

Apparition et disparition des reliefs de la France métropolitaine à partir de quelques exemples

1. Introduction générale sur le sujet

Le sujet aborde la connaissance de la géologie de la France métropolitaine. Il relève de plusieurs domaines de contenus, de méthodes et de techniques afin de valoriser des profils différents de candidats. Il aborde aussi bien la géodynamique interne que la géodynamique externe, l'observation d'un paysage et la connaissance indirecte de l'organisation interne de la Terre, les méthodes géologiques directes comme l'observation des roches à différentes échelles ou indirectes, l'observation comme l'expérimentation et la modélisation, le métamorphisme et les phénomènes sédimentaires etc.

A des degrés et des niveaux d'enseignement divers, ces contenus scientifiques figurent dans les programmes d'enseignement des sciences de la vie et de la Terre (SVT), depuis le cycle 3 jusqu'à la classe de terminale scientifique. Leur maîtrise est donc essentielle dans le cadre d'un concours de recrutement de professeurs de SVT en lycée et collège, qu'il s'agisse des notions scientifiques ou de l'aptitude à les mobiliser pour formuler des réponses pertinentes à des questions scientifiques ou pédagogiques. La maîtrise scientifique du sujet, au-delà des contenus, nécessite une démarche scientifique rigoureuse permettant d'exploiter des résultats issus de publications scientifiques, un recul nécessaire pour savoir expliquer les méthodes d'obtention des données, et la capacité à proposer des activités concrètes et cohérentes avec les enjeux éducatifs déclinés dans les programmes.

Le graphique suivant illustre la répartition des notes. La moyenne de cette épreuve (**2046 copies corrigées**) est de **5,9/20** (**4,35/20** pour les refusés ; **8,98/20** pour les **admissibles**). La note maximale est 16,26/20 et l'écart type de 3,06.

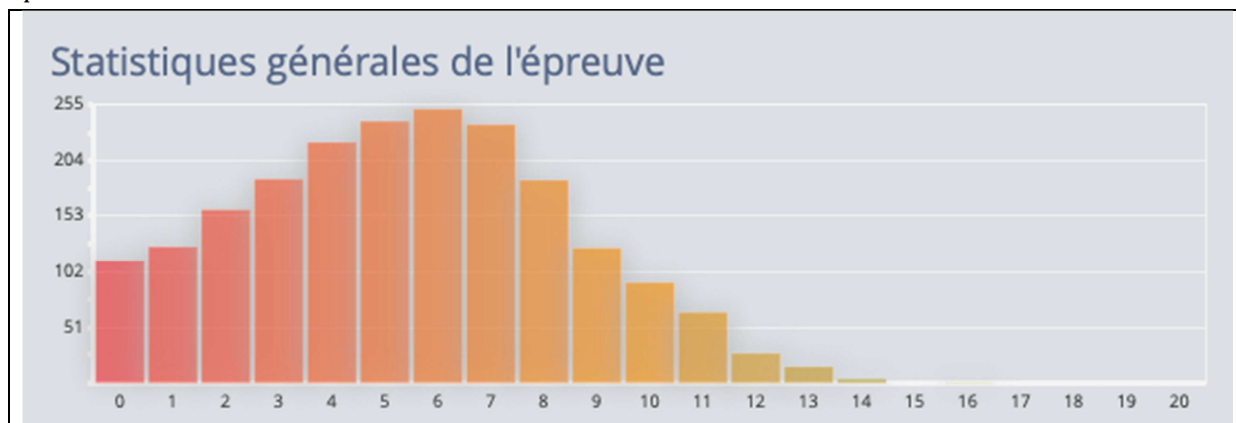
La levée d'anonymat permet de proposer les moyennes pour le CAPES et le CAFEP :

- CAPES : 6,13/20 ; refusés : 4,52/20 ; admissibles : 9,11/20 ;

- CAFEP : 5,05/20 ; refusés : 3,78/20 ; admissibles : 8,38/20 ;

La part dans l'évaluation réservée aux aspects sociétaux, éducatifs, pédagogiques et didactiques représente 34% de la note. Deux des trois parties du sujet intègrent les dimensions scientifiques, pédagogiques et didactiques testées dans l'épreuve de composition sur dossier.

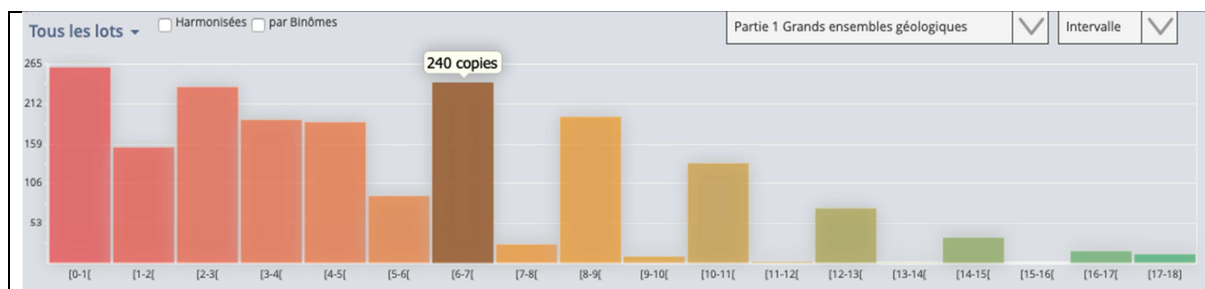
Les autres points correspondent aux questions d'ordre scientifique qui représentent 50% de l'évaluation (25% pour la restitution ou la mobilisation de connaissances ; 25% pour l'exploitation des documents) et à tout ce qui relève de la communication scientifique (qui inclut la maîtrise de la langue) pour 16%.



La première partie « Les grands ensembles géologiques » porte sur des connaissances à maîtriser dans le cadre d'un enseignement en lycée comme les anomalies gravimétriques et de Bouguer. Or seules 149 copies obtiennent une note très satisfaisante à cette question. La délimitation des grands ensembles géologiques de la France métropolitaine, un minimum souhaité pour tout enseignant de SVT, est ainsi construite à partir de données géophysiques et de la topographie. Cette partie permet de tester la capacité du candidat à réaliser un schéma structural. La moyenne à cette question n'est que de 05/20 et 1303 candidats ont une note inférieure à 07,5/20.

Le graphique ci-dessous montre la répartition des notes pour cette partie dont la moyenne est de 5,28/20.

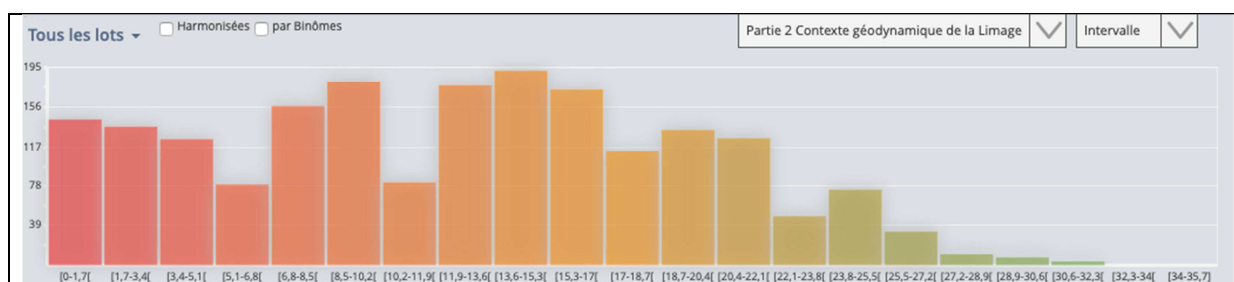
Nombre de copies au-dessous de la moyenne : 1029



Nombre de copies au-dessus de la moyenne : 831

La deuxième partie « La dépression du bassin de la Limagne d'Allier » a pour objectif de vérifier quelques connaissances fondamentales sur la sismique réflexion et le contexte géodynamique d'un bassin comme celui de la Limagne via la réalisation d'une coupe géologique. Dans les deux cas, les moyennes sont faibles (8/20 pour la sismique, 4,3/20 pour la coupe) et la majorité des copies obtiennent une note inférieure à la moyenne (entre 1100 et 1300 copies sur 2000). Les candidats doivent aussi montrer qu'ils savent exploiter des données de terrain (carrière de Gandaillat) et concevoir des modèles analogiques. Ils reconstituent ainsi l'histoire d'un bassin de subsidence mais proposent ou réalisent aussi des activités pédagogiques telles qu'une sortie de terrain, une modélisation et une démarche scientifique en cycle 4. Si c'est globalement satisfaisant pour le travail de terrain, ce qui est un point positif, on note des résultats très faibles concernant la modélisation (seuls 900 candidats ont une note supérieure à la moyenne) et trop moyens pour la mise en œuvre d'une démarche scientifique pour des élèves de cycle 4 (9/20 de moyenne avec seulement 766 candidats qui obtiennent une note supérieure à la moyenne).

Le graphique ci-dessous montre la répartition des notes pour cette partie dont la moyenne est de 7,33/20.



