

# Rapport concernant le sujet d'écrit de géologie

## I. Remarques préliminaires :

Traiter un sujet du type de celui proposé nécessite :

- une analyse approfondie des **documents** (figures et légendes des figures),
- un effort pour distinguer les **notions essentielles** (données scientifiques de premier ordre) dans le champ disciplinaire concerné,
- un apport complémentaire de connaissances pour les aspects du sujet non illustrés par les documents,
- une détermination à restituer les connaissances sous la forme de **schémas de synthèse**,
- un effort pour parvenir à une approche la plus quantitative possible des Géosciences.

## II. Développement du sujet incluant l'analyse des documents

### A) Qu'est-ce qu'une chaîne de montagnes ?

#### 1) Natures et structures des lithosphères terrestres

Il importait tout d'abord d'insister sur les trois façons de définir les lithosphères :

- une définition en termes de **composition** (pétrographique, minéralogique et donc chimique), avec un manteau supérieur constitué essentiellement de péridotites et de clinopyroxénites et des croûtes continentales et océaniques, constituées respectivement de granitoïdes associés à des roches métamorphiques et de basaltes associés à des gabbros,
- une définition **thermique**, les lithosphères étant les enveloppes limites de la planète, pour lesquelles les transferts de chaleur s'effectuent par conduction avec une diffusivité moyenne de l'ordre de  $10^{-6} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$ ,
- une définition **mécanique**, les lithosphères constituant des enveloppes au comportement rigide, c'est à dire capables de supporter et de transmettre des contraintes, par rapport à l'asthénosphère sous-jacente viscoplastique. Il existe aussi une définition sismologique de la limite entre ces deux enveloppes représentée par la L.V.Z.

Ces trois propriétés étant bien sûr liées, les candidats avaient le choix de les présenter dans l'ordre et la logique de leur choix. Nous attendions un schéma de synthèse (fig. 1) avec les épaisseurs des enveloppes, la nature des roches (liens entre pétrographie, minéralogie et chimie des croûtes et du manteau) et en conséquence la minéralogie dominante (olivine, minéral dominant dans le manteau lithosphérique, et feldspaths, minéraux dominants dans les croûtes) et les densités des enveloppes, la localisation des principales discontinuités (Moho, Conrad, ...), les ordres de grandeur des températures au Moho et à la base de la lithosphère, les ordres de grandeurs des valeurs des vitesses des ondes sismiques ainsi que les viscosités de la lithosphère et de l'asthénosphère.

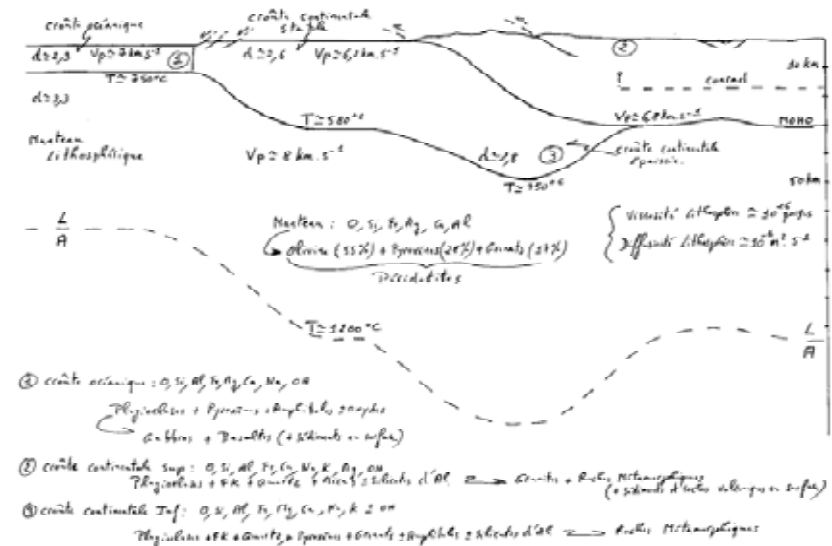


Figure 1. - Natures et structures des lithosphères terrestres

#### 2) Principaux caractères des chaînes de montagnes

L'analyse et l'exploitation des documents proposés conduisaient à caractériser une chaîne de collision comme suit.

