



Secrétariat Général

Direction générale des
ressources humaines

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE

Sous-direction du recrutement

Concours du second degré – Rapport intermédiaire du jury

Session 2014 exceptionnelle

CAPES EXTERNE ET CAFEP

Section: SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

**Rapport de jury présenté par Gilles MERZERAUD
Président de jury**

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

- *Introduction et statistiques.*
- *Sujet d'écrit de Biologie.*
- *Correction du sujet de Biologie et conseils aux candidats.*
- *Sujet d'écrit de Géologie.*
- *Correction du sujet de Géologie et conseils aux candidats.*

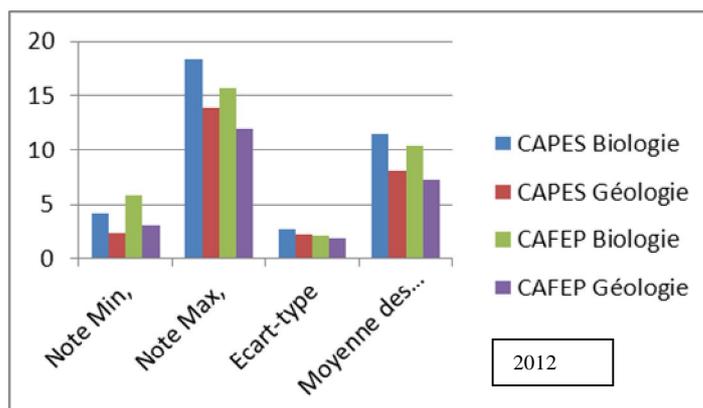
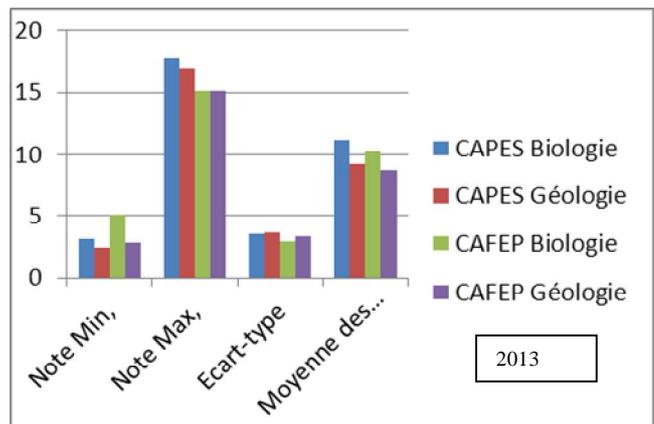
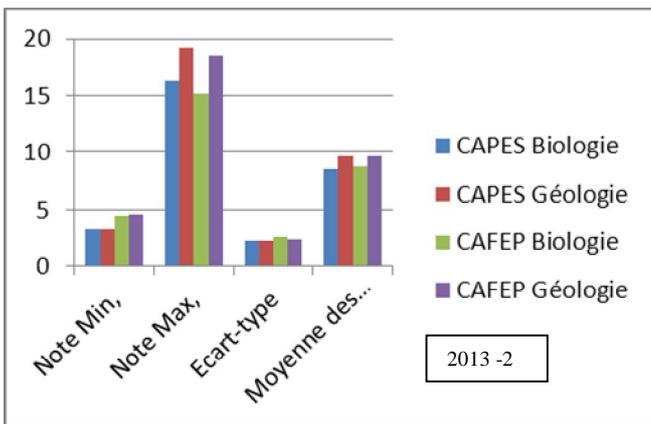
Pour la session 2014 exceptionnelle, que nous appellerons ici 2013 – (2), **420** postent étaient ouverts au concours pour le CAPES et **85** pour le CAFEP.

Le taux d'admissibilité a été de 1.07 x le nombre de postes et donc 692 candidats ont été reconnus admissibles au CAPES et 92 au CAFEP.

Ces chiffres incluent les candidats déjà admis en 2013 au CAPES-CAFEP SVT ainsi que ceux admis à l'agrégation SV-STU. Sur 2862 candidats 1737 se sont présentés à l'oral n°1 (soit 61%) et 1676 se sont présentés à l'Oral n°2 (soit 58%).

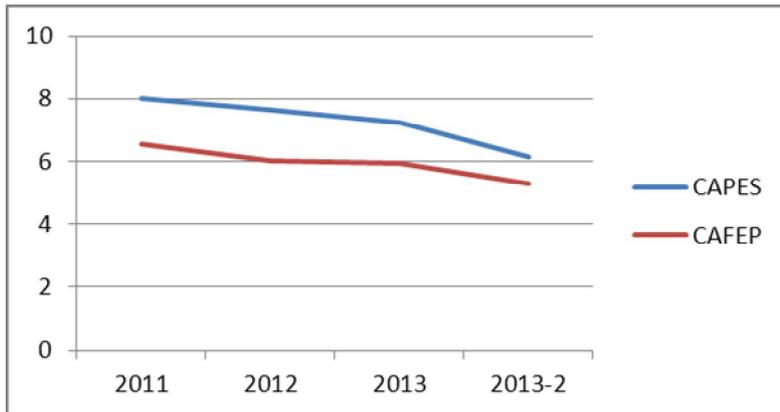
Statistiques des résultats d'admissibilité comparées entre la session 2013 et 2013(2)

ADMISSIBILITE sur 3 ans														
	CAPES		CAFEP			CAPES		CAFEP			CAPES		CAFEP	
	Biologie	Géologie	Biologie	Géologie		Biologie	Géologie	Biologie	Géologie		Biologie	Géologie	Biologie	Géologie
Note Min,	3,19	3,19	4,5	4,55		3,12	2,45	5,1	2,8		4,16	2,3	5,81	2,95
Note Max,	16,31	19,2	15,19	18,6		17,8	17	15,1	15,1		18,41	13,91	15,63	12,03
Ecart-type	2,23	2,2	2,53	2,3		3,5	3,6	2,9	3,3		2,66	2,17	2,05	1,83
Moyenne des admissibles	8,52	9,64	8,78	9,64		11,2	9,2	10,3	8,7		11,45	8,13	10,39	7,2
	2013-2					2013					2012			

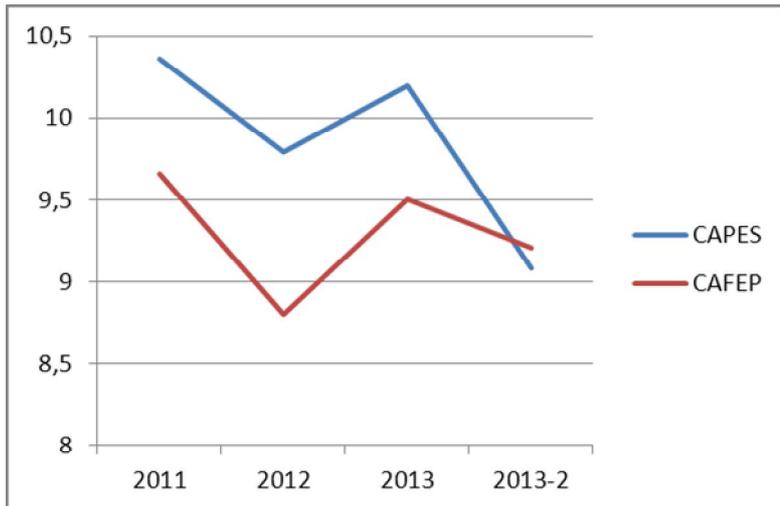


Bilan d'admission comparés sur les 3 dernières années.

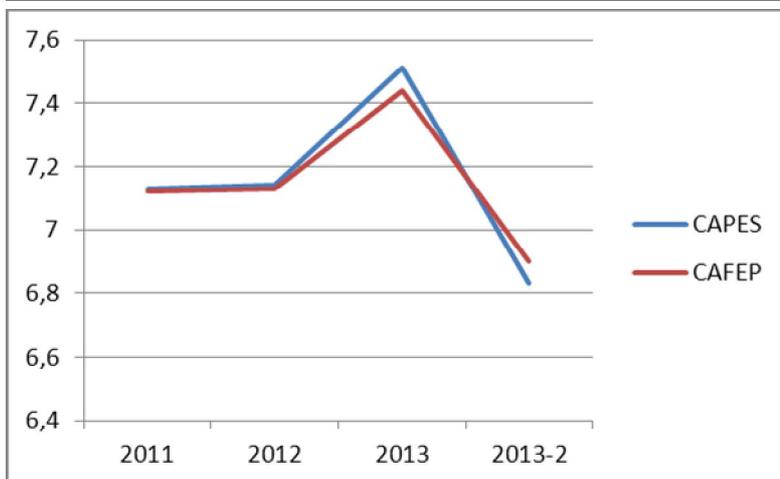
La brusque rupture entre les sessions 2013 et 2013 (2) est liée au fait qu'aucune correction des notes n'a été réalisée pour remonter les notes, du fait du mode de correction en chapelle et des délais de correction. On constatera par ailleurs une baisse irrégulière mais sensible du niveau scientifique des candidats depuis 3 ans.



Moyenne des candidats non éliminés



Moyenne des admissibles



Barres d'admissibilité



SESSION 2014 anticipée

CAPES
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP

Section : SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

COMPOSITION SUR UN SUJET DE BIOLOGIE

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 des hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB :

- Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez devra, conformément au principe d'anonymat, ne 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.

COOPERATIONS AU SEIN DE L'ORGANISME ANGIOSPERME

Cette épreuve est composée de trois parties, pouvant être traitées de façon indépendante, mais portant toutes sur la notion de coopération au sein de l'organisme angiosperme. Le sujet permet d'envisager plusieurs aspects de cette coopération et d'aborder les phénomènes aux différentes échelles de l'organisme.

A LIRE ATTENTIVEMENT AVANT DE COMMENCER :

La première partie est à rédiger en quatre pages au maximum, sur une copie double vierge.

Les réponses de la deuxième et la troisième partie doivent être rédigées directement sur les feuilles à en-tête détachables dans les cadres prévus à cet effet. N'utilisez pas de copie vierge d'examen !

La première partie est une synthèse sur la coopération trophique.

Pour cette partie, une introduction, un développement structuré avec un plan apparent et une conclusion sont attendus.

Seront prises en compte dans la notation, la maîtrise de la langue, la clarté de la présentation et de la rédaction, la rigueur et la précision du propos. Des illustrations pertinentes, étayant le raisonnement, sont attendues.

La deuxième partie traite des coopérations mises en jeu lors de l'organogenèse.

Cette partie consiste en une exploitation de documents guidée par des questions.

La clarté et la concision des explications sont prises en compte ainsi que la précision des mécanismes décrits.

La troisième partie porte sur la coopération lors de l'acquisition de résistance face à un agent pathogène.

Cette partie consiste en une analyse séparée de chacun des documents proposés, suivie de la réalisation d'un schéma bilan.

La justesse, la concision de l'analyse et du bilan sont évalués.

**AVANT DE RENDRE VOTRE COPIE, PRIÈRE DE VÉRIFIER
QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOTRE NUMÉRO DE CANDIDAT EN TÊTE DE
CHAQUE FEUILLE.**

Les durées indicatives pour chacune des parties sont les suivantes :

Partie I : 2h30

Partie II : 1h00

Partie III : 1h30

Première partie :

(18 points)

LA COOPERATION TROPHIQUE CHEZ LES ANGIOSPERMES

Vous présenterez les modalités de la coopération trophique entre les organes de l'appareil végétatif des angiospermes vivaces.

Cette synthèse sera effectuée en quatre pages au maximum, sur une copie double vierge.

Deuxième partie :

(10 points)

LA COOPERATION LORS DE L'ORGANOGENESE CHEZ LES ANGIOSPERMES

Répondre dans les cadres prévus à cet effet sur les pages 1 à 5.

Troisième partie :

(12 points)

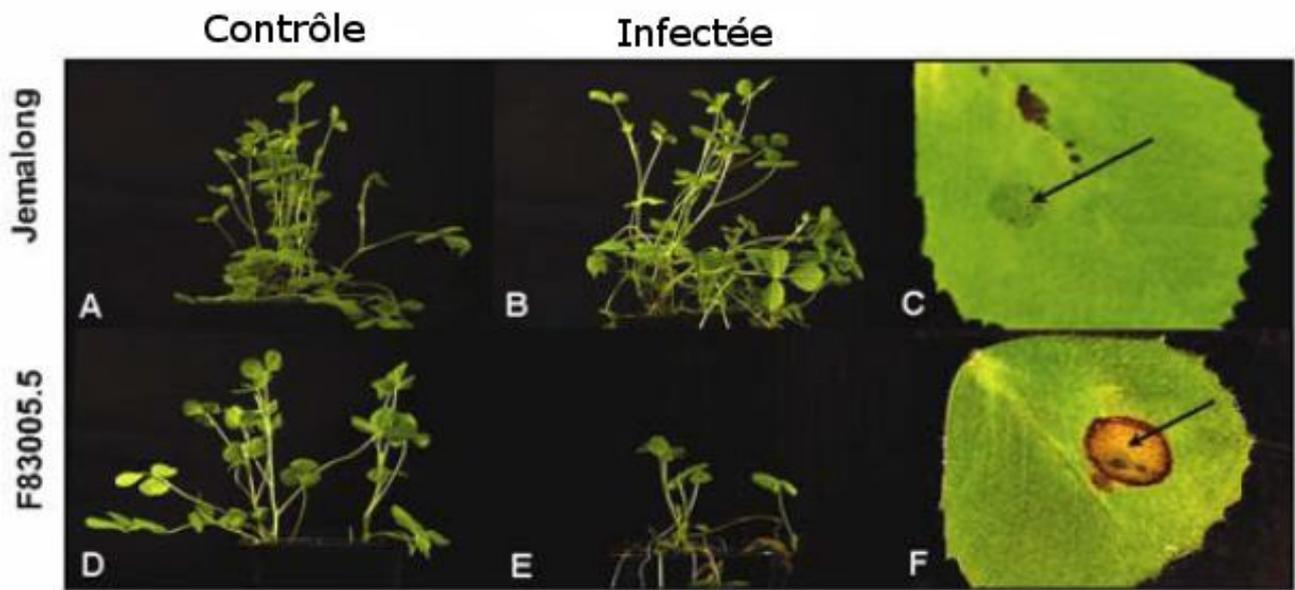
LA COOPERATION ET LA DEFENSE CHEZ LES ANGIOSPERMES

Répondre dans les cadres prévus à cet effet sur les pages 6 à 10.

Documents de la troisième partie.

D'après **Torregrosa et coll.**, *Cytological, genetic and molecular analysis to characterize compatible and incompatible interactions between *Medicago truncatula* et *Colletotrichum trifolii**, *Mol Plant Microbe Interact*, 17, 909-920, 2004 ; **Zhao et coll.**, *Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites*, *Biotechnology Advances*, 23, 283-333, 2005.

Document III.1 : Etude des symptômes de *Medicago truncatula* des lignées Jemalong et F83005.5 suite à une inoculation avec *Colletotrichum trifolii*. L'étude porte sur la plante entière et sur des feuilles isolées.

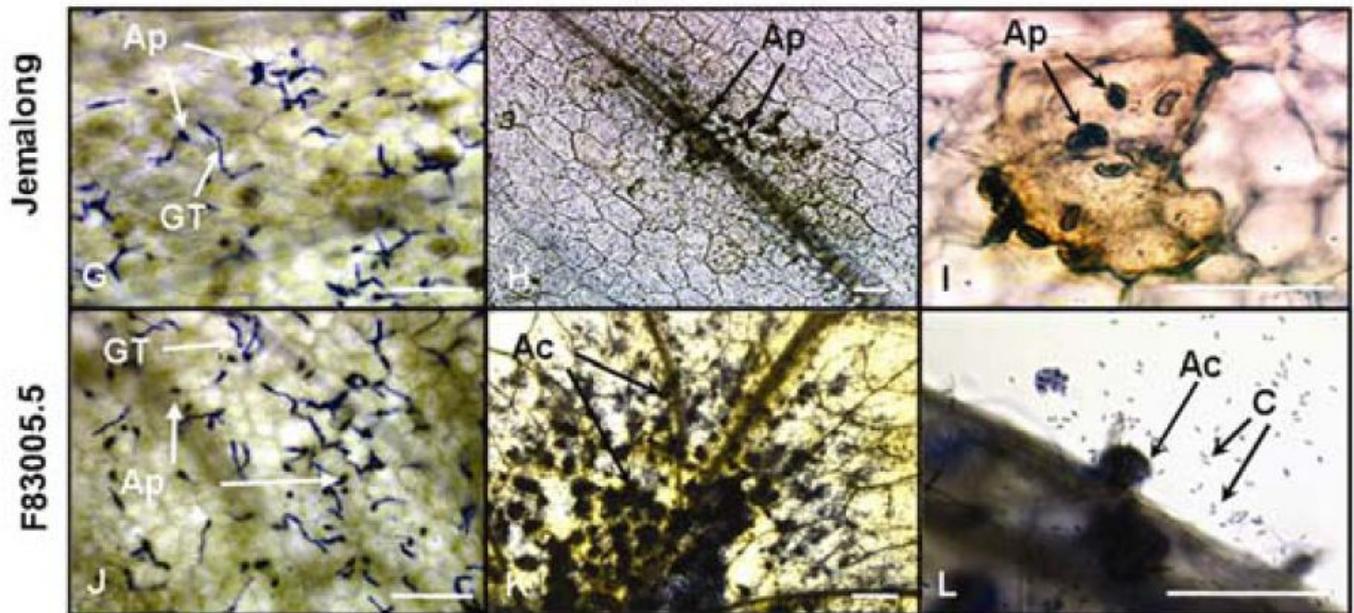


A et D : plantes contrôles

B et E : plantes entières infectées

C et F : phénotypes des feuilles détachées respectivement au bout de 14 et 9 jours après inoculation (le point d'inoculation est indiqué par la flèche).

Document III.2. : Analyse microscopique des tissus foliaires, suite à l'inoculation des deux lignées Jemalong et F83005.5 par *Colletotrichum trifolii*.



Les filaments mycéliens sont observables suite à une coloration au bleu d'aniline. Les observations sont réalisées un jour après inoculation (G et J), 5 jours après inoculation (H, K, I) et 6 jours après inoculation (L ; observation de la surface foliaire).

- Ac : Acervulus (fructification asexuée du mycète à l'origine des conidies),
- Ap : Appressorium (renflement du filament mycélien permettant la pénétration à travers la paroi de l'épiderme foliaire),
- C : Conidium (spore fongique asexuée immobile) ;
- GT : Germ-tube (jeune filament mycélien issu de la germination de la spore de *Colletotrichum trifolii*).

Barre : 25 µm

Aide à l'exploitation du document III.2 :

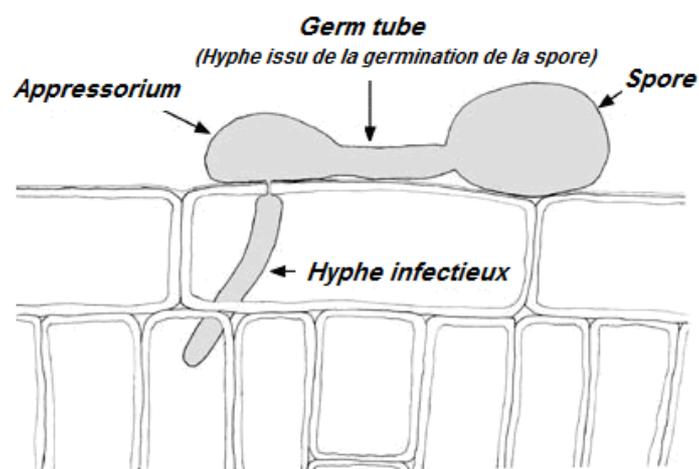
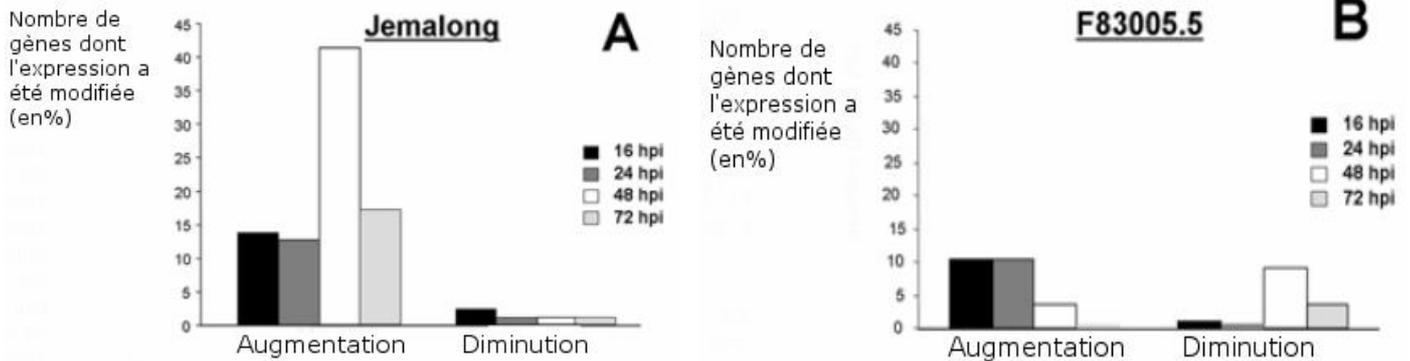


Schéma montrant les modalités de la germination et la pénétration du filament mycélien dans le parenchyme foliaire.

