

Epreuves d'admissibilité – sujet de Géologie

SESSION 2012

<p>CAPES CONCOURS EXTERNE ET CAFEP</p>
--

Section : SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

<p>COMPOSITION SUR UN SUJET DE GÉOLOGIE</p>

Durée : 5 heures

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

(*) Seule l'utilisation d'une calculatrice électronique est autorisée (calculatrice de poche y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique à fonctionnement autonome non imprimante (circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999 / BO n°42).

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

Remarques importantes

- Le sujet comporte 14 illustrations. **Les documents 1, 2 et 4** sont à rendre avec la copie. Les autres documents peuvent également, si le candidat le désire, être joints à la copie. **Pour ce faire vous devez impérativement les coller ou les agraffer à la copie (aucun document non solidaire de la copie ne sera pris en compte en dehors des documents 1, 2 et 4).**

- La notation valorise la présentation, la qualité de la rédaction et de l'illustration, la clarté de l'argumentation ainsi que la précision et la rigueur de l'analyse des documents.

LE RELIEF DE LA TERRE

Le relief de la Terre et de la France en particulier résulte d'une longue histoire géodynamique et climatique. A partir de l'exploitation des documents ci-joints, vous allez aborder :

- **Les caractéristiques du relief mondial et les principaux modelés géomorphologiques,**
- **Les processus à l'origine des reliefs terrestres et l'évolution du relief de la France et de la Terre,**
- **Les implications à l'échelle des temps géologiques.**

L'exposé comportera donc 3 parties reprenant ces 3 thèmes abordés et dans ce sujet vous serez donc amené à :

- Effectuer des exercices,
- Réaliser une rédaction s'appuyant sur l'exploitation des documents (*le choix du plan, des illustrations complémentaires et de l'ordre dans lequel les documents sont présentés au sein chacun des thèmes revient au candidat*),
- A proposer une synthèse générale, s'appuyant sur l'ensemble des documents proposés.

Introduction

Dans votre introduction, vous devrez inclure les notions de relief terrestre et de topographie.

THEME 1 : LES CARACTERISTIQUES DU RELIEF MONDIAL ET LES PRINCIPAUX MODELES DES PAYSAGES TERRESTRES

I.1 Relief terrestre : relief des continents et des océans (document 1a et 1b) :

(Ces documents sont à rendre avec votre copie)

Dans le cadre de votre rédaction, vous devrez aborder les points suivants :

- Le principe d'obtention des topographies sous-marine et terrestre,
- Vous légenderez le **document 1a** afin de faire ressortir les principaux reliefs actuels.
- Vous discuterez de la distribution des reliefs mondiaux à partir du **document 1b**.
- Vous conclurez en replaçant les principaux reliefs de la Terre dans leur cadre géodynamique.

I.2 Le relief de la France (document 2) :
(Ce document est à rendre avec votre copie)

Dans la rédaction vous intégrerez :

- Une identification géographique des principaux reliefs de la carte (**document 2**)
 - Une identification des secteurs en érosion et en sédimentation à l'échelle du territoire national
 - Une explication à la morphologie des embouchures des principaux fleuves.
- En conclusion vous serez amené à discuter les principaux mécanismes à l'origine des reliefs actuels de la France.

I.3 Les différents modelés du relief (documents 3a à 3d) :

En vous aidant des **documents 3a à 3d**, vous expliquerez les processus contrôlant les modelés des reliefs terrestres, en soulignant entre autres l'importance de la nature du substratum.

I.4 L'altération chimique (documents 4a et 4b) :
(Ces documents sont à rendre avec la copie)

A l'aide du **document 4b**, vous proposerez une explication des processus géologiques à l'origine du paysage observé sur le **document 4a**, que vous légenderez. Vous discuterez également de l'utilité de ces formations dans le cadre de reconstitutions paléogéographiques.

THEME 2 : RELIEFS ET CONTEXTES GEODYNAMIQUES

II.1 Mouvements verticaux, isostasie, subsidence tectonique et subsidence thermique

Il vous est proposé un exercice visant à illustrer le principe d'isostasie.

Soit la situation de départ suivante à l'équilibre : croûte continentale = 35 km d'épaisseur, manteau lithosphérique = 105 km d'épaisseur ; ρ croûte = 2,7 ; ρ manteau lithosphérique = 3,3 ; ρ manteau asthénosphérique = 3,25

II.1.1 On considère un amincissement instantané et homogène de la croûte de 35 à 28 km. On peut supposer que l'amincissement du manteau lithosphérique s'effectue selon le même taux.

- Quelle est alors l'épaisseur du manteau lithosphérique ?
- Quelles sont les conséquences de cet amincissement lithosphérique sur d'éventuels mouvements verticaux que vous quantifierez ? Les calculs sont attendus. (pour vous faciliter la tâche, il est conseillé de faire un schéma de la situation de départ et un schéma de la situation après amincissement et d'appliquer tout simplement les équilibres isostatiques entre ces deux états)
- Quelle(s) peut (ou peuvent) être la (ou les) cause(s) d'un tel amincissement ?

II.1.2 Quelle(s) peut (ou peuvent) être la (ou les) conséquence(s) du bombement asthénosphérique qui s'est substitué au manteau lithosphérique ?

II.1.3 On considère que le secteur retrouve la situation d'équilibre de départ pour ce qui concerne l'épaisseur lithosphérique (mais non la croûte qui reste amincie).

- Quelles sont les conséquences de ce retour à l'équilibre sur d'éventuels mouvements verticaux que vous quantifierez ? Les calculs sont attendus. (là encore, il est conseillé de faire un schéma de la situation après retour à l'équilibre et d'appliquer tout simplement les équilibres isostatiques entre cet état et la situation de départ)

II.1.4 Citez une région française où une telle situation géodynamique peut se rencontrer.

II.2 Le relief des contextes compressifs (documents 5a et 5b)

Il vous est proposé un exercice visant à illustrer la genèse de reliefs en domaine compressif, pris dans les Alpes.

Le Cervin est une unité apulienne ou austro-alpine de croûte continentale métamorphisée dans le faciès « granulite ». L'âge du métamorphisme est donné d'environ 250 Ma. Les sédiments océaniques et les ophiolites sont métamorphisés dans les faciès « schiste bleu » et « éclogite » (âge du métamorphisme environ 50 Ma) ; l'interface Cervin/unité océanique basale est métamorphisée en faciès « schiste vert », métamorphisme daté d'environ 35 Ma.

II.2.1 Réalisez la coupe géologique à main levée du Mont Blanc (MB) à la ville d'Ivrea (trait de coupe AB – **document 5b**).

II.2.2 Réalisez un dessin d'interprétation du **document 5a**.

II.2.3 Proposez un scénario de mise en place des différentes unités visibles sur ce panorama du Cervin (**document 5a**).

THEME 3 : EVOLUTION DU RELIEF A L'ECHELLE DES TEMPS GEOLOGIQUES

III.1 : Reliefs quaternaires (Document 6)

Il vous est proposé un exercice de cartographie illustrant l'évolution quaternaire d'un relief français pris dans le Bassin de Paris, afin d'en discuter les facteurs de contrôle. Vous réaliserez la coupe géologique le long du trait AB sur le **document 6**. La précision du relief sur la coupe n'est pas attendue.

III.2 : Evolution du relief du Bassin de Paris et de la France (Document 7)

Déduisez du **document 7**, ce que pouvait être le relief de la France à l'époque.

En comparant cette figure au **document 2**, rappelez la chronologie de la mise en place des principaux traits du relief de la France à l'actuel.

III.3 : Relief et climat (Document 8)

A partir de l'analyse du **document 8**, vous discuterez de la corrélation entre l'évolution climatique globale des 70 derniers Ma et l'évolution des flux sédimentaires détritiques accumulés dans les bassins péri-himalayens et des processus pouvant l'expliquer.

Votre exploitation comprendra l'explication de la méthode de mesure des paléo-températures des eaux océaniques.

SYNTHESE :

A partir de l'ensemble des points abordés précédemment et également de vos connaissances, vous présenterez de façon synthétique les modes de genèse du relief de la Terre et de son évolution à l'échelle du dernier cycle de Wilson.

DOCUMENTS ET LEGENDES

Document 1a : La carte des reliefs de la Terre

Document 1b : Les courbes hypsométriques du relief de la Terre (Boillot, 1978)

Document 2 : Le relief de la France (IGN éditions)

Document 3a : La Clusaz (P. Thomas – Planète terre)

Document 3b : Les rochers de Brigognan – Finistère (F. Michel -2009)

Document 3c : Le glacier de Leschaux (Massif des Grandes Jorasses – Haute Savoie) (F. Michel, 2005)

Document 3d : Salar californien – Death Valley (GoogleEarth)

Document 4a : Le Collet du Flaqueirol (Luberon, Vaucluse) (F. Michel, 2009)

Document 4b : Impact du relief sur l'épaisseur des altérites EC : érosion chimique, Em : érosion mécanique, R : ruissellement, I : infiltration (Campy, 2003)

Document 5a : Le Cervin (culminant à 4478 m) au sein du massif de la Dent Blanche

Document 5b : Contexte géologique du Cervin

AM Argentera Mercentour – P Pelvoux – MB Mt Blanc – DM Dora Mera – GP Grand Paradis – MR Mt Rose – DB Dent Blanche – SE Sesia

« Thrust » : chevauchement

« Normal fault » : faille normale

(1) - Flyschs

(2) - Massifs cristallins externes

(3) - Austro-Alpin

(4) - Massifs cristallins internes

(5) - Sédiments de la marge (Briançonnais)

(6a) - Sédiments océaniques (Schistes lustrés Piémontais)

(6b) - Ophiolites

(7) - Domaine océanique éclogitique

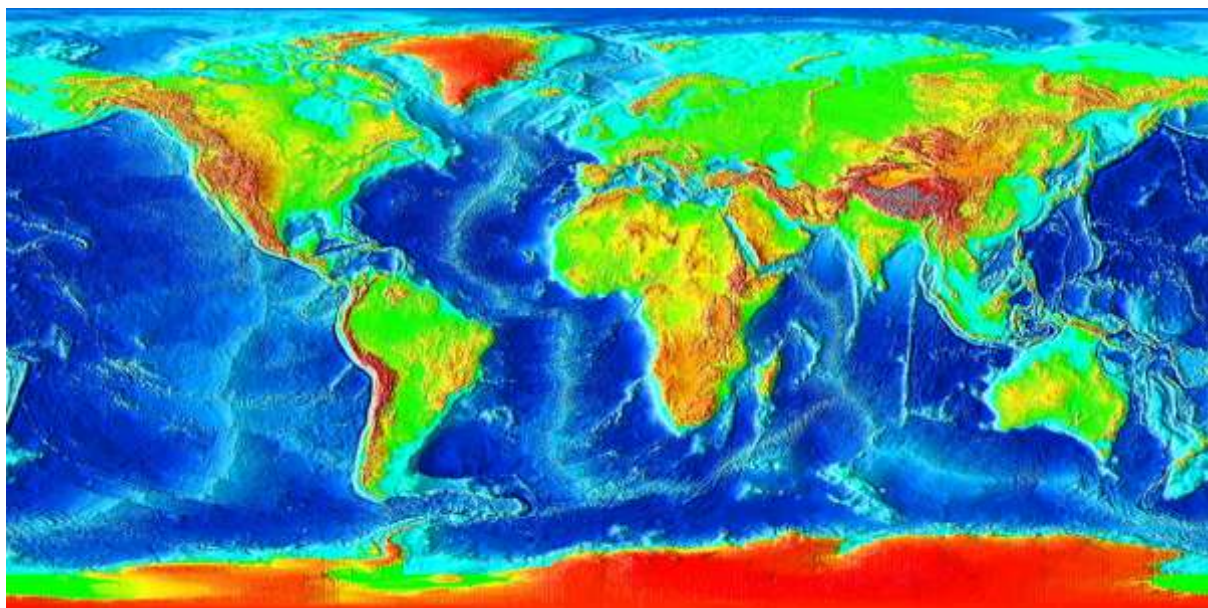
(8a) - Avant-pays de la plaque Europe

Document 6 : Un méandre de la Seine (extrait de la carte géologique de Mantes au 50 000^{ème})

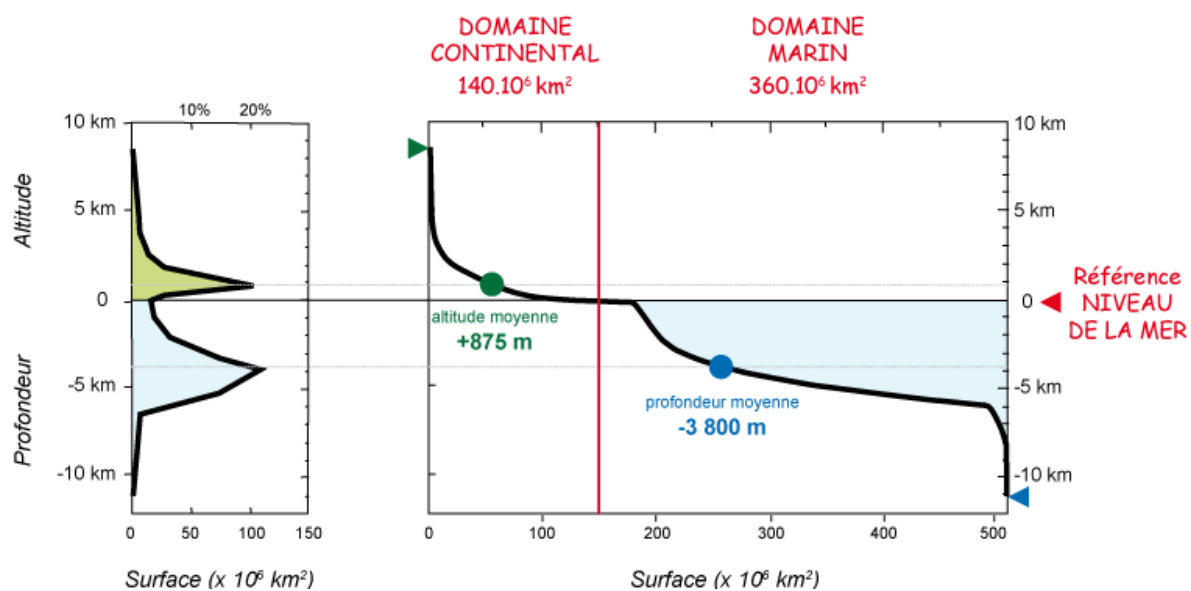
Document 7 : Reconstitution paléogéographique de la France au Bathonien (il y a 165 Ma) (d'après Enay, 1980)

Document 8 : Refroidissement global et taux d'accumulation des sédiments dans les bassins asiatiques depuis 70 Ma. (d'après France Lanord et al. 2002) les barres d'erreurs sont également indiquées.