- Une limite de plaques, zone sismiquement active (**document 6**),
- Une anomalie topographique (**document 2**) résultant d'un épaissement crustal (**documents 1 & 5**). L'épaississement conduit d'une part à la formation d'une racine crustale (orogénique) en profondeur (**documents 1 & 7b**) et impose d'autre part une surcharge à la lithosphère à l'origine d'un bassin flexural en surface (**document 4**),
- Une zone de déformation, où raccourcissement et épaissement accommodent la convergence des plaques (**documents 3 & 5**) : plis, chevauchements, failles inverses et décrochements en sont les marqueurs tectoniques (**documents 3, 5 & 7**) ; on y observe une partition de la déformation (distribution hétérogène des types de structures tectoniques et fortes variations des vitesses de déformation). Epaissement par chevauchements et extrusion de blocs rigides le long des décrochements se relaient dans le temps et dans l'espace,
- Une structure qui témoigne de la fermeture d'un ancien domaine océanique (ophiolites, **document 5**).

Nous attendions un schéma de synthèse (fig. 2), inspiré par exemple de coupes crustales de chaînes de collision comme les Alpes, faisant apparaître les principaux marqueurs tectoniques, sédimentaires et pétrologiques d'une chaîne de collision.

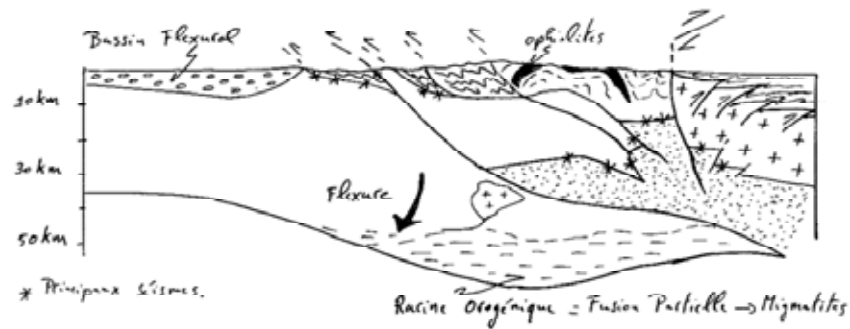


Figure 2.- Les principaux caractères des chaînes de montagnes

## B) Les Alpes occidentales

### 1) Structure d'ensemble et coupe d'échelle crustale

Sur l'extrait de carte proposé (document 8), les Alpes occidentales peuvent être caractérisées par la juxtaposition tectonique de trois grandes zones.

- La zone dauphinoise correspond à la lithosphère continentale européenne constituée d'une croûte continentale paléozoïque (massifs cristallins externes, MCE) et de sa couverture sédimentaire déformée lors de la collision alpine (plis, failles inverses, chevauchements, décrochements). Ces séries sédimentaires témoignent de l'existence d'anciens bassins subsidés développés sur une croûte continentale amincie avant l'orogénèse alpine. La sédimentation est épaisse et souvent continue du Stéphanien à l'Eocène.
- La zone briançonnaise correspond à la partie amincie (blocs basculés) d'une marge continentale passive rattachée pour certains auteurs à la plaque européenne et pour d'autres à la plaque ibérique. Cette zone se caractérise par l'existence de séries sédimentaires réduites entre le Malm et le Crétacé supérieur témoignant de l'existence de hauts-fonds avec des lacunes de sédimentation et le développement de "hard-grounds". Cela caractérise les processus de sédimentation sur des blocs basculés. Durant l'orogénèse alpine, les roches sédimentaires sont déformées, affectées de chevauchements et de plissements d'échelle plurikilométrique (antiforme briançonnaise). Ces roches sont métamorphosées dans les conditions des faciès des schistes verts et schistes bleus de basse température.
- La zone piémontaise est un domaine très composite du point de vue lithologique avec des témoins de croûtes continentales ou océaniques. Les schistes lustrés sont des méta-sédiments qui correspondent pour partie à l'ancienne couverture sédimentaire du domaine océanique téthysien et pour une autre part à des sédiments déposés à l'interface continent/océan. Des reliques de fossiles (*Globo truncana*) témoignent de l'âge céno-manoturonien d'une partie des sédiments océaniques. Les ophiolites sont des témoins de l'ancienne lithosphère océanique. L'ensemble des données géochronologiques disponibles indique un âge jurassique pour la formation de ce domaine océanique. De nombreux arguments lithologiques,