Document III.3 : Expression de gènes impliqués dans la défense de la plante chez Jemalong (A) et F83005.5 (B) aux stades 16, 24, 48 et 72 heures post-inoculation (hpi) par *Colletotrichum trifolii*.



Pour chaque stade et pour chacun des 92 gènes étudiés, on calcule le rapport entre le niveau d'expression dans les tissus inoculés par rapport à celui des tissus non-inoculés. En fonction du gène considéré, ce rapport révèle une augmentation, une diminution ou une absence de modification de l'expression.

Document III.4 : Analyse par Northern Blotting de 8 gènes des lignées Jemalong et F83005.5 suite à une inoculation par *Colletotrichum trifolii*.



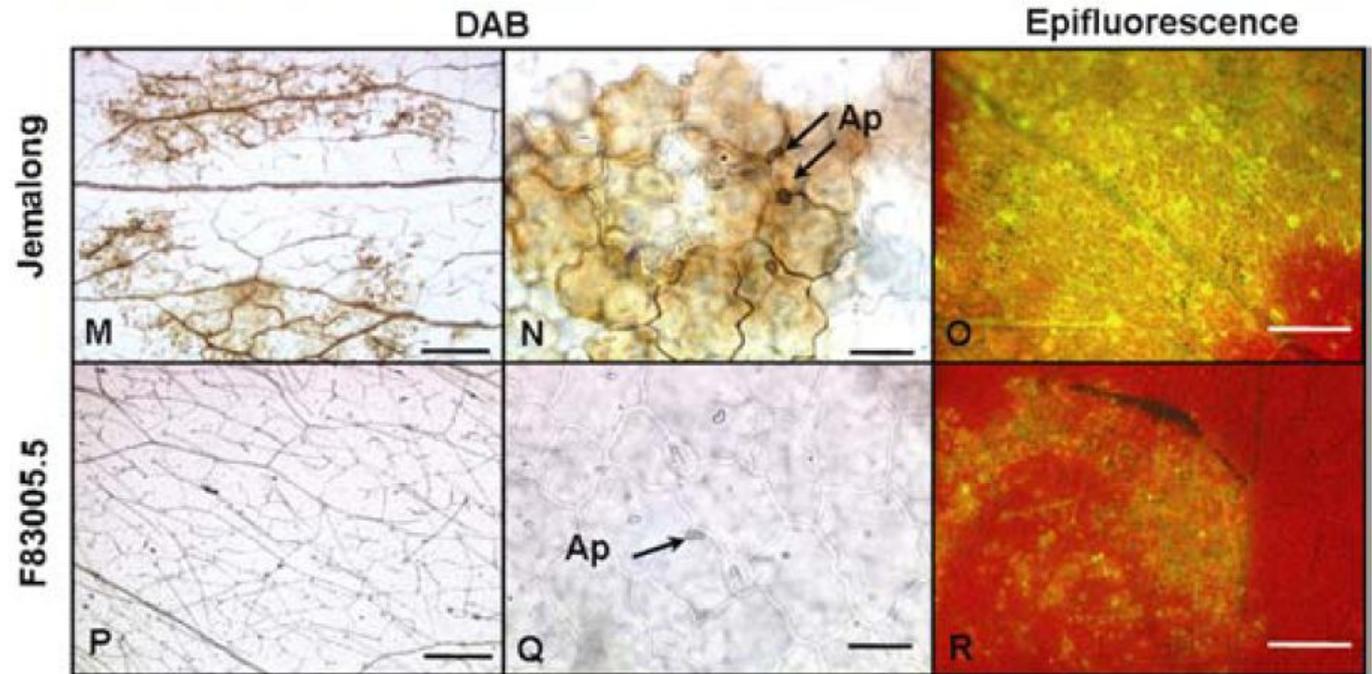
Les 8 gènes (g1-g8) sont représentatifs des groupes I, II et III (des classes de gènes de défense de la plante).

L'ARN total des feuilles est extrait à 16, 24, 48 et 72 heures après inoculation par *Colletotrichum trifolii*. Après électrophorèse des ARN (dépôt 15µg d'ARN pour chaque piste), et transfert sur membrane de nylon, une hybridation est réalisée avec les sondes spécifiques des gènes d'intérêt. Un témoin non inoculé est également réalisé (Ni).

Gènes	Protéine codée
g1	Glutathion S transférase : enzyme mise en jeu lors d'un stress oxydatif.
g2	Lipoxygénase : enzyme qui catalyse la synthèse des oxylipines : composés antimycéliens.
g3	Extensine : protéine structurale de la paroi qui augmente sa résistance.
g4	Pathogenesis-Related proteins 10 (PR 10) : fonction inconnue mais marqueur de la résistance de la plante.
g5	MtN13 : protéine de fonction inconnue mais également mise en jeu lors des infections associées aux nodulations bactériennes.
g6	Chalcone synthétase : une des enzymes du métabolisme secondaire phénolique donnant des flavonoïdes, notamment des phytoalexines antifongiques.
g7	MtN5 : protéine de fonction inconnue mais également mise en jeu lors des infections associées aux nodulations bactériennes.
g8	Chalcone réductase : autre enzyme du métabolisme secondaire phénolique à l'origine des flavonoïdes.

Document III.5 : Détection du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) et mesure de l'épifluorescence* des composés phénoliques et des flavonoïdes dans les feuilles de Jemalong et F83005.5, suite à l'inoculation par *Colletotrichum trifolii*.

épifluorescence : auto-fluorescence jaune obtenue suite à l'excitation des feuilles par un rayonnement incident bleu



M, N, P, Q : traitement, un jour après l'inoculation, des cellules foliaires par le diaminobenzidine (DAB). Le DAB se colore en brun en présence de H₂O₂.

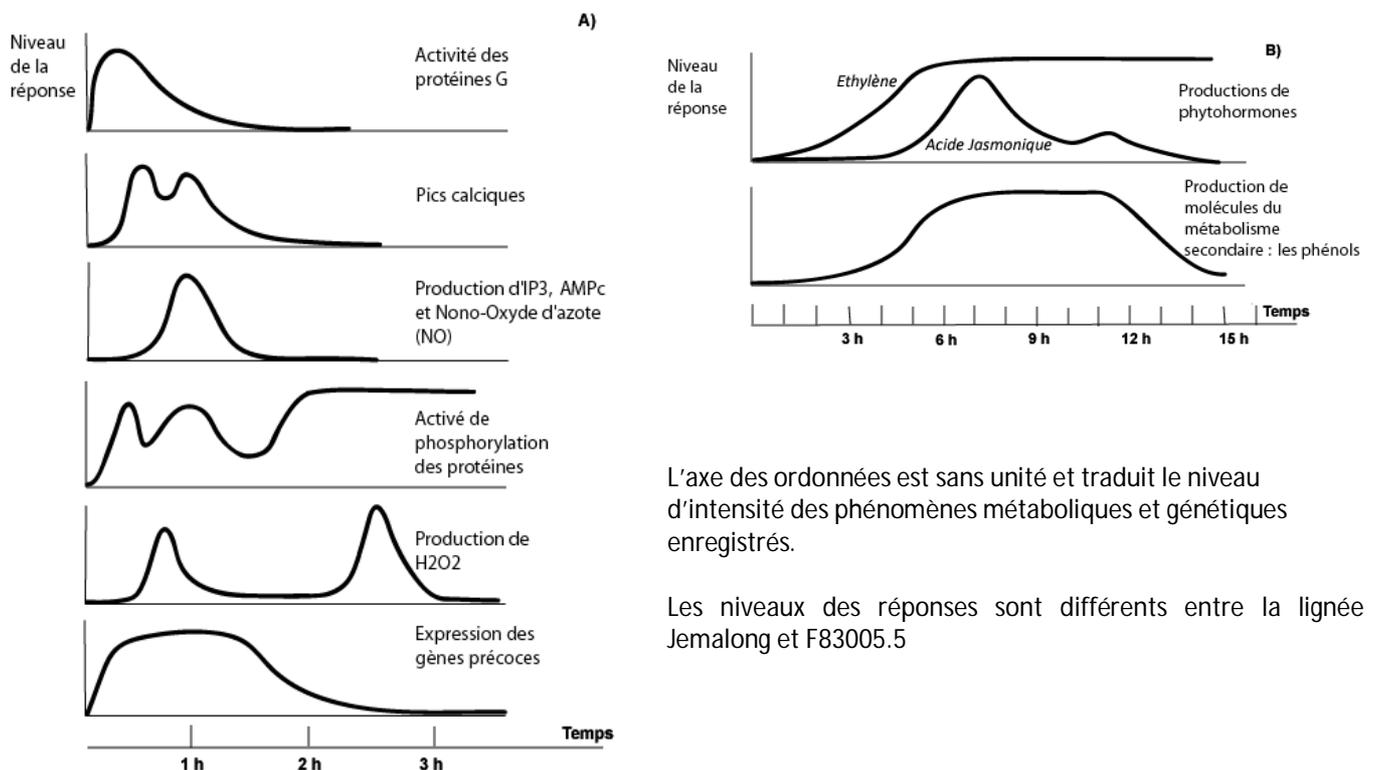
O, R : mesure, 3 jours après l'inoculation, de l'épifluorescence des phénols et des flavonoïdes.

Ap : Appressorium (renflement du filament mycélien)

Barre : 25 µm

Document III.6 : A) Manifestions métaboliques et génétiques au niveau des cellules des angiospermes suite à une infection. Chez *Medicago truncatula*, ces changements affectent les cellules pénétrées par le filament mycélien et également celles voisines.

B) Manifestations métabolique et phytohormonale affectant l'appareil végétatif suite à l'infection chez *Medicago truncatula*.



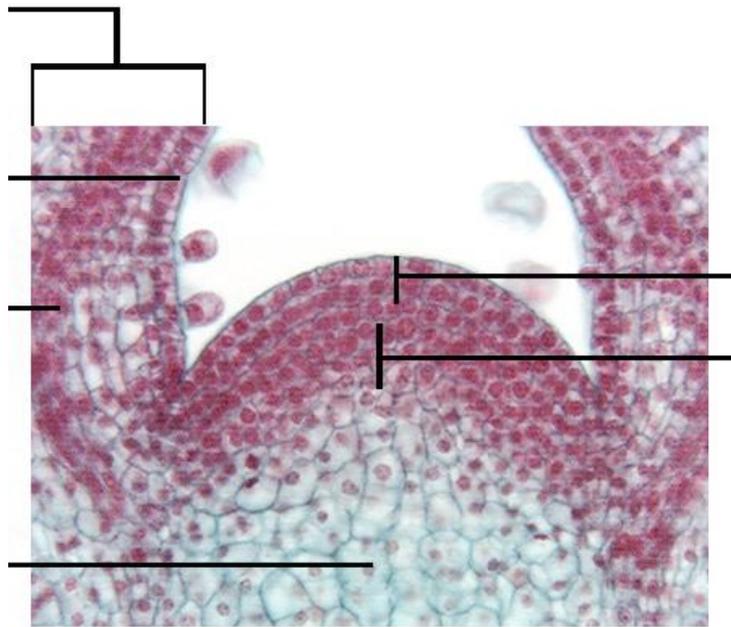
Deuxième partie :

LA COOPERATION LORS DE L'ORGANOGENESE CHEZ LES ANGIOSPERMES

Durant le développement de l'appareil végétatif des angiospermes, les méristèmes participent à la construction des tissus et des organes. Ces zones particulières sont le siège d'une forte activité de division cellulaire. Le maintien de l'activité méristématique, ainsi que le fonctionnement histogène mettent en jeu des coopérations entre différents territoires.

II.1. Coopération des cellules de l'apex caulinaire lors du maintien du méristème apical de la tige

Document II.1 : Apex caulinaire d'*Arabidopsis thaliana* (MO x 100) (Plant Physiology, Taiz L. et coll. 2002).



Question II.1.1 : Légendez cette photographie.

Question II.1.2 : Justifiez l'opposition tunica et corpus, couramment utilisée lors de la description de l'apex caulinaire.

Question II.1.3 : Présentez sous forme d'un court texte et d'un schéma les modalités du contrôle génétique permettant le maintien méristématique de cet apex caulinaire.

II.2. Coopération au niveau de la zone terminale de la racine et gravitropisme

Document II.2 : Partie terminale d'une racine de blé (MO (x 100) (<http://www.meristem microscopy>).

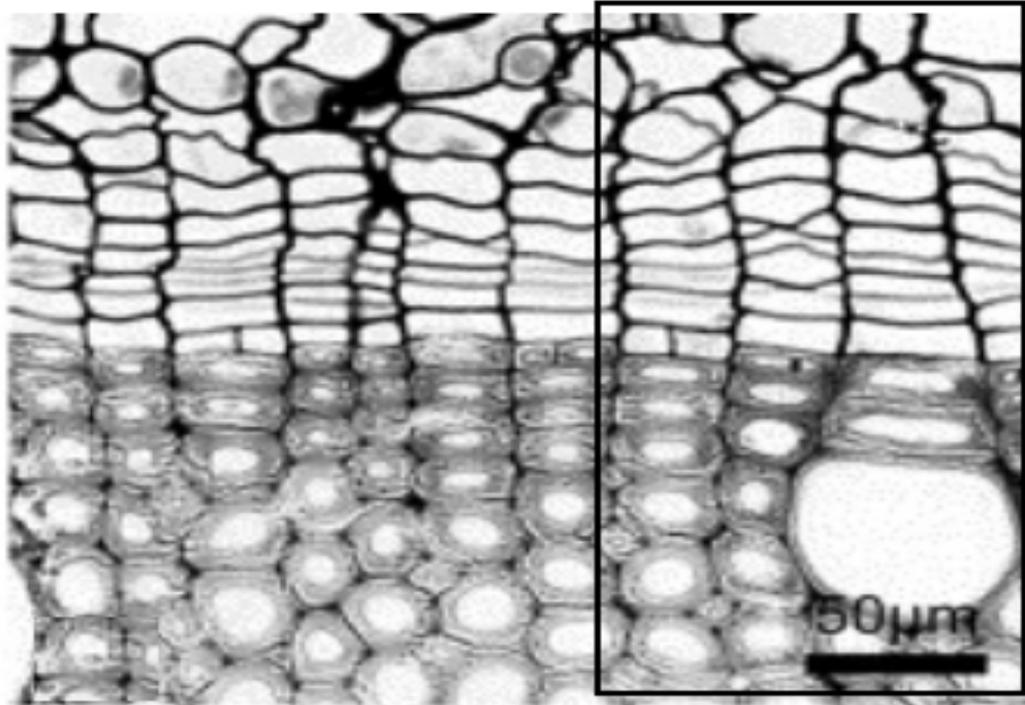


Question II.2.1 : Repérez sur la photographie les zones fonctionnelles de cette partie de la racine.

Question II.2.2 : Expliquez sous forme d'un schéma légendé les modalités de la coopération entre la zone gravisensible de la racine et la zone d'élongation.

II.3. Coopération des initiales cambiales dans la construction des tissus conducteurs de la tige

Document II.3 : Zone active du cambium de la tige d'Erable (MO x 400) (C. Frankensteina et coll., *Dendrochronologia*, 2005).



Question II.3.1 : Proposez une interprétation de cette photographie sous forme d'un schéma d'observation légendé de la partie encadrée.

Question II.3.2 : Indiquez les deux catégories de cellules initiales qui composent le cambium et présentez leur (s)

dériver(s) dans les tissus xylémien et phloémien.

Question II.3.3 : Expliquez en quoi les différents plans de division qui affectent les initiales permettent le maintien du méristème cambial durant la croissance de la tige.

Troisième partie :

LA COOPERATION ET LA DEFENSE CHEZ LES ANGIOSPERMES

Les Angiospermes, sont confrontées à des agressions provenant d'agents pathogènes du milieu de vie (virus, bactéries, mycètes, nématodes, hexapodes, etc.). Suite à la pénétration de l'agent au sein des tissus de l'organisme, deux grandes réactions sont identifiables ; une réponse locale suivie d'une réponse de l'ensemble de la plante. Ainsi est activé un système de protection général de l'appareil végétatif contre l'agresseur.

Les 5 documents proposés (pages III à VI) vous permettent de construire les modalités cellulaires, moléculaires et génétiques de cette protection de la plante.

1 - Exploitez séparément chacun des documents III.1 à III.6 afin de caractériser les réponses de deux lignées de *Medicago truncatula* (Jemalong d'origine australienne et F83005.5 d'origine française), à l'agent pathogène mycélien aérien *Colletotrichum trifolii*.

Exploitation du document III.1 :

Exploitation du document III.2 :

Exploitation du document III.3 :

Exploitation du document III.4 :

Exploitation du document III.5 :

Exploitation du document III.6 :

2 - A partir de vos connaissances sur les modalités de la défense des angiospermes contre les agents pathogènes, et des informations recueillies lors de l'exploitation des documents, vous construirez un schéma de synthèse pour montrer les mécanismes d'acquisition d'une immunité à l'échelle de la plante suite à une agression localisée.

SCHEMA DE SYNTHESE

Cette année le sujet de biologie attirait l'attention des candidats sur la notion de coopération au sein de l'appareil végétatif des Angiospermes vivaces.

Le sujet était composé de trois parties ; une synthèse, une exploitation de documents histologiques, une analyse de résultats de publications amenant à construire un schéma bilan.

La rédaction de chacune des parties était limitée par un nombre de pages précis ou par des cadres.

Le rapport qui suit reprend successivement les différentes parties et liste les attendus aux différentes questions. Suivent ensuite des problèmes rencontrés par les candidats et les conseils susceptibles d'aider les futures préparations au concours. En préambule un certain nombre de remarques générales sont faites.

Sur le fond

La notion de coopération a été transposée à différents niveaux et pour différents processus biologiques. Ce sujet avait pour objectif d'amener les candidats à réinvestir les **connaissances fondamentales** dans la logique d'un **fonctionnement intégré**.

- Les notions de base comme **les modalités de la nutrition chez les Angiospermes sont souvent mal maîtrisées** et présentées de manière approximative. La mise en évidence des modalités du fonctionnement intégré n'a pas été toujours réussie car les candidats ont opté pour **une restitution fragmentée des notions** acquises durant leur formation. Les **notions d'histologie fonctionnelle sont très souvent oubliées** et **les mécanismes de défense chez les Angiospermes sont rarement bien connus**.
- Les **définitions indispensables au biologiste manquent ou sont très approximatives** (les termes « vivace », « organes puits », organes sources » sont très souvent méconnus ou mal définis) et l'emploi des termes courants ne l'est pas toujours à bon escient.

Sur la démarche

- La **construction du plan et les transitions ne montrent pas la cohérence de la réflexion** et la résolution progressive des problèmes mis en place dans l'introduction ;
- Les parties clés de la synthèse sont souvent traitées de manière expéditive et ne permettent pas de bien cerner les idées principales ;
- L'exploitation des données est maladroitement menée, car **l'analyse reste sommaire**, ce qui amène les candidats à n'interpréter que très partiellement les documents ;
- Le **schéma bilan très souvent incomplet et pauvre**, révèle de manière flagrante le manque de rigueur et l'incapacité des candidats à transposer les notions nouvellement acquises.

Sur la forme

- Les copies ont, à maintes reprises, révélé les **lacunes en orthographe** (« sous terrain », « hototrophe », etc.), et **en grammaire**. Ces fautes ont été sanctionnées par le correcteur.
- A de nombreuses reprises, des **néologismes** ont été repérés comme "opistholithes" à la place de statolithes ou "apocyte" pour statocyte, ainsi que des **confusions des registres du vocabulaire** en utilisation des termes géologiques à la place des termes biologiques. Ce qui est révélateur de l'absence de consolidation des connaissances.
- Certains candidats ont développé leur propos en dehors des cadres prévus à cet effet sur les copies pré-imprimées, malgré les consignes claires et répétées. Ces parties hors-cadre n'ont pas prise en compte dans l'évaluation.

Partie I : Coopération trophique chez les Angiospermes.

Les notions suivantes étaient attendues (il ne s'agit pas d'un plan !).

INTRODUCTION :

Définition de la coopération trophique (c'est une collaboration permettant la réalisation de la fonction de nutrition).