A rendre avec la copie

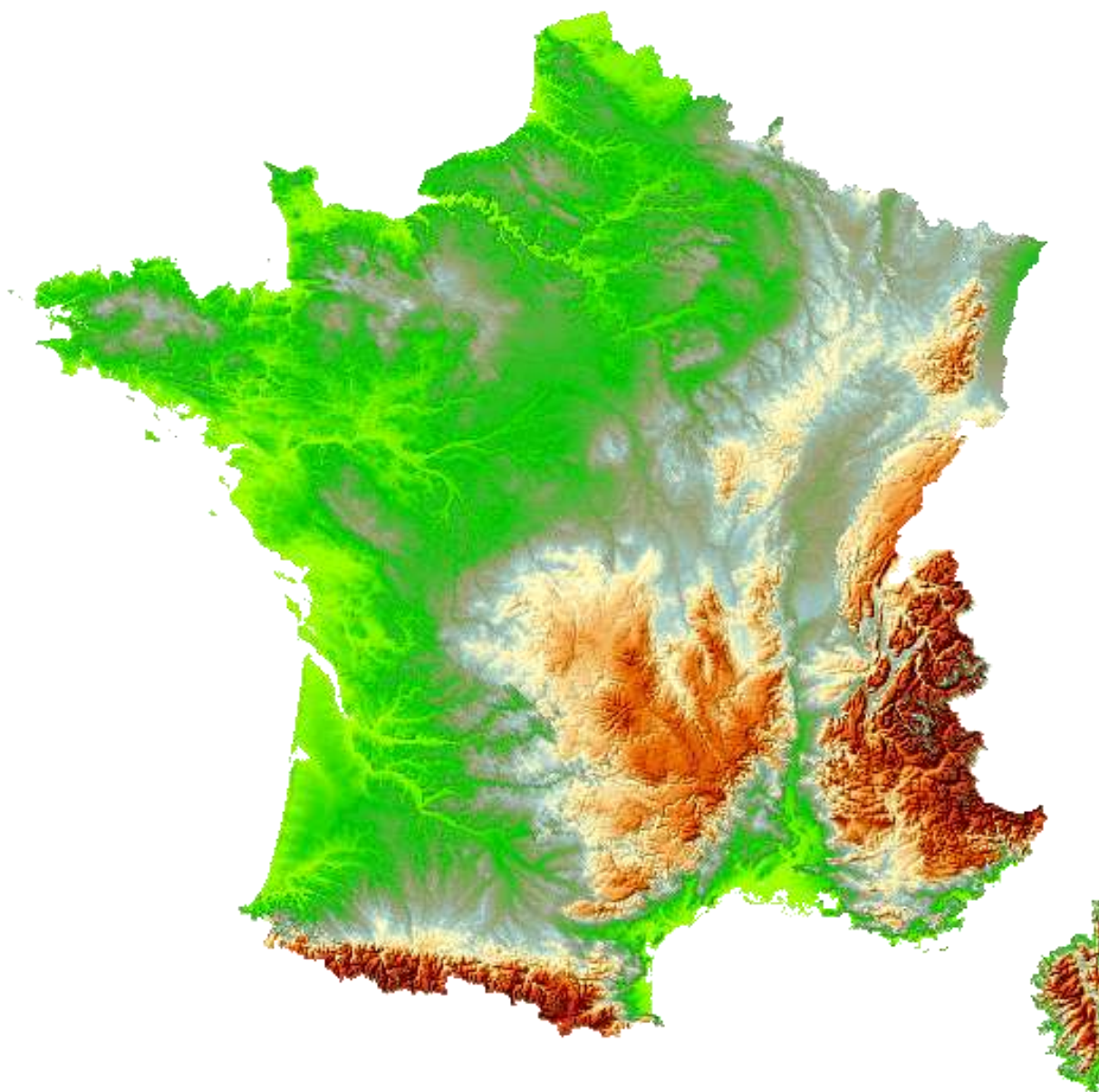


Document 1a : La carte des reliefs de la Terre



Document 1b : Les courbes hypsométriques du relief de la Terre (Boillot, 1978)

A rendre avec la copie



Document 2 : Le relief de la France (*IGN éditions*)



Document 3a : La Clusaz (*P. Thomas – Planète terre*)



Document 3b : Les rochers de Brigognan – Finistère (*F. Michel -2009*)



Document 3c : Le glacier de Leschaux (*Massif des Grandes Jorasses – Haute Savoie*) (F. Michel, 2005)

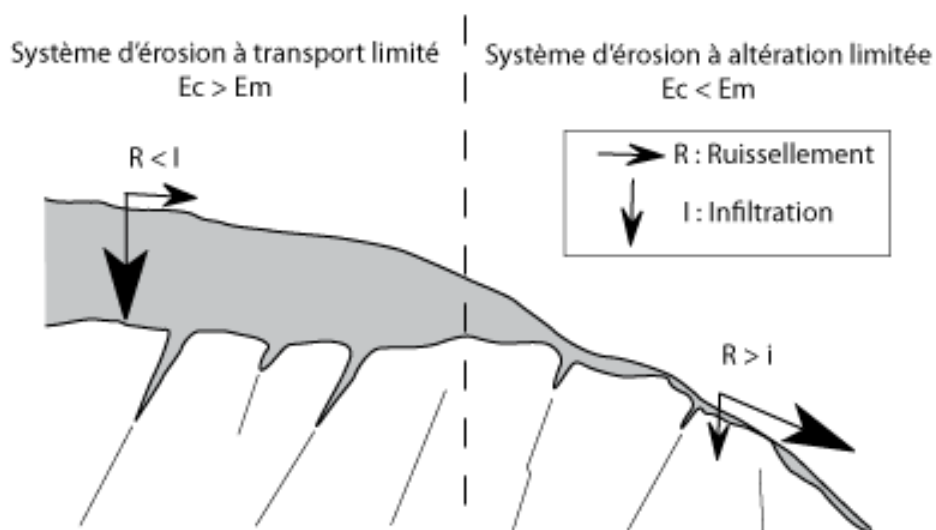


Document 3d : Salar californien – Death Valley (*Source GoogleEarth*)

A rendre avec la copie



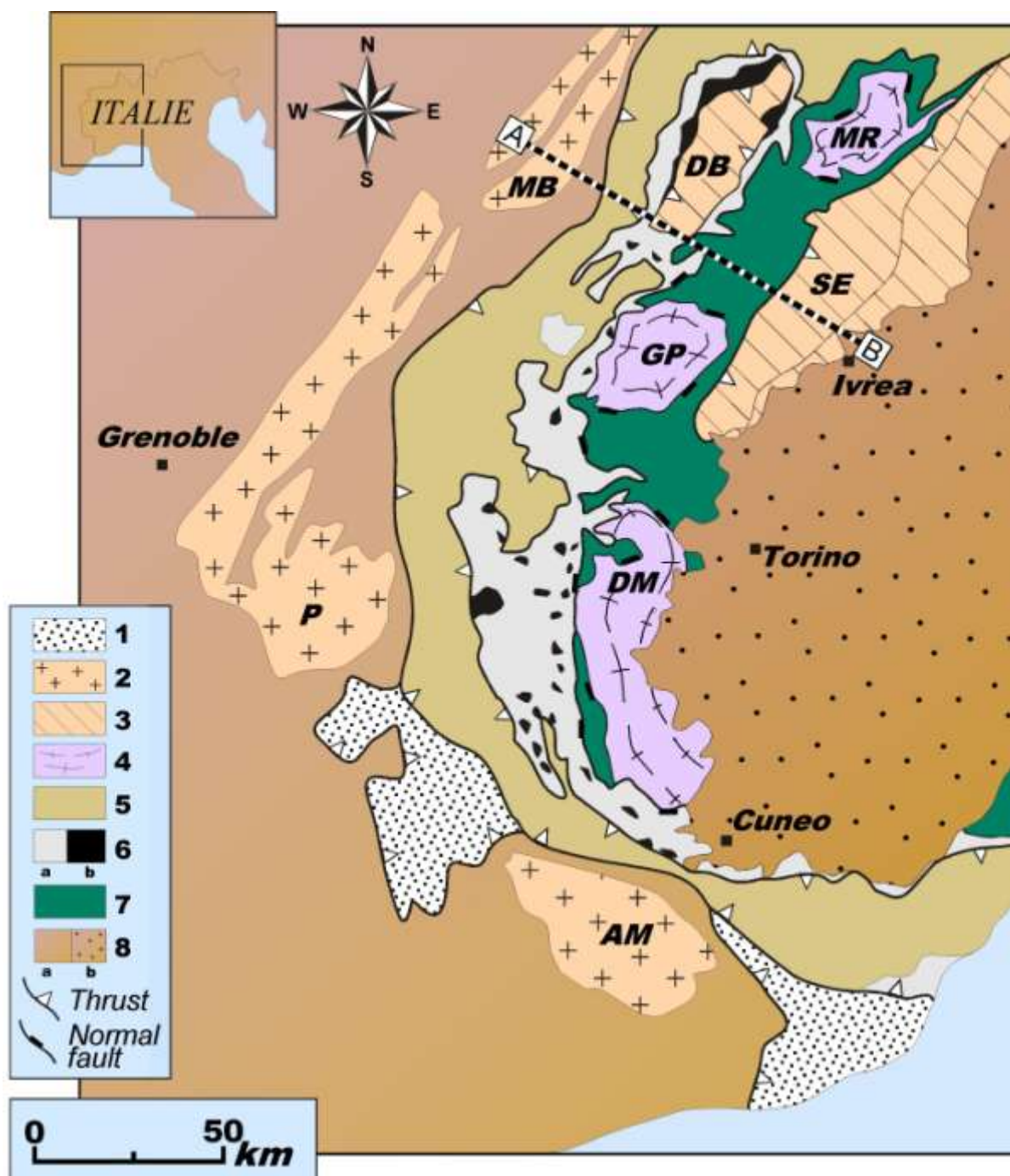
Document 4a : Le Collet du Flaqueirol (*Luberon, Vaucluse*) (*F. Michel, 2009*)



Document 4b : Impact du relief sur l'épaisseur des altérites E_c : érosion chimique, E_m : érosion mécanique, R : ruissellement, I : infiltration (*Campy, 2003*)



Document 5a : Le Cervin (culminant à 4478 m) au sein du massif de la Dent Blanche.