Nombre de copies au-dessous de la moyenne : 989

Nombre de copies au-dessus de la moyenne : 1012

Note maximale : 18,8/20

La troisième partie « Les Alpes, une chaîne de montagnes » est centrée sur la connaissance des paysages alpins et le métamorphisme des zones internes des Alpes. Elle permet des analyses pétrologiques et l'exploitation de grilles pétrogénétiques très proches des attendus de lycée. Il est d'ailleurs attendu des candidats de travailler dans le cadre d'une classe de terminale pour relier densité et transformations minéralogiques. Une place est réservée à la pratique de l'évaluation en classe. On peut citer certains points d'appui en termes de résultats comme la définition du métamorphisme et l'exploitation de la grille pétrogénétique. Il en est de même de la proposition d'un montage pour calculer la densité des roches et de l'analyse de la grille d'évaluation. A l'inverse, signalons que 1144 candidats ne savent pas définir la densité et la rareté des candidats qui ont su identifier la série

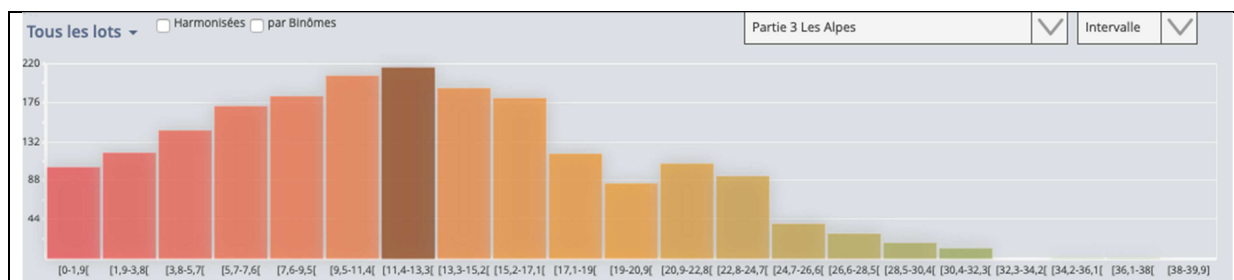
métamorphique, calculer le gradient géothermique et conclure quant au contexte géodynamique de la formation de cette série métamorphique (moyenne de 6,9/20 et seulement la moitié des candidats qui traitent ces questions).

Le graphique ci-dessous montre la répartition des notes pour cette partie dont la moyenne est de 6,6/20.

Nombre de copies au-dessous de la moyenne : 1047

Nombre de copies au-dessus de la moyenne : 973

Note maximale : 19,4/20



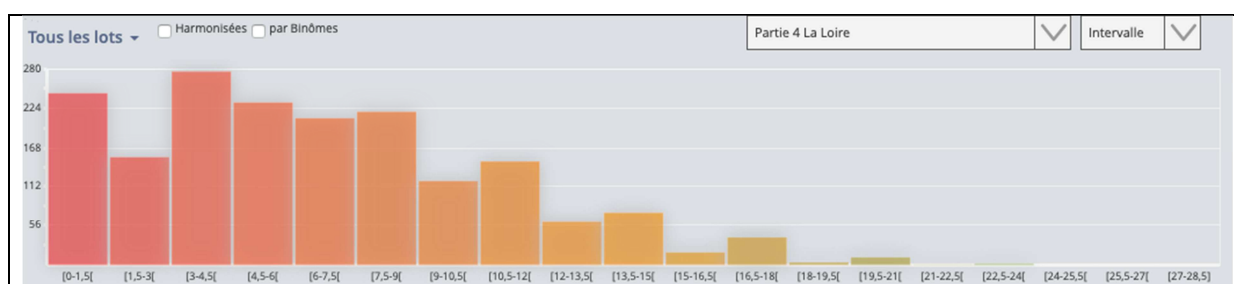
La quatrième partie « La Loire et la dynamique de son bassin versant » est celle qui a été la moins traitée par les candidats. Une mauvaise gestion du temps n'explique qu'en partie l'échec massif à cette question. En effet on constate que ce n'est pas la partie dans son ensemble qui est non traitée mais certaines questions comme le scénario de mise en place des terrasses fluviales et le calcul du taux d'incision de la vallée du Loir. A l'inverse la partie pédagogique (trois questions) est davantage traitée mais également échouée (moyenne de 5,3/20 pour proposer un QCM relatif au diagramme de Hjulström et réaliser une analyse granulométrique).

Le graphique ci-dessous montre la répartition des notes pour cette partie dont la moyenne est de 4,74/20.

Nombre de copies au-dessous de la moyenne : 968

Nombre de copies au-dessus de la moyenne : 848

Note maximale : 19,4/20



2. Libellé et documents supports, corrigé et commentaires spécifiques question par question

Le sujet comporte quatre parties auxquelles sont associées treize annexes contenant des documents :

- Partie 1 : les grands traits géomorphologiques de la France métropolitaine – Annexe 1 (Durée approximative conseillée : 25 minutes) ;
- Partie 2 : la dépression du bassin de la Limagne d'Allier – Annexes 2 à 4 (Durée approximative conseillée : 1h15) ;
- Partie 3 : Les Alpes, une chaîne de montagnes– Annexes 5 à 9 (Durée approximative : 1h35) ;
- Partie 4 : la Loire et la dynamique de son bassin versant – Annexes 10 à 13 (Durée approximative conseillée : 45 minutes).

http://media.devenirenseignant.gouv.fr/file/capes_externe/38/4/s2019_capes_externe_svt_2_1100384.pdf

Il est consultable sur le site « devenir enseignant » à l'adresse suivante :

Pour chacune des parties et des questions du sujet, un corrigé est proposé suivi par des commentaires et des conseils portant sur les productions des candidats dans leurs copies. Ce corrigé rédigé a pour but de préciser les attentes et les exigences du jury dans le cadre de cette épreuve. De fait, l'objectif n'est pas de faire un recensement exhaustif des réponses correctes possibles, ce qui rendrait la lecture fastidieuse, notamment pour les questions les plus ouvertes. De manière générale et pour ces questions en particulier, le jury veille systématiquement à repérer les candidats qui répondent de manière adéquate et rigoureuse à la question posée.

Partie 1 : Les grands traits géomorphologiques de la France métropolitaine

L'objectif de cette partie est de délimiter les grands ensembles géologiques de la France métropolitaine à l'aide de données géophysiques et de la topographie (**annexe 1**).

Question 1.1 - Expliquez comment sont définies les anomalies gravimétriques à l'air libre et de Bouguer (annexes 1c et 1d) et l'intérêt d'utiliser ces anomalies dans l'interprétation des données de gravimétrie.

Le jury attendait la définition générale d'une anomalie gravimétrique incluant les notions d'ellipsoïde, de corrections de la mesure (d'altitude pour l'air libre, et de masse pour Bouguer), et l'intérêt général de travailler sur des anomalies et non sur les mesures brutes et/ou au moins un exemple d'interprétation d'anomalie à l'air libre ou de Bouguer (*les exemples ci-dessous n'étaient donc pas tous exigibles et ils ne sont pas exhaustifs*).

Les anomalies gravimétriques sont définies par la différence entre une mesure gravimétrique de l'accélération de la pesanteur et la valeur calculée de cette accélération selon un modèle gravimétrique de la Terre.

Le modèle gravimétrique de base est celui d'une Terre en équilibre hydrostatique, en forme d'ellipsoïde de révolution aplati aux pôles.

L'anomalie à l'air libre est définie comme l'écart de la mesure de la pesanteur avec la pesanteur calculée à la surface de l'ellipsoïde modèle, mais avec la mesure rapportée à ce qu'elle aurait été si elle avait été faite au niveau de cette surface et non à son altitude réelle (mesure dite « corrigée » de son altitude).

L'anomalie de Bouguer est définie comme l'écart entre la pesanteur mesurée et celle calculée à la surface de l'ellipsoïde modèle, mais avec la mesure corrigée de son altitude comme pour l'anomalie à l'air libre et de l'effet gravitaire de la masse de matière observée en excès au-dessus ou en défaut au-dessous de la surface de l'ellipsoïde (masse calculée d'après le volume de matière observé ou « manquant », en lui attribuant une densité de croûte continentale).

L'utilisation d'anomalies par rapport à un modèle permet de proposer des interprétations en rapport avec ce modèle. Une anomalie négative (valeur mesurée < valeur modèle) indique que la pesanteur est plus faible que ce que prévoit le modèle et qu'il y a donc un déficit de masse « local » par rapport au modèle, et réciproquement.