Chez les Angiospermes (cela consiste à synthétiser ses molécules organiques à partir de molécules minérales prélevées dans le sol et dans l'atmosphère pour ces organismes autotrophes pour le C, N, P et le S). Cette fonction de nutrition met en jeu différents **organes de l'appareil végétatif** qui sont spécialisés dans des tâches précises ; notamment la racine pour l'absorption de la solution minérale, les feuilles pour la photosynthèse et l'évapotranspiration et la tige pour le transit et la distribution des éléments nutritifs). Ces propriétés peuvent évoluer **au cours de la saison** notamment pour les **espèces vivaces** amenées à passer une mauvaise saison (sous climat tempéré) et à avoir une reprise végétative durant les beaux jours.

En quoi consiste cette coopération ? Quels sont les organes mis en jeu ? Comment leurs propriétés leur permettent-elles de coopérer ? Comment évolue cette coopération au cours du temps ?

NOTIONS :

➤ **Modalités de la coopération trophique entre les organes végétatifs.**

Les modalités de la coopération entre les organes sources chlorophylliens et les organes puits non chlorophylliens lors du développement

- **Exportation des assimilats** issus de la photosynthèse vers les organes hétérotrophes (autotrophie de la plante).
- **Exportation continue des assimilats** alors que la photosynthèse est discontinuée (à partir de l'amidon stocké temporairement dans les chloroplastes).
- **Transfert par la voie symplasmique et apoplasmique.**
- **Modalités du chargement et du déchargement du phloème** (voies apoplasmique et symplasmique).
- **Composition de la sève élaborée** (solution minérale, molécules organiques de transport, phytohormones).
- **Les organes puits de stockage et de consommation** (métabolisme basal ; métabolisme de développement, métabolisme de stockage).
- **Demande des organes puits et aiguillage de la sève élaborée** (graine, fruit, racine, tige).

Les modalités de la coopération entre les organes puits de stockage et les organes sources foliaires lors de la reprise végétative

- **Déstockage des réserves** notamment celles organiques (voies de dégradation de l'amidon par exemple).
- **Inversion du statut** avec exportation des organes puits de stockage vers les organes puits de consommation.
- **Modalité du chargement du xylème en molécules organiques** lors de la reprise végétative.
- **Composition de la sève brute enrichie** en molécules organiques lors de la reprise végétative.

Les modalités de la coopération feuille-racine lors de l'absorption de la solution du sol

- **Evapotranspiration foliaire** à l'origine de l'aspiration mettant sous tension la sève brute et donc sa mise en mouvement.
- **Gradient de potentiel hydrique** entre la feuille-atmosphère et le sol-racine $\Delta\Psi_{H\text{ sol, plante}}$ et $\Delta\Psi_{H\text{ plante-atmosphère}}$.
- **Flux de sève brute contrôlé** par la transpiration stomatique.
- **Distribution et aiguillage de la sève brute** en rapport avec l'intensité du développement des organes et de leur niveau de transpiration (organes transpirants comme les feuilles et ceux non transpirants comme les bourgeons).
- **Equilibre hydrique** en relation avec la nécessaire égalité entre la transpiration et l'absorption racinaire.
- **Métabolisme hétérotrophe racinaire permettant la concentration active des solutés**, liée à l'apport de molécules organiques issues des feuilles. Ces molécules permettent la synthèse d'ATP utilisé pour le prélèvement actif des ions et le chargement du xylème en éléments solutés minéraux.
- **Alternance de la poussée racinaire et de la transpiration** pour mettre en mouvement la sève brute et modifier la distribution.
- **Coopération lors de la réduction de l'azote** (absorption racinaire mettant en jeu les transporteurs du nitrate LAT et HAT et modalité de la réduction en deux temps du NO_3^- (étape racinaire catalysée par la nitrate réductase et foliaire par la nitrite réductase).

Coopération et stades végétatifs

- **Coopération au niveau de la graine en germination** où les réserves organiques des cotylédons sont mobilisées pour la croissance de la plantule.
- **Coopération au stade de jeune plante et au stade plante adulte** lors du développement végétatif et reproducteur.

Coopération et corrélations phytohormonales lors de la nutrition

- **Action des gibbérellines** lors de la germination en stimulant la mobilisation des réserves cotylédonaire pour le développement du reste de l'appareil végétatif.
- **Effet auxinique** d'origine caulinaire sur l'élongation et la rhizogenèse en relation avec l'absorption de la solution du sol.
- **Autres phytohormones** mises en jeu lors de la coopération.

➤ Principales propriétés des organes de l'appareil végétatif en relation avec les CT

Feuilles et les propriétés en relation avec la CT :

- Les feuilles de l'appareil végétatif sont **chlorophylliennes** et sont le siège de la **réduction du CO₂ en trioses P** au sein des chloroplastes.
- Ces organes présentent de nombreuses **adaptations** leur permettant de réaliser cette fonction (morphologiques, cytologiques, métaboliques).
- La **photosynthèse est une conversion énergétique** mettant en jeu des réactions photochimique et chimique (phases photodépendante et non photodépendante).
- Les voies métaboliques (photosynthèse, photorespiration, réduction de l'azote) mises en jeu, produisent des **assimilats** de nature glucidique (trioses P, glucose, saccharose, stachyose, etc.) et aminée (glutamate, glutamine, aspartate, etc.). Ces assimilats sont transitoirement stockés sous forme d'amidon.
- Ces organes sont des **organes sources** durant la période active de la vie végétative et reproductrice; c'est à dire qu'ils exportent des assimilats via la circulation phloémienne.
- La feuille est également le siège de l'évapotranspiration. La **transpiration** contrôlée par les stomates est le moteur de l'ascension de la sève brute par une mise sous tension en maintenant un gradient de potentiel hydrique.

Racines et les propriétés en relation avec la CT :

- Les racines sont des **organes hétérotrophes**, il s'agit d'**organes puits de consommation** et sont les sites de l'absorption de la solution du sol.
- Cette absorption peut se faire de manière **autonome** ou associée à des microorganismes dans le cadre de **symbiose** par exemple (mycorhization et nodulation).
- Ces organes présentent différentes **adaptations** leur permettant d'assurer cette fonction (morphologiques, cytologiques).
- Les racines de certaines espèces présentent une **poussée racinaire** mettant en jeu un phénomène actif au niveau du cylindre central à l'origine de la mise sous pression de la sève brute.
- Les racines **mettent en réserve des molécules organiques et minérales** et constituent alors des **organes puits de stockage** des molécules organiques (amidon; inuline, etc...).

Tiges et les propriétés en relation avec la CT :

- Les tiges renferment les **voies d'acheminement des molécules organiques et minérales** qui empruntent aussi bien la voie phloémienne (tube criblé) que celle xylémienne (vaisseaux et trachéides).
- Ces organes peuvent également **stocker des molécules organiques et minérales** au sein de parenchymes associés aux tissus phloémien et xylémien. Ils peuvent être des **organes puits de stockage**.
- Les **tissus conducteurs métaboliquement peu actifs**, sont peu demandeurs de molécules organiques (tubes criblés peu actifs, vaisseaux morts). Les voies symplasmique et apoplasmique sont principalement dédiées à la distribution et au stockage.

CONCLUSION :

- **Sens biologique de la coopération :**
 - Autotrophie C, N, P, S de la plante complète liée à des coopérations entre les organes.
 - Partage des tâches entre les organes de l'appareil végétatif.
 - Passage de la mauvaise saison et reprise végétative.
- **Ouverture**

Cette première partie avait pour objectif d'amener le candidat à construire une réflexion sur la coopération entre les organes de l'appareil végétatif afin d'en dégager les modalités.

Il était attendu une construction efficace et concise des modalités de cette coopération lors de la réalisation des fonctions nutritives, notamment celles carbonée et minérale.

De nombreuses maladroresses ont été relevées car les candidats n'ont pas tenu compte du format contraint en quatre pages :

- les introductions trop longues ont été rédigées au détriment du développement ;
- les conclusions étaient souvent expéditives voir absentes ;
- les développements trop détaillés et/ou trop illustrés des processus physiologiques ne convenaient pas ici ;
- l'intégration d'expériences amenant les notions était inadaptée au vu du nombre de pages disponibles.

Introduction :

Les termes du sujet ont été rarement définis, ce qui a amené à une délimitation maladroite et à du hors-sujet et/ou à un traitement partiel. La notion de vivace n'est pas connue et des définitions surprenantes ont été proposées.

Il est regrettable de constater que la problématisation se limitait la plupart du temps à reprendre le sujet sous une forme interrogative, alors qu'il aurait été plus pertinent de la décliner en types de coopérations trophiques par exemple.

L'approche évolutive du sujet n'était pas la plus adaptée et la tendance encore tenace de présenter les Angiospermes comme le groupe le plus évolué est à bannir.

Un nombre non négligeable de candidats ont mal lu et interprété le sujet ; les amenant à traiter des coopérations interspécifiques (mycorhization, nodulation, pollinisation), de la reproduction sexuée, de la communication au sein de la plante et de confondre trophique avec tropisme.

Plan :

La construction du plan, parfois réussie dans un certain nombre de copies, illustre bien la réflexion et l'utilisation des connaissances de la physiologie des différents organes pour illustrer le fonctionnement intégré de la plante (environ 7% des copies).

Malheureusement l'approche par organes consistant à une compilation sans construction de la notion de coopération a montré qu'un bon nombre de candidats n'étaient pas capables de dépasser les cloisonnements pour élaborer une synthèse fonctionnelle.

Les notions suivantes sont souvent absentes :

- corrélation phytohormonale et coopération trophique ;
- coopération trophique au cours du cycle de développement ;
- aiguillage des sèves brute et élaborée ;
- nutrition azotée.

Des notions restent mal ou pas maîtrisées :

- les processus de chargement et de déchargement des sèves ;
- les modalités cellulaires de la poussée racinaire et du contrôle stomatique ;
- les modalités de l'absorption de l'eau et des solutés du sol ;
- les propriétés des éléments vasculaires en relation avec leur structure ;
- la nature chimique des assimilats ;
- l'inversion des statuts au cours du cycle de développement ;
- les phytohormones et la coopération.

Des confusions sont souvent rencontrées et laissent perplexe le jury sur le niveau scientifique des candidats :

- "la mitochondrie est le siège de la photosynthèse et le cycle de Krebs est dans le chloroplaste" ;
- "l'absorption de l'eau entraîne les ions" ;
- "la sève brute devient la sève élaborée".

L'illustration des idées sous forme de schémas est souvent inégale allant du schéma que pourrait construire un élève de l'école primaire à des productions efficaces, concises et fonctionnelles du niveau universitaire. Rares sont les copies où les candidats ont utilisé des exemples précis et multiples.

Le jury note toute de même qu'en général, les notions portant sur la circulation des sèves, le potentiel hydrique et les mécanismes de mise sous tension et pression sont correctement appréhendées par les candidats.

Conclusion

Cette étape a souvent été négligée faute de temps et de place. Alors qu'elle aurait pu être l'occasion d'ouvrir sur d'autres types de coopération par exemple.

Partie II : Coopération et organogenèse chez les Angiospermes.

Cette partie visait à contrôler le niveau de connaissance des candidats sur les notions de base concernant les méristèmes et à aborder sous l'angle de la coopération des processus classiques de l'organogenèse chez les Angiospermes.

II.1. Coopération des cellules de l'apex caulinaire lors du maintien du méristème apical de la tige.

Les parties suivantes étaient à retrouver tunica / corpus / méristème médullaire / futur procambium / protoderme / primordium foliaire.

La tunica est composée ici de deux couches de cellules (L1 layer 1 et L2 layer 2) qui sont issues de divisions anticlines. Les cellules filles restent alors dans la strate cellulaire à l'origine d'un méristème pluristratifié. Le corpus correspond à un massif de cellules constituant le centre du dôme végétatif. Les cellules sont issues de divisions anticlines, périclines et transversales. Ces deux ensembles cellulaires constituent des unités physiologiques fonctionnant indépendamment et participant de manière différente à la construction des parties du phytomère.

Le contrôle du caractère méristématique de l'apex végétatif met en jeu des territoires ayant des profils d'expression génétique différents. Ces territoires s'influencent et coopèrent pour maintenir permanent le dôme méristématique qui assure alors une croissance "indéfinie" de l'appareil végétatif :

*- l'expression du gène STM (Shoot meristemless) participe au maintien du caractère méristématique des cellules de l'apex ;
- l'expression de plusieurs gènes dont les produits interagissent selon une boucle de rétrocontrôle négatif appelée boucle WUS-CLV (WUSCHEL-CLAVATA). Les cellules qui composent le centre du corpus expriment le gène wus qui code alors la protéine WUS. WUS diffuse et agit sur les cellules de la tunica qui expriment alors le gène clavata3 dont le produit est la protéine CLAVATA3 (CLV3). Cette dernière diffuse alors vers les cellules du corpus et se lie au complexe récepteur CLAVATA1 et 2 (CLV1-CLV2) et inhibe latéralement l'expression du gène wus à l'exception du cœur du corpus où CLV3 ne peut pas y accéder. Ainsi l'expression du gène wus est permanente au cœur de la zone méristématique.*

L'exploitation très inégale de la photographie montrant l'apex méristématique de la tige a été l'occasion de révéler la méconnaissance de l'organisation fonctionnelle de cette partie de l'appareil végétatif.

Force est de constater, que :

- les caractéristiques des zones de la tunica et du corpus ne sont pas toujours connues ;
- l'organisation de l'apex caulinaire n'est pas installée ;
- le contrôle du maintien des caractéristiques méristématiques mettant en jeu l'expression de différents gènes (STM, WUS, CLV, etc.) n'est pas maîtrisé.

Nombreuses sont les copies où ce document n'a pas été traité.

II.2. Coopération au niveau de la zone terminale de la racine et gravitropisme.

II.2.1 : *Les zones fonctionnelles suivantes étaient à identifier : la coiffe protectrice et de graviréception, la zone méristématique et le début de la zone d'auxèse.*

Les zones identifiables sur la photographie de la partie terminale de la racine ont été en général clairement repérées et les fonctions associées ont été évoquées.

II.2.2 : *Il s'agit de la partie terminale d'une racine, montrant trois zones où se réalisent des processus différents qui coopèrent à la croissance orientée de la racine, c'est à dire au gravitropisme (ou géotropisme) :*

- Zone de la coiffe : Elle est composée de cellules qui forment un "capuchon protecteur". Les cellules les plus externes permettent par leur lyse de lubrifier l'extrémité racinaire, de maintenir une rhizosphère, alors que celles internes sont influencées par la gravité. Ces cellules nettement visibles ici présentent des statocytes qui renferment des statolithes (amyloplastès très denses) qui sont distribués en fonction de la gravité. Il s'agit d'un centre de graviréception qui via l'auxine va permettre à la racine d'avoir une croissance orthotrope (géotropisme positif).

- Zone de mèresse : Elle est composée de cellules méristématiques dont les divisions permettent la formation de cellules filles. Ainsi le nombre de cellules est augmenté par des cycles cellulaires plus ou moins rapides en fonction des aires.

- Zone d'auxèse : Elle correspond à la portion subterminale où les cellules issues des cycles cellulaires s'allongent et acquièrent leur taille presque définitive. Cette croissance est sous contrôle de l'auxine qui a été redistribuée.

Le schéma légendé illustrant la coopération entre les différentes zones a été souvent incomplet. En effet les mécanismes de la transduction de la stimulation gravitaire suite à la répartition des statolithes ne sont pas toujours illustrés, tout comme la redistribution de l'auxine dans les portions situées en amont de la coiffe. Il a été souvent relevé la méconnaissance de l'action inhibitrice de l'auxine au niveau des racines pour des concentrations élevées de cette phytohormone.

II.2.3 : Les initiales du cambium sont des initiales radiales et des initiales fusiformes ; ces deux types de cellules coopèrent au cours du fonctionnement du cambium mettant en place les tissus conducteurs secondaires :

- Les initiales radiales : sont des cellules cubiques à fort rapport nucléo-cytoplasmique avec un phénotype caractéristique des cellules méristématiques. Les divisions qui affectent ces initiales sont de type péricline et dans ce cas elles permettent la formation des cellules filles qui constituent un parenchyme secondaire organisé en rayons libéro-ligneux. Elles sont également affectées par des divisions rayonnantes et transversales qui accompagnent la croissance diamétrale des organes des dicotylédones. Ces rayons traversent à la fois des tissus du bois et du liber.

- Les initiales fusiformes : sont des cellules allongées dont les extrémités sont effilées, avec un plus faible rapport nucléo-cytoplasmique. Ces cellules sont également capables de se diviser et donnent des dérivés allongés. Les divisions périclines donnent des dérivés à l'origine des fibres et des éléments conducteurs (vaisseaux et trachéïdes) côté bois ainsi que des fibres et tubes criblés-cellules compagnes, côté liber.

La croissance diamétrale des organes caulinaires et racinaires des Angiospermes dicotylédones met en jeu le cambium dont les initiales sont affectées par des divisions qui assurent le maintien de cette assise :

- Les divisions périclines mettent en place des cellules dont un lot s'engage dans les voies de différenciation en éléments du bois ou du liber. L'autre partie des cellules filles reste méristématique et maintient ainsi le cambium.

- Les divisions radiales quant à elles, permettent d'accompagner la croissance diamétrale en augmentant le périmètre cambial. Cela évite la rupture de cette assise méristématique secondaire qui fonctionne durant toute la vie de la plante.

- Les divisions transversales affectant les initiales permettent d'accompagner l'allongement de la tige ou de la racine en générant des cellules qui se rajoutent à la colonne cambiale.

L'organisation histologique des organes de l'appareil végétatif n'est en général pas ou mal connue :

- les tissus conducteurs et l'assise cambiale génératrice ont été mal délimités ;
- les éléments conducteurs n'ont été identifiés que de manière partielle ;
- les modalités des divisions et leurs conséquences histologiques n'ont que très rarement été présentées.

La qualité de la schématisation est très inégale ; allant d'une vague silhouette des cellules à une représentation très précise et fidèle de la photographie proposée.

Des confusions sont fréquentes amenant à identifier des tissus primaires avec le proto et le métaxylème dans du bois, à confondre le cambium avec le procambium, voire avec le phellogène.

Globalement cette partie a été très mal traitée avec souvent des cadres vides et/ou des explications approximatives et fausses. Il est regrettable que les notions acquises lors des premières années universitaires et nécessaires à de futurs enseignants du secondaire soient si peu maîtrisées par les candidats.

Partie III : Coopération et défense chez les Angiospermes.

Cette partie, s'appuyant sur des résultats de publications, a été l'occasion d'apprécier les qualités du candidat quant à l'exploitation de données et l'intégration de celles-ci dans un bilan fonctionnel. A partir de données morphologiques, cytologiques, génétiques et métaboliques, le candidat a pu retrouver le schéma classique de la réponse systémique acquise (SAR) chez *Medicago truncatula* lors de l'infection par *Colletotrichum trifolii*.

Ce thème a permis d'illustrer la coopération à l'échelle de la plante lors de la défense, suite à une agression locale.

III.1 : Les deux lignées présentent donc une sensibilité à l'agent pathogène *Colletotrichum t.* qui se manifeste par des symptômes foliaires. Mais la lignée Jemalong semble présenter une plus grande résistance que la lignée F83005.5 et cela n'affecte pas la croissance de l'appareil végétatif.

III. 2 : Le *colletotrichum* est donc un parasite de ces espèces de *Trifolium* et son développement au niveau foliaire semble être identique chez ces deux lignées.

Chez la lignée française, *Colletotrichum* arrive à réaliser tout son cycle au point de mettre en place un grand nombre de structures de reproduction asexuée : les *acervulus*.

A contrario, la lignée australienne, sur cette même période, a un développement ralenti et se trouve au stade de la mise en place des structures pénétratives avec des *appressoriums*. La lignée australienne oppose donc une plus forte résistance à l'entrée et la réalisation du cycle de *Colletotrichum*.

Le cycle de développement de *Colletotrichum* chez la lignée française se réalise complètement alors qu'il ne peut pas se réaliser chez Jemalong pour la même période. De plus il semble qu'il existe une séquestration du parasite et une restriction de son développement au sein de la feuille.

III. 3 : Suite à l'infection, le profil de la sur-expression des gènes montre que Jemalong répond plus intensément dès le début de l'inoculation et que cette réponse persiste durant la période d'étude de 72h alors qu'elle diminue et disparaît au bout de 48h pour F83005.5.

Cela signifie que F83005.5 connaît une inhibition plus importante de l'expression du génome. Ces profils d'expression pourraient expliquer la différence du niveau d'infection existant entre les deux lignées.

III. 4 : Il apparaît donc que les réponses génétiques sont différentes entre ces deux lignées et que les gènes mis en jeu dans la résistance à l'infection sont recrutés différemment. Cela peut expliquer la différence de résistance.