géochimiques et structuraux permettent de comparer les ophiolites alpines à la lithosphère de l'Atlantique actuel témoignant du fonctionnement d'une dorsale lente. Les massifs cristallins internes (MCI) correspondent à des fragments de croûte continentale dont l'origine (marge européenne ou marge apulienne) est toujours discutée à l'heure actuelle. L'ensemble de ces lithologies est fortement transformé par le métamorphisme alpin dans les conditions des faciès des schistes bleus et des éclogites. Cartographiquement, le faciès des schistes bleus affecte les lithologies de la partie externe de cette zone piémontaise (Queyras par exemple), alors que le faciès des éclogites apparaît en position plus interne (Viso, Dora-Maira par exemple). On soulignera la présence de coésite (forme de haute pression de la silice) en reliques dans les grenats des éclogites du massif de Dora-Maira. Cependant cette distribution cartographique ne peut en aucun cas être interprétée comme un « gradient » métamorphique car les âges du métamorphisme de haute-pression et basse-température sont différents : entre 55 et 70 Ma pour le faciès des Schistes Bleus dans le Queyras, entre 50 et 55 Ma pour le faciès des Eclogites dans le Viso, entre 38 et 33 Ma pour le faciès des Eclogites à Dora-Maira (fig. 3). Il faut dans ce cadre métamorphique général, souligner l'exception que représente le massif ophiolitique du Chenaillet qui n'est affecté d'aucune transformation alpine en conditions de haute-pression et basse-température. Il s'agit d'un des rares fragments de lithosphère océanique qui n'ait jamais été impliqué dans la subduction alpine.

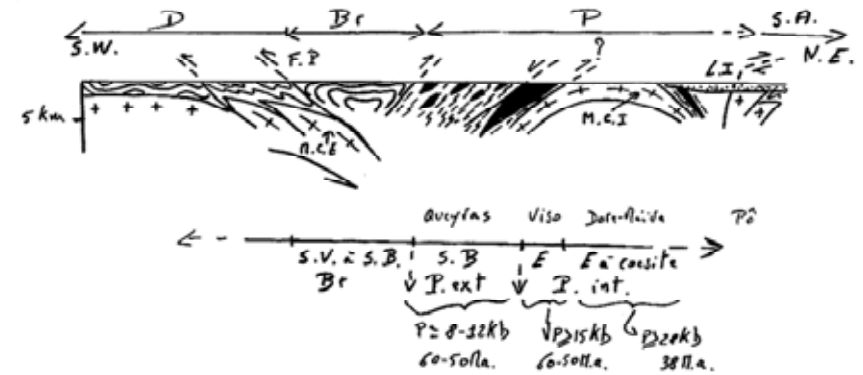


Figure 3.- Les métamorphismes alpins

Les limites entre les différentes zones ont bien sûr une valeur de limites paléogéographiques majeures (forts contrastes sédimentaires et paléontologiques). C'est au demeurant sur ces critères paléogéographiques que ces zones ont été identifiées. Il était dès lors souhaitable de proposer une reconstitution de ces différents domaines paléogéographiques au Jurassique supérieur par exemple (fig. 4). Cependant, ces différentes zones sont séparées par des discontinuités tectoniques et métamorphiques. Leurs limites sont donc tectoniques, chevauchements à pendages opposés et failles normales. Il existe même parfois des sautes métamorphiques et tectoniques majeures au sein d'une même zone « paléogéographique », comme le montre la faille normale qui sépare la zone piémontaise externe de la zone piémontaise interne (par exemple entre Queyras et Viso).