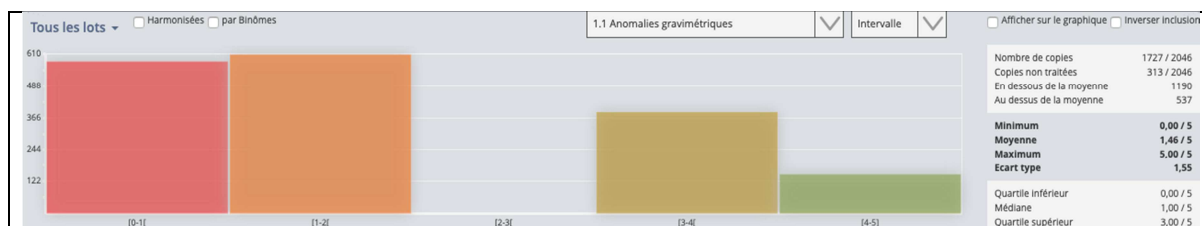
Les anomalies à l'air libre montrent les écarts entre la pesanteur à la surface d'un ellipsoïde et à la surface de la Terre, qui s'en écarte manifestement par la présence de reliefs (montagnes, bassins, etc.). Malgré ces reliefs, les anomalies à l'air libre sont très faibles, comme si les excès ou déficits de masse des reliefs visibles n'existaient pas : ce constat est à l'origine du concept d'isostasie, selon lequel les masses des reliefs sont naturellement « compensées ». Les faibles anomalies à l'air libre néanmoins existantes correspondent à des excès (anomalie positive) ou déficits (négative) de masse, localement non compensés. Ces écarts peuvent être dus par exemple à des reliefs dynamiques (marges actives, rebond post-glaciaire), ou encore à une compensation régionale d'excès ou déficits de masse de dimension plus faible que la longueur d'onde sur laquelle cette compensation peut se réaliser du fait de l'élasticité de la lithosphère (volcans, pics et vallées dans une chaîne de montagnes), etc.

Les anomalies de Bouguer, issues d'un modèle prenant en compte les excès ou déficits de pesanteur dus aux masses « visibles » en surface, permettent donc de mettre en évidence des excès ou déficits de masse non visibles, profonds, qui ont des origines diverses. Par exemple :

- des anomalies négatives peuvent être indicatrices de la racine crustale d'une chaîne de montagnes, d'une remontée de l'asthénosphère au détriment du manteau lithosphérique, ou d'un « réservoir » d'hydrocarbures (moins denses que de l'eau), etc. ;

- des anomalies positives peuvent indiquer la transition vers une lithosphère océanique et non continentale, ou à plus petite échelle la présence d'un filon dense de minerai métallique, etc.

On voit par ces exemples que les interprétations qu'on peut tirer des anomalies de Bouguer vont de la compréhension de la géodynamique au sens large (p.ex. racine crustale) à la prospection (p.ex. pétrole ou minerais).



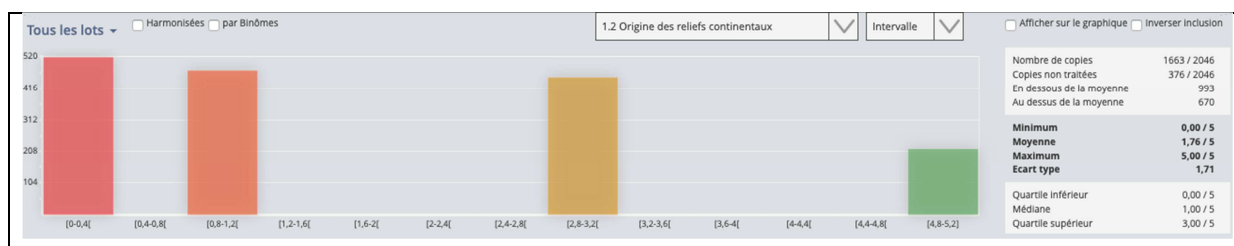
Question 1.2 - Montrez en quoi ces données géophysiques (annexes 1c et 1d), croisées avec la carte géologique (annexe 1b), expliquent en partie l'origine des reliefs continentaux (annexe 1a).

Le jury attendait une analyse des documents gravimétriques de tout 1^{er} ordre, mais néanmoins argumentée (quantitative), à l'échelle des grands ensembles géologiques (1b), permettant de dégager une corrélation entre reliefs positifs (1a) et anomalies de Bouguer négatives (1d), interprétées comme déficits de masse en profondeur.

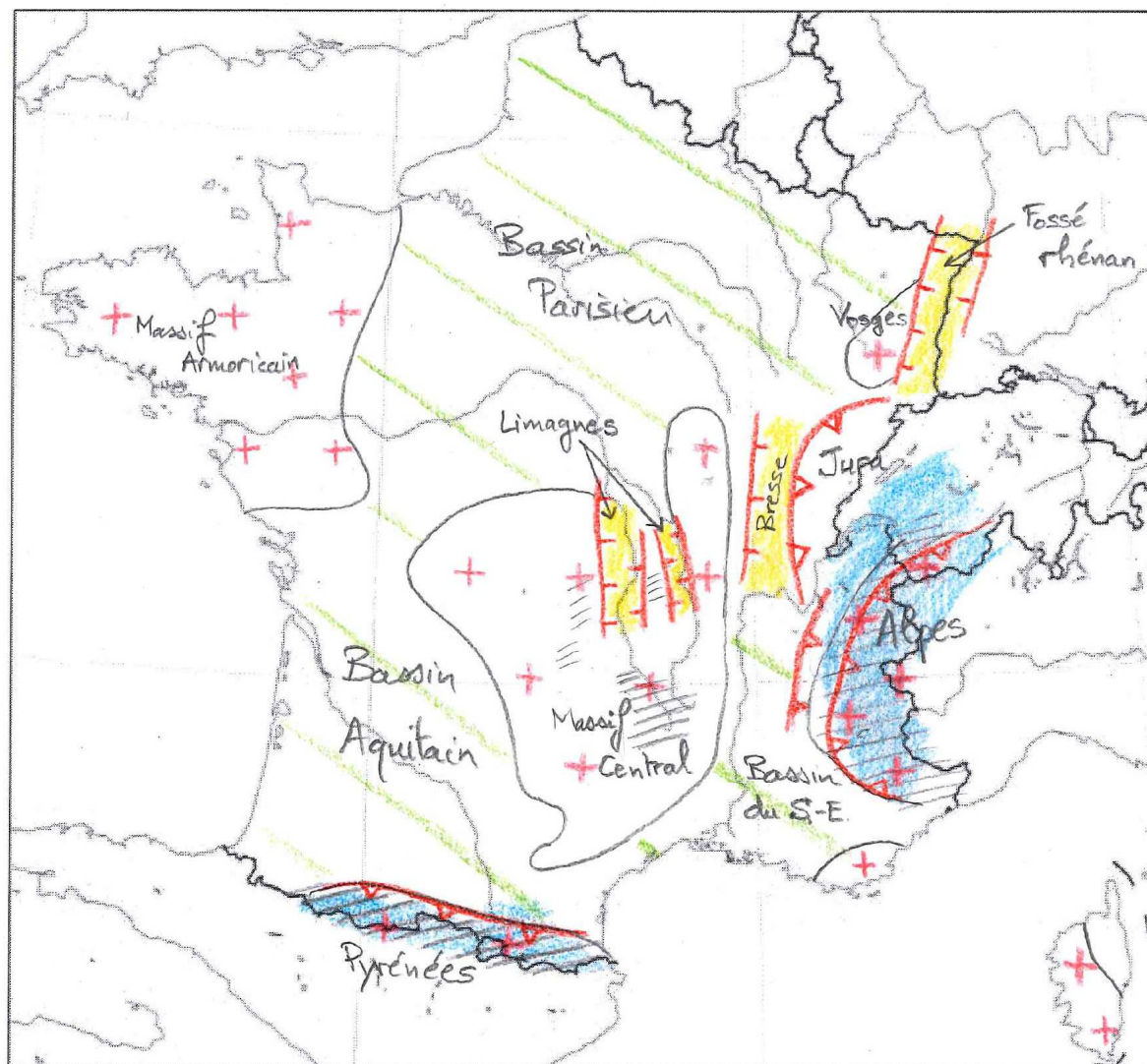
D'après l'annexe 1c, l'anomalie à l'air libre varie peu, dans la gamme ± 30 mGal là où le relief est faible (< 800 m sur l'annexe 1a). Dans les massifs de plus fort relief (> 800 m sur l'annexe 1a : Massif Central, Pyrénées, Alpes), l'anomalie à l'air libre varie localement (dizaines de km) jusqu'à ± 100 mGal mais ces variations semblent se compenser à l'échelle de l'ensemble de chaque massif. On peut ainsi proposer que sur la France, à l'échelle des grands ensembles (centaine de km), l'anomalie à l'air libre est proche de zéro, traduisant un état d'équilibre isostatique.

D'après l'annexe 1d, l'anomalie de Bouguer varie dans la gamme ± 50 mGal dans les régions de faible relief. Sur les reliefs importants elle est systématiquement inférieure à -50 mGal, avec par exemple -150 mGal au cœur des Alpes, -100 mGal dans les Pyrénées, et vers -70 mGal dans le Massif Central. Sur les reliefs, et bien que le calcul les prenne en compte, l'anomalie de Bouguer est donc systématiquement plus marquée que l'anomalie à l'air libre. Les anomalies de Bouguer négatives révèlent, à l'aplomb des reliefs qui les présentent, un déficit de masse en profondeur. On peut proposer, comme interprétation de ce déficit profond, un épaississement crustal (cette proposition est vérifiable en recherchant la profondeur du Moho par sismique réflexion).