De plus ces gènes codent pour des enzymes qui interviennent dans des voies métaboliques oxydatives qui sont précoces (glutathion transférase, lipoxygénase) et qui sont associées au stress oxydatif. Ils codent également pour des enzymes des voies intervenant un peu plus tardivement dans la synthèse des produits antifongiques comme les flavonoïdes (chalcone synthétase et chalcone réductase).

La réponse à l'infection est aussi d'ordre structural avec la synthèse d'extensine qui s'insère dans la paroi en la consolidant, empêchant ainsi la propagation du parasite.

III. 5 : La résistance de Jemalong peut être attribuée à une réactivité plus importante se traduisant par un stress oxydatif rapide, significatif et étendu suivi d'une réponse phytoalexique forte. Ainsi la coopération se manifeste directement au niveau de l'organe avec une réponse locale et élargie au sein du tissu. Il s'agit d'une réponse d'hypersensibilité (HR *Hypersensitive Response*) qui se manifeste par une nécrose tissulaire.

III. 6 : La séquence classique liaison éliciteurs directs ou indirects / Récepteurs → activation G protéine → mise en jeu de plusieurs voies de signalisation intracellulaire → phosphorylation des protéines de la voie de signalisation → expression des gènes de la synthèse de H_2O_2 → synthèse H_2O_2 → stress oxydatif protecteur, est observée.

Cette partie a été en général complètement traitée par les candidats.

Bien que peu complexes, les documents ont souvent été partiellement exploités ; les analyses rigoureuses et méthodiques manquant souvent dans les copies.

La mise en relation des documents est assez inégalement réussie ; pour certains la cohérence et la complémentarité des conclusions ont été bien mises en valeur, alors que pour d'autres l'enrichissement progressif des notions n'a pas été net.

Le jury s'attendait au moins à la construction d'un schéma bilan complet s'appuyant uniquement sur les notions collectées au cours de l'exploitation. Mais pour un tiers des copies, la synthèse a été très pauvre, ne rendant pas complètement compte des résultats des publications.

Il s'est avéré que peu de candidats ont des connaissances sur le déclenchement de la réponse de défense des plantes ainsi que sur les réponses d'hypersensibilité (HR) et systémique acquise (SAR).

Néanmoins cette partie a permis de valoriser les candidats rigoureux, qui sans avoir une connaissance parfaite des mécanismes de la défense des plantes, ont construit un bilan complet. Les candidats au fait de ces mécanismes HR, SAR ont pu se démarquer grâce à cette partie du sujet.



SESSION 2014 anticipée

CAPES
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP

Section : SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

COMPOSITION SUR UN SUJET DE GEOLOGIE

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 des hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB :

- Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez devra, conformément au principe d'anonymat, ne 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.

QUELQUES ASPECTS DE LA CONVERGENCE LITHOSPHERIQUE

A LIRE ATTENTIVEMENT AVANT DE COMMENCER :

Cette épreuve est composée de quatre parties, pouvant être traitées de façon indépendante. Le sujet comporte 11 documents.

Les documents A, B, C, G, H, I, J, K seront conservés par le candidat. Les documents D, E et F sont insérés dans les pages 3, 4 et 5 rendues à la fin de l'épreuve.

La réponse aux questions se fait directement sur les feuilles à en-tête détachables dans les cadres prévus à cet effet. N'utilisez pas de copie vierge d'examen !

Partie I : Les plaques lithosphériques

Répondre dans les cadres prévus à cet effet sur les pages 1 à 6.

Partie II : Le déplacement des plaques lithosphériques en contexte convergent

Répondre dans les cadres prévus à cet effet sur les pages 7 à 11.

Partie III : La structuration des chaînes de collision

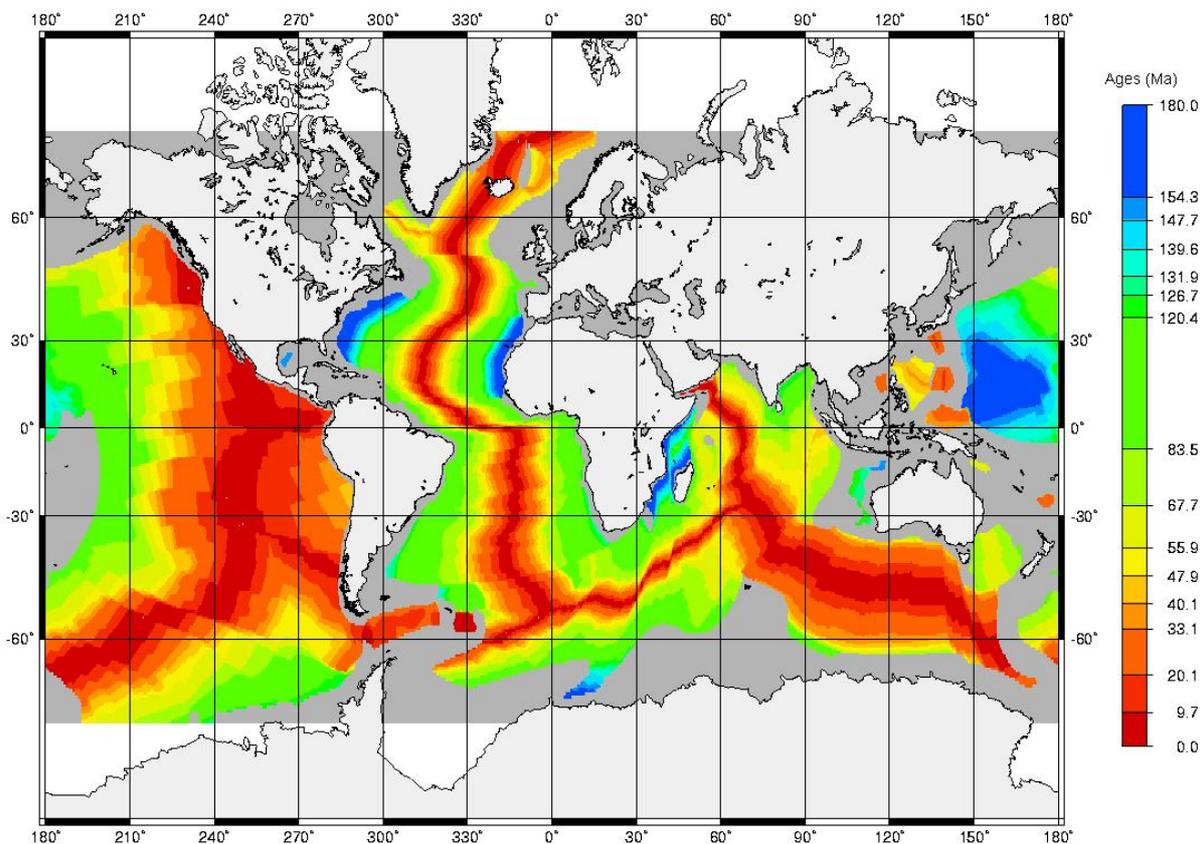
Répondre dans les cadres prévus à cet effet sur les pages 12 à 15.

Partie IV : Etude locale d'une évolution tardi-orogénique

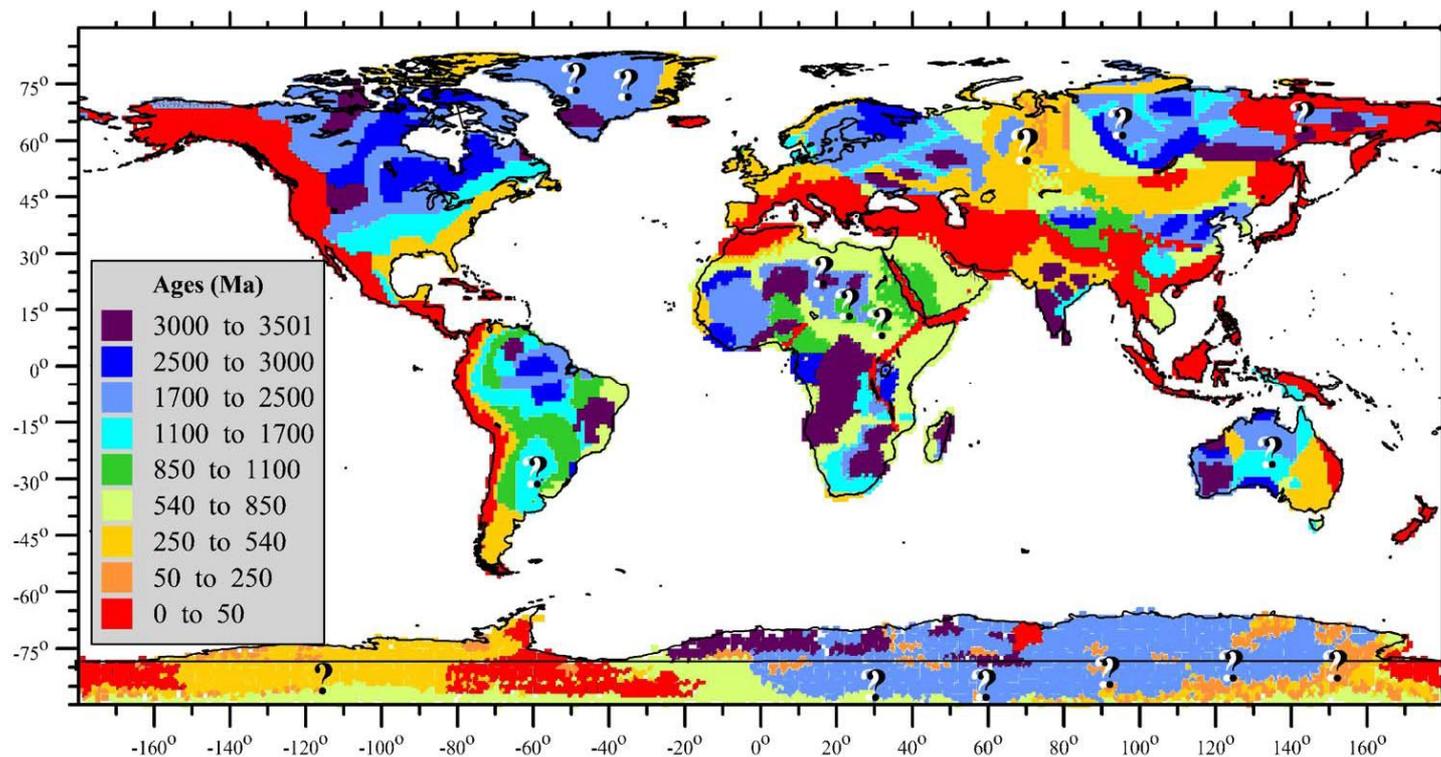
Répondre dans les cadres prévus à cet effet sur les pages 16 à 18.

**AVANT DE RENDRE VOTRE COPIE, PRIÈRE DE VÉRIFIER
QUE VOUS AVEZ BIEN INDIQUÉ VOTRE NUMÉRO DE CANDIDAT EN TÊTE DE CHAQUE FEUILLE.**

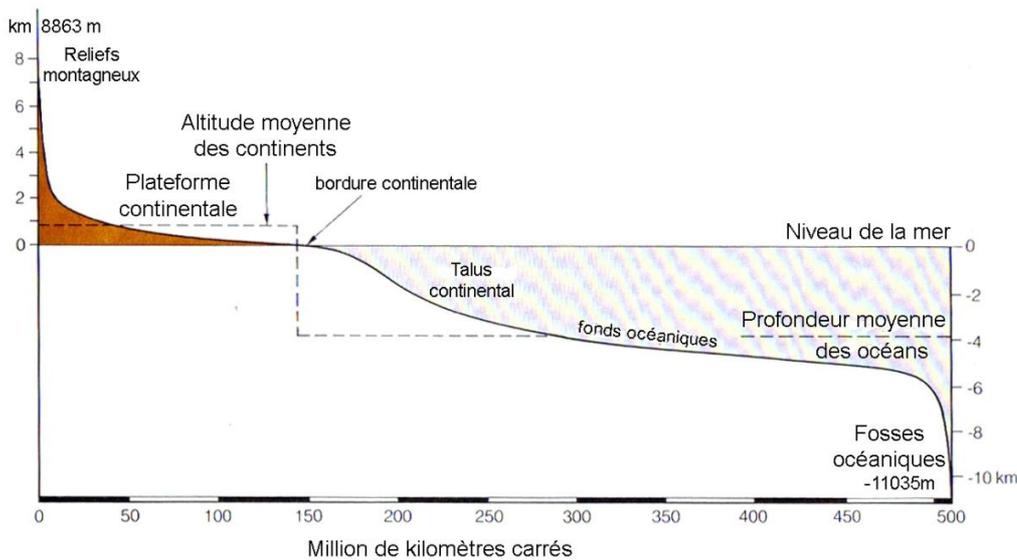
Documents de la Partie I : Les plaques lithosphériques



Document A : Carte des âges de fonds océaniques en Ma. (NOAA : [National Oceanic and Atmospheric Administration](#)).



Document B : Carte des âges (en Ma) des événements tectoniques majeurs en domaine continental. Les points d'interrogation signalent des domaines dont l'âge est mal contraint. (Artemieva, *Tectonophysics* 416, 245–277, 2006)

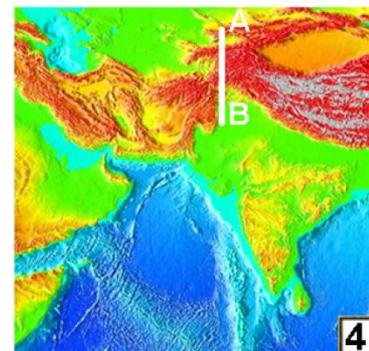
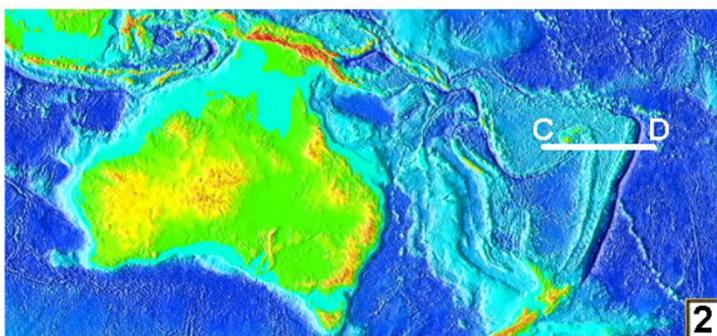
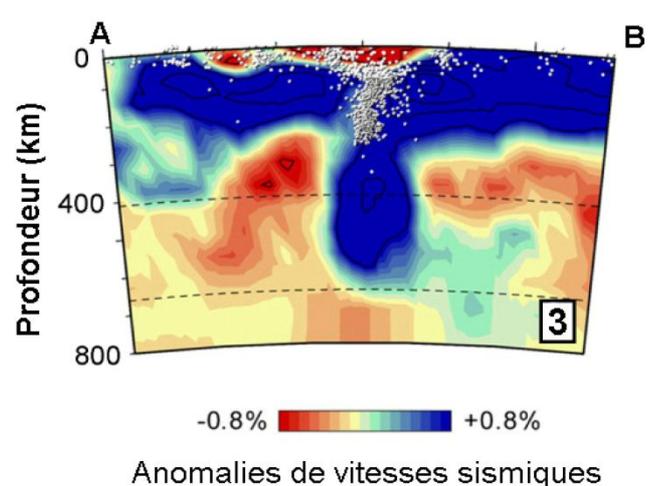
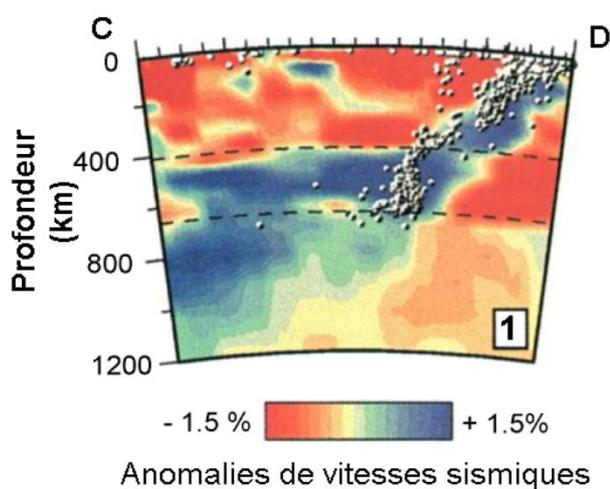


Document C : Les courbes hypsométriques du relief de la terre.

(D. Duff, Holmes' principles of geophysical geology, 1993, Chapman and Hall).

Remarque : Les documents D, E et F, à compléter et à remettre avec la copie, sont en page 3, 4 et 5.

Documents de la Partie II : Le déplacement des plaques lithosphériques en contexte convergent



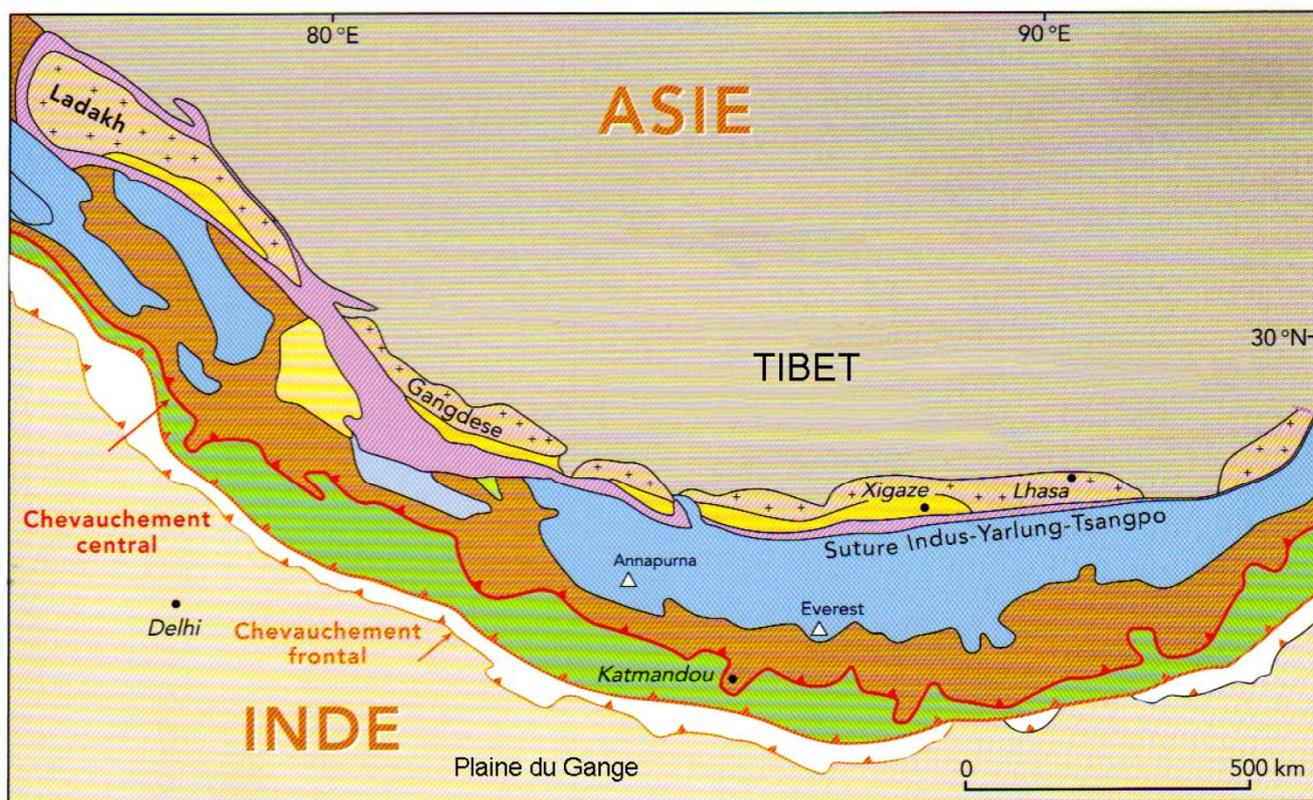
Document G :

à gauche : profil de tomographie sismique (1) effectué dans la zone des Tonga et sa localisation (2).

à droite : profil de tomographie sismique effectué à travers la chaîne himalayenne (Pamir) (3) et sa localisation (4). Les points gris sur les profils 1 et 3 correspondent à la localisation des séismes.