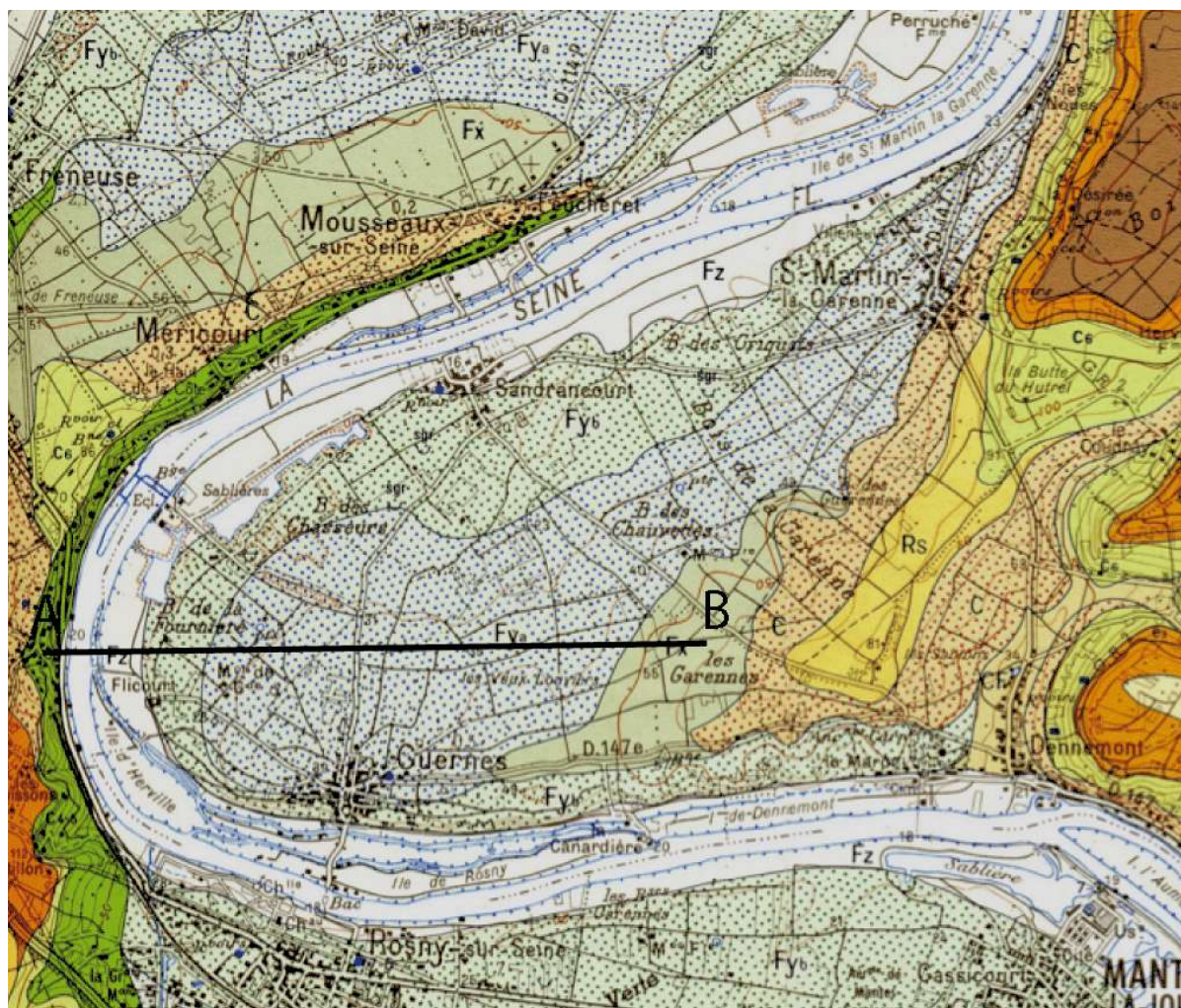
Document 5b : Contexte géologique du Cervin.

AM Argentera-Mercantour – **P** Pelvoux – **MB** Mt Blanc – **DM** Dora Maira – **GP** Grand Paradis – **MR** Mt Rose – **DB** Dent Blanche – **SE** Sesia

(1) Flyschs, (2) Massifs cristallins externes, (3) Austro-Alpin, (4) Massifs cristallins internes, (5) Sédiments de la marge (Briançonnais), (6a) Sédiments océaniques (*Schistes lustrés Piémontais*), (6b) Ophiolites, (7) Domaine océanique éclogitique, (8a) Avant-pays de la plaque Europe











« Thrust » : chevauchement

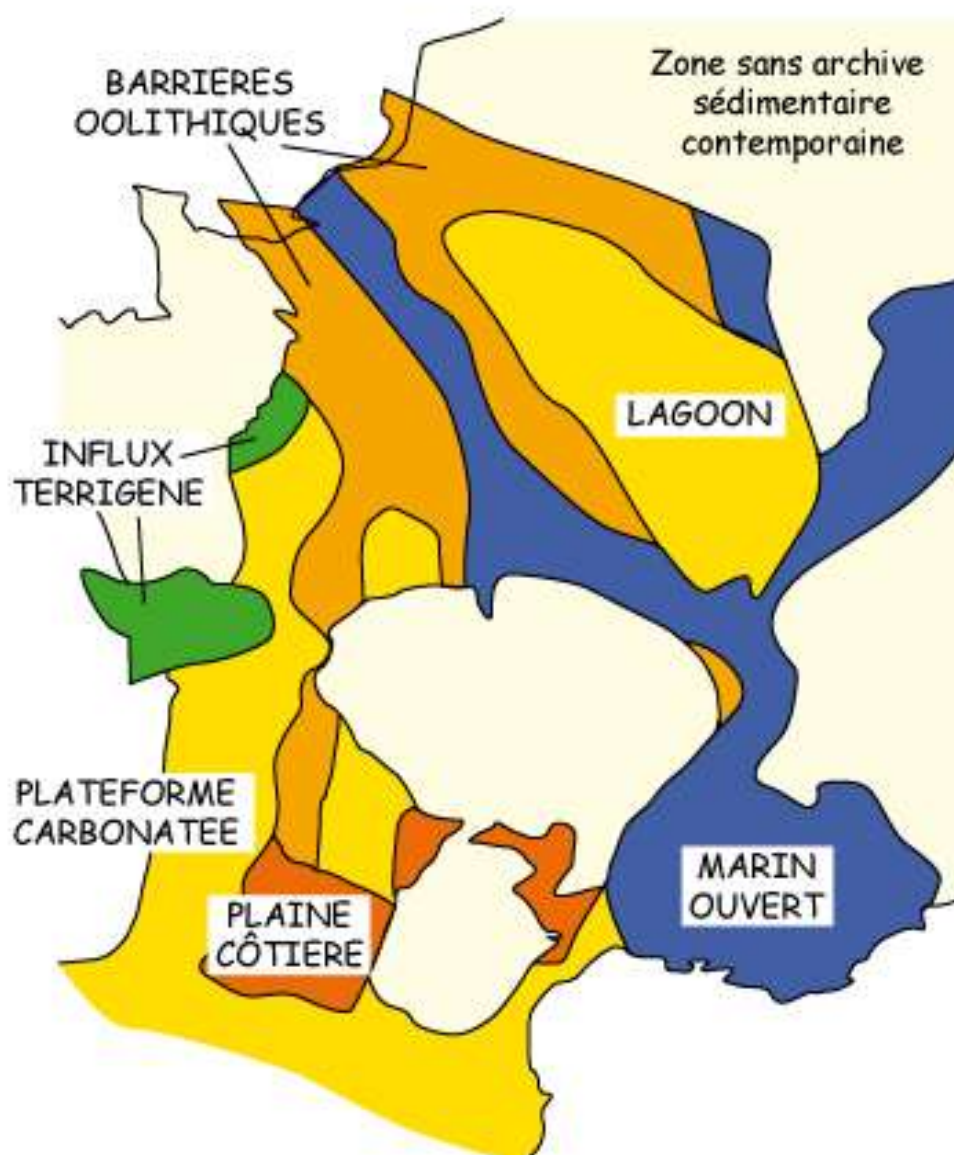
« Normal fault » : faille normale



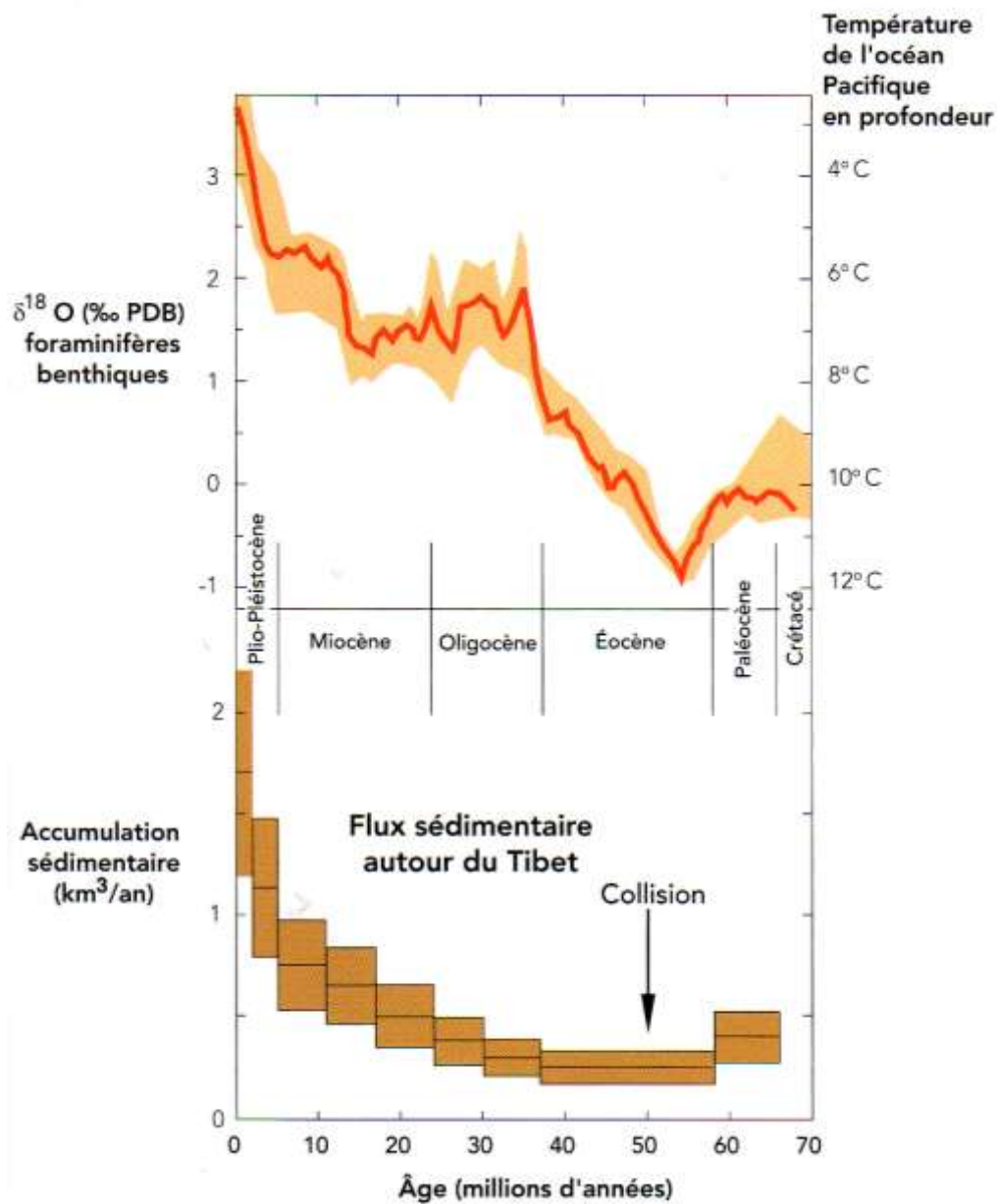
Document 6 : Un méandre de la Seine (extrait de la carte géologique de Mantes au 50 000^{ème}).

Légende

	C : colluvion de pente		Fx : alluvions anciennes de haut niveau
	Rs : argile résiduelle à silex		e4 : Cuisien
	Fz : alluvions modernes		e3 : Sparnacien
	Fyb : alluvions anciennes de bas niveau		C6 : Campanien
	Fya : alluvions anciennes de moyen niveau		C4-5 : Santonien



Document 7 : Reconstitution paléogéographique de la France au Bathonien (il y a 165 Ma)
(d'après Enay, 1980)



Document 8 : Refroidissement global et taux d'accumulation des sédiments dans les bassins asiatiques depuis 70 Ma.
(d'après France Lanord et al. 2002)

Corrections et remarques concernant l'épreuve écrite de géologie

LE RELIEF DE LA TERRE

Introduction

Un relief est une différence de hauteur entre deux points : la mesure de ces hauteurs permet d'établir la topographie d'un domaine géologique. Nous pouvons ainsi établir les topographies continentale et sous-marine. Nous distinguons topographie et modelé du relief qui lui caractérise les formes du relief mais non ses valeurs quantitatives.

Le relief de la Terre et de la France en particulier résulte d'une longue histoire géodynamique et climatique. Les processus géodynamiques vont créer le relief, les phénomènes climatiques vont pour partie faire évoluer son modelé. Ainsi la caractérisation des reliefs actuels et anciens peut permettre de raconter l'histoire géodynamique interne et externe de la Terre.

A partir de l'exploitation des documents ci-joints, nous allons aborder les caractéristiques du relief mondial et les principaux modelés géomorphologiques, les processus à l'origine des reliefs terrestres et l'évolution du relief de la France et de la Terre et de ses implications à l'échelle des temps géologiques.