Au-delà de cette corrélation, on peut proposer, en invoquant le mécanisme de l'isostasie, que ce sont les anomalies négatives de densité en profondeur (quelle que soit leur nature) qui impliquent l'existence de reliefs positifs visibles en surface.



Question 1.3 - Réalisez, sur le document réponse ci-dessous, un schéma structural simplifié de la France métropolitaine rassemblant l'ensemble des interprétations issues de cette partie 1 et permettant de répondre à l'objectif énoncé en introduction de la partie 1.

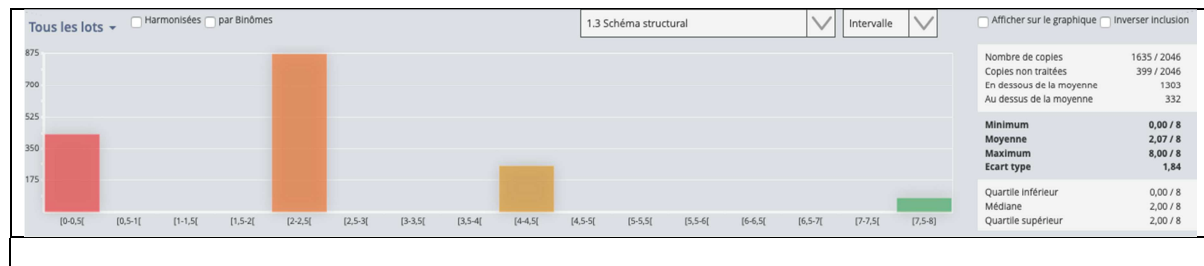


- Chevauchement majeur
- Faille normale
- Fossés d'extension cénozoïques
- Bassins sédimentaires méso-cénozoïques
- Massifs dominés par des roches cristallines anté-mésozoïques

- Reliefs d'altitude > 1500 m
- Anomalies de Bouguer < -100 mGal indiquant un déficit de masse profond d'importance.

Le jury attendait ici un schéma des grands ensembles géologiques (bassins, massifs) de la France métropolitaine, nommés, avec quelques éléments structuraux (p. ex. fronts de chevauchement majeurs

des chaînes de montagnes récentes, failles normales bordières des fossés tertiaires), et une représentation des données pertinentes discutées à la question précédente permettant de les corrélérer cartographiquement : zones de fort relief positif et zones de d'anomalie de Bouguer fortement négative



Partie 2 : La dépression du bassin de la Limagne d'Allier

L'objectif de cette partie est d'identifier le contexte géodynamique de la Limagne d'Allier en utilisant des données cartographiques et géophysiques, des données de terrain relatives à la carrière de Gandaillat et des données expérimentales (modélisation).

Question 2.1 - Le document réponse à la question 2.2 ci-dessous est un profil de sismique réflexion. Présentez les modalités d'obtention d'un tel profil et rappelez les principes physiques sur lesquels repose la technique, expliquant notamment l'origine des réflecteurs.

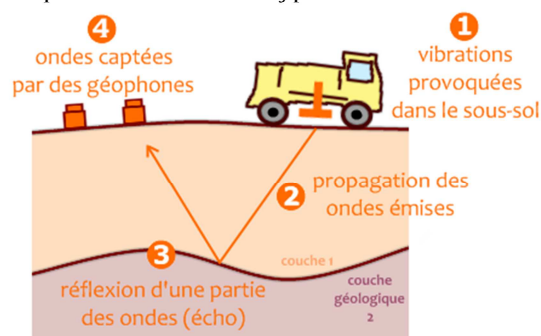
La sismique réflexion est une méthode de prospection géophysique qui permet de visualiser les structures géologiques en profondeur grâce à l'analyse des échos d'ondes sismiques.

Les ondes sismiques étudiées sont artificielles, émises par un dispositif acoustique en surface (à terre un camion « vibreur » faisant vibrer de manière contrôlée une masse posée au sol (10-100 Hz), un canon à air en mer).

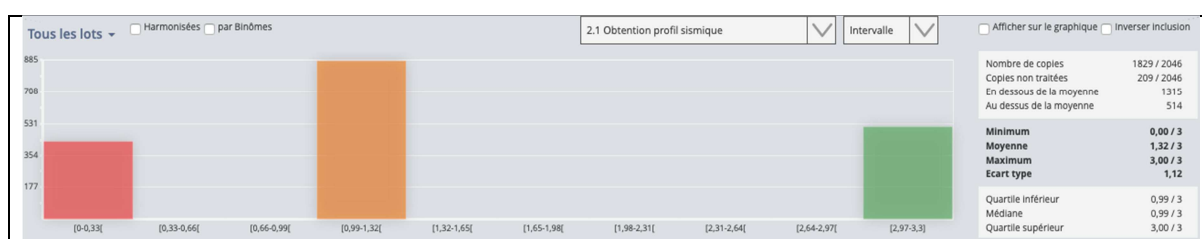
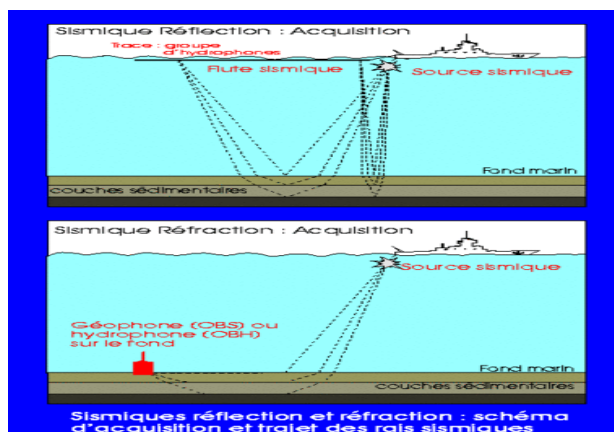
Les ondes sismiques se propagent en profondeur et peuvent être réfléchies ou réfractées comme les ondes lumineuses, en suivant les lois de Snell-Descartes, au niveau d'interfaces entre deux milieux d'impédance acoustique différente. L'impédance correspond aux propriétés du milieu vis à vis des ondes (ici acoustiques), et est notamment fonction de la masse volumique et de la vitesse de propagation de l'onde dans le milieu. Les interfaces marquent typiquement la limite entre deux roches de nature différente et sont nommés « réflecteurs » sismiques.

Les ondes sismiques réfléchies sont enregistrées en surface par une ligne de récepteurs sismiques (micros basses fréquences appelés « géophones » à terre et hydrophones en mer). Le profil obtenu est en fonction du temps aller-retour des ondes, dit « temps-double » (typiquement quelques secondes). Ce temps aller-retour augmente avec la profondeur des réflecteurs. En estimant la vitesse des ondes dans les milieux traversés, il est ensuite possible de réaliser une « migration » d'un profil sismique de temps-double vers profondeur.

On pouvait attendre ce type de schéma :

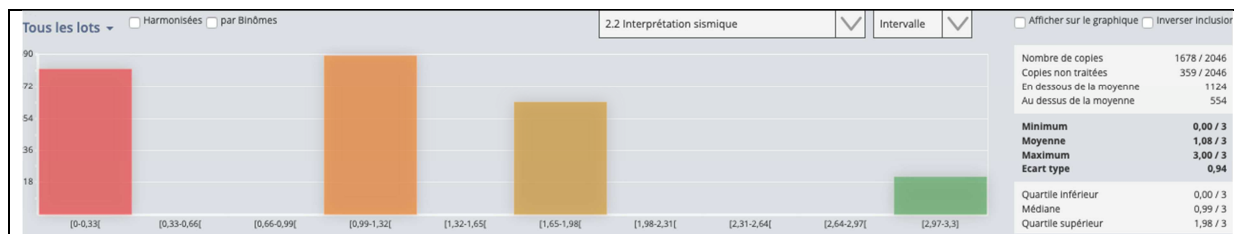


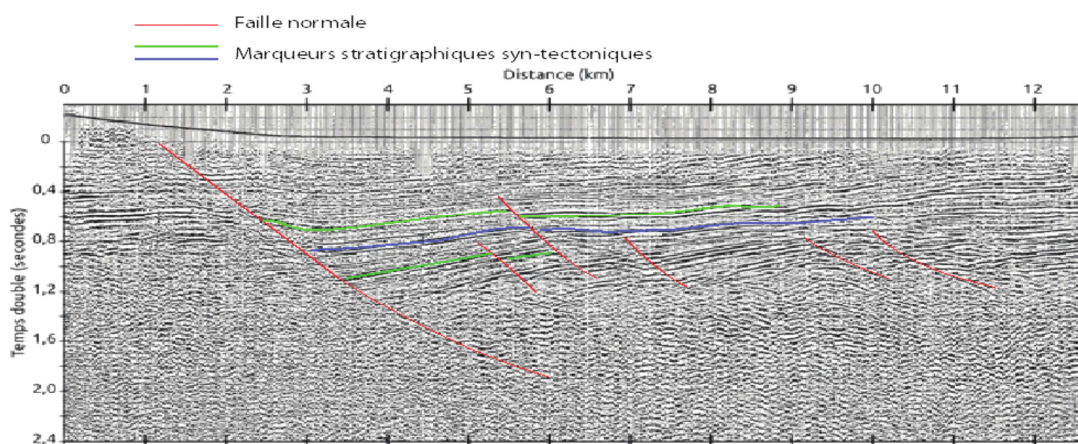
https://fr.wikipedia.org/wiki/Prospection_sismique#/media/File:Principe-sismique-reflexion.png