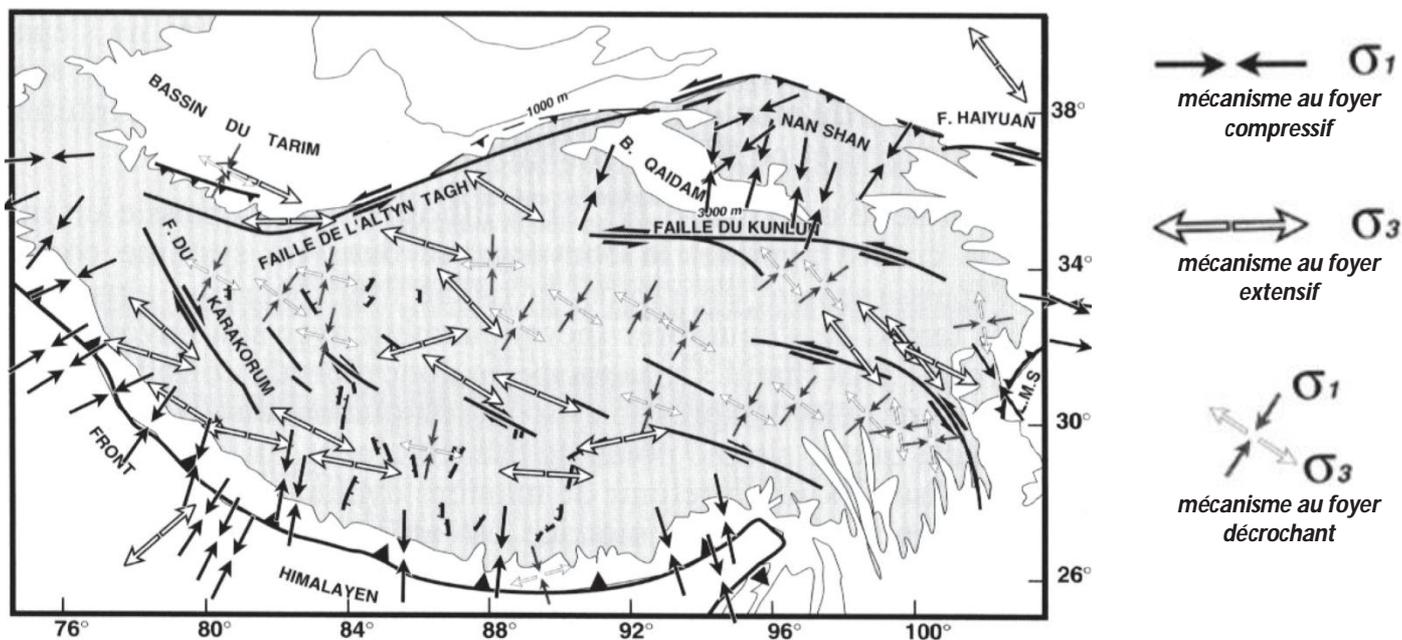
(Bijwaard & Spakman, J. Geophysical Research, 103-12, 30055–30078, 1998 ; Negredo et al. Earth & Planetary Science Letters, 259, 212–225, 2007)

Documents de la Partie III : La structuration des chaînes de collision



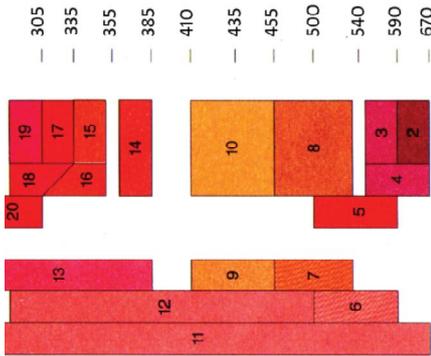
- | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Granites d'arc | Massifs cristallins (Haut Himalaya) | Ophiolites | Molasses, grès (Sub Himalaya) |
| Sédiments d'avant arc | Schistes (Moyen Himalaya) | Sédiments de la Téthys | |

Document H : Carte géologique simplifiée de la chaîne himalayenne. (*Himalaya-Tibet, Le choc des continents, CNRS Ed.2002*)



Document I : Directions d'extension et de compression déduites des mécanismes au foyer des séismes sur le plateau du Tibet. (*Géodynamique, Jolivet et Nataf, Dunod, 1998*)

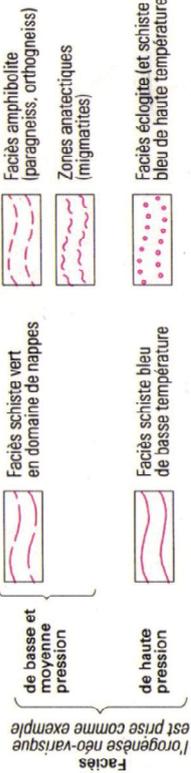
(radiochronologie en Ma)



MÉTAMORPHISME

Les caractères métamorphiques des terrains sont symbolisés par des figurés dont la couleur indique l'âge de l'orogénèse, la forme indique le faciès du métamorphisme, et l'orientation correspond à la principale foliation régionale

Âge : / cadomien / méso-varisque / néo-varisque / alpin



1: Relique éo-varisque élogitique

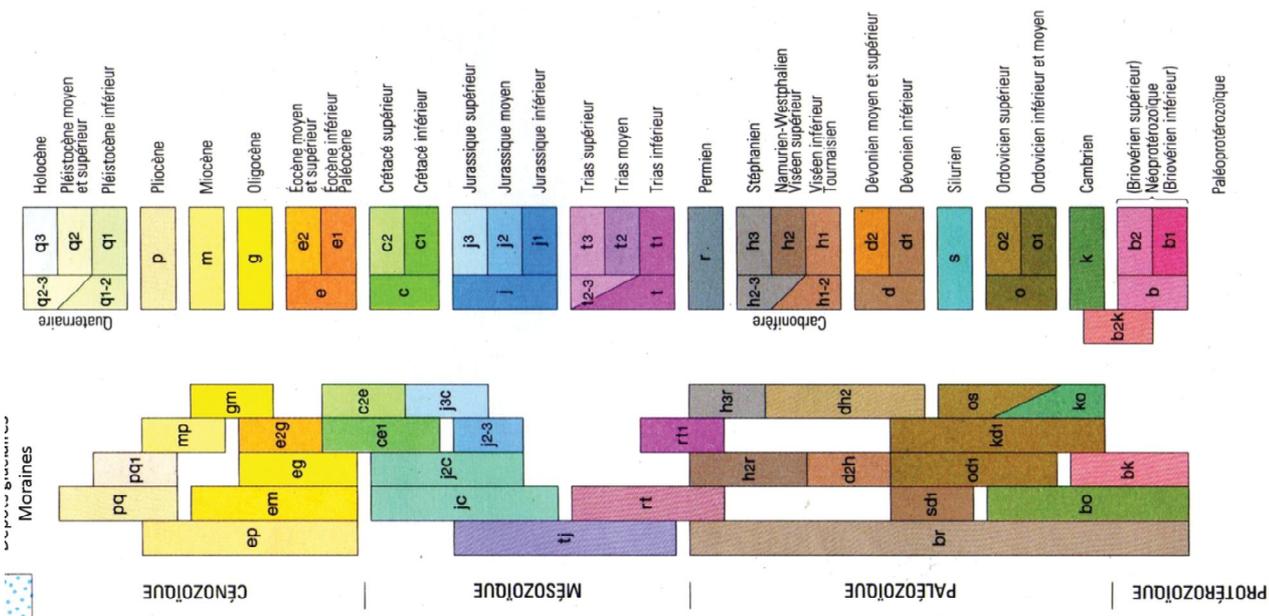
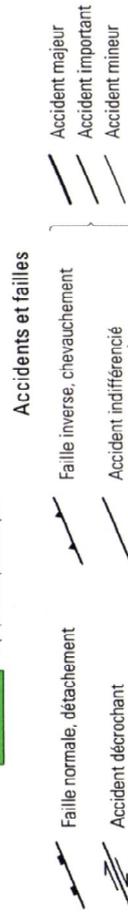
2: Relique éo-alpine à coésite

Granitoïdes des orogènes de collision



1: Avec indication d'une foliation syn-à post-mise en place

gla
Complexe varisque leptyno-amphibolite



Document K : Extrait de la carte géologique de la France au 1/1000 000^e dans la région de Saint-Etienne et la légende associée (BRGM).

Partie I : Les plaques lithosphériques

Question I. 1 : Définition de la lithosphère . Définissez ce que l'on appelle « une plaque lithosphérique ».

Cadre réponse

Question I. 2 : Caractéristiques générales de la lithosphère.

I. 2.1 : Quelles techniques permettent d'obtenir les informations figurant dans les documents A et B ?

Cadre réponse

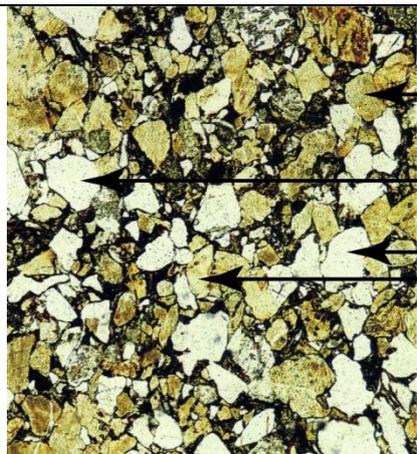
I. 2.2 : En vous aidant des documents A, B et C, comparez les caractéristiques générales de la lithosphère continentale et de la lithosphère océanique.

Cadre réponse

Question I. 3 : Pétrographie .
contexte de formation.

Légendez les documents D, E et F et donnez brièvement leur

Cadre réponse

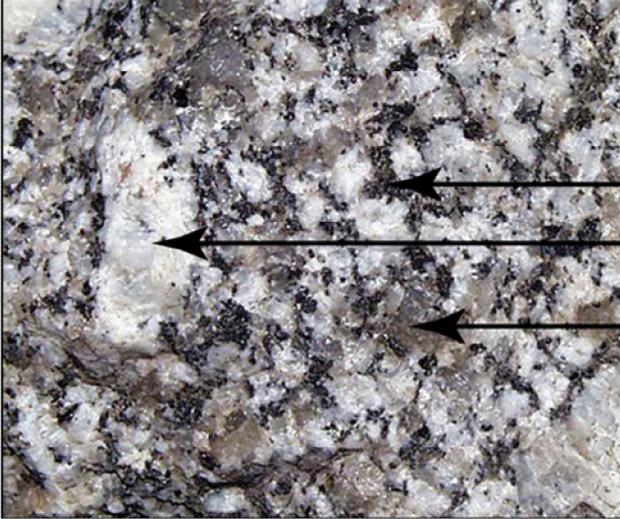


Echantillon D : Photographies au microscope (X 20).
En lumière polarisée non analysée en haut, et en lumière polarisée analysée en bas. (*Atlas des roches sédimentaires*, Adams, Mc Kenzie et Cuiford ; 1994 ; Masson)

Conditions de formation échantillon D

Cadre réponse

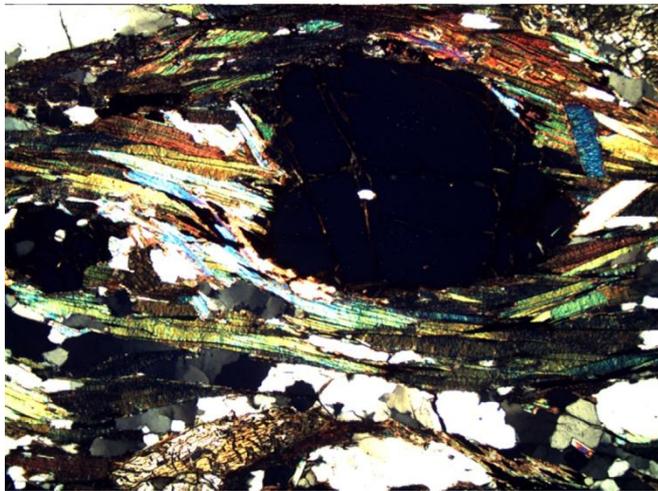
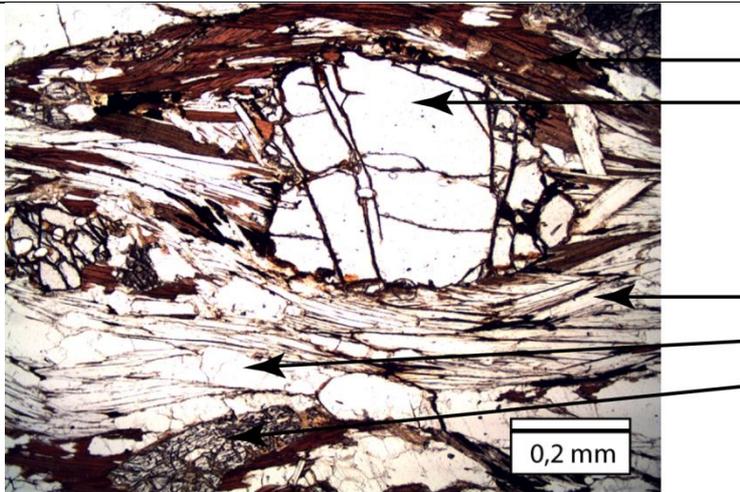
Cadre réponse



Echantillon E : Photographie à la
binoculaire. Largeur de la photo = 5 cm.
(Laboratoire Magmas et Volcans, CNRS - Université Blaise
Pascal, Clermont-Ferrand)

Conditions de formation échantillon E :

Cadre réponse



Echantillon F : Photographies au microscope, en lumière polarisée non analysée en haut, en lumière polarisée analysée en bas. (Laboratoire Magmas et Volcans, CNRS - Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand)

Conditions de formation échantillon F :

Question I. 4 : Synthèse sous la forme d'une coupe.

A partir des informations obtenues par l'étude des documents précédents, vous dessinerez une coupe détaillée de la lithosphère continentale en indiquant la nature des roches qui la constituent et la nature des limites séparant les différents domaines. Les indications nécessaires de profondeur, d'épaisseurs, de densité et de vitesses sismiques seront portées sur la coupe.

Cadre réponse

Partie II : Le déplacement des plaques lithosphériques en contexte convergent

Question II. 1 : Subduction de la lithosphère océanique.

II. 1.1 : Expliquez à quelles conditions la lithosphère océanique peut subduiter.

Cadre réponse

On considère que la croûte océanique a une épaisseur H_1 et une densité ρ_1 , le manteau lithosphérique une épaisseur H_2 et une densité ρ_2 et l'asthénosphère une densité ρ_3 .

II. 1.2 : Quelle est l'épaisseur minimale de H_2 , exprimée en fonction de H_1 , pour que la lithosphère subduite ? (votre réponse devra s'appuyer sur un schéma).

Schéma :

Cadre réponse

Calcul de la relation H_2 en fonction de H_1 :

Cadre réponse

II. 1.3 : Si $\rho_1 = 2.9$, $\rho_2 = 3.3$ et $\rho_3 = 3.25$, calculez le facteur de proportionnalité entre H_1 et H_2 pour qu'il y ait subduction.

Cadre réponse

Question II. 2 : Les forces permettant les déplacements des plaques lithosphériques.

II. 2.1 : A l'aide d'un schéma, montrez les forces à l'origine du mouvement des plaques lithosphériques.

Schéma :

Cadre réponse

II. 2.2 : Indiquez parmi ces forces, en justifiant votre réponse, celle qui est majoritaire.

Cadre réponse

Question II. 3 : Profils à travers la zone des Tonga et à travers la chaîne himalayenne.

II. 3.1 : Expliquez la technique permettant l'obtention du document G.

Cadre réponse _____

II. 3.2 : Sur la base de vos connaissances et de l'analyse des documents, vous proposerez une interprétation des deux profils de tomographie sismique du document G en précisant pour chacun le contexte géodynamique.

zone des Tonga

Cadre réponse _____

chaîne himalayenne

Cadre réponse

Partie III : La structuration des chaînes de collision

Question III. 1 : Carte géologique simplifiée de la chaîne himalayenne.

III. 1.1 : A partir d'indices relevés sur le document H, complétez le tableau.

Indices de la convergence continentale	Cause(s), origine, ...

III. 1.2 : A partir du document H, dessinez une coupe schématique de la zone étudiée.

Cadre réponse

Question III. 2 : Les directions d'extension et de compression déduites des mécanismes au foyer des séismes sur le plateau du Tibet.

A partir du document I, justifiez la diversité des déformations enregistrées dans cette région.

Cadre réponse

Question III. 3 : Variations des anomalies de Bouguer et le profil topographique le long d'un transect sud-nord à travers la chaîne himalayenne.

III. 3.1 : Qu'appelle-t-on anomalie de Bouguer ?

Cadre réponse

Cadre réponse

III. 3.2 : Quelles sont les informations apportées par la mesure des anomalies de Bouguer (Document J) dans cette région ?

Cadre réponse

Question III. 4 : Synthèse.

A partir des informations recueillies dans les documents H, I et J, explicitez les caractéristiques majeures d'une chaîne de collision continentale.

Cadre réponse

Partie IV : Etude locale d'une évolution tardi-orogénique.

Question IV. 1 : Cartographie.

IV. 1.1 : A l'aide des indications tirées du document K, proposez une chronologie relative des différents événements tectono-métamorphiques, magmatiques et sédimentaires ayant affectés la région cartographiée.

Cadre réponse

IV. 1.2 : Dessinez une coupe géologique selon le tracé proposé où seront seulement reportés, avec des figurés adaptés, les différentes unités et leurs limites, les accidents traversés et la foliation régionale.
Il ne sera pas tenu compte de la topographie.



Légende :

Cadre réponse

Question IV. 2 : Synthèse.

Montrez que les informations recueillies à partir de l'étude de la carte nous permettent de discuter les événements qui caractérisent l'évolution tardi-orogénique des chaînes de collision.

Cadre réponse

Partie I : Les plaques lithosphériques

Question I. 1 : Définition de la lithosphère Définissez ce que l'on appelle « une plaque lithosphérique ».

Une plaque lithosphérique est constituée d'une **partie crustale** (continentale et/ou océanique) et d'une **partie mantellique** appelée manteau lithosphérique. Son épaisseur est d'environ **120 km** mais peut varier de 200 à 300 km sous les vieux continents à 60 – 80 km sous les océans. La limite inférieure est appelée « **zone de moindre vitesse** » ou **Low velocity zone** en anglais (LVZ) caractérisée par une diminution de la vitesse des ondes sismiques (environ 10 %) dans le manteau à cette profondeur. Cette diminution de vitesse des ondes sismiques est due à un ramollissement du manteau sur une épaisseur de 200 km environ dans une zone où **le gradient géothermique tangente le solidus du manteau**. La température à cette profondeur de 120 km est d'environ **1300°C** et le manteau est proche de la fusion partielle. La LVZ sépare donc la lithosphère, rigide et peu dense, où les transferts de chaleur se font par conduction, de l'asthénosphère visqueuse et plus dense, où les transferts de chaleur se font par convection.

A la surface de la terre, la **lithosphère est découpée en une douzaine de plaques**. Les limites de **plaques** correspondent à des domaines **où les séismes et l'activité volcanique sont concentrés**. Une **plaque** se déplace sous l'action de **forces** : l'attraction du panneau plongeant dans les zones de subduction, la poussée à la ride au niveau des dorsales océaniques et la convection dans le manteau asthénosphérique sous-jacent. Les **mouvements** aux frontières de plaque peuvent être **convergents, divergents ou de coulissage**. La terre étant sphérique, le mouvement des plaques est **un mouvement de rotation** caractérisé par un axe de rotation qui passe par le centre de la sphère terrestre et la recoupe en deux pôles appelés pôles de rotation.

La définition de la lithosphère n'est pas connue de 20 à 30 % des candidats. Les principales lacunes concernent la profondeur limite (certains candidats la mettent à 670 km), la connaissance et définition de la LVZ, la structuration verticale (croûte continentale et/ou océanique sur manteau lithosphérique). Pour la majorité des candidats, la définition de lithosphère est connue dans ces principes de base.

Question I. 2 : Caractéristiques générales de la lithosphère : documents A, B et C.

I. 2.1 : Quelles techniques permettent d'obtenir les informations figurant dans les documents A et B ?

Le document A est une compilation de différentes techniques qui permettent de connaître l'âge des fonds océaniques. Tout d'abord on mesure les **anomalies magnétiques** enregistrées par les basaltes qui se mettent en place à la dorsale. **Grâce à l'échelle des anomalies magnétiques** on peut caler dans le temps la succession des anomalies préservées dans le plancher océanique. **Dans certains secteurs**, il a été possible de **prélever les sédiments océaniques qui se trouvent juste au-dessus des basaltes de la croûte océanique**. La détermination de l'âge des sédiments permet alors une datation indirecte du plancher basaltique sous-jacent. Enfin, la **datation par géochronologie absolue de certains édifices** volcaniques mis en place sur la croûte océanique permet **localement** également le calage dans le temps. La répartition symétrique des âges de part et d'autre de l'axe de la dorsale montre clairement le phénomène d'accrétion et d'expansion du domaine océanique à la dorsale.