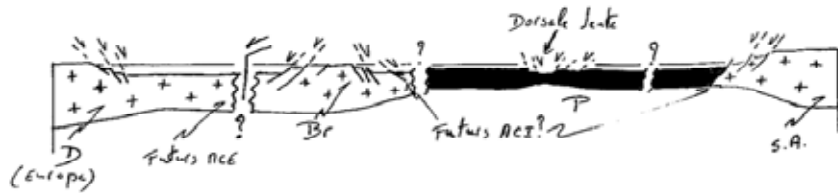


Figure 4.- Les différents domaines paléogéographiques au Jurassique supérieur

Afin d'illustrer cette structure d'ensemble nous attendions une coupe à main levée faisant apparaître correctement les différentes zones, les différents contacts tectoniques et la géométrie d'ensemble de la chaîne avec les déversements contrastés des structures. L'orientation et la localisation de cette coupe, qui à l'échelle du millionième s'affranchit de la topographie, étaient laissées au libre choix des candidats. Dans l'exemple proposé (fig. 3) on notera le sous-charriage de la croûte européenne, la structure antiforme de la zone Briançonnaise, la structure en dôme des M.C.I. et la faille normale séparant, au sein de la zone Piémontaise, les domaines métamorphiques en faciès des schistes bleus des domaines métamorphiques en faciès des éclogites.

## 2) Différents types de contacts anormaux

Sur l'extrait de carte proposé (document 8) on pouvait identifier et distinguer :

- des failles inverses et des chevauchements (front pennique par exemple),
- des failles normales et des détachements (contact Queyras/Viso par exemple),
- des décrochements (ligne insubrienne par exemple).

Nous attendions des candidats qu'ils présentent les critères, trop rarement donnés, permettant d'identifier ces différentes structures tectoniques et éventuellement qu'ils réalisent des schémas avec quelques indicateurs cinématiques associés à ces structures tectoniques.

## C) Sédimentation et formation des chaînes de montagnes

### 1) Modes de mise en place des sédiments

Nous attendions des candidats une distinction claire entre flyschs et molasses dans les chaînes de montagnes.

**Flyschs** = Sédimentation précoce durant la convergence, souvent associée à un régime de subduction ou de transition subduction/collision. La sédimentation s'effectue dans des fosses et se caractérise par des dépôts marins profonds, avec des «deep-sea fans», des apports détritiques et des turbidites. Dans les Alpes, ces sédiments se déposent entre le Crétacé supérieur et l'Oligocène inférieur. Ils sont donc contemporains du métamorphisme de haute-pression et basse-température typique d'un régime de subduction.

**Molasses** = Sédimentation tardive durant la convergence, associée à la collision continentale, postérieurement à l'épaississement maximum. La sédimentation s'effectue dans des bassins

flexuraux et se caractérise par des sédiments continentaux détritiques ou marins peu profonds. Dans les Alpes, ces sédiments se déposent à partir de l'Oligocène et sont donc contemporains de la collision continentale.

### 2) Associations minérales et détritisme (document 9)

- **Plagioclase + diopside** : association magmatique typique de gabbros, abondants dans la croûte océanique.
- **Glaucophane + épidote** : association métamorphique typique du faciès des Schistes Bleus, fréquents dans la croûte océanique subduite.
- Au Paléocène : dépôts de flyschs dans des fosses de subduction. Les roches magmatiques de la lithosphère de la marge chevauchante sont érodées et des minéraux magmatiques alimentent les flyschs. Les roches de la croûte océanique subduite sont métamorphosées dans les conditions du faciès des Schistes Bleus entre 15 et 45 kilomètres de profondeur.
- À l'Oligocène : dépôts de molasses dans les bassins flexuraux. Les roches métamorphiques typiques de la subduction ont été exhumées. Elles sont ainsi érodées durant la collision continentale et des minéraux métamorphiques du faciès des Schistes Bleus alimentent les molasses (figure 5).