L'exposé comportera donc 3 parties reprenant ces 3 thèmes abordés.

THEME 1 : LES CARACTERISTIQUES DU RELIEF MONDIAL ET LES PRINCIPAUX MODELES DES PAYSAGES TERRESTRES

I.1 Relief terrestre : relief des continents et des océans (document 1a et 1b) :

Dans le cadre de votre rédaction, vous devrez aborder les points suivants :

- Le principe d'obtention des topographies sous-marine et terrestre,

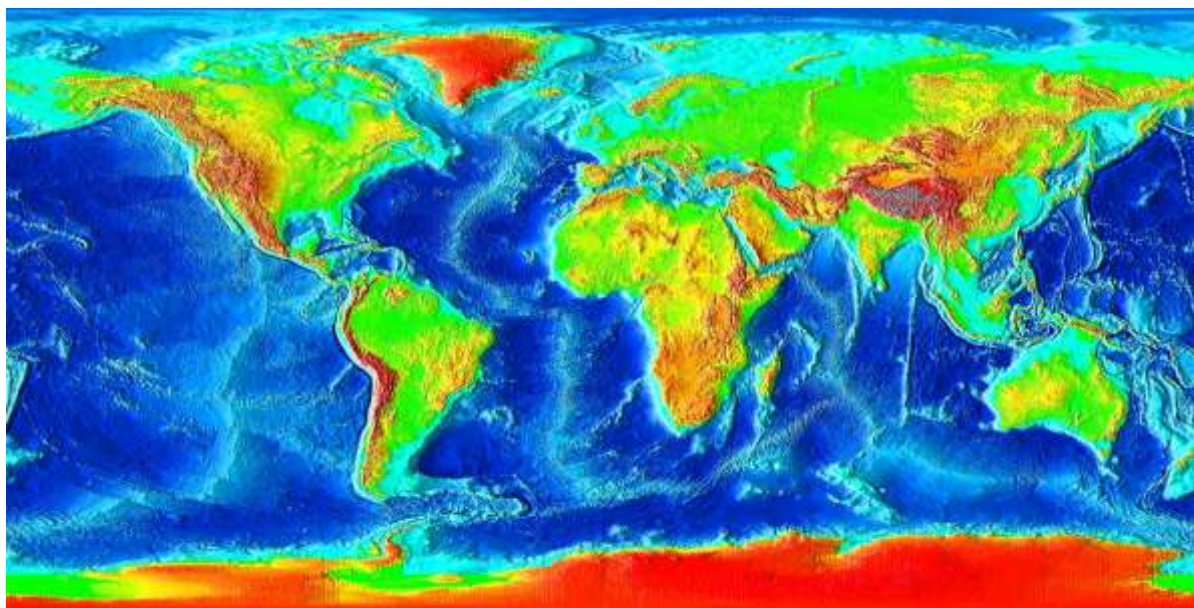
La mesure des topographies est au cœur des méthodes altimétriques. Pour le domaine continental, la détermination de l'altimétrie peut se faire « *sur le terrain* » grâce à un altimètre radar ou un GPS.

Une topographie sous-marine mondiale à haute résolution peut être réalisée à l'aide de l'altimétrie satellitaire. Le satellite envoie une onde de haute fréquence qui se réfléchit à la surface de l'océan et revient au satellite ; elle permet de mesurer la distance entre le satellite et la surface instantanée de l'océan. Par ailleurs, l'altitude du satellite par rapport à l'ellipsoïde de référence est connue grâce au système de positionnement DORIS. La différence entre les deux valeurs donne la hauteur de la surface de la mer par rapport à l'ellipsoïde de référence qui dépend fortement des caractéristiques océanographiques, c'est-à-dire de la topographie dynamique de l'océan. En multipliant les mesures en un point, on soustrait à cette valeur la part due la variation dynamique de l'océan (houle, marées, courants océaniques, phénomène locaux comme El Niño...).

La surface de la mer est une surface d'équilibre sur laquelle l'énergie potentielle de gravitation est constante et partout normale à la direction locale du champ de gravité. Un relief crée un excès de gravité ; pour que l'énergie potentielle reste constante, l'excès de gravité est compensé par une augmentation de la distance qui sépare le relief de la surface marine, c'est-à-dire une bosse du géoïde. À l'inverse, un creux topographique se traduit par une ondulation négative du géoïde.

À partir de ces données satellitaires, il est possible de calculer une topographie prédite et de contraindre le calcul en faisant coïncider la topographie prédite avec les données mesurées par sondeur de navigation (là où les données existent).

- Vous légenderez le document 2a afin de faire ressortir les principaux reliefs actuels – ce document sera à rendre avec votre copie.



Les noms au moins attendus étaient :

Ride ou dorsale médio-océanique, faille transformante, tracé d'un point chaud, plateformes continentales, pentes, deltas de marges passives

Zones de subduction : Japon, Nouvelle Zélande, Mariannes, Indonésie

Iles et plateaux volcaniques : Islande, Hawaï, Kerguelen, Marquises

Chaînes de subduction : Andes, Rocheuses

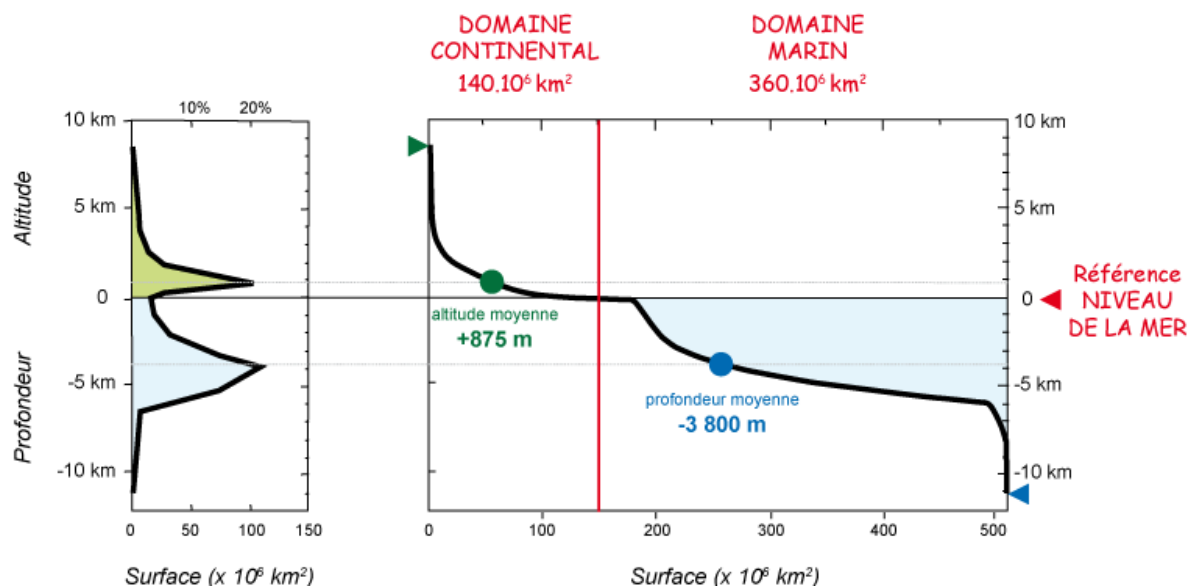
Chaînes de collision : Alpes, Zagros, Himalaya, Oural, Plateau du Tibet

Epaulement de rifts : rift est-africain, bordure de la mer rouge, Groenland / Scandinavie

Topographie dynamique : plateau sud-africain

Volcanisme : Hoggar, Tibesti, Dôme éthiopien, Massif central

- Vous discuterez de la distribution des reliefs mondiaux à partir du doc 2b.



Sur cette figure, il est rappelé que 70% de la surface terrestre est la surface des océans. La topographie maximale positive correspond à l'Everest, la topographie maximale négative à la fosse des Mariannes. L'altitude moyenne des continents est inférieure à l'altitude moyenne des océans. La profondeur moyenne des océans correspond à la profondeur moyenne des plaines abyssales sur plancher

océanique. Les plateaux continentaux apparaissent clairement : surfaces sous-marines peu profondes (moins de 200 m).

- Vous concluez en remplaçant les principaux reliefs de la Terre dans leur cadre géodynamique. Devaient être alors identifiées et pouvaient être illustrées par un schéma synthétique les systèmes de :
 - Chaines de collision
 - Chaines de subduction
 - Rifts
 - Volcanisme
 - Topographie dynamique
 - Rides océaniques
 -

Pour au moins un processus compressif et extensif, doivent être précisées les processus mécaniques à l'origine des reliefs et les caractéristiques du relief qui en est issu.

Par exemple :

Chaîne de collision : importance des chevauchements, épaissement de la lithosphère continentale, rôle de l'isostasie, bassins flexuraux en périphérie (flexure de la lithosphère), effondrement gravitaire des chaînes de montagne

Relief de 3000 à 8000 m

Durée de vie caractéristique : ex de la chaîne alpine x10 – 50 Ma

Rifts : notion de horst et graben, failles normales, amincissement de la lithosphère, volcanisme associé. Si l'extension permet la formation d'une croûte océanique, les marges peuvent alors enregistrer un rebond flexural marquant le relief des marges de cet océan jeune alors créé.

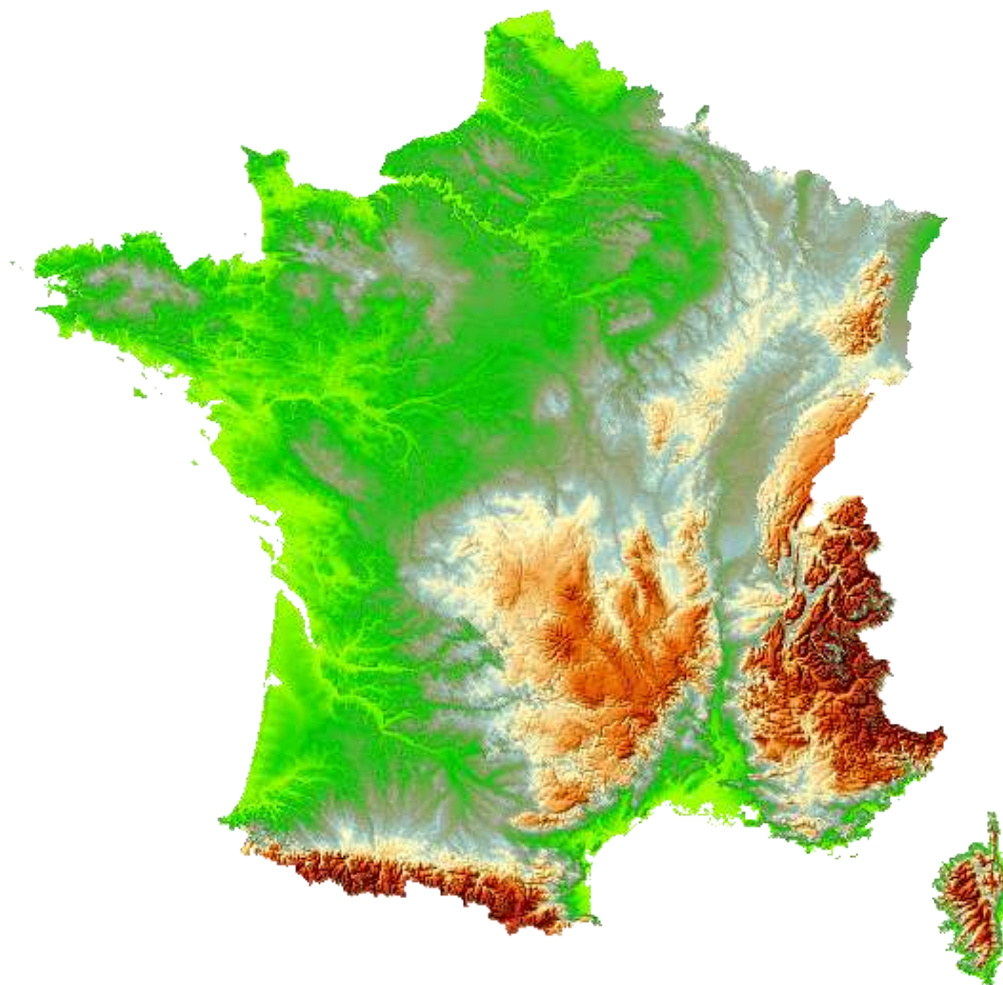
Relief de 1000 à 3000 m des épaulements

Durée de vie caractéristique : de l'ordre de x10 Ma

I.2 Le relief de la France (document 2) :

Dans la rédaction vous intégrerez :

- Une identification géographique des principaux reliefs de la carte (doc. 2) – ce document sera à rendre avec votre copie.