Le document B présente une carte des âges des événements tectoniques majeurs en domaine continental. Les âges présentés dans cette carte sont des **mesures absolues obtenues à l'aide de géochronomètres isotopiques** dans les roches magmatiques et métamorphiques de la croûte continentale. Ces roches se mettent en place dans des domaines affectés par des **phénomènes tectoniques**, comme dans les domaines orogéniques caractéristiques des domaines continentaux. Les candidats peuvent **citer certains chronomètres** utilisés couramment pour la datation d'événements anciens comme **le 87Rb/87Sr, le 147Sm/143Nd, la méthode K-Ar (ou 40Ar/39Ar) ou la méthode U/Pb.**

Les techniques d'obtention des âges dans les domaines océaniques ne sont pas connues des candidats. Dans la majorité des copies il est indiqué que l'on procède à des forages ou carottages pour obtenir l'âge des sédiments océaniques se trouvant juste au-dessus de la croûte océanique ou pour mesurer le champ magnétique. Tous les fonds océaniques à la surface de la terre ont donc été forés ! De nombreuses copies ne font pas de différences entre les techniques permettant d'obtenir les âges des fonds océaniques et les âges des domaines continentaux et se réfèrent aux méthodes de géochronologie absolue (qui sont par ailleurs souvent mal connues). La datation au ^{14}C est la technique la plus citée bien qu'étant totalement inadaptée pour répondre à la question, particulièrement en domaine continental ! L'établissement de l'échelle chronostratigraphique, lorsqu'elle est citée est généralement très mal expliquée.

I. 2.2 : En vous aidant des documents A, B et C, comparez les caractéristiques générales de la lithosphère continentale et de la lithosphère océanique.

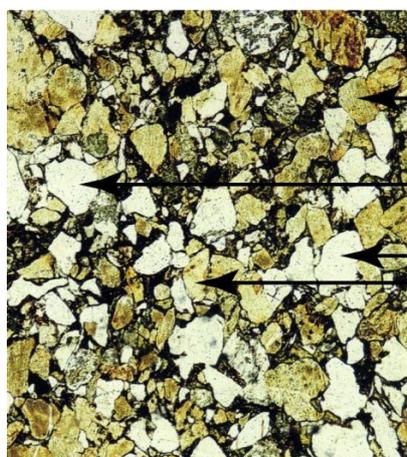
Le document C réunit à lui seul les bases pour une comparaison des lithosphères continentales et océaniques. Il rappelle que 70% de la surface terrestre est occupée par les océans mais que la lithosphère océanique occupe environ 50% de la lithosphère terrestre. **Le domaine océanique est immergé** et sa profondeur moyenne correspond à la profondeur moyenne des plaines abyssales (**environ -4000 m**). **Le domaine continental est émergé** et les altitudes moyennes sont supérieures à celles des océans (**+ 900 m**). Ces différences d'altitude sont essentiellement dues **à des différences de densité entre les deux types de croûte (2,9 pour la croûte océanique et 2,7 pour la croûte continentale)** et donc **du niveau de compensation isostatique des lithosphères continentales et océaniques**. Les candidats devaient alors mettre en avant les différences entre **les constituants des deux types de croûte** : le **granite** représentant en moyenne la roche de la croûte continentale et le **basalte** la roche de la croûte océanique, ainsi que **les différences d'épaisseur** (croûte continentale en moyenne 30 km pouvant aller jusqu'à 70 dans les chaînes de collision et croûte océanique 6 à 10 km en moyenne).

Les documents A et B mettent également en évidence les **différences d'âge** qui existent entre la lithosphère océanique et la lithosphère continentale. Le document A montre qu'il n'existe **pas de lithosphère océanique plus âgée que 180 Ma**. Pourtant on connaît à la surface de la terre dans des domaines orogéniques des lambeaux de lithosphère plus anciens. La lithosphère océanique est donc en renouvellement : fabriquée à la dorsale elle s'étend de part et d'autre (symétrie des âges sur le document A) et en vieillissant se refroidit, se densifie et s'épaissit. Au-delà de 180 Ma, elle **subducte** dans le manteau. La lithosphère continentale au contraire a été en majorité produite dans les **périodes précoces de l'histoire de la terre** (entre 3500 et 1700 Ma) comme le montre les âges les plus anciens sur le document B. Depuis 500 Ma, l'accroissement de la lithosphère continentale au dépend du manteau s'est fortement ralenti et se fait **au niveau du magmatisme d'arc**. A l'inverse de la lithosphère océanique, la **répartition des âges dans le domaine continental** montre que les continents se sont formés par accrétions successives à partir de noyaux anciens (archéens) qui se sont entourés progressivement de ceintures orogéniques plus récentes.

Cette question qui amenait le candidat à faire une réponse synthétique à partir des documents A, B et C a été traitée de façon très partielle dans la majorité des copies. Le plus souvent la réponse consiste en deux monographies successives plutôt qu'en une réelle comparaison synthétique. La comparaison des reliefs, des âges et des roches est généralement faite. Par contre la comparaison des densités en relation avec les reliefs est extrêmement rare et très peu de candidats sont en capacité d'expliquer les différences de relief observées (et la notion d'équilibre isostatique). Les mécanismes de formation de la lithosphère océanique sont bien connus, par contre la formation précoce de la lithosphère continentale et ses mécanismes de recyclages sont rarement et généralement mal explicités.

Question I. 3 : Pétrographie

I. 3.1 : Légendez les documents D, E et F et donnez brièvement leur contexte de formation.



Feldspath

Quartz

Quartz

Feldspath



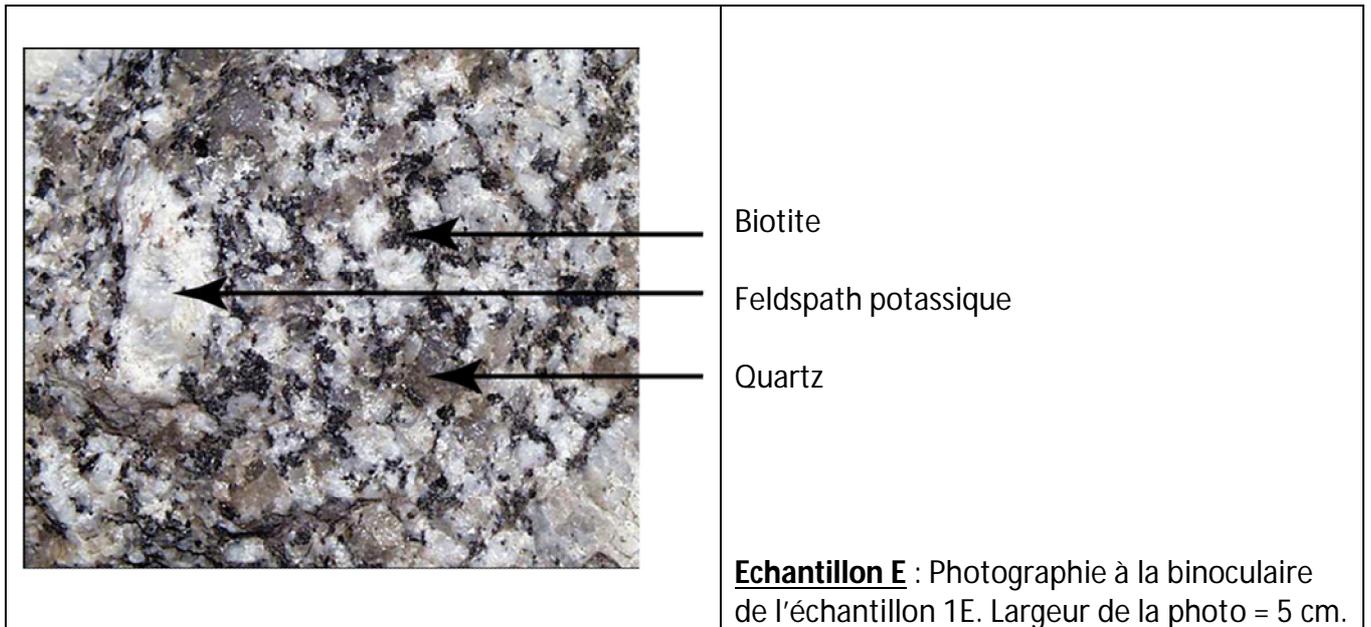
Echantillon D : Photographies au microscope (X 20).

En lumière polarisée non analysée en haut, et en lumière polarisée analysée en bas.

Conditions de formation de l'échantillon (Document D) :

Cet échantillon présenté en lame mince montre des grains de quartz et de feldspaths (plus de 50%) xénomorphes aux bordures irrégulières réunis par un ciment de couleur sombre (oxyde de fer opaque) : il s'agit d'un **sédiment détritico-terrigné**. Un sédiment dont plus de 50 % des grains sont des feldspaths, facilement identifiable en LPNA par leur couleur brune provenant de leur altération et en LPA par les vestiges de macles polysynthétiques de nombreux grains. La plupart des autres grains du sédiment sont des quartz limpides. L'échantillon est donc une **arkose ou grès feldspathique**.

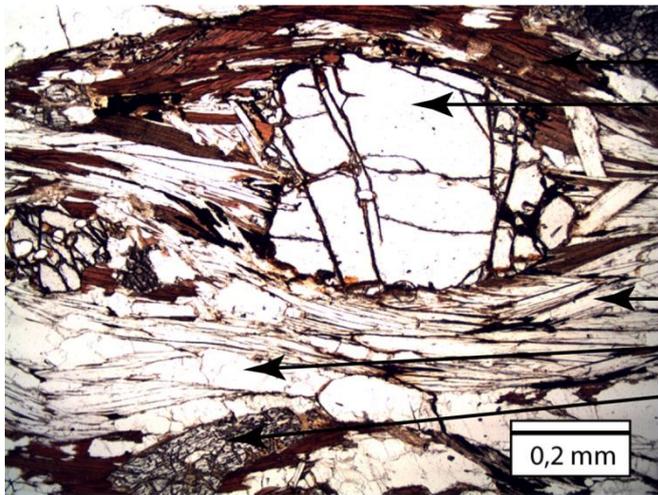
Conditions de formation : cette roche sédimentaire détritico-terrigné **dérive de l'érosion de roches granitiques ou gneissiques riches en quartz en domaine continental**



Conditions de formation échantillon E :

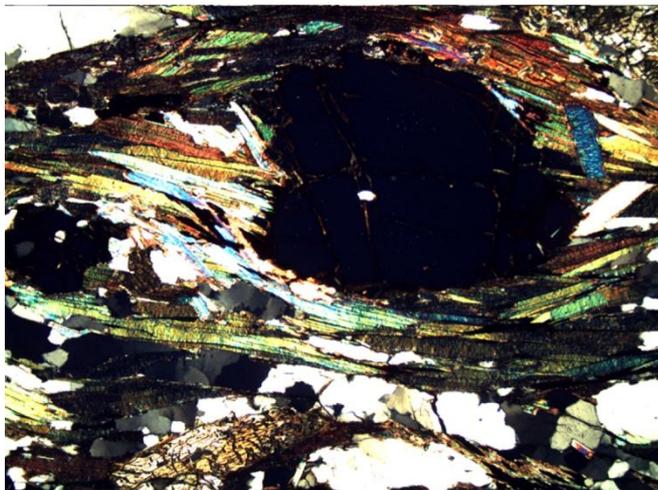
Cet échantillon macroscopique présente des minéraux de taille inférieure au cm à pluri-centimétrique. On reconnaît le quartz à son aspect vitreux et légèrement rosé, le feldspath potassique de grande taille, maclé et blanc laiteux et la biotite noire. Les minéraux sont jointifs et la texture de la roche est grenue : il s'agit d'un **granite**.

Le granite est une **roche magmatique plutonique, issue de la cristallisation lente d'un magma en profondeur (de la croûte moyenne à la croûte inférieure)**. C'est une roche abondante **dans la croûte continentale** dont on dit souvent que la composition moyenne est celle d'un granite.



Biotite marquant la foliation
Grenat

Muscovite marquant la foliation
Quartz
Disthène



Echantillon F : photographies au microscope, en lumière polarisée non analysée en haut, en lumière polarisée analysée en bas.

Conditions de formation échantillon F :

Cet échantillon présenté en lame mince montre des minéraux de grande taille (pluri millimétrique à centimétrique) orientés préférentiellement. Parmi ces minéraux on reconnaît **le grenat** (extinction en LPA) qui est moulé par des **micas noirs** (biotite) en haut de la lame et des **micas blancs** (muscovite) en bas. Au sein des micas, des niveaux de **quartz** s'allongent parallèlement à l'alignement des micas. Un grain de **disthène maclé** en LPA est visible en bas de la lame.

L'assemblage minéralogique de cet échantillon ainsi **que l'orientation préférentielle des minéraux (foliation)** nous amène à reconnaître ici une **roche métamorphique** : un **micaschiste à grenat et disthène**. Cette roche métamorphique est vraisemblablement **d'origine sédimentaire**. L'assemblage à grenat-disthène-biotite est caractéristique d'un **métamorphisme de MP-M à HT**, dans le faciès des amphibolites. Le contexte géodynamique associé à ce type de métamorphisme est la collision continentale.

Les échantillons D, E et F sont caractéristiques des roches constituant la croûte continentale.

La lame de roche sédimentaire n'est que très peu reconnue (bien que des indices dans le titre permettaient au moins de classer l'échantillon dans la famille des roches sédimentaires). Le quartz et le feldspath sont cependant assez bien reconnus. Le granite est bien reconnu par environ 80% des candidats, même si les critères de reconnaissance ne sont pas toujours les minéraux observés (la biotite est confondue avec le pyroxène). Il y a très fréquemment une confusion dans la

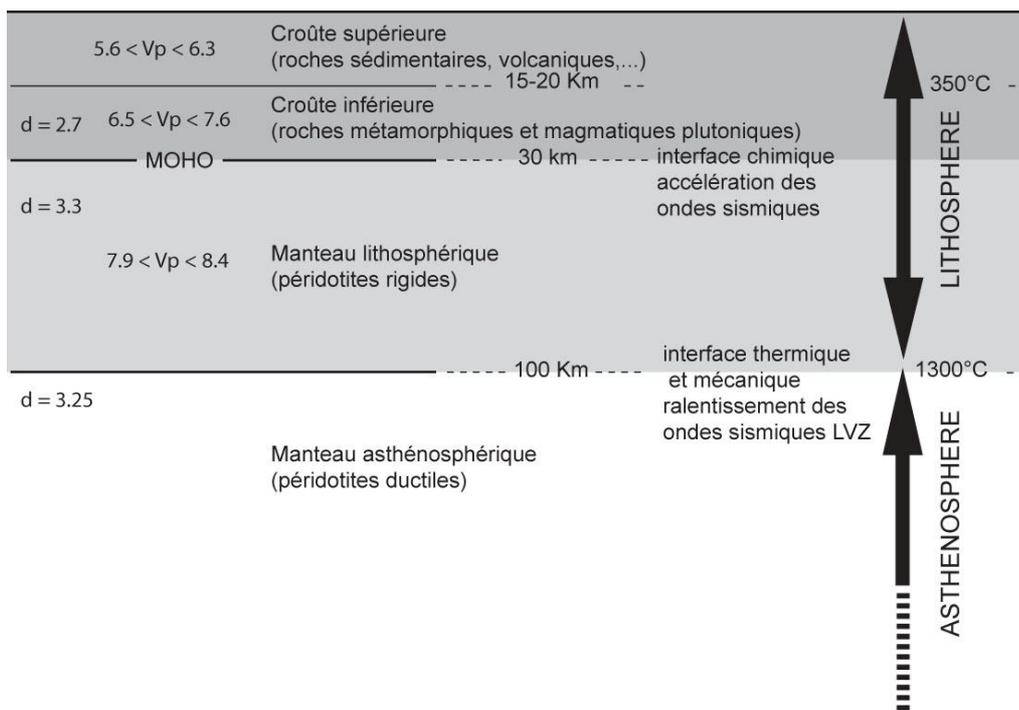
reconnaissance du quartz et du feldspath en macroscopie. La roche métamorphique n'est que très rarement reconnue et très souvent mal décrite : les minéraux tels que les micas et le grenat ne sont pas reconnus. La texture foliée est parfois décrite mais sans faire de lien avec la déformation. La présence d'une foliation/schistosité est dans la majorité des cas utilisée comme un critère clé de reconnaissance des roches métamorphiques et comme un indicateur de « pression élevée ». Si bien qu'il en résulte une totale confusion entre la pression lithostatique liée à la profondeur à laquelle la roche a été plongée et responsable du métamorphisme, et la pression de contrainte liée à la déformation.

Le grenat est utilisé (seul) comme un indicateur de HP dans la majorité des copies. Ceci montre une méconnaissance importante de la notion de paragenèses métamorphiques et des minéraux index des faciès métamorphiques.

Enfin, certaines copies montrent une réelle confusion d'échelle comme par exemple entre minéral et roche.

Question I. 4 : Synthèse sous la forme d'une coupe.

A partir des informations obtenues par l'étude des documents précédents, vous dessinerez une coupe détaillée de la lithosphère continentale en indiquant la nature des roches qui la constituent et la nature des limites séparant les différents domaines. Les indications nécessaires de profondeur, d'épaisseurs, de densité et de vitesses sismiques seront portées sur la coupe.



A l'exception des candidats ne connaissant pas la définition et les caractéristiques de la lithosphère continentale, les limites géochimiques et pétrologiques sont connues. Il semble cependant dès la fin de cette première question que les candidats ne sont pas habitués à dessiner des objets géologiques même basiques comme une coupe de la lithosphère.

Partie II : Le déplacement des plaques lithosphériques en contexte convergent

Question II. 1 : Subduction de la lithosphère océanique.

II. 1.1 : Expliquez à quelles conditions la lithosphère océanique peut subduiter.

La croûte océanique est formée à l'axe des dorsales : à ce niveau là lithosphère océanique a donc une épaisseur très faible. En s'éloignant de la dorsale, la lithosphère se **refroidit**, les isothermes s'approfondissent. **L'isotherme 1300°C**, qui marque la limite entre la lithosphère et l'asthénosphère, **augmente de profondeur**. **La lithosphère s'épaissit** donc en incorporant du matériel mantellique, c'est-à-dire **par transformation de matériel asthénosphérique en matériel lithosphérique**. Cet épaississement entraîne un alourdissement de la lithosphère océanique qui sous son poids s'enfonce

progressivement dans le manteau. A cause de sa rigidité qui a tendance à la maintenir en surface, la lithosphère ne va pas s'enfoncer rapidement mais **au-delà d'un certain âge situé à environ 170 - 180 Ma**, la lithosphère océanique subducte dans le manteau : c'est la subduction spontanée. Une fois la subduction initiée, la lithosphère lourde coule dans le manteau avec un fort pendage du panneau plongeant.

Le poids de la lithosphère océanique n'est pas le seul facteur à l'origine de la subduction. Il existe des contextes géodynamiques où la lithosphère océanique jeune et légère peut être également entraînée en subduction (**subduction forcée**). Ce sont les conditions aux limites des plaques qui, dans ces conditions, engendrent la subduction. Dans ce cas, le pendage du panneau plongeant est faible et l'interaction avec la lithosphère chevauchante importante (cas de la subduction andine).

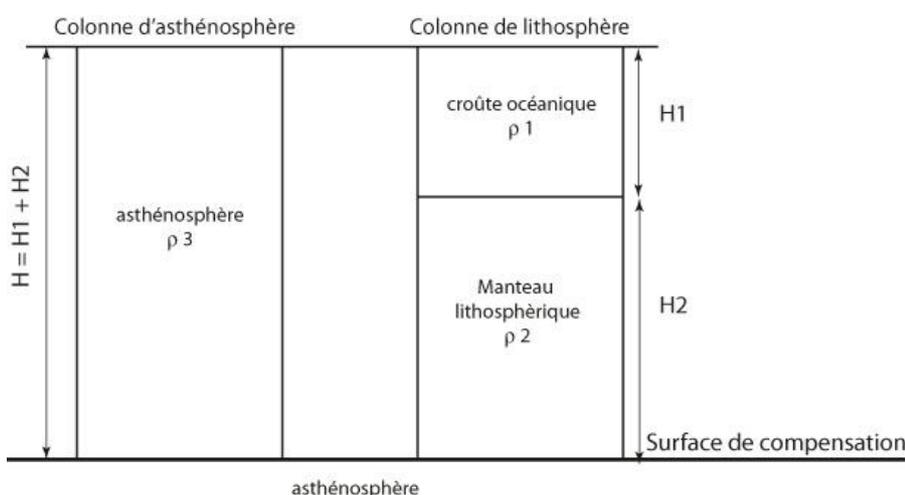
Il faut ici souligner l'extrême rareté des candidats ayant expliqué correctement les conditions de la subduction de la lithosphère océanique. Dans la majorité des cas (plus de 80% des copies) la subduction est décrite comme le résultat d'une différence de densité entre la lithosphère continentale et la lithosphère océanique, l'asthénosphère n'entrant pas du tout en jeu. Autrement dit : « je coule dans la piscine non pas parce que je suis plus dense que l'eau mais parce je suis plus dense que ma terrasse autour ! » Ceci met en évidence de grosses lacunes dans les concepts basiques de la physique qui se traduisent notamment par un langage inapproprié pour décrire les phénomènes et les processus. Lorsque la réponse à la question est correcte, l'épaississement du manteau lithosphérique est très rarement invoqué, au contraire du poids des sédiments ou de l'hydrothermalisme.