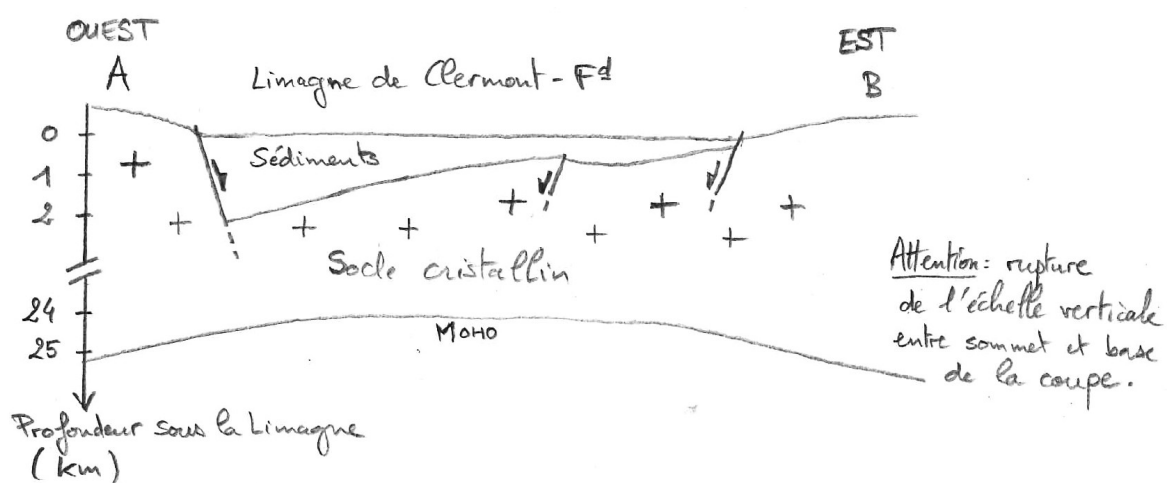
Question 2.2 - Identifiez et légendez les principales structures tectoniques et sédimentaires interprétables sur ce profil sismique Ouest-Est à travers la Limagne d'Allier fourni ci-dessous.

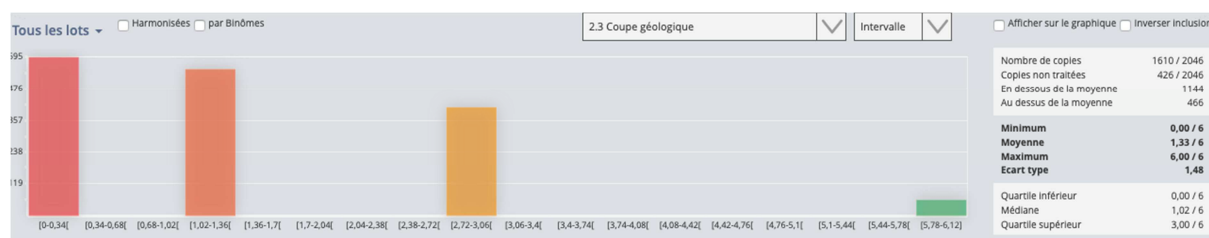
Profil sismique Ouest-Est à travers la Limagne d'Allier (profil CGG 79RC5) Source : BRGM (voir ci-dessous)





Question 2.3. À partir des documents des annexes 2 et 3, réalisez, selon le trait de coupe (A-B) représenté en annexe 2b, une coupe géologique schématique à main levée du bassin de la Limagne permettant de mettre en évidence les différentes formations géologiques crustales et leurs relations avec le manteau lithosphérique.

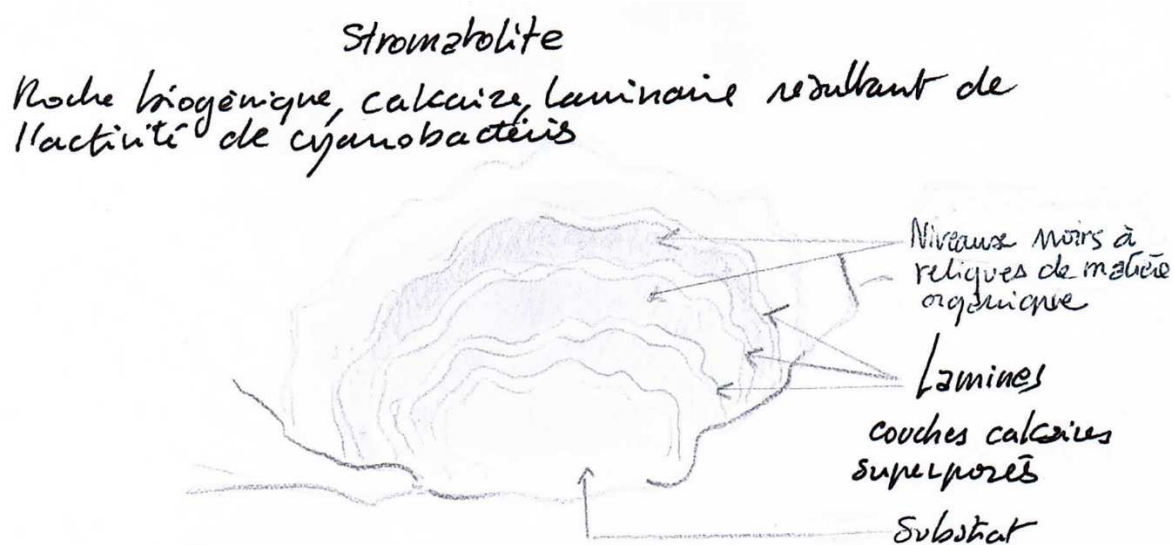




Question 2.4. Réalisez des schémas interprétatifs légendés de chacun des documents ci-dessous, schémas destinés à aider les élèves à comprendre les affleurements qu'ils observeront durant la sortie.

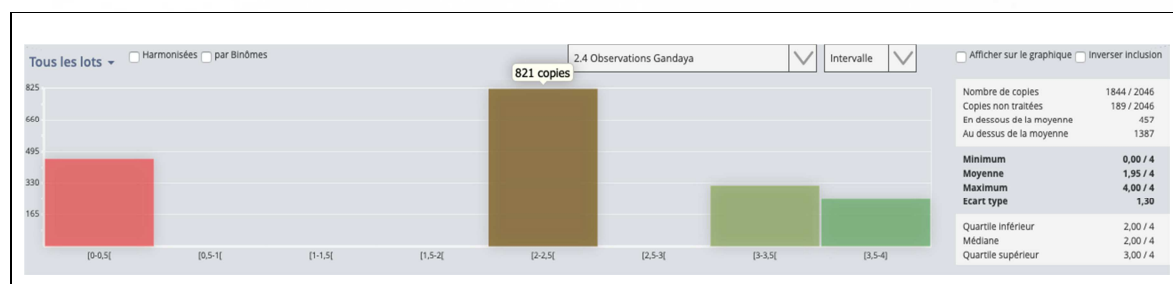
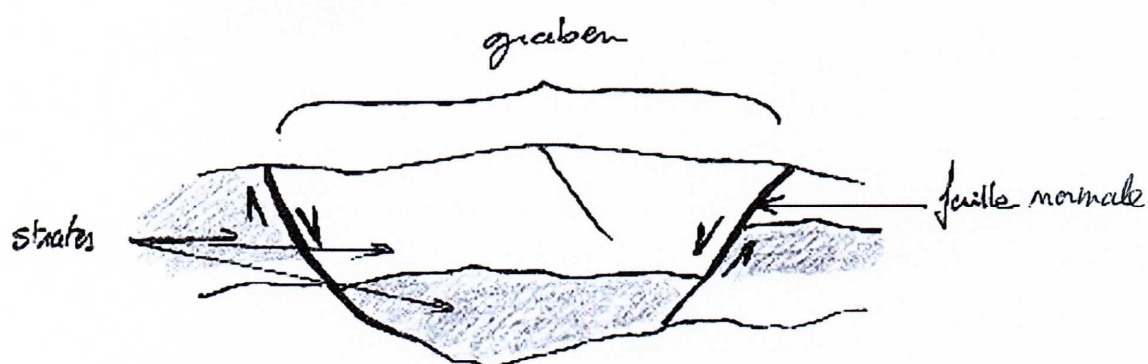
a : Détail d'un faciès sédimentaire observable sur le terrain dans la carrière de Gandaillat (largeur : environ 30 cm).

source : <http://christian.nicollet.free.fr>



b : Affleurement dans la carrière de Gandaillat (largeur : une dizaine de mètres).

source : <http://planet-terre.ens-lyon.fr>

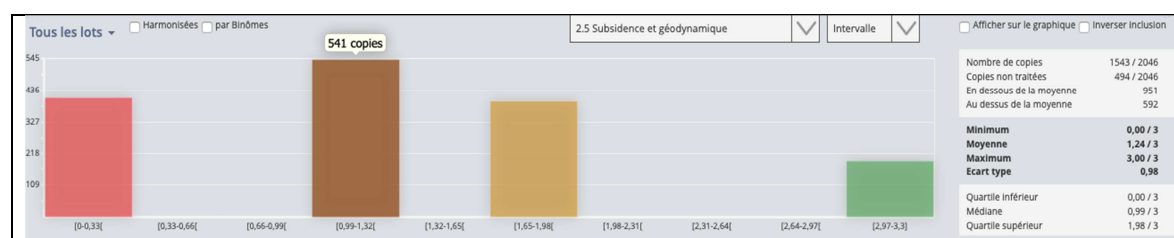


Question 2.5. Déduisez de votre coupe AB et des photos étudiées ci-dessus, le mode de subsidence de ce bassin et les contextes géodynamique et climatique contemporains de sa mise en place.