Les noms géographiques attendus étaient au moins :

- Massif armoricain
- Massif central
- Vosges
- Jura
- Bassin d'Aquitaine
- Bassin de Paris – cuestas – Sologne – pays de Bray – seuil du Poitou – seuil de Bourgogne
- Limagnes
- Bassin du Sud Est
- Bresse
- Bassin rhénan
- Bassin molassique suisse
- Pyrénées
- Alpes
- Estuaire de la Seine, de la Loire, la Gironde, delta du Rhône,

Mais aussi

- Flandres
- Plateau picard
- Bocage normand
- Plateau breton
- Plateau vendéen
- Côte et plaine des Landes
- Plateau de Lannemezan
- Plateau limousin
- Cévennes

Provence
Camargue
Bassin dauphinois
Plateau du Morvan – Langres
Plateau lorrain

- Une identification des secteurs en érosion et en sédimentation à l'échelle du territoire national

Le réseau hydrographique français montre que globalement le domaine continental français métropolitain est en érosion : l'essentiel des rivières françaises est en effet globalement en incision. Ainsi globalement ces environnements sédimentaires ne devraient pas être préservés. Seule la Loire en Sologne ne semble pas inciser, ou encore le Rhône en Camargue, le Rhin en Alsace ou la Saône en Bresse.

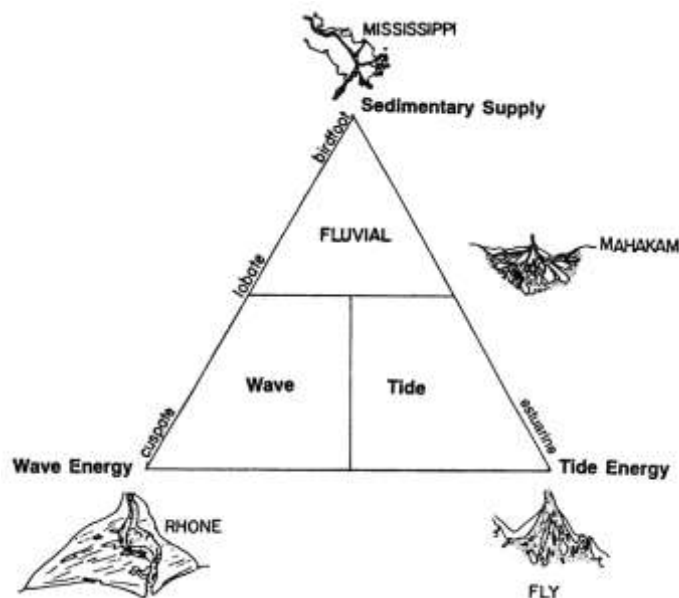
Différents systèmes côtiers semblent par contre en sédimentation : estuaire de la Somme, de la Seine, baie du Mt St Michel, de la Loire, la Gironde, côte des Landes, Camargue et delta du Rhône. La plaine deltaïque du Rhône, la Camargue, est en effet un domaine en subsidence, par réponse isostatique à la surcharge locale en sédiments. Pour les autres estuaires, la dernière transgression eustatique a permis la préservation de prismes sédimentaires côtiers.

D'autres systèmes côtiers sont des falaises en érosion.

- Une explication à la morphologie des embouchures des principaux fleuves.

L'embouchure d'un fleuve est un delta : c'est une forme sédimentaire côtière.

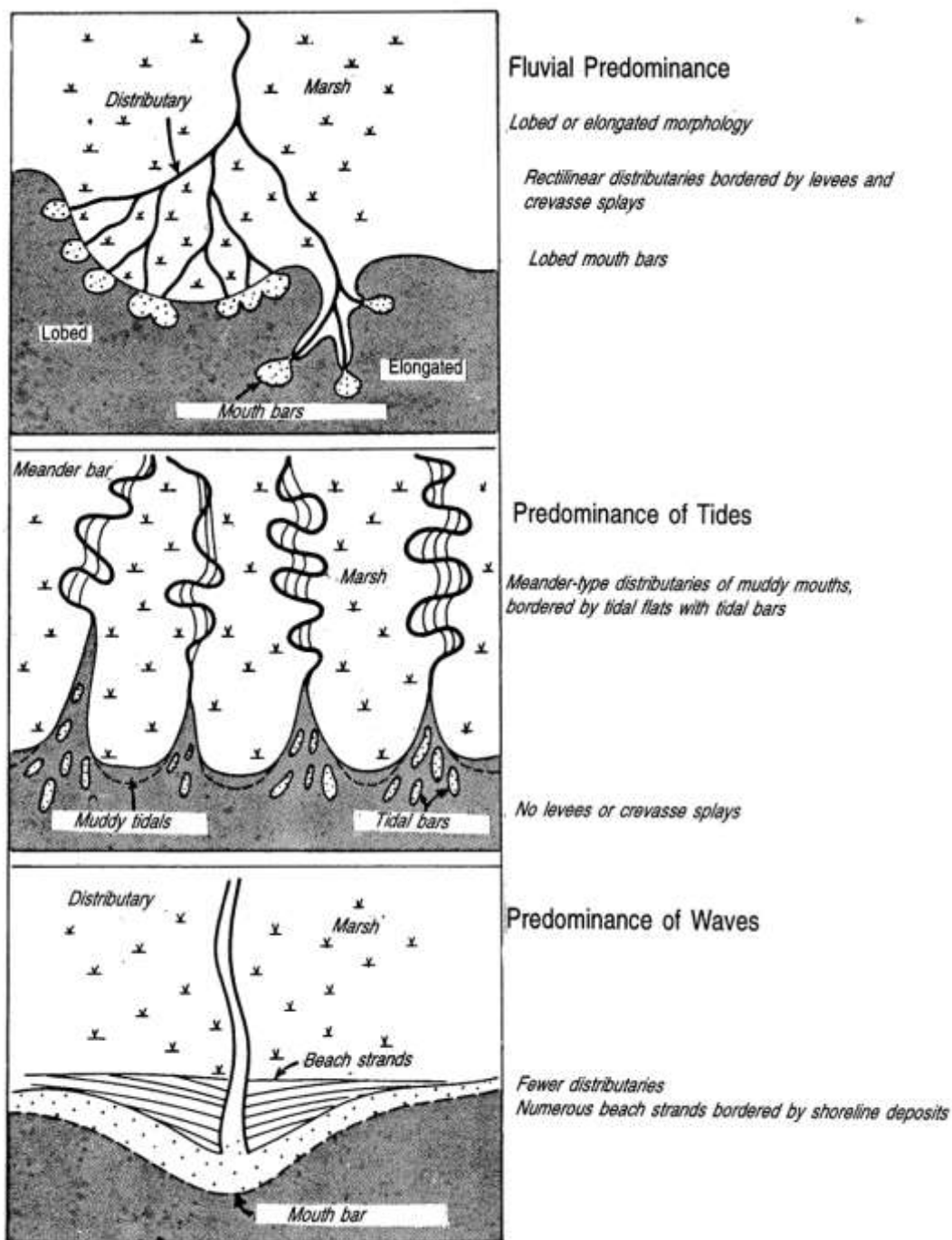
Ces deltas résultent de la compétition des processus fluviaux (les crues) et des processus marins (marée et houle). La prédominance d'un de ces facteurs contrôle la morphologie des deltas.



En France métropolitaine, sont observés des estuaires (deltas dominés par les marées : Gironde, Loire, Seine, Somme) et un delta dominé par la houle (Rhône).

Les estuaires ont des embouchures évasées, présentent des barres d'embouchure sableuses tidales allongées dans le sens du flot, un bouchon vaseux en amont, correspondant aux zones de slikkes et schorres.

Les deltas dominés houle présentent des morphologies lobées, homogènes avec de beaux cordons sableux littoraux continus (plage), correspondant à l'ensemble des barres d'embouchure plus ou moins bien préservées.



Il est à noter que la côte normande est caractérisée par des falaises (de Craie entre autres) mais pourtant les embouchures des fleuves se jetant sur cette côte sont des estuaires (en absence cependant de plaine côtière plane et à hauteur du niveau marin). Cela peut s'expliquer par l'existence de vallées incisées au Pléistocène, ennoyées par la lors de la transgression holocène : c'est également le cas des rias bretonnes.

- En conclusion vous serez amené à discuter les principaux mécanismes à l'origine des reliefs actuels de la France.

Au premier ordre, la France est globalement un vaste plateau en surrection, basculé vers le Nord-Ouest en réponse à la collision Apulie - Europe.

Les reliefs les plus importants de la France sont issus de phase de collision : Alpes et Pyrénées.

Pour les Pyrénées, la double vergence de la chaîne est claire, la position du chevauchement nord-pyrénéen également, marquant la limite sud de son pays d'avant-pays au Nord, le Bassin d'Aquitaine.

Les Alpes (ainsi que leur partie corse) sont remarquables par sa forme arquée typique de la convergence de la plaque européenne sous la plaque apulienne.

Ces reliefs sont liés à l'épaississement de la lithosphère continentale par chevauchement.

Le sillon péri-alpin est le bassin d'avant pays des Alpes actuelles, réponse de la lithosphère à la surcharge représentée par la chaîne. L'extrémité sud du bassin molassique suisse sépare les Alpes du Jura, série de couverture sédimentaire plissée sur niveau de décollement triasique sous la pression alpine. Ces alpes ont également soulevé le seuil de Bourgogne et généré le flambage du bassin de Paris lui donné sa morphologie en synforme et par érosion différentielle, les morphologies de cuestas dans sa moitié Est.

Ces dernières sont également liées aux épaulements du graben du Rhin. Les Vosges sont liées également à ces épaulements. Les Vosges du Sud sont plus hautes que les Vosges du Nord, sous la pression Sud-Nord des Alpes dans cette région.

Le relief du Massif Central est lié également à l'orogène alpine, même si ce point est plus discuté, mais également à l'extension des grabens des Limagnes. Le volcanisme est venu finaliser bien sur cette morphologie mais est difficilement lisible à cette échelle.

Le relief du massif armoricain n'est pas le relief résiduel de la chaîne hercynienne, mais le résultat de réactivation tectonique et donc de création de reliefs constitués par contre de ces roches plus anciennes. Un des événements réactivant le relief armoricain est l'ouverture du Golfe de Gascogne, dont le massif armoricain, ainsi que le seuil du Poitou vont devenir un des épaulements. La tectonique pyrénéenne finalisera ce rajeunissement du relief de cette région.

La subsidence du bassin de Paris, bassin intracratonique, se lit pour sa phase la plus finale, dans la zone peu incisée de la Sologne, zone subsidente préservée car au cœur de la synforme du bassin, flambant en réponse à la compression alpine.

On voit que globalement la France est en surrection dans ce régime de convergence alpine : l'ensemble de ces rivières incisent alors que nous sommes en haut eustatique.

Enfin nous avons précédemment l'impact des variations climatiques quaternaires sur le niveau de la mer et donc leur contrôle des morphologies littorales. Il nous faut oublier que ces variations climatiques ont également été à l'origine des morphologies glaciaires dans les Alpes et les Pyrénées.

I.3 Les différents modelés du relief (documents 3a à 3d) :

En vous aidant des documents 3a à 3d, vous expliquerez les processus contrôlant les modelés des reliefs terrestres, en soulignant entre autres l'importance de la nature du substratum.



Photo 3a : Paysage karstique à lapiaz : paysage sous contrôle de la nature du substrat ici donc carbonaté – Le processus d'altération est une réaction chimique : la dissolution des carbonates – La formule était attendue.



Photo 3b : chaos granitique issu de l'altération chimique par hydrolyse d'un massif granitique – L'hydrolyse génère un cortège argileux, les éléments résiduels, essentiellement les quartz, s'y associent pour former le sable de l'arène granitique. Cette dernière peut être lessivée pour laisser sur place les blocs de granite non encore altérés soit le chaos granitique.



Photo 3c : modelé glaciaire : les termes de vallée en U, moraines ou tills latérales, zone de sérac et d'ablation étaient attendus



Photo 3d : cône alluvial, réseau en tresse drainant la superficie du cône, granoclassement décroissant horizontal visible par le gradient de couleurs (attention à la route, trait anthropique traversant ce cône)

Ici sont illustrés différents modelés morphologiques, issus des processus d'érosion mécanique (friction de la glace ici), de processus en sédimentation (crues pour le cône alluvial), et des processus d'érosion chimique (dissolution et hydrolyse).