On considère que la croûte océanique a une épaisseur H_1 et une densité ρ_1 , le manteau lithosphérique une épaisseur H_2 et une densité ρ_2 et l'asthénosphère une densité ρ_3 .

II. 1.2 : Quelle est l'épaisseur minimale de H_2 , exprimée en fonction de H_1 , pour que la lithosphère subducte ? (votre réponse devra s'appuyer sur un schéma).

Comme il l'a été expliqué à la question précédente, c'est l'épaisseur croissante de manteau lithosphérique H_2 qui est responsable de la subduction de la lithosphère océanique. Pour calculer l'épaisseur minimale de ce manteau lithosphérique entraînant la subduction, il faut comparer le poids de deux colonnes : la première est constituée de croûte océanique de densité ρ_1 et d'épaisseur H_1 et d'un manteau lithosphérique de densité ρ_2 et d'épaisseur H_2 , la seconde est constituée d'asthénosphère d'épaisseur $H_1 + H_2$ et de densité ρ_3 . Pour qu'il y ait subduction il faut que le poids de la colonne de lithosphère océanique qui s'exerce sur une surface de compensation située dans le manteau asthénosphérique soit égale ou supérieure au poids exercé par la colonne d'asthénosphère à la même profondeur.

Poids de la colonne de lithosphère :



$(\rho_1 \times H_1 \times g) + (\rho_2 \times H_2 \times g)$
 Poids de la colonne d'asthénosphère :
 $\rho_3 \times H \times g$ avec $H = H_1 + H_2$
 et g représentant l'accélération de la pesanteur.
 L'équation s'écrit donc :
 $(\rho_1 \times H_1 \times g) + (\rho_2 \times H_2 \times g) \geq \rho_3 \times H \times g$

Ce qui se simplifie en

$$(\rho_1 \times H_1) + (\rho_2 \times H_2) \geq \rho_3 \times (H_1 + H_2) \Rightarrow H_2 (\rho_2 - \rho_3) \geq (\rho_3 - \rho_1) \times H_1$$

Donc $H_2 \geq (\rho_3 - \rho_1) / (\rho_2 - \rho_3) \times H_1$

Il. 1.3 : Si $\rho_1 = 2.9$, $\rho_2 = 3.3$ et $\rho_3 = 3.25$, calculez le facteur de proportionnalité entre H_1 et H_2 pour qu'il y ait subduction.

$$H_2 \geq (\rho_3 - \rho_1) / (\rho_2 - \rho_3) \times H_1 \Rightarrow H_2 \geq (3.25 - 2.9) / (3.3 - 3.25) \times H_1$$

$$H_2 \geq 0.35 / 0.05 \times H_1$$

Donc $H_2 \geq 7 \times H_1$

Pour qu'il y ait subduction, il faut que le manteau lithosphérique sous la croûte océanique soit au moins 7 fois plus épais que la croûte océanique. Si on prend une épaisseur moyenne de 10 km pour la croûte océanique, la lithosphère subduira donc pour une épaisseur d'environ 80 km.

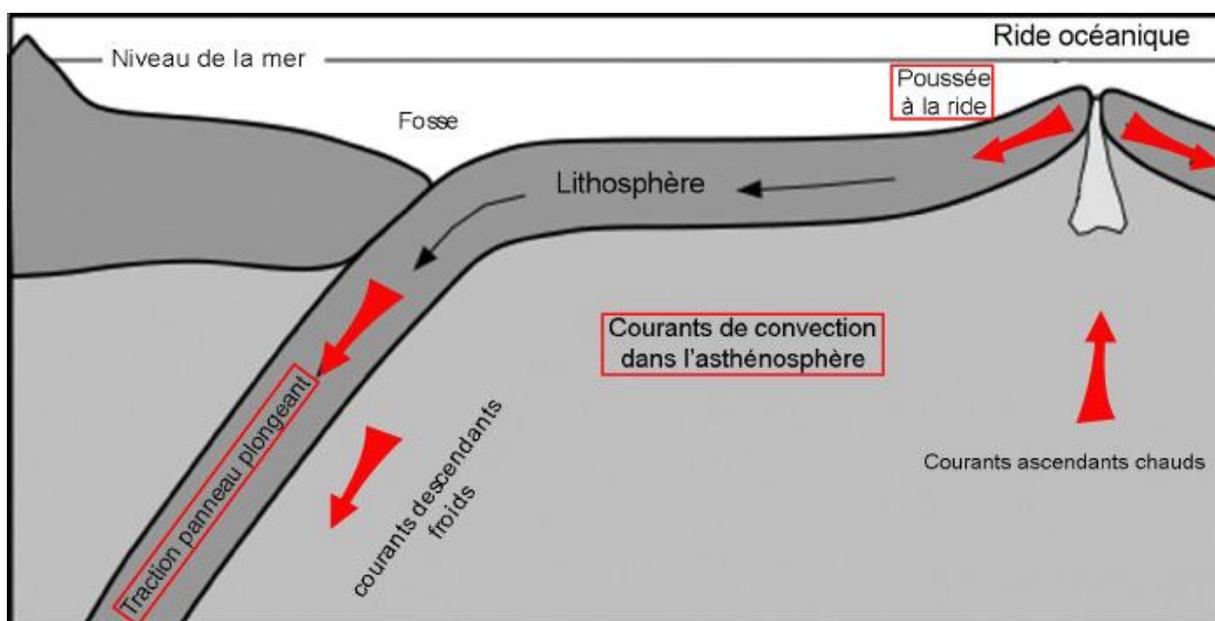
Etant donné le nombre très faible de candidats ayant répondu correctement à la question II.1.1, il est évident que la représentation sous forme de schéma et le calcul d'isostasie qui en découlait n'ont pu être effectués correctement. Même lorsque le processus de subduction a été compris, le calcul numérique (qui se limitait finalement à poser une équation avec des additions et des multiplications et à calculer $0,035/0.05$ ce qui pouvait être fait sans calculette) n'est pas fait par les candidats. Le schéma quant à lui n'a rien de « schématique », une zone de subduction est souvent représentée avec parfois une multitude d'inconnues ce qui n'aide pas la formulation mathématique du problème.

Question II. 2 : Les forces permettant les déplacements des plaques lithosphériques.

Il. 2.1 : A l'aide d'un schéma, montrez quelles sont les forces à l'origine du mouvement des plaques lithosphériques.

Trois types de forces sont invoqués pour le mouvement des plaques lithosphériques.

La traction du panneau plongeant (slab pull) dans les zones de subduction entraîne la lithosphère dans un mouvement descendant vers le manteau. La seconde est la poussée à la ride (ridge push). Cette force est une poussée horizontale à l'axe de la ride qui est due à l'augmentation de la densité (donc du poids) de la plaque océanique lorsqu'elle s'éloigne de la dorsale. Ajoutée aux variations de la topographie (passage d'un haut topographique au niveau de la ride à un bas topographique au niveau des plaines abyssales), cette augmentation du poids tire la lithosphère vers la plaine abyssale c'est-à-dire l'éloigne de la dorsale. La dernière force invoquée est la convection mantellique, qui, par effet d'entraînement et d'interaction entre la lithosphère et l'asthénosphère, accentue l'effet des deux forces précédentes.



Il. 2.2 : Indiquez parmi ces forces, en justifiant

nt votre réponse, celle qui est majoritaire.

La force la plus importante est la traction du panneau plongeant. En effet la lithosphère après avoir vaincu les forces de résistance du manteau peut sombrer jusqu'à des profondeurs très importantes (jusqu'à la couche D'' à 2900 km dans certains modèles). L'augmentation de la densité des roches du panneau plongeant due au métamorphisme croissant avec la profondeur favorise ce processus.

Les schémas proposés par les candidats montrent une confusion importante entre forces et mouvement pour environ 1/3 des candidats. La traction du panneau plongeant n'est reconnue comme la force principale que dans 50 à 60 % des copies, la poussée à la dorsale (qui est comprise de façon erronée comme la poussée verticale du magma) est également souvent invoquée.

Question II. 3 : Profils à travers la zone des Tonga et à travers la chaîne himalayenne.

II. 3.1 : Expliquez la technique permettant l'obtention du document G (page III du sujet à conserver).

La tomographie sismique est une méthode géophysique utilisant l'enregistrement du temps d'arrivée des ondes sismiques émises lors d'un séisme. La méthode consiste à **comparer en 3 dimensions les vitesses des différentes ondes de volume reçues après un séisme** par de nombreuses stations à la surface de la Terre aux vitesses théoriques issues du modèle radial de Terre, le modèle **PREM**. Cette comparaison met en évidence des zones **d'anomalie de vitesse** sismiques. Les zones **d'anomalie positive** (vitesses plus rapides que le modèle) sont interprétées comme des zones froides au sein du manteau et les zones **d'anomalie négative** (vitesses lentes) comme des zones chaudes. On obtient ainsi une cartographie en 3 dimensions des hétérogénéités dans le manteau.

Le principe de la tomographie sismique est mal connu de la majorité des candidats. Au mieux les grands principes (vitesses des ondes sismiques comparées à un modèle « théorique » et « zones bleues/rouges » interprétées en terme de zones froides/chaudes) sont décrits. Le modèle PREM n'est invoqué que très rarement et les anomalies sont en général mal comprises dans le détail. Il est cependant attristant de lire dans certaines copies (de niveau Master 2) que la tomographie sismique est mesurée par GPS ou par hélicoptère, que les ondes sismiques sont générées par des camions ou des bateaux alors que cette technique devra être enseignée par ces mêmes candidats au niveau du Lycée.

II. 3.2 : Sur la base de vos connaissances et de l'analyse des documents, vous proposerez une interprétation des deux profils de tomographie sismique du document G (page III du sujet à conserver) en précisant pour chacun le contexte géodynamique.

Zone des Tonga

Les documents G 1 et 2 montre la localisation de la zone de subduction des Tonga dans l'océan Pacifique à l'est de l'Australie. Le document G2 nous montre que dans cette zone la subduction se fait **entre deux plaques océaniques**. Le profil de tomographie sismique permet d'identifier deux types de domaines : un domaine **où les anomalies de vitesse sont positives en bleu (vitesses plus rapides)** correspondant également dans la partie superficielle au domaine où les séismes se localisent et un **domaine où les anomalies de vitesse sont négatives en rouge (vitesses plus lentes)**. Les vitesses lentes correspondent au **panneau plongeant froid** dans le manteau, les domaines en rouge correspondent au **manteau asthénosphérique environnant** et à la plaque lithosphérique océanique chevauchante. Ce profil nous montre que la plaque Pacifique à l'est plonge sous la plaque des Tonga à l'ouest. La géométrie du panneau plongeant en profondeur nous montre que ce plongement peut atteindre des profondeurs importantes (jusqu'à 1000 km ici, limite de résolution de l'image de tomographie). Les candidats pouvaient également remarquer que le **panneau plongeant semble s'étaler horizontalement à des profondeurs d'environ 600 km** c'est-à-dire au niveau de la zone de transition entre le manteau supérieur et le manteau inférieur.

Chaîne himalayenne

Les documents G3 et 4 montrent un profil au travers la chaîne de collision continentale himalayenne. Cette collision est le résultat de la convergence entre la plaque indienne et la plaque Eurasie qui amené la subduction du domaine océanique entre ces deux plaques sous la plaque Eurasie. Nous sommes donc ici en domaine continental. Le profil de tomographie sismique montre comme précédemment la présence au sud d'un **panneau plongeant vers le nord (en bleu = anomalies de vitesse positive)** dans le manteau asthénosphérique chaud. Le plongement de panneau (qui est la plaque indienne) se fait **avec un fort pendage (vertical)**. Contrairement à l'exemple des Tonga, **le panneau semble ici traverser la zone de transition dans le manteau**. On constate que la lithosphère sus-jacente présente deux domaines : **un domaine où les vitesses sont rapides (en bleu) entre 50 et 200 km** et un **domaine où les vitesses sont lentes (en rouge)** en superficie (partie supérieure de la croûte à l'aplomb de la zone de subduction). Ces deux domaines correspondent respectivement **au manteau lithosphérique continental** (à comparer avec le profil Tonga) **et à la croûte continentale** où le gradient géothermique est élevé du à la mise d'un magmatisme orogénique pendant la collision. On peut constater **un amincissement autour de 250 km de la lithosphère indienne plongeante** montrant l'initiation d'un processus de délamination du panneau plongeant (slab break off) dans cette région.

Cet exemple montre donc ici **la persistance du panneau plongeant océanique sous le domaine continental en collision**. Au cours de la collision himalayenne, la subduction a emporté une partie de la lithosphère continentale indienne. Même si ce profil ne permettait pas directement de discuter ce phénomène, les candidats étaient en mesure d'évoquer ici le **phénomène de subduction continentale**.

La comparaison de ces deux profils devait permettre au candidat d'évoquer la variété des phénomènes de convergence des plaques lithosphériques depuis la subduction océan-océan à la subduction continentale (responsable du métamorphisme de UHP) précédant la collision continentale.

Les profils de tomographie n'ont pas donné lieu à des analyses très détaillées. La subduction océanique a bien été identifiée dans le cas des Tonga avec peu de détails géométriques. Quelques candidats ont cependant effectué de bonnes analyses donnant lieu à des hypothèses explicatives intéressantes pour expliquer l'aplatissement à 670 km. Dans le cas du domaine himalayen, les candidats ne perçoivent pas la persistance de la subduction sous le domaine de collision continentale et interprètent donc l'anomalie négative visible jusqu'à 700 km comme une évidence de la racine crustale...

Partie III : La structuration des chaînes de collision

Question III. 1 : Carte géologique simplifiée de la chaîne himalayenne.

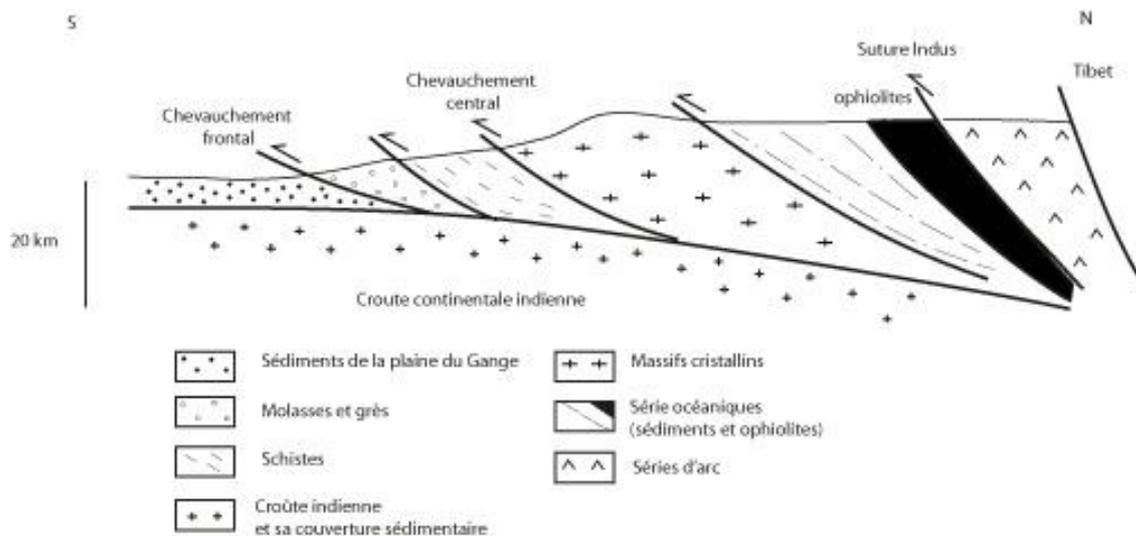
III. 1.1 : A partir d'indices relevés sur le **document H (page III du sujet à conserver)**, complétez le tableau.

Indices de la convergence continentale	Cause(s), origine, ...
chevauchements	Déformation compressive, convergence des plaques, à l'origine de l'épaississement crustal
Relief (Everest, Anapurna)	Epaississement crustal
	Bassin flexural d'avant pays de faible profondeur récoltant les produits

Molasses, grès	de l'érosion des reliefs (pendant la collision) à l'arrière et eux même emportés dans la déformation
Ophiolites, sédiments de la Téthys, suture	Présence des reliques d'un océan entre les deux domaines continentaux, pincées ensuite dans la collision.
Granites d'arcs et sédiments d'avant arc	Relique de la présence d'un arc volcanique mise en place pendant la subduction océanique et ensuite lui-même impliqué dans la collision continentale.
Massif cristallins	Ecailles de croûte continentale exhumées par la collision et pincées dans la collision
Plaine du Gange	Bassin flexural actuel correspondant au front de la chaîne.

Cette question a été traitée correctement par les candidats qui ont tenté d'y répondre.

III. 1.2 : A partir du **document H**, dessinez une coupe schématique de la zone étudiée.



L'exercice de coupe est trop rarement maîtrisé par les candidats et au regard des copies (et de l'improvisation développée dans la réponse à cette question...) il semble que pour la majorité il n'y a pas eu de préparation ou de formation à cet exercice.

Question III. 2 : Les directions d'extension et de compression déduites des mécanismes au foyer des séismes sur le plateau du Tibet.

A partir du **document I (page IV du sujet à conserver)**, justifiez la diversité des déformations enregistrées dans cette région.

Le document I montre la **diversité des structures tectoniques** observées dans le domaine de collision himalayen déduites des mécanismes au foyer des séismes régionaux. On constate la **présence de chevauchements concentrés au sud**, alors qu'au centre du plateau du Tibet la **déformation est à la fois décrochante** (senestre essentiellement pour les failles majeures situées à l'Est et dextre pour celles présentes au centre du plateau) et **en extension au centre** du plateau immédiatement derrière les chevauchements. La direction des contraintes déduites des séismes montrent que **toutes ces déformations se produisent simultanément** : la compression nord-sud étant compatible avec l'extension E-W observée au sommet du plateau du Tibet et les décrochements NW-SE ou NE-SW.

Ainsi un domaine en convergence active peut également montrer la présence de failles normales et de domaines en extension.

L'interprétation de ce document reste souvent superficielle et la notion de déformations synchrones cohabitant dans un même système convergent global n'a été que très rarement évoquée.

Question III. 3 : Variations des anomalies de Bouguer et le profil topographique le long d'un transect sud-nord à travers la chaîne himalayenne.

III. 3.1 : Qu'appelle-t-on anomalie de Bouguer ?

L'anomalie de Bouguer correspond à **la différence entre le champ de pesanteur mesuré corrigé et le champ de pesanteur théorique (ellipsoïde de référence)**. La pesanteur mesurée en un point de la surface de la terre dépend de la position de ce point de mesure c'est-à-dire de la distance au centre de la Terre : **altitude et latitude, et des masses "ressenties" à ce point** (Terre "moyenne" et perturbations diverses). Afin de ne garder d'une mesure que la partie renseignant sur les masses "invisibles" en profondeur on la **corrige des effets superficiels**, et connus : altitude et relief. Pour corriger l'effet de l'altitude, on se replace par le calcul sur un ellipsoïde de référence d'altitude égale à 0. On parle alors de correction à l'air libre. Pour corriger l'effet de masse d'un relief, on enlève par le calcul la masse de roche comprise entre l'altitude h et l'altitude 0. On parle de correction de plateau. Elle dépend de l'altitude h et de la masse volumique ρ de la roche (connue ou estimée). On peut également effectuer une correction de topographie qui prend en compte les reliefs entourant le point de mesure. Cette correction se fait d'après une carte topographique et selon des abaques prenant en compte le type (pic, vallée...) et la distribution spatiale des reliefs autour du point de mesure. **On appelle correction de Bouguer (1698-1758) la prise en compte de ces 3 corrections.** L'anomalie qui peut persister après que ces corrections ont aient été effectuées apporte une information sur les écarts entre la répartition réelle et la répartition théorique des masses en profondeur. Une anomalie négative montre un déficit de masse local alors qu'une anomalie positive montre un excès de masse.

III. 3.2 : Quelles sont les informations apportées par la mesure des anomalies de Bouguer dans la zone étudiée (Document J - page IV du sujet à conserver) ?