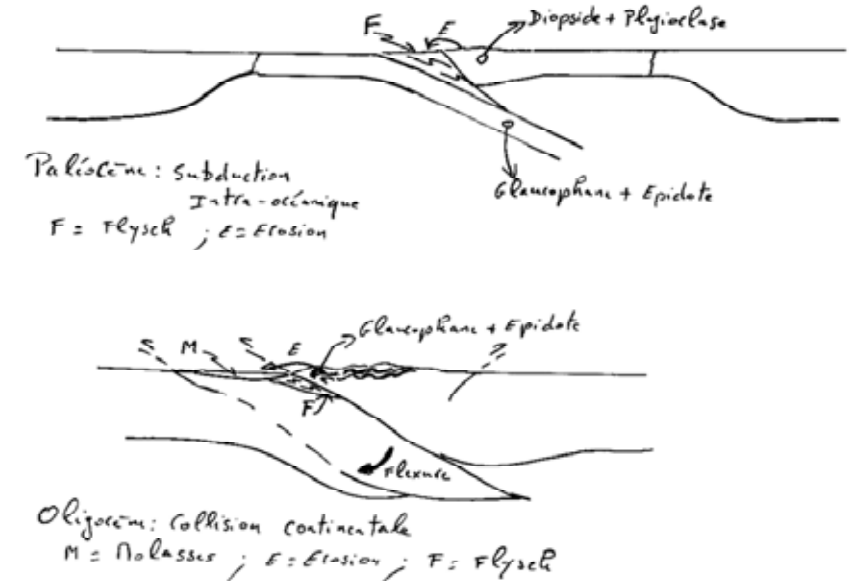


Figure 5.- Les associations minérales détritiques dans leur contexte géodynamique au Paléocène et à l'Oligocène

## D) Transferts de matière et de chaleur dans les zones de convergence de plaques

### 1) Les différents marqueurs pétrologiques

**Marqueurs magmatiques** (documents 10 a & b) = Magmatisme calco-alcalin de marge active. Grano-diorite à enclave sombre, typique du plutonisme des zones de subduction formé par fusion partielle à l'interface croûte/manteau avec des mélanges de magmas. Volcanisme andésitique, avec un caractère explosif.

**Marqueurs métamorphiques** (documents 10 c & d) = Éclogite à glaucophane, typique du métamorphisme de haute pression et de basse température affectant la lithosphère en subduction. Migmatite, typique du métamorphisme de haute température et de pression intermédiaire affectant la base de la marge chevauchante d'une zone de subduction. La fusion partielle de la croûte chevauchante est produite par l'intrusion de magmas provenant de la fusion partielle, par hydratation, du coin mantellique.

### 2) Schéma des couplages dans une zone de subduction (fig. 6)

La lithosphère océanique hydratée (métamorphisme océanique, hydrothermalisme) et les sédiments subduits transfèrent des fluides de la surface vers le manteau. Le sous-charriage de la lithosphère subduite s'accompagne d'un métamorphisme de haute pression - basse température et ces réactions métamorphiques provoquent sa déshydratation significative (transformation de chlorite en glaucophane par exemple). Les fluides ainsi libérés permettent, à partir de profondeurs de l'ordre de la centaine de kilomètres, la fusion partielle du manteau lithosphérique sus-jacent.