Pour ces deux derniers, le diagramme de Goldsmith est fondamental pour comprendre ces différents modes d'altération : grâce à ce diagramme, on peut réaliser trois catégories :

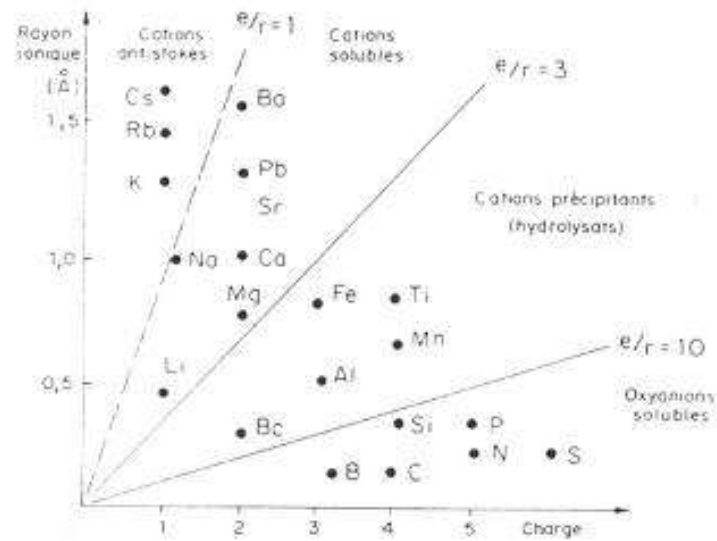
- $Z/R < 3$ les cations solubles (migrateurs), partant dans la phase dissoute avec les eaux de ruissellement. Le Ca et le Mg des carbonates en font partie et expliquent ainsi la possibilité de dissolution des carbonates. Ces ions participeront à l'alcalinité des océans et à la précipitation de nouveaux carbonates marins.

- $3 < Z/R < 10$ les cations insolubles, ions résiduels.

- $Z/R > 10$ les oxyanions solubles, très migrateurs. Ils réagissent ensemble et forment des sédiments (bio) chimiques.

La position différentielle des éléments constitutifs des quartzs ou feldspaths ou encore micas expliquent la genèse des argiles tout en préservant plus longtemps les quartzs et donc la genèse des argiles.

C DIAGRAMME DE GOLDSMITH



Enfin outre l'importance de la nature du substratum dans le modelé du relief, il est souligné ici l'importance également du climat : spécificité de l'érosion glaciaire, impact des précipitations par l'érosion fluviale, impact du climat par les précipitations et la température dans les réactions d'érosion chimique.

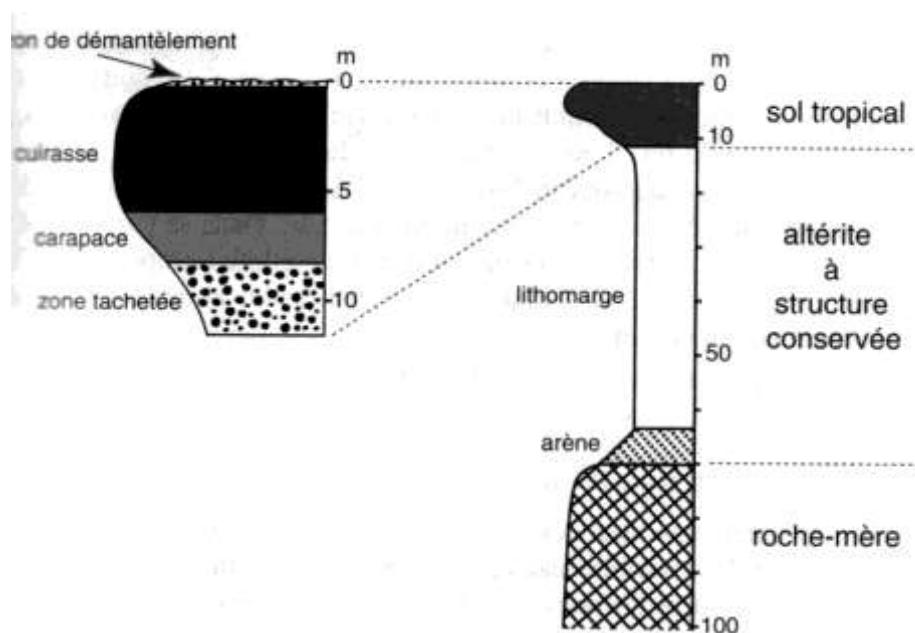
On peut conclure ici que ces processus sont non seulement à l'origine des morphologies des reliefs continentaux mais également à l'origine de la formation des formations superficielles et de certains systèmes sédimentaires continentaux silico-détritiques.

I.4 L'altération chimique (documents 4a et 4b) :

A l'aide du document 4b, vous proposerez une explication des processus géologiques à l'origine du paysage de la figure 4a, que vous légenderez. Vous discuterez également de l'utilité de ces formations dans le cadre de reconstitutions paléogéographiques.

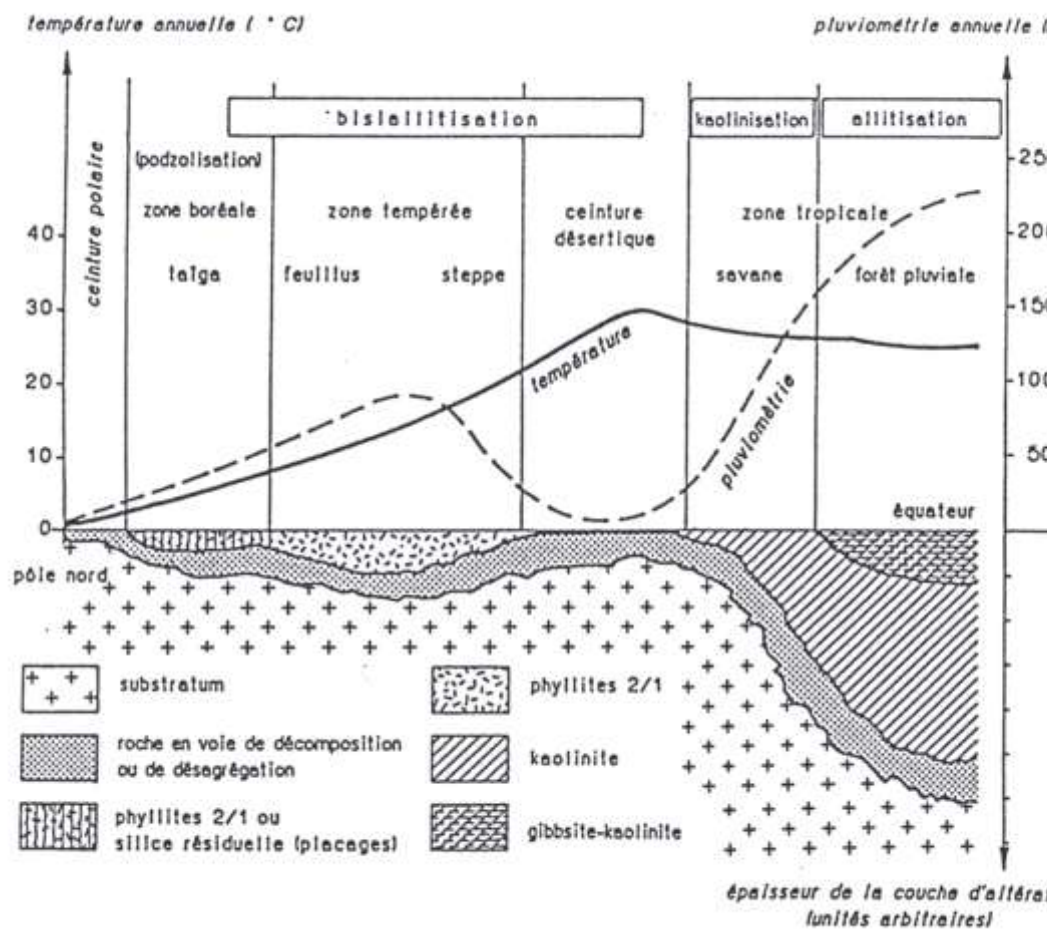


Pour légènder cette photo, pouvait être attendue ce type de représentation des profils latéritiques :



Là encore nous sommes dans le cas d'un profil issu de l'altération chimique mais dans des stades plus poussés de l'hydrolyse. Les différents stades d'hydrolyse et donc de modification de la structure initiale de la roche sont illustrés à chaque niveau du profil. La perte progressive de matériel finit par provoquer le tassement et donc la perte de la structure et du volume initial de roche. Cela augmente la densité et donc la résistance de la formation superficielle, ce qui est illustré par le profil de cette coupe. De plus le fer se concentre en fin de processus d'hydrolyse (voir diagramme de Goldsmith) ce qui amplifie l'augmentation de densité et de résistance du sommet du profil.

Ce profil latéritique permet une reconstitution du paléoclimat contemporain de la mise en place de cette formation superficielle : un commentaire du diagramme de Pedro était alors le bienvenu.



Enfin l'analyse du doc 4b, nous montre que le développement d'un épais profil latéritique n'est possible que lorsque l'infiltration domine le ruissellement et donc quand la paléopente est très faible : cette formation superficielle est donc un bon critère pour reconstituer les paléopentes et donc les paléoreliefs.

THEME 2 : RELIEFS ET CONTEXTES GEODYNAMIQUES

II.1 Mouvements verticaux, isostasie, subsidence tectonique et subsidence thermique

Il vous est proposé un exercice visant à illustrer le principe d'isostasie.

Soit la situation de départ suivante à l'équilibre : croûte continentale = 35 km d'épaisseur , manteau lithosphérique = 105 km s'épaisseur ; $\rho_{\text{croûte}} = 2,7$; $\rho_{\text{manteau lithosphérique}} = 3,3$; $\rho_{\text{manteau asthénosphérique}} = 3,25$

1. *On considère un amincissement instantané et homogène de la croûte de 35 à 28 km. On peut supposer que l'amincissement du manteau lithosphérique s'effectue selon le même taux.*

- *Quelle est alors l'épaisseur du manteau lithosphérique ?*

- Le taux d'amincissement crustal pour une croûte qui passe de 35 à 28 km est de 20 %.
- Le manteau lithosphérique s'amincira de $105 \times 20\% = 21$ km. Son épaisseur sera de $105 - 21 = 84$ km

• *Quelles sont les conséquences de cet amincissement lithosphérique sur d'éventuels mouvements verticaux que vous quantifierez ? Les calculs sont attendus. (pour vous faciliter la tâche, il est conseillé de faire un schéma de la situation de départ et un schéma de la situation après amincissement et d'appliquer tout simplement les équilibres isostatiques entre ces deux états)*

- En réalisant l'équilibre isostatique entre une colonne de référence de 140 km de lithosphère et une colonne dont la croûte et le manteau lithosphérique sont amincis de 20%, on trouve :

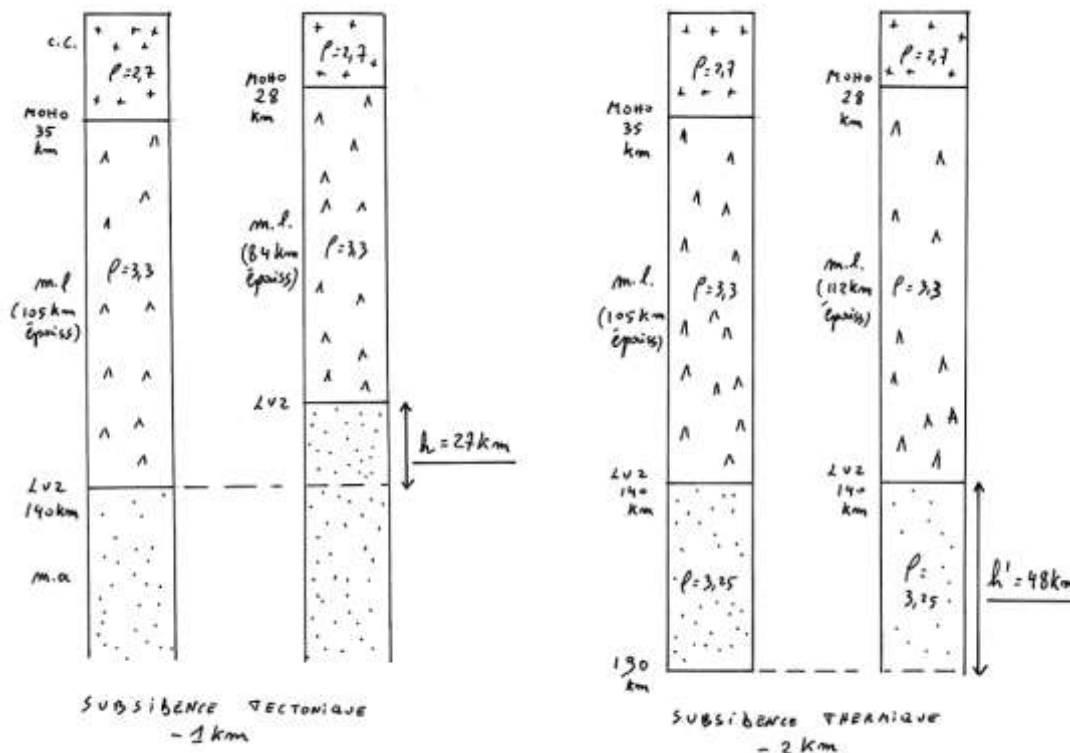
$$35 \times 2,7 + 105 \times 3,30 = 28 \times 2,7 + 84 \times 3,30 + h \times 3,25$$

où h est l'épaisseur d'asthénosphère qui remplace la lithosphère amincie.

On en déduit $h = 27$ km (27,14 exactement)

La nouvelle colonne se compose de 28 km de croûte, de 84 km de manteau lithosphérique et de 27 km d'asthénosphère soit 139 km par rapport à la colonne de $35 + 105 = 140$ km.