Le document montre **l'évolution de la topographie le long d'un transect S-N au travers de la chaîne himalayenne et parallèlement l'évolution de l'anomalie de Bouguer**. On constate que **l'anomalie de Bouguer est de plus en plus négative lorsque le relief augmente**. On en déduit donc que dans les zones de haut relief qui correspondent également aux zones d'empilement des unités crustales et donc **d'épaississement**, il y a un déficit de masse local (« masse manquante » de Pratt). Ce déficit de masse correspond en fait à un **excès de roche peu dense dû au remplacement en profondeur de matériel mantellique dense par du matériel crustal peu dense**. On met ainsi en évidence la présence d'une racine crustale sous les chaînes de collision.

Beaucoup de candidats confondent anomalies et géoïde ou corrections de Bouguer. Par contre, même lorsque la définition est erronée, nombreux sont les candidats qui savent faire le lien entre anomalie négative et topographie pour amener l'idée de la présence d'une racine crustale.

Question III. 4 : Synthèse.

A partir des informations recueillies dans les documents H, I et J, explicitez les caractéristiques majeures d'une chaîne de collision continentale.

- Domaine en **convergence** (chevauchements montrant un raccourcissement) avec **empilement d'unités lithologiques variées** séparées par des contacts tectoniques (doc H). Parmi ces unités on trouve des **unités océaniques** (ophiolites et méta-ophiolites) qui

montrent la présence d'un domaine océanique séparant les deux domaines continentaux initialement (doc H). Cet océan a disparu par **subduction (témoins d'un arc volcanique)**

- Un domaine de collision continental actif est un domaine où la **sismicité est importante** dû aux **nombreuses structures tectoniques actives** présentes dans ce secteur (document I) ;
- Les **contacts tectoniques** séparant les unités structurales peuvent être de nature **variées** (chevauchements, faille décrochantes et faille normales) mais leur répartition dans l'espace et leur géométrie permet **l'accommodation d'un seul cadre géodynamique lié à la convergence majeure** (doc I).
- L'empilement des unités structurales et le raccourcissement au cours de la collision est responsable d'une **anomalie topographique** (doc H et J) importante. Cette anomalie topographique est associée à la formation en profondeur **d'une racine crustale** (doc J). On déduit de ces deux observations un épaissement crustal important lié à l'empilement de matériel peu dense en profondeur.
- La présence de **bassins flexuraux** d'avant pays perdure depuis le début de la convergence. Ces bassins recueillent les produits de l'érosion au cours de la formation des reliefs (Document H) et sont petits à petit impliqués dans le prisme orogénique (doc H).

Les candidats pouvaient également faire référence au document G en montrant que la collision succède souvent (mais pas toujours) à la subduction océanique et continentale.

Cette question a été mal comprise par de nombreux candidats qui ont relaté l'histoire d'une chaîne de collision au lieu de donner les caractéristiques générales comme il l'était demandé dans la question. Par contre, certains candidats ont fait de très bonnes synthèses notamment lorsque ceux-ci ont de bonnes connaissances de la structure de la chaîne alpine.

Partie IV : Etude locale d'une évolution tardi-orogénique.

Question IV. 1 : Cartographie.

IV. 1.1 : A l'aide des indications tirées du **document K (page V du sujet à conserver)**, proposez une chronologie relative des différents événements tectono-métamorphiques, magmatiques et sédimentaires ayant affectés la région cartographiée.

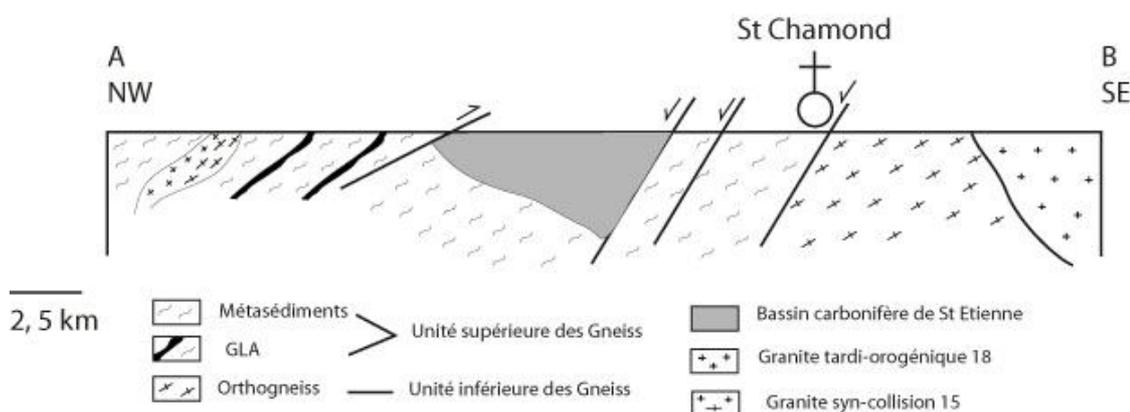
Tectonique	Métamorphisme	Magmatisme	Sédimentaire
<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place de chevauchements et décrochements pendant la collision varisque (syn-granite 15) • Extension tardi orogénique liée au rééquilibrage gravitaire de la croûte épaissie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eclogites contenues dans le Gla = métamorphisme de HP pendant la subduction varisque • Facies amphibolite (unités de bk et ko) : métamorphisme syn-collision • Fusion partielle (unités de bk, ko et orthogneiss) : métamorphisme HT tardi- 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 et 7 : mise en place de roches plutoniques entre 590 et 450 Ma =protholithe des orthogneiss • 15 : granite folié mis en place vers 350 Ma (syn-collision) • 18 et 19 : granites tardi-orogéniques mis en place vers 300 Ma (postérieurs à la déformation) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bk : sédiments anté cambriens (Briovériens) • Ko : dépôts sédimentaires du Cambrien à l'Ordovicien < • h3 : dépôts charbonneux du Stéphien

	orogénique, relaxation thermique		
--	--	--	--

Le document K est un extrait de la carte géologique au 1/1000 000 dans la région de St Etienne, Massif central. Les roches les plus anciennes dans ce secteur sont les orthogneiss 6 et 7 (roches magmatiques mises en place entre 590 et 445 Ma) et les roches méta-sédimentaires indiquées bk et ko. Toutes ces roches ont métamorphosées dans des conditions variables qui vont du faciès des amphibolites (métasédiments) jusqu'aux conditions de l'anatexie (orthogneiss 6 et 7). Une autre unité métamorphique est présente mais difficile à recaler dans le temps : il s'agit du GLA (Groupe leptyno-amphibolique) indiqué comme d'origine varisque dans la légende et contenant des reliques éclogitiques. Ces roches métamorphiques sont séparées par des contacts tectoniques de nature chevauchante ou extensive. La connaissance de la géologie régionale des candidats devaient les amener à conclure que ces unités structurales ont été métamorphosées pendant l'orogénèse varisque. La présence d'éclogite, métamorphisme de HP/ basse à moyenne température, reflète les événements précoces de l'histoire de cet orogénèse (subduction océanique et continentale) alors que le métamorphisme de plus basse pression et plus haute température jusque dans les domaines de la fusion partielle montre l'évolution métamorphique plus tardive pendant la collision continentale. L'empilement de ces unités structurales grâce à la mise en place de chevauchements s'est fait pendant la collision varisque. Des leucogranites déformés (15, autour de 340 Ma) se mettent en place en même temps que ces chevauchements. Des granites peralumineux plus récents (18 et 19, autour de 300 Ma) recourent l'empilement structural. Ils sont le résultat de l'évolution de la croûte continentale à haute température dans le domaine de la fusion partielle. Des sédiments carbonifères (stéphaniens) se mettent en place ensuite (postérieurement au granites récents car non affectés par un métamorphisme de contact) dans un bassin le long de faille normale. Ces sédiments sont discordants sur les roches métamorphiques et magmatiques sous-jacentes. La présence de ce bassin en contexte extensif est à relier à l'extension post-orogénique affectant la région tardivement, comme l'indique la présence d'une autre faille au sud (faille du Pilat).

Le nord est et le coin SE de la carte sont formés par des sédiments oligo-miocènes qui reflètent une histoire beaucoup plus récente liée à la mise en place du rift ouest européen et à la formation des bassins N-S de Limagne (à l'Est) et de la Bresse (au SE) dans le Massif central.

IV. 1.2 : Dessinez une coupe géologique selon le tracé proposé où seront seulement reportés, avec des figurés adaptés, les différentes unités et leurs limites, les accidents traversés et la foliation régionale. Il ne sera pas tenu compte de la topographie.



Cette question n'aurait pas dû présenter de difficultés majeures pour les candidats ayant assisté à un minimum de séances de TP de cartographie. Les

réponses brèves, très incomplètes, évasives et parfois contradictoires traduisent en fait une

méconnaissance de ce type d'exercice. Trop peu d'événements géologiques sont dégagés et leur séquençage par application de quelques principes de chronologie relative est pour le moins laborieux.

En ce qui concerne la coupe, cet exercice s'avère le plus sélectif car beaucoup de candidats n'ont rien proposé, ou alors des coupes en parfaite contradiction avec les figurés de l'extrait de la carte. Les candidats ont beaucoup de mal à dessiner à main levée et ne connaissent pas la prolongation en profondeur des structures et objets géologiques. Les principales structures sont représentées dans le meilleur des cas. Les figurés cartographiques ne sont pas connus ni transposés correctement sur la coupe.

En ce qui concerne la synthèse, beaucoup de candidats n'ont pas répondu à cette question. Dans les réponses apportées, il y a fréquemment une confusion entre le « tardi » orogénique et le « post » orogénique : l'érosion des reliefs, mais surtout le contrecoup de la mise en place des Alpes (formation de la Limagne) étaient hors sujet. Le concept de « tardi » orogénique n'est pas acquis : la relaxation thermique, les conséquences rhéologiques de l'épaississement crustal et l'anatexie crustale (qui n'est pas une conséquence de la formation d'un granite) ne sont pas traités.

Question IV. 2 : Synthèse.

Montrez que les informations recueillies à partir de l'étude de la carte nous permettent de discuter les événements qui caractérisent l'évolution tardi-orogénique des chaînes de collision.

Evolution vers un **métamorphisme de moyenne à basse pression et haute température (fusion partielle)** reflétant la **relaxation thermique** postérieure à l'**épaississement crustal**. L'**abondance de matériel crustal riche en éléments radioactifs** (U, K, Th...) est à l'origine d'une importante production de chaleur qui **augmente le gradient géothermique** de la collision. La croûte épaissie va donc se réchauffer (métamorphisme de plus HT). En profondeur les roches peuvent subir des **phénomènes métamorphiques et de fusion partielle** (anatexie) qui vont engendrer la **formation des granites**. Ceux-ci se mettent en place dans la croûte moyenne. Si la convergence ralentit ou s'arrête, la **lithosphère épaissie et chaude devient instable** et s'étale sous son propre poids. Les **forces gravitaires (verticales) deviennent prépondérantes** sur la résistance de la lithosphère qui est alors soumise à des **contraintes extensives**. La formation de **failles normales permet de revenir à une épaisseur de croûte à l'équilibre**. D'un contexte compressif convergent on passe alors à un contexte extensif divergent. Des **bassins recueillant l'érosion des reliefs** dans la même période s'installe le long de ces failles normales. L'**érosion et l'extension tardi-orogénique** participent au retour vers **une épaisseur crustale plus faible** et à l'**exhumation des roches de la croûte inférieure**.

Conclusions générales

Le jury tient à souligner quelques points au regard de ce qui a été lu dans les copies :

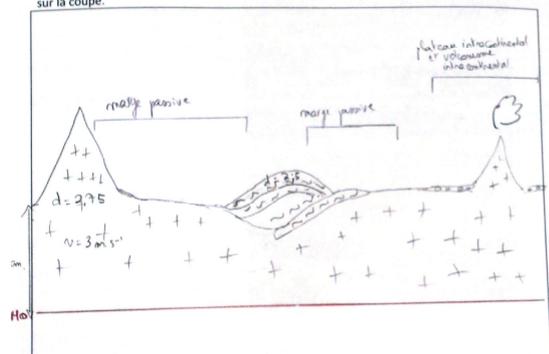
- ✓ un problème dans l'abord des exercices fondamentaux : description de lame et d'échantillons, dessins en 2 dimensions et compréhension en 3 dimensions, dont le dessin de coupes schématiques et à main levée. Ces difficultés sont une conséquence d'une mauvaise compréhension ou d'une compréhension superficielle des objets et concepts géologiques.
- ✓ Des difficultés rédactionnelles liées également à des connaissances non maîtrisées. Les candidats confondent long texte et exposé de connaissances au risque de diluer la précision de l'exposé. Un schéma clair est souvent préférable à un exposé verbeux. Une mauvaise écriture fatigue souvent inutilement la lecture.
- ✓ Une faible maîtrise des notions scientifiques de bases en mathématiques, physique, chimie et géologie.
- ✓ Une lecture partielle ou erronée des énoncés de questions

- ✓ Les candidats ne lisent pas les rapports de jury des années précédentes. Beaucoup de remarques et de concepts scientifiques ont été maintes fois rédigés dans les rapports précédents et ne semblent pas avoir été appréhendés.

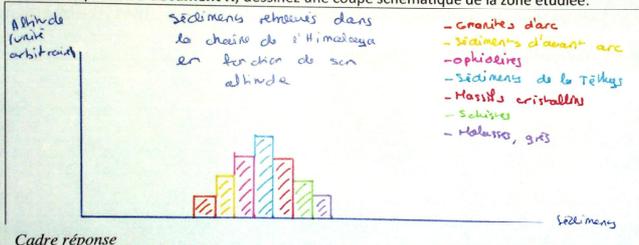
Quelques exemples de coupe et schémas rencontrés dans les copies :

Question I. 4 : Synthèse sous la forme d'une coupe.

A partir des informations obtenues par l'étude des documents précédents, vous dessinerez une coupe détaillée de la lithosphère continentale en indiquant la nature des roches qui la constituent et la nature des limites séparant les différents domaines. Les indications nécessaires de profondeur, d'épaisseurs, de densité et de vitesses sismiques seront portées sur la coupe.

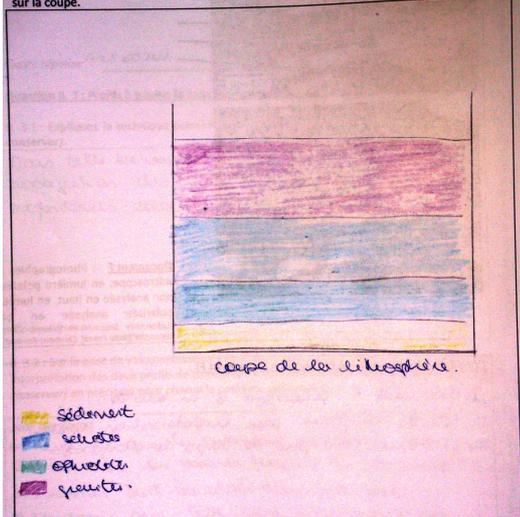


III. 1.2 : A partir du document H, dessinez une coupe schématique de la zone étudiée.



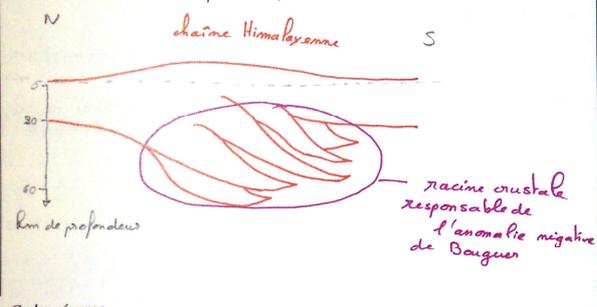
Question III. 2 : Les directions d'extension et de compression déduites des mécanismes au foyer des séismes sur le plateau du Tibet.

une coupe détaillée de la lithosphère continentale en indiquant la nature des roches qui la constituent et la nature des limites séparant les différents domaines. Les indications nécessaires de profondeur, d'épaisseurs, de densité et de vitesses sismiques seront portées sur la coupe.

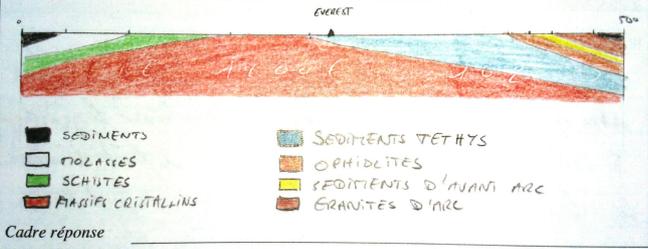


III. 3.2 : Quelles sont les informations apportées par la mesure des anomalies de Bouguer dans la zone étudiée (Document J - page IV du sujet à conserver) ?

On remarque que plus le relief augmente, plus l'anomalie de Bouguer est négative. Puisque la densité de la croûte continentale est plus faible que celle du manteau, on peut en déduire que de la croûte continentale a pris la place du manteau.

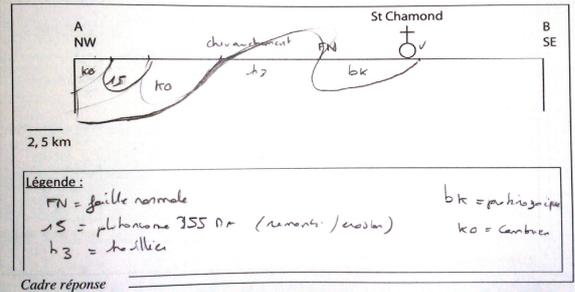


III. 1.2 : A partir du document H, dessinez une coupe schématique de la zone étudiée.



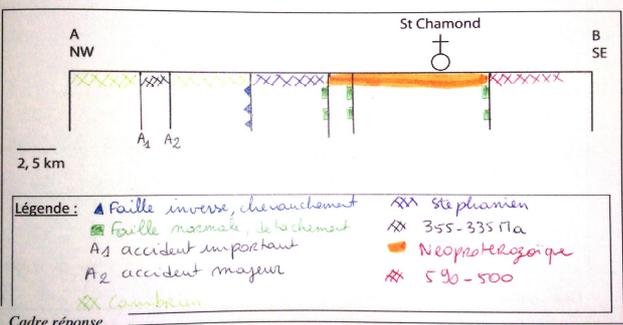
Question III. 2 : Les directions d'extension et de compression déduites des mécanismes au foyer des séismes sur le plateau du Tibet.

IV. 1.2 : Dessinez une coupe géologique selon le tracé proposé où seront seulement reportés, avec des figurés adaptés, les différentes unités et leurs limites, les accidents traversés et la foliation régionale. Il ne sera pas tenu compte de la topographie.

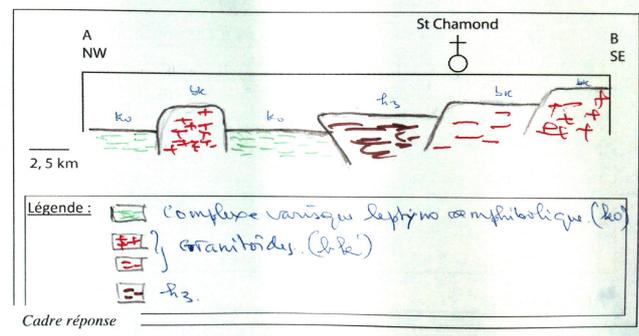


page 14 à rendre

reportés, avec des figurés adaptés, les différentes unités et leurs limites, les accidents traversés et la foliation régionale. Il ne sera pas tenu compte de la topographie.



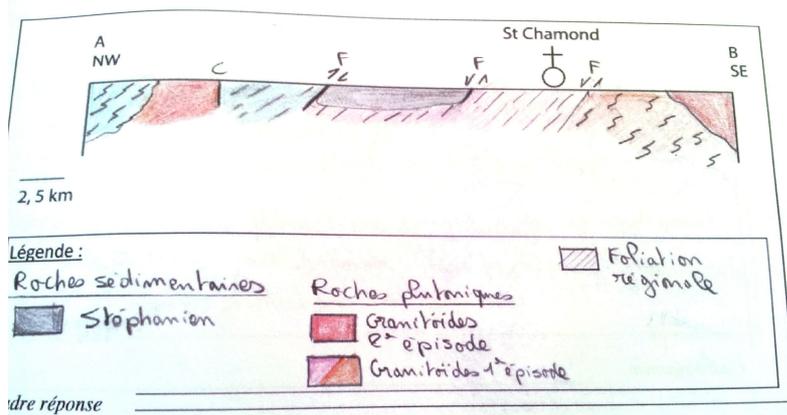
page 14 à rendre



page 14 à rendre

Exemple de coupe correcte :

IV. 1.2 : Dessinez une coupe géologique selon le tracé proposé où seront seulement reportés, avec des figurés adaptés, les différentes unités et leurs limites, les accidents traversés et la foliation régionale. Il ne sera pas tenu compte de la topographie.



page 14 à rendre

Tournez la page S.V.P.