La Limagne de Clermont-Ferrand ou Grande Limagne est un bassin en forme de couloir, limité par des failles normales syn-sédimentaires et caractérisée par une durée de vie relativement courte (Oligocène) et par une subsidence relativement rapide (de l'ordre de la centaine de mètres par million d'année). C'est donc un bassin extensif de type rift contrôlé par une subsidence tectonique, ceci dans un régime divergent.

Les stromatolithes (photo 2.4b) sont caractéristiques de milieux peu profonds, lacustre ou marin.

L'Oligocène est caractérisé par un climat chaud mais pas humide dans l'Europe de l'Ouest. La sédimentation syn-rift de la Limagne est donc caractéristique d'un milieu peu profond, littoral, marin ou lacustre sous un climat relativement chaud.



Question 2.6. Dégagez, à partir de l'annexe 4, les éléments permettant d'aboutir à la notion de modèle analogique.

Extraits du document exploitables :

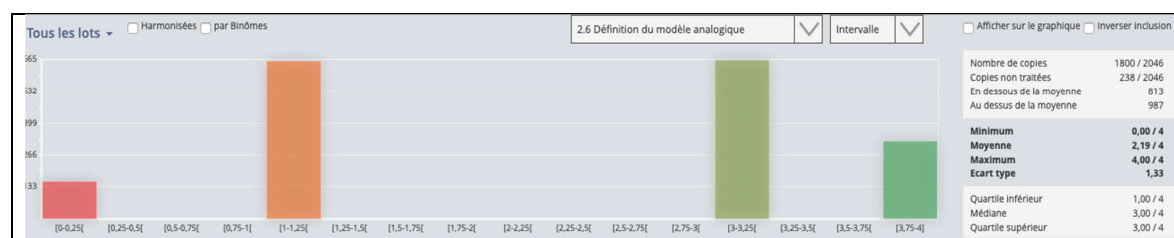
- « Géologie expérimentale » ;
- « L'expérience a imité » ;
- « Accès difficile à l'expérimentation des causes de cassures et de plissements » (notamment difficultés liées aux « grandes dimensions ») ;
- « En reproduisant... pas dans des conditions d'une similitude exacte... » ;
- « Explication ».

Utilisation :

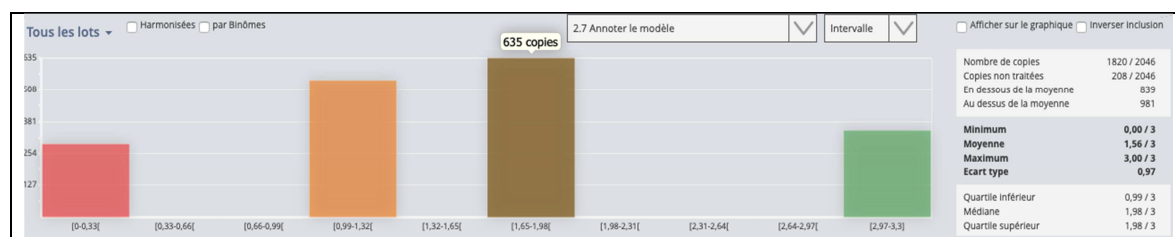
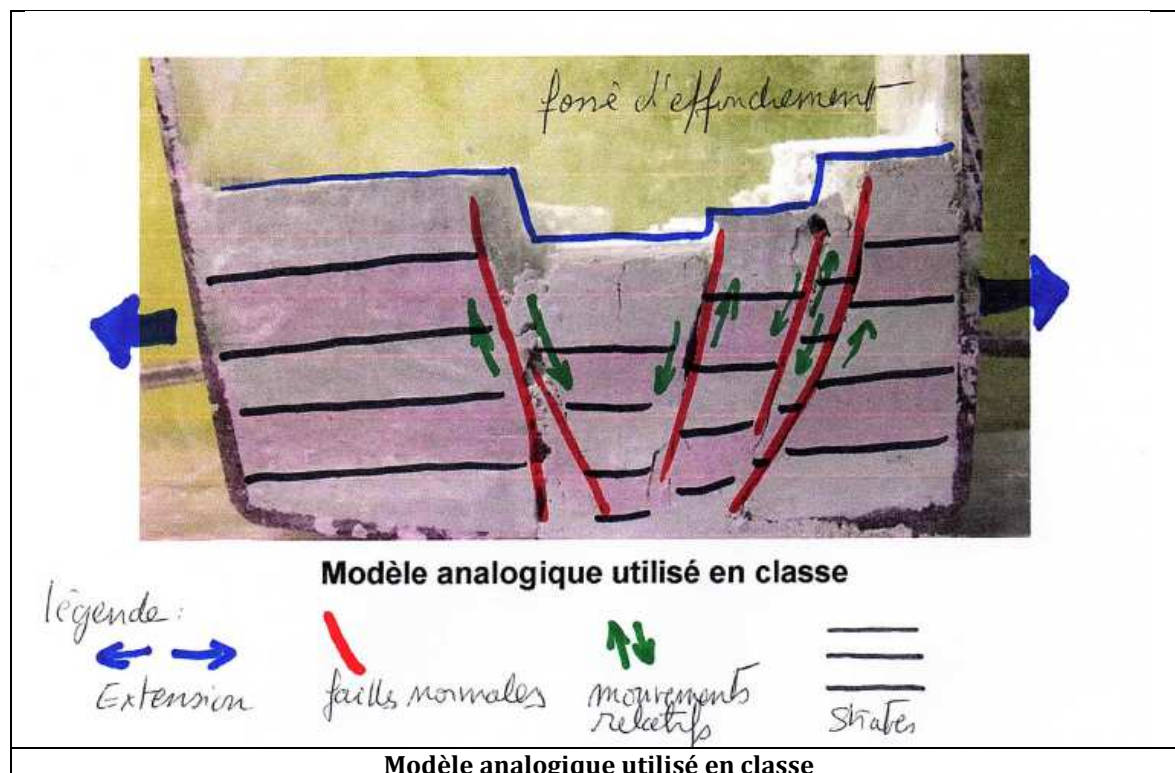
Le modèle analogique vise à reproduire certains phénomènes afin de les expliquer, d'expérimenter les conditions de leur mise en place, particulièrement utile dans l'approche de phénomènes géologiques pour lesquels s'appliquent des contraintes de temps et d'espace

Le modèle analogique correspond à une représentation d'un système naturel :

- Simplifiée (schématique) : on ne retient que les paramètres principaux ;
- Réduite : changement d'échelles de temps et d'espace
- Dynamique, il permet de simuler un phénomène.



Question 2.7. Annotez le document réponse ci-dessous présentant le résultat obtenu avec le modèle utilisé en classe pour réaliser une interprétation des observations faites sur le terrain avec des élèves de cycle 4. Votre interprétation indiquera également les conditions d'obtention de ce résultat.



Question 2.8. Présentez une démarche scientifique que vous pourriez conduire avec des élèves de cycle 4, intégrant ce modèle, de retour de votre visite à Gandaillat. Vous en détaillerez les objectifs en termes de compétences.

On attend une démarche cohérente plaçant les élèves en situation de recherche (expliquer ...) à partir :

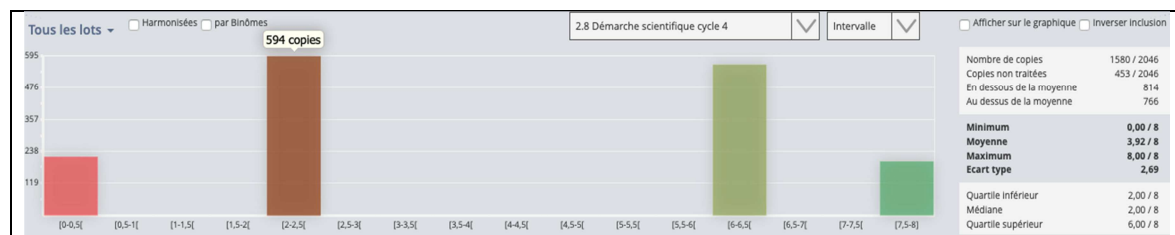
- d'une exploitation de l'observation de terrain ;
- d'une possible explication de cette observation à partir de leurs connaissances ou de nouvelles données ;
- de la mise au point d'une modélisation (conception, utilisation, valeur explicative du modèle) ;
- de l'exploitation du modèle et du retour vers le terrain, en particulier, en discutant des limites du modèle.