Cela se traduit en surface par une subsidence de 1 km. (**subsidence tectonique initiale**)



- Quelle(s) peut (ou peuvent) être la (ou les) cause(s) d'un tel amincissement ?

Un tel amincissement qui affecte à la fois la croûte et le manteau lithosphérique ne peut avoir qu'une cause au niveau global c'est à dire dans le cadre de la mobilité des plaques et de leurs mouvements relatifs : le seul mouvement relatif en amincissement est la divergence suite par exemple celle liée à un rifting continental qui peut lui même être la conséquence d'un effondrement gravitaire post orogénèse.

2. Quelle(s) peut (ou peuvent) être la (ou les) conséquence(s) du bombement asthénosphérique qui s'est substitué au manteau lithosphérique ?

De l'asthénosphère se substitue à du manteau lithosphérique ; l'isotherme $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ n'est plus à 140 km de profondeur mais à 112 km ; cette remontée des isothermes (décompression adiabatique) peut s'accompagner d'une possibilité de fusion partielle de cette asthénosphère et du manteau lithosphérique (diagramme de P,T des péridotites) avec manifestations volcaniques éventuelles de la série alcaline (cf. volcanisme du rift rhénan (Kaiserstuhl) ou du rift est africain (REA) (Kilimandjaro).

- 3 On considère que le secteur retrouve la situation d'équilibre de départ pour ce qui concerne l'épaisseur lithosphérique (mais non la croûte qui reste amincie).

- Quelles sont les conséquences de ce retour à l'équilibre sur d'éventuels mouvements verticaux que vous quantifierez ? Les calculs sont attendus. (là encore, il est conseillé de faire un schéma de la situation après retour à l'équilibre et d'appliquer tout simplement les équilibres isostatiques entre cet état et la situation de départ)

Si l'asthénosphère remontée précédemment se refroidit et évolue en manteau lithosphérique, à l'équilibre la lithosphère aura retrouvé son épaisseur de 140 km mais avec une croûte restée amincie de 28 km. Le manteau lithosphérique aura alors une épaisseur de 112 km et du fait de sa densité élevée de 3,30, cela revient à alourdir la lithosphère qui compte tenu des équilibres isostatiques va s'enfoncer mais de combien. Pour quantifier cette subsidence, il convient de prendre un niveau de compensation plus bas que la limite lithosphère/asthénosphère par exemple 50 km plus bas dans l'asthénosphère.

On a alors l'équilibre isostatique suivant :

$$35 \times 2,7 + 105 \times 3,30 + 50 \times 3,25 = 28 \times 2,7 + 112 \times 3,30 + h' \cdot 3,25$$

On déduit : $h' = 48$ km d'asthénosphère.

Cela se traduit en surface par un déficit (affaissement) de : 2 km (**subsidence thermique**).

4. Citez une région française où une telle situation géodynamique peut se rencontrer.

Une telle situation se rencontre dans les différents segments qui constituent les fossés du Velay, de la Limagne, du Forez, de la vallée du Rhin. Qui sont autant de jalons du rift ouest européen (ROE) entre autres caractérisés par des anomalies géothermiques et gravimétriques positives.

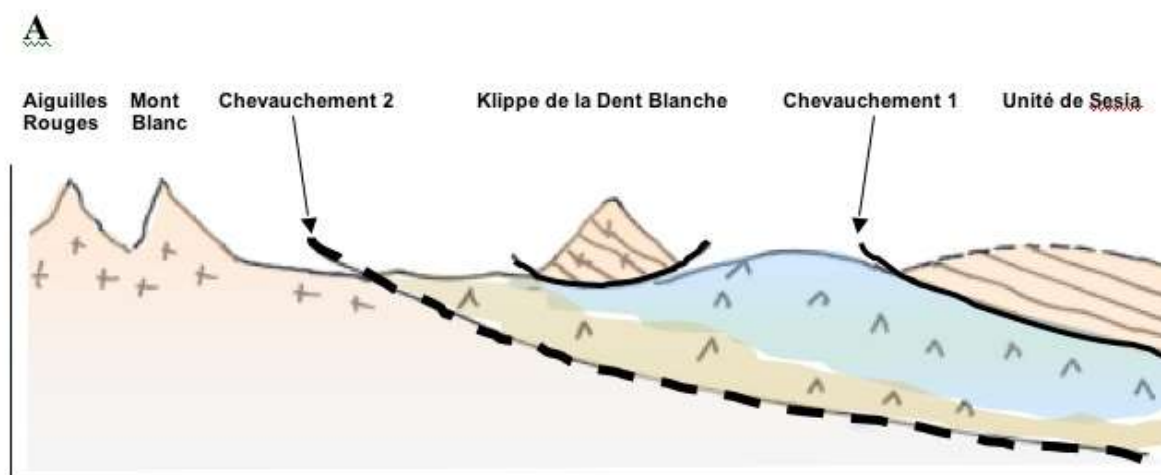
Pour affiner le modèle il faudrait prendre en compte le remplissage sédimentaire qui par sa surcharge accentue la subsidence.

II.2 Le relief des contextes compressifs (documents 5a et 5b)

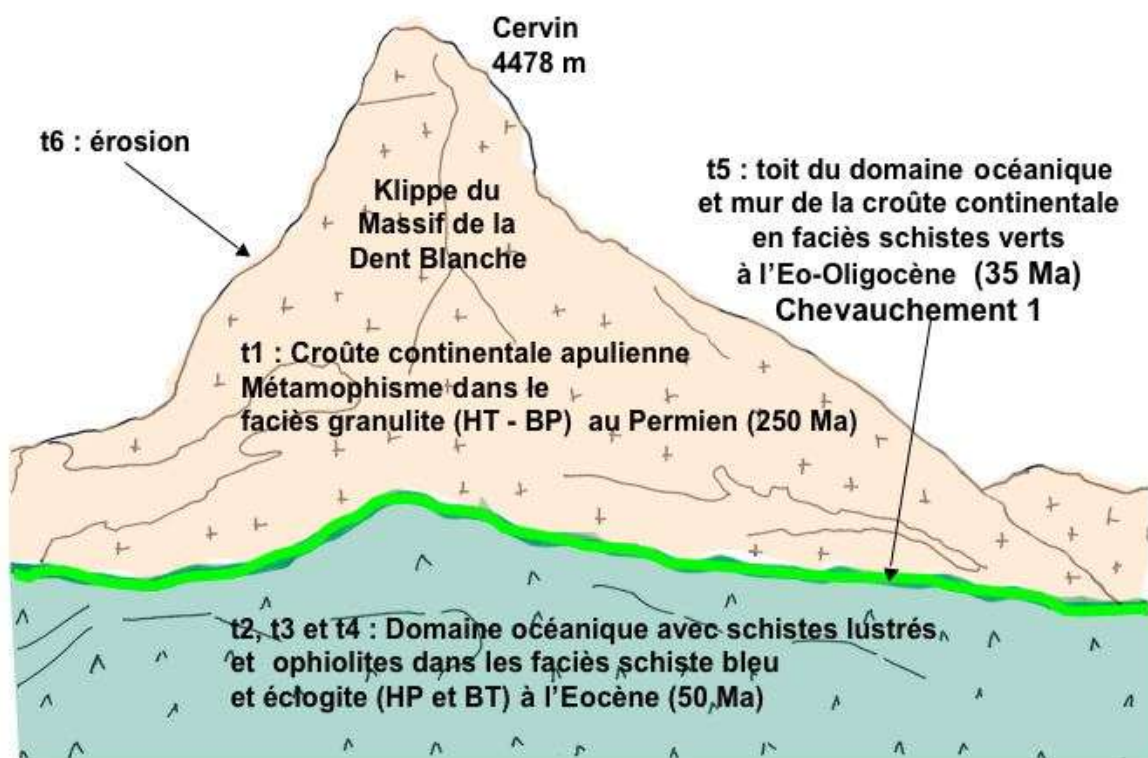
Il vous est proposé un exercice visant à illustrer la genèse de reliefs en domaine compressif, pris dans les Alpes.

Le Cervin est une unité apulienne ou austro-alpine de croûte continentale métamorphisée dans le faciès « granulite ». L'âge du métamorphisme est donné d'environ 250 Ma. Les sédiments océaniques et les ophiolites sont métamorphisés dans les faciès « schiste bleu » et « éclogite » (âge du métamorphisme environ 50 Ma) ; l'interface Cervin/unité océanique basale est métamorphisée en faciès « schiste vert », métamorphisme daté d'environ 35 Ma.

1 . Réalisez la coupe géologique à main levée du Mont Blanc (MB) à la ville d'Ivrea (trait de coupe AB - document 5b).



2. Réalisez un dessin d'interprétation du document 5a.



3. Proposez un scénario de mise en place des différentes unités visibles sur ce panorama du Cervin (document 5a).

t1 : au Permien (250 Ma) effondrement gravitaire de la Pangée et métamorphisme en faciès granulite de la croûte continentale située dans cette zone de déchirure.

t2 : océanisation et mise en place de l'océan liguro-piémontais (Jurassique et Crétacé inf.)

t3 : subduction de l'océan à l'Eocène (50 Ma) et son métamorphose en faciès éclogite et schiste bleu.

t4 : exhumation (rapide) de l'océan qui conserve la mémoire de son pic du métamorphisme.

t5 : collision et chevauchement 1 à l'Eo-Oligocène (35 Ma) de l'unité apulienne sur le paléodomaine océanique et acquisition du faciès schiste vert (effet fer à repasser) au niveau du contact chevauchant.

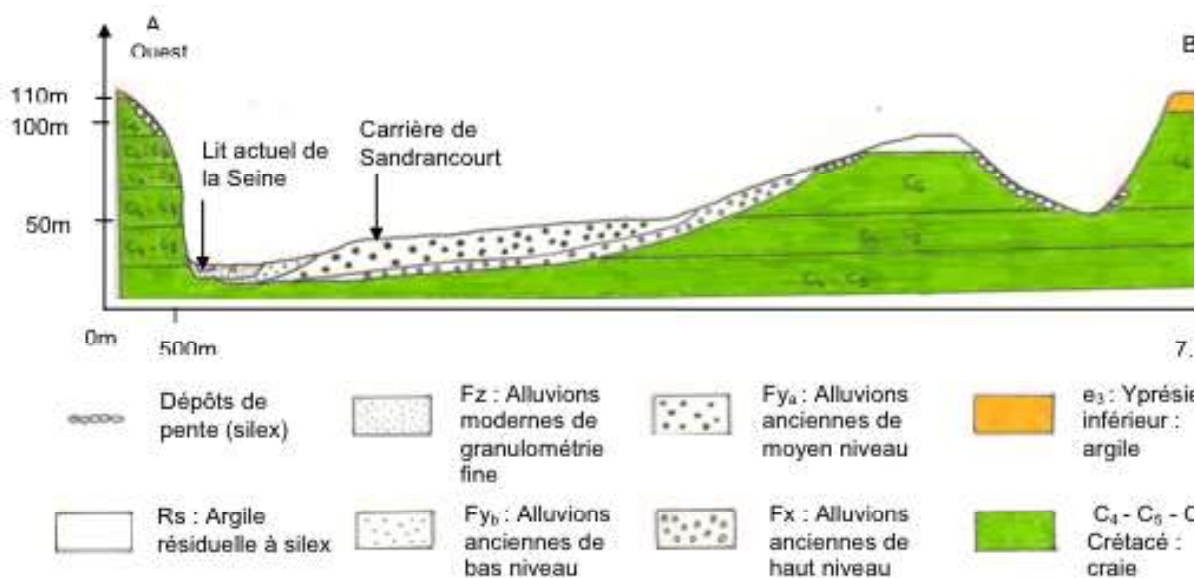
t5 : collision avec chevauchement 2 des deux unités scellées sur le domaine dauphinois (paléomarge continentale) à l'Oligocène (25 Ma)

t6 : érosion intense suite sans doute à un soulèvement de l'édifice alpin (entre autre de l'unité liguro piémontaise sur le domaine dauphinois ; de l'unité apulienne sur le domaine liguro piémontais de telle sorte que le massif de la Dent Blanche apparaît aujourd'hui en klippe.

THEME 3 : EVOLUTION DU RELIEF A L'ECHELLE DES TEMPS GEOLOGIQUES

III.1 : Reliefs quaternaires (Document 6)

Il vous est proposé un exercice de cartographie illustrant l'évolution quaternaire d'un relief français pris dans le Bassin de Paris, afin d'en discuter les facteurs de contrôle. Vous réaliserez la coupe géologique le long du trait AB sur le document 6. La précision du relief sur la coupe n'est pas attendue.



Une terrasse alluviale, ou terrasse fluviale, est une zone plane, située sur les versants d'une vallée et constituée par des alluvions (sédiments) déposées par le cours d'eau à une certaine période.

Ces alluvions sont abandonnées sur les bords du lit suite à un encaissement de la rivière (ou à la disparition d'un barrage).