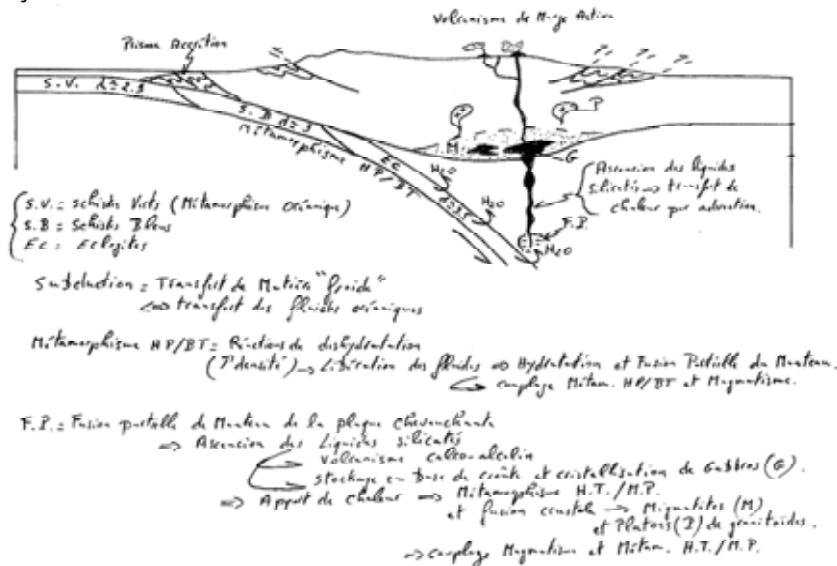


Figure 6.- Les couplages dans les zones de subduction

Les liquides magmatiques issus de la fusion partielle du manteau sont le plus souvent stockés en profondeur à l'interface entre la croûte et le manteau supérieur dans des chambres magmatiques profondes. Ce sous-placage crustal est à l'origine d'un important transfert de chaleur qui se traduit par un métamorphisme de haute température et de pression intermédiaire et généralement par la fusion de la base de la croûte (formation de migmatites) de la marge chevauchante. Les liquides anatectiques ainsi produits contaminent ou se mélangent avec les magmas d'origine mantellique pour produire les magmas andésitiques caractéristiques des zones de subduction (volcanisme explosif et grands batholites de grano-diorites des marges actives).

Il y a donc un fort couplage entre processus métamorphiques et magmatiques, c'est-à-dire entre transferts de matière (fluides d'origine océanique, liquides magmatiques, lithosphère subduite, ...) et de chaleur (par conduction dans la lithosphère océanique subduite et la marge continentale chevauchante, mais aussi par advection par les liquides magmatiques) durant la subduction. On notera enfin, que les zones de subduction sont le lieu d'un couplage entre cycle externe et interne de l'eau.

## E) Activité sismique et orogénèse

### 1) Sismicité dans les Alpes occidentales

Les Alpes constituent une zone active à sismicité faible (faibles magnitudes) mais permanente. L'analyse des documents proposés (document 11) indique que les localisations et les profondeurs des séismes sont variables selon les différentes zones alpines. On distingue ainsi :

- **Zone dauphinoise** : les séismes y sont superficiels et ne montrent pas une forte localisation régionale. Ils sont associés aux structures tectoniques de surface (failles inverse, décrochements, ...) qui sont diffuses à l'échelle de la région étudiée.
- **Zone Briançonnaise** : on observe une forte localisation de l'activité sismique (arc sismique Briançonnais) qui se calque sur la géométrie de la zone Briançonnaise. Les séismes sont superficiels et liés aux structures tectoniques de surface ( failles, chevauchements,...).
- **Zone piémontaise** : les séismes y sont plus profonds (surtout du côté de la plaine du Po). Il y a une forte localisation de l'activité sismique le long d'un arc piémontais. Par contre il n'y a pas de relation entre la localisation de l'arc sismique et les structures tectoniques de surface. En effet, l'arc sismique est sécant sur les grandes limites tectoniques. Il faut chercher un autre moteur, profond, à l'origine des séismes. Il s'agit probablement du poinçonnement de la croûte alpine par le manteau apulien rigide.