On attend des objectifs de formation clairement exposés dont plusieurs possibles parmi :

- pratiquer une démarche scientifique ;
- concevoir, créer, réaliser ;
- utiliser des outils et mobiliser des méthodes pour apprendre ;
- pratiquer des langages ;
- utiliser des outils numériques ;
- se situer dans l'espace et dans le temps ...

On attend du candidat :

- qu'il en choisisse quelques-uns plutôt qu'une liste exhaustive ;
- que ces objectifs soient corrélés (en accord avec ...) à une ou deux étapes de la démarche qu'il a choisi de faire mener.



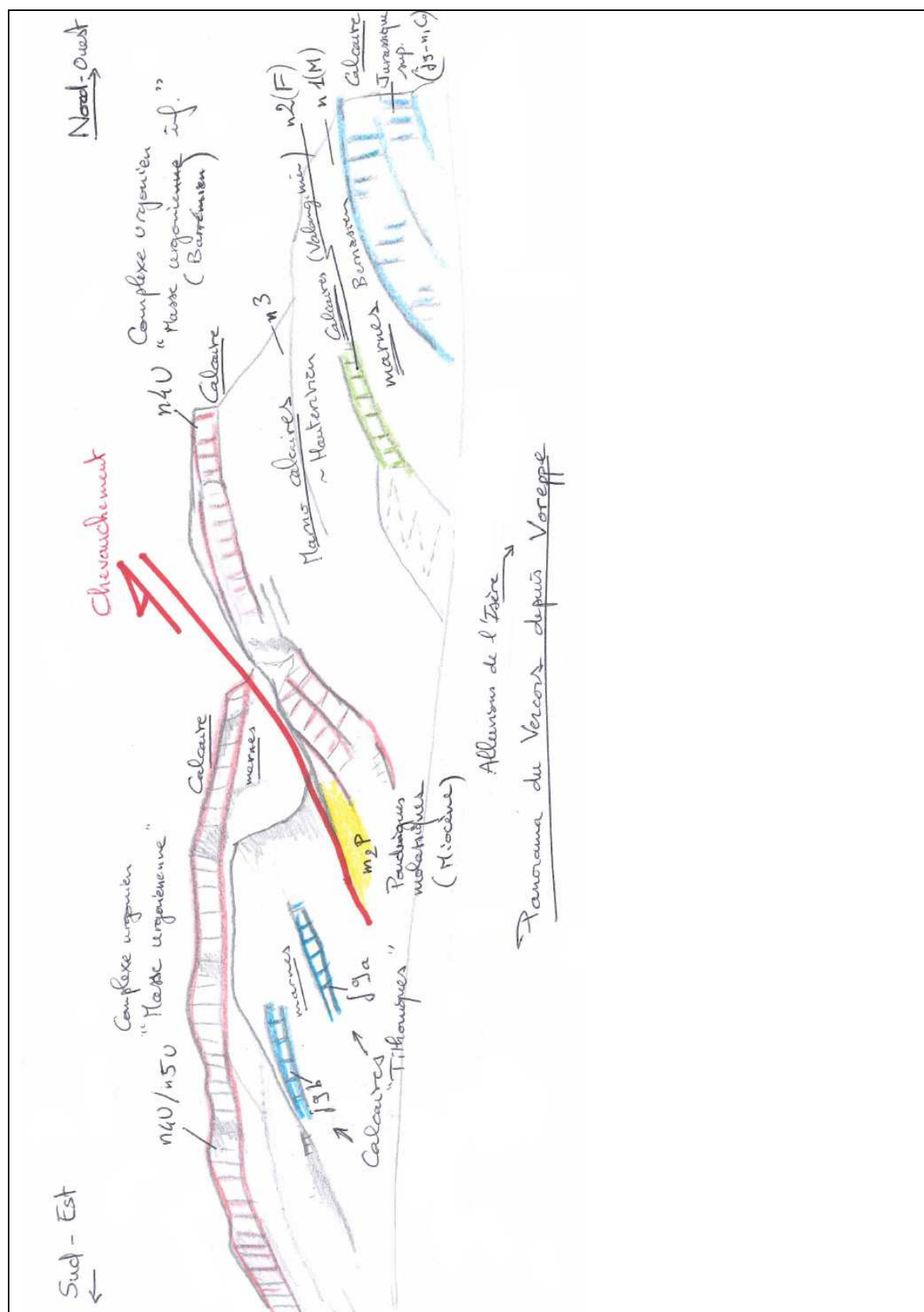
Partie 3 : les Alpes, une chaîne de montagnes

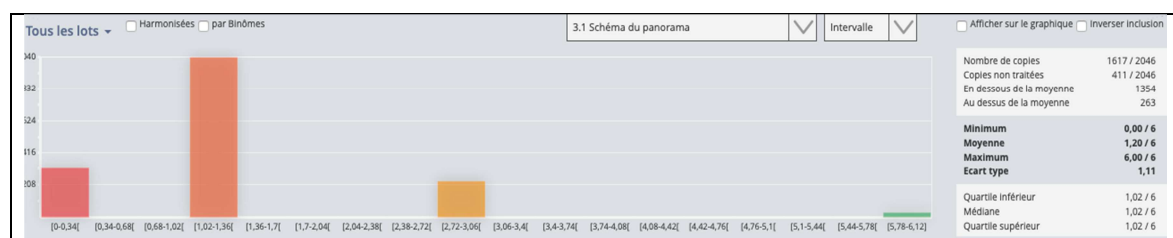
Les Alpes sont un exemple incontournable de chaîne de montagnes de collision pour les géologues français. Les marqueurs géologiques que l'on trouve dans les Alpes occidentales, à toutes les échelles, permettent d'argumenter sur les processus de formation des chaînes de montagnes.

Cette partie vise à interpréter quelques-uns de ces marqueurs, de nature variée (sédimentologiques, tectoniques, minéralogiques, etc...) tels qu'on les rencontre le long d'un transect d'Ouest en Est à travers les Alpes franco-italiennes.

Les lieux concernés par les observations proposées dans les **annexes 6 et 7**, sont indiqués sur l'extrait de carte géologique au millionième fourni en **annexe 5**.

Question 3.1 - Réalisez un schéma d'interprétation légendé du panorama fourni en annexe 6a du Vercors vu vers le SW depuis Voreppe, en vous aidant de l'extrait de carte géologique au 1/50 000 fourni en annexes 6b et 6c.





Question 3.2 - En vous aidant de l'interprétation du panorama et de la carte, proposez et datez un processus tectonique à l'origine des reliefs alpins dans la zone externe.

Le jury attendait ici une constatation sur le panorama d'une superposition stratigraphique « anormale », inverse, mettant en évidence un chevauchement. On pouvait alors proposer qu'un épaissement d'origine tectonique, par superposition d'unités crustales, pouvait avoir été à l'origine des reliefs. Le chevauchement affectant au plus jeune du miocène, on pouvait dater cet événement tectonique comme syn- ou post-miocène.

Depuis Voreppe on observe vers le sud/sud-ouest, vers le massif du Vercors, des escarpements à regard grossièrement nord, sculptés dans des niveaux calcaires durs, et séparés par des vires (ou replats) moins pentées et végétalisées correspondant à des niveaux marneux ou marno-calcaires plus tendres. L'ensemble de ces niveaux montre un pendage (de l'ordre de 20-30°) vers le sud/sud-est (à gauche), qui s'horizontalise vers le nord/nord-ouest : on a donc des terrains plissés.

L'extrait de carte géologique permet d'identifier les âges des barres calcaires. Au nord/nord-ouest on trouve de bas en haut une superposition normale allant du « Jurassique supérieur calcaire » aux calcaires du « complexe urgonien » (fin du crétacé inférieur), surmontés des « poudingues molassiques » du Miocène (au niveau de Veurey-Voroise). Immédiatement au sud/sud-est, et au-dessus des terrains miocènes, on rencontre cependant à nouveau des niveaux du Jurassique supérieur, avec deux escarpements de calcaires visibles, surmontés de marnes (végétation) puis d'une épaisse couche de calcaires urgoniens qui forme l'arrière-plan de la partie sud/sud-est (gauche) du panorama.

La succession stratigraphique semble donc inversée entre les couches du Miocène et du Jurassique : elle révèle la présence d'une faille inverse de grande ampleur : un chevauchement. Ce chevauchement est à « vergence » (sens de déplacement du bloc au-dessus du chevauchement) nord-ouest, la série au sud/sud-est (à gauche) chevauchant la série au nord/nord-ouest (à droite).