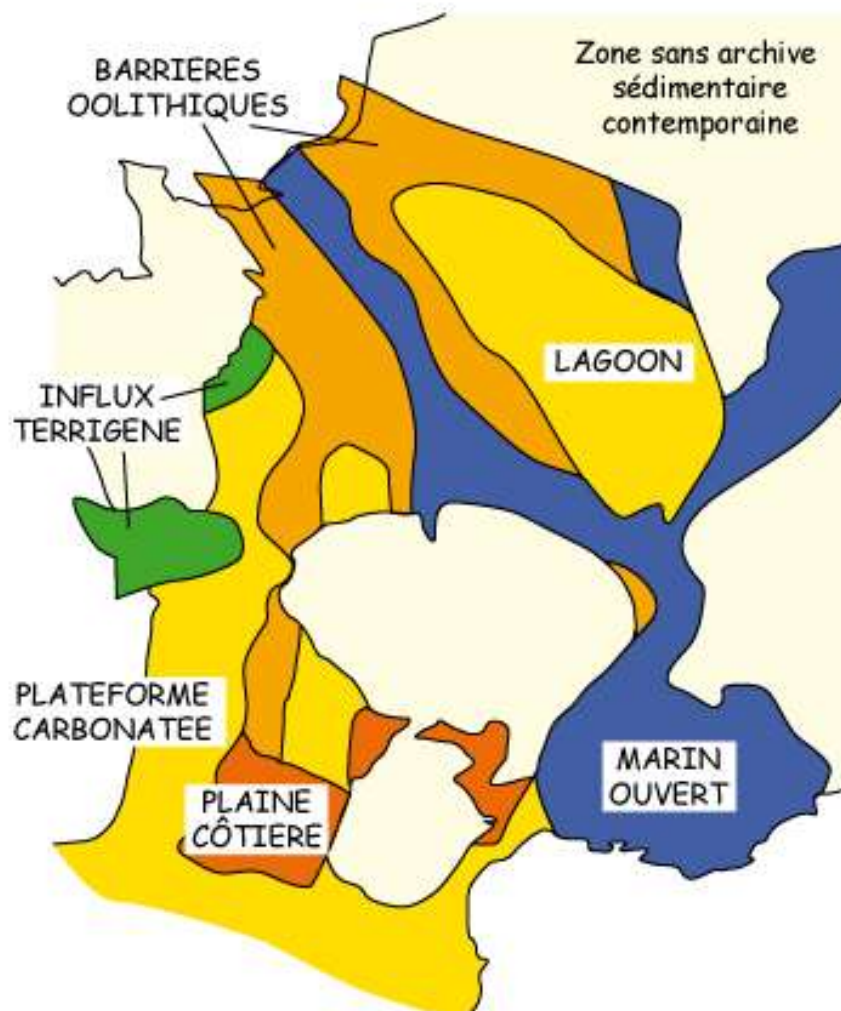
La succession de plusieurs épisodes de sédimentation et d'incision aboutit fréquemment à l'étagement de plusieurs terrasses.

Les terrasses ici sont étagées, marquant l'incision progressive de la Seine en réponse :

- et à la chute du niveau marin absolu durant la glaciation
- et à la surrection du Bassin de Paris en réponse à la collision alpine.

III.2 : Evolution du relief du Bassin de Paris et de la France (Document 7)

Déduisez du document 7, ce que pouvait être le relief de la France à l'époque.



L'analyse de ce document montre que les reliefs de l'époque étaient très différents de ceux de la France actuelle. La France métropolitaine au Bathonien (il y a 165 Ma), était composée de plusieurs plateformes carbonatée, sous-marine donc (même si la tranche d'eau pouvait être faible, cf lagon). Les terres émergées, soumises à l'érosion, sont rares et ici localisées surtout à la verticale du futur massif armoricain car les influx terrigènes, caractéristiques d'une érosion continentale, en sont issus. Il n'y avait alors pratiquement pas de reliefs continentaux, et une faible variabilité des reliefs sous-marins (paléobathymétries).

En comparant cette figure au doc 2, rappelez la chronologie de la mise en place des principaux traits du relief de la France à l'actuel.

Le relief de la France actuelle a donc moins de 165 Ma : en fait le premier événement structurant du relief de la France est l'ouverture du Golfe de Gascogne et l'émergence définitive d'un massif armoricain, une partie du massif central et un premier seuil du Poitou. Puis se succéderont :

- la convergence Ibérie-Eurasie (collision pyrénéenne), et les Pyrénées et son bassin d'avant-pays ; cette collision a permis un premier flambage de la France avec une première surrection du Massif Armoricaïn et du Massif Central
- l'extension oligocène et le bassin rhénan et les limagnes, une première émergence des Vosges

- la collision Apulie – Eurasie miocène et les Alpes et le Jura, la surrection du sud des Vosges, le flambage du Bassin de Paris, les bassins rhodanien et molassique, la réactivation du relief du massif central,
- le volcanisme fini-tertiaire (ante-Miocène) et quaternaire (Massif Central)
- l'impact climatique des glaciations quaternaires et le modelé glaciaire

III.3 : Relief et climat (Document 8)

A partir de l'analyse du document 8, vous discuterez de la corrélation entre l'évolution climatique globale des 70 derniers Ma et l'évolution des flux sédimentaires détritiques accumulés dans les bassins péri-himalayens et des processus pouvant l'expliquer.

Votre exploitation comprendra l'explication de la méthode de mesure des paléotempératures des eaux océaniques.

Rappel de la mesure du delta 018 :

Le rapport 180/160 peut varier, de plusieurs unités pour cent, dans les différentes substances élaborées à la surface de la Terre : le carbonate de calcium du test des organismes marins contient en moyenne 4 % d'180 de plus que l'eau de mer et les neiges des sommets de la calotte antarctique en contiennent 4 % de moins. Ceci reflète le comportement physico-chimique différent des deux isotopes de l'oxygène.

Le rapport 180/160 peut varier, de plusieurs unités pour cent, dans les différentes substances élaborées à la surface de la Terre : le carbonate de calcium du test des organismes marins contient en moyenne 4 % d'180 de plus que l'eau de mer et les neiges des sommets de la calotte antarctique en contiennent 4 % de moins. Ceci reflète le comportement physico-chimique différent des deux isotopes de l'oxygène. Par exemple la pression de vapeur saturante de l'eau constituée d'oxygène 18 est inférieure de 1 % à celle de l'eau constituée d'160 : lors des phénomènes d'évaporation la phase gazeuse s'enrichira donc relativement en isotope léger et lors de la condensation les précipitations seront plus riches en 180 que la vapeur d'eau atmosphérique. Dans un schéma de circulation générale, l'eau évaporée sous les basses latitudes, transportée vers les pôles par l'atmosphère et précipitant sous les hautes latitudes s'enrichira progressivement en 160. En périodes glaciaires ces précipitations s'accumuleront sous formes de calottes aux pôles, et le stockage de l'isotope léger de l'oxygène entraînera l'augmentation du rapport δ 180 des eaux marines. Cette chromatographie des isotopes de l'oxygène est donc un outil performant pour l'étude des volumes de glace à la surface de la Terre et indirectement des paléotempératures.

$$\delta^{18}O = \left(\frac{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{sample}}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{standard}} - 1 \right) * 1000 \text{ ‰}$$

Ainsi mesuré dans des carbonates marins, un fort Delta 018 signifie une faible température et vis versa.

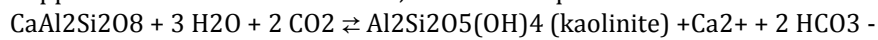
Le document 8 nous montre une contemporanéité de l'augmentation du flux sédimentaire dans les marges et bassins autour du Tibet et d'un refroidissement de l'Océan atlantique enregistré simultanément par la mesure de delta 018 sur des foraminifères benthiques, et ceci depuis la collision himalayenne.

Cette collision s'est donc traduite par de nouveaux reliefs continentaux entre autres constitués de roches silicatées. L'émergence de ce relief a relancé l'érosion continentale, et donc l'augmentation du flux détritique terrigène arrivant dans les bassins et marges péri-himalayens.

De plus cette altération de roches pour partie silicatée a consommé du CO2 ce qui a pu se traduire par une diminution des températures de l'air et donc par l'équilibre thermique des eaux océaniques par ex ici pacifiques.

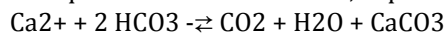
Nous avons donc ici des moyens indirects de mettre en évidence l'émergence de nouveaux reliefs continentaux à la surface de la Terre. Mais nous montrons également l'impact de l'émergence de ces reliefs sur le climat global de la Terre.

Rappel : L'altération de l'anorthite, silicate calcique s'écrit :

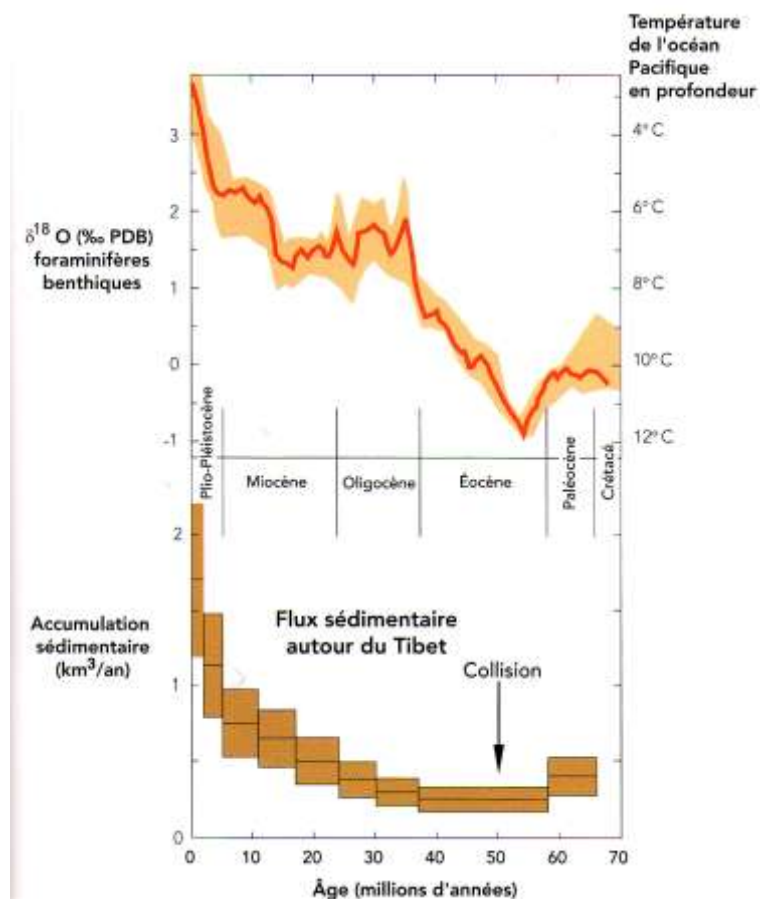


On observe donc la consommation de 2 moles de CO_2 par altération d'une mole d'anorthite.

Lorsque HCO_3^- arrive en mer, la précipitation de calcite CaCO_3 selon la réaction



Ceci libère 1 mole de CO_2 . Donc finalement l'altération d'une mole d'anorthite a pompé une mole de CO_2 dans l'atmosphère.



SYNTHESE :

A partir de l'ensemble des points abordés précédemment et également de vos connaissances, vous présenterez de façon synthétique les modes de genèse du relief de la Terre et de son évolution à l'échelle du dernier cycle de Wilson.

Après l'étude de ces différents documents, il apparaît que les reliefs sont d'origine tectonique (par épaissement, isostasie, flexure, subsidence) mais que leur modelé pourra dépendre de facteurs climatiques (ex climat glaciaire de la vallée glaciaire ou tropical humide des profils latéritiques) et de la lithologie du substratum (karst versus chaos granitique). Une difficulté réelle est de reconstituer les paléoreliefs, surfaces souvent en érosion. Cependant certains critères sont disponibles : enregistrement sédimentaire (terrasses fluviales, cône alluvial), formations superficielles (latérites), bilan des flux sédimentaires (au niveau des deltas par ex, exutoire de tout le bilan de l'altération continentale) et analyse géomorphologique (sur les reliefs les plus récents).

Nous pouvons donc montrer à l'échelle d'un cycle de Wilson (et du dernier cycle de Pangée pour la France) une relation entre tectonique des plaques, types de bassins associés, types d'événements

tectoniques contemporains et donc de reliefs associés, variations eustatiques synchrones ce qui va également modifier les paysages terrestres en contrôlant la position des littoraux.

Le visage de la Terre a donc changé au cours des temps géologiques et non pas seulement par le jeu de la mobilité des plaques lithosphériques.

Enfin l'émergence plus ou moins importante de reliefs relancera l'érosion continentale, possiblement de roches silicatées dont l'altération consommera du CO₂ et donc aura une répercussion sur le climat global de la Terre.