### 2) Interprétation du séisme X

Nous attendions simplement des candidats qu'ils observent que ce séisme était localisé en zone dauphinoise, à proximité d'un accident de type inverse sur la carte proposée (document 11). L'analyse du diagramme proposé indiquait une direction de compression oblique sur les structures de surface, en relation avec une composante décrochante, suggérant ainsi le rejeu actuel des structures tectoniques de surface en zone dauphinoise.

### F) Conclusion :

Bien qu'elle n'ait pas été explicitement demandée, nous attendions des candidats une conclusion permettant d'une part de récapituler les idées essentielles sur les chaînes de montagnes et d'autre part de proposer une réflexion plus générale sur la dynamique de la Terre.

## III. Quelques commentaires généraux

### A) La forme

La présentation des devoirs est parfois très pauvre : beaucoup de candidats écrivent au stylo à bille, rendent des copies avec des ratures, des traits tracés à main levée,... Pour la forme on peut noter les remarques suivantes.

- Les copies des candidats sont très pauvrement illustrées : il manque souvent un titre, une échelle aux schémas réalisés, l'absence de schémas de synthèse permettant de souligner les notions essentielles à retenir est particulièrement flagrante.
- L'orthographe est trop souvent négligée par les candidats, ce qui est très regrettable pour de futurs enseignants (en générale, le granit, le volcanisme explosive, les rivières qui «érosionnent», le «retirement» de la mer, la surextion,...).
- Introduction et conclusions sont souvent négligées, pour ne pas dire totalement absentes pour une part significative des candidats.
- Un certain nombre de candidats ont bien utilisé les figures à leur disposition. Ils ont pu ainsi appuyer leur développement sur ces données. L'intégration de figure(s) (entière ou en partie) dans les copies permet souvent un gain de temps. Mais alors l'ajout de légende est souhaitable. Il faut cependant bien lire les légendes proposées dans le sujet. Donner des noms erronés aux minéraux photographiés alors que les noms exacts étaient fournis en légende n'est pas acceptable.
- Un tiers des copies corrigées ne comportaient pas de coupe des Alpes. Dans les deux tiers des copies comportant des coupes, moins de 30% des figures proposées ressemblent (au moins au premier ordre) aux coupes géologiques des Alpes occidentales.

Enfin au niveau du formalisme, certains candidats parlent de la « découverte » de la théorie de la tectonique des plaques, ne tiennent pas compte des questions posées mais cherche à restituer quelques vagues connaissances, ne respectent pas la numérotation des questions et le correcteur finit par ne plus savoir à quelle question se réfère la réponse.

### B) Le fond

Nous déplorons des lacunes pour des connaissances pourtant élémentaires concernant :

- la définition de la lithosphère et la localisation des principales discontinuités,
- la confusion entre les anomalies de Bouguer et les corrections de Bouguer,
- le Moho qui est positionné à la place de la LVZ,
- les natures et structures des croûtes continentales et océaniques,
- l'identification des structures tectoniques sur une carte géologique,
- le mécanisme au foyer en utilisant le principe des cadrans qui est souvent non compris,

- la connaissance des principaux domaines paléogéographiques et de l'évolution orogénique des Alpes occidentales,
- les différences entre flyschs et molasses,
- l'exécution d'une coupe géologique, trop souvent absente,
- l'identification pétrographique des échantillons naturels.

Nous regrettons plus encore l'incapacité de trop nombreux candidats à présenter une vision synthétique et intégrée des principaux processus géologiques. Il faut y voir sûrement un déficit de travail de fond et de réflexion de la part des candidats, mais aussi peut-être un défaut général des filières de formations aux SVT au sein desquelles l'enseignement se résume trop souvent à un catalogue de connaissances, parfois pointues, distribuées sans véritable effort de synthèse scientifique, et parfois en inadéquation avec les besoins futurs des candidats aux métiers de l'enseignement.