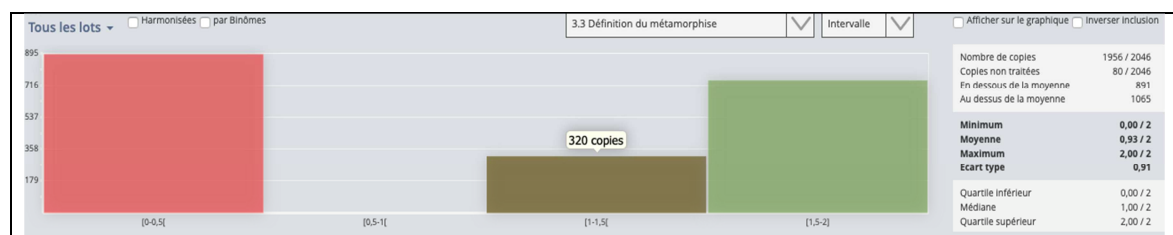
Plissement et chevauchement sont les résultats de mouvements tectoniques en raccourcissement selon un axe nord-ouest/sud-est (ayant exercé des contraintes compressives sur les terrains). Le chevauchement, par la superposition tectonique d'unités crustales, permet l'épaississement de la croûte (ou au moins ici de sa « couverture » sédimentaire).

Il est possible de donner un âge maximum à cet événement de raccourcissement ayant entraîné plis et chevauchement : ayant affecté les terrains du Miocène, ce raccourcissement est nécessairement syn- ou post-Miocène, c'est à dire plus récent que cette époque (23-5 Ma). On ne peut donner d'âge plus précis en raison de l'absence de contrainte sur l'âge minimal.



Question 3.3 - Définissez le métamorphisme

Le métamorphisme est la transformation à l'état solide d'une roche, marquée par la cristallisation de nouveaux minéraux et souvent de la déformation, sous l'effet de conditions de pression et/ou température différentes de celles de formation de la roche initiale (le protolithe).



Question 3.4 - Effectuez une analyse pétrologique de premier ordre de chacun des échantillons en annexe 7a à 7d puis présentez vos interprétations sous la forme d'un tableau regroupant les minéraux diagnostiqués, les faciès métamorphiques et la nature initiale de la roche ayant subi le métamorphisme pour les terrains présents dans chacune des 3 localités correspondantes.

Sur ces échantillons très classiques de la série métamorphique HP-BT des Alpes, le jury attendait une reconnaissance argumentée des échantillons avec identification des minéraux et paragenèses métamorphiques, des textures, faciès et protolithes.

L'échantillon 7a montre une déformation importante avec une linéation marquée par l'allongement de zones bleu-foncé et verdâtres, selon un axe haut-gauche/bas-droite. Ces zones entourent parfois des cristaux globulaires centimétriques bruns à verts. Les cristaux bleu-foncé allongés sont des glaucophanes. Les cristaux globulaires sont des pyroxènes plus ou moins « jadéitisés » (transformés en omphacite) et/ou chloritisés (rétromorphose). En blanc/verdâtre on reconnaît des feldspaths plagioclases probablement mêlés à de la jadéite. Cette texture et paragenèse est typique de celle d'un gabbro à gros cristaux (on reconnaît encore les pyroxènes magmatiques) métamorphisé : c'est donc un métagabbro, faciès schiste bleu (glaucophane). On pouvait remarquer une rétro-morphose partielle en faciès schiste vert.

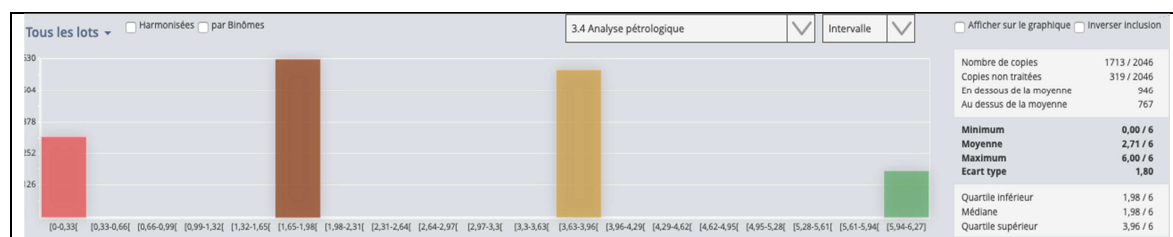
L'échantillon 7b est constitué de cristaux de quelques mm. Sa texture est isotrope. On reconnaît des cristaux globulaires rouges de grenat, des baguettes trapues vertes de jadéite, des plages interstitielles bleues-noires d'amphibole (glaucophane plus ou moins transformée) et quelques micas blancs. Cette paragenèse (grenat+jadéite) est celle de la roche « éclogite », issue de la transformation d'une roche de composition basaltique (basalte, gabbro) dans le faciès éclogite (c'est une metabasite faciès éclogite). Les échantillons 7c et 7d proviennent tout deux du même massif, celui de Dora Maira. On les analyse de manière groupée comme représentatifs de la même unité, donc ayant subi la même histoire métamorphique.

L'échantillon 7c montre une orientation nette des cristaux de en haut-gauche vers en bas-droite sur la photographie : il s'agit au moins d'une linéation marquant un allongement haut-gauche/bas-droite et probablement d'une foliation marquant un aplatissement haut-droite/bas-gauche (schéma). Les minéraux sont ségrégés en lits alternés de minéraux noirs fins, et blancs un peu plus épais. Dans les lits blancs on reconnaît de gros cristaux de feldspath atteignant 1 à 2 cm, contournés par lits noirs et blancs : ces cristaux pré-existaient donc à la déformation et au métamorphisme. Les feldspaths, probablement associés à du quartz, forment les lits clairs. Les lits noirs sont riches en biotite. Cette roche est donc un gneiss, issu du métamorphisme d'un granite à gros feldspaths (porphyroïde) : c'est donc un orthogneiss. On ne peut cependant pas en déterminer le faciès.

L'échantillon 7d montre une spécificité : la présence, en inclusion dans un cristal de grenat, d'une association de quartz et coésite, la forme de haute pression du quartz. L'inclusion est constituée de cristaux qui pré-existaient au grenat. Elle est entourée de fractures traversant le grenat, indiquant une augmentation de volume de l'inclusion après formation du grenat. Le quartz prenant plus de volume que la coésite, cela peut être dû à une transformation de la coésite en quartz. Difficile de déterminer le protolithe, mais il pourrait avoir été granitique comme l'échantillon 7c. L'échantillon 7d nous renseigne sur les conditions métamorphiques du massif de Dora Maira, et par là des deux échantillons 7c et 7d : un faciès éclogite à coésite (dite « ultra haute pression »).

Localité	Minéraux	Faciès	Roche initiale
----------	----------	--------	----------------

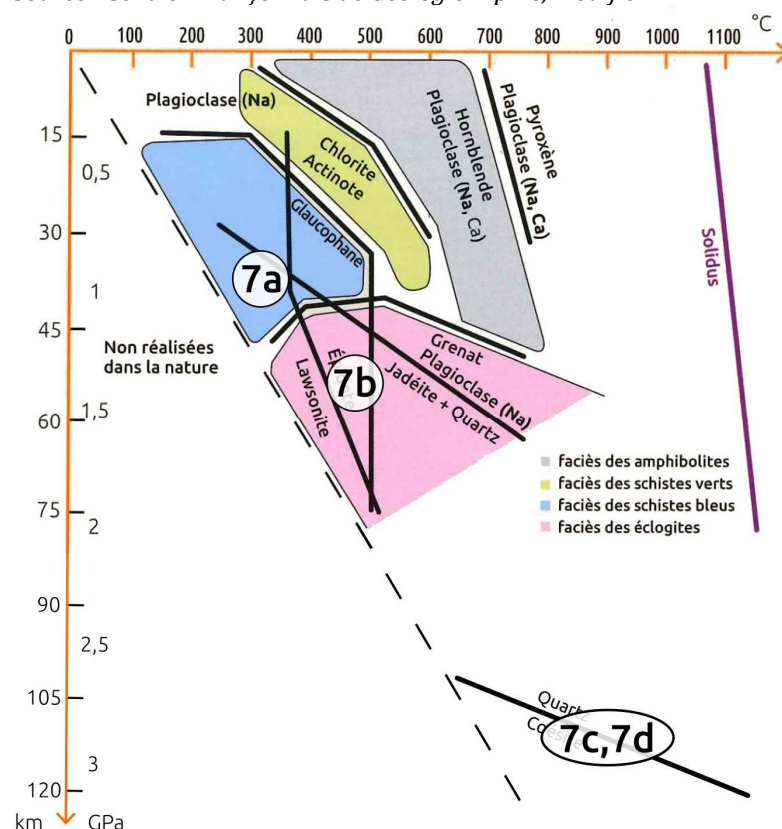
Château-Queyras	Glaucophane, feldspath, jadéite	Schiste bleu	Gabbro
Viso	Grenat, jadéite, glaucophane, mica blanc	Éclogite	Basalte ou Gabbro
Dora Maira	Feldspath, quartz, grenat, phengite, coésite	Éclogite (à coésite)	Granite

