclusions

Beaucoup de choses ont été dites dans les corrigés et commentaires des différentes épreuves. De manière plus générale, on peut ajouter que la session 2009 de l'agrégation externe de SV-STU s'est déroulée dans de très bonnes conditions d'organisation : aucun retard, aucune absence, un comportement très satisfaisant des candidats. Un simple regret, la tenue estivale de certains visiteurs qui a amené le président à refuser leur entrée en salle de leçon. Sans attendre une sophistication particulière, le jury exige une tenue correcte quelquesoit la température ambiante où l'origine géographique du candidat : pas de shorts, pas de tongs, pas de grands décolletés …

Les épreuves écrites se sont déroulées de manière très satisfaisante et l'harmonisation de la notation n'a pas posé de problème particulier. Par contre, pour les épreuves de travaux pratiques, le jury déplore des résultats très moyens, avec des gestes classiques bien maladroits. Les sciences de la vie et de la Terre sont des sciences d'observation, d'expérimentation, de manipulation ; cette dimension ne doit pas être oubliée dans les préparations. Quelle surprise pour les membres du jury de voir des candidats en difficulté pour couper des frites et même les immerger directement dans les solutions mères …

Les épreuves de TP étaient relativement longues à cette session ; les candidats ont majoritairement survolé la totalité des questions afin de glaner des points un peu partout, en abandonnant parfois certaines questions et sans ne jamais approfondir aucune réponse. Une réflexion sera menée au sein du jury, pour limiter les sujets afin de les rendre plus discriminants.

Quelques précisions peuvent être également apportées en conclusion de ce rapport à propos des épreuves orales ; ce sont essentiellement les réponses aux questions qui nous ont été posées par les formateurs. Il peut arriver qu'un candidat connaisse un des membres de la commission devant laquelle il expose. Les consignes sont rigoureuses pour tous les membres du jury : la leçon est pilotée par son auteur et aucune dérogation n'est faite à ce principe ; donc, la commission ne change pas de composition au dernier moment. En outre, les membres du jury sont plusieurs pour évaluer la prestation et la déontologie prédomine dans toutes les délibérations auxquelles les membres de la présidence peuvent s'associer.

Pour la première fois, à cette session, les candidats du secteur C savaient s'ils étaient interrogés en contre-option dans le secteur A ou dans le secteur B comme c'était déjà le cas pour les candidats des secteurs A et B.

Après avoir demandé, en novembre, aux présidents de jury de maintenir les programmes à l'identique pour la session 2010, la DGRH est revenue sur sa décision au mois de mars avec des délais extrêmement courts. Le calendrier proposé ne permettant pas de réunir la commission des programmes, le jury a décidé de maintenir le programme 2009 à l'identique pour la session 2010.

Bon courage pour l'année 2009-2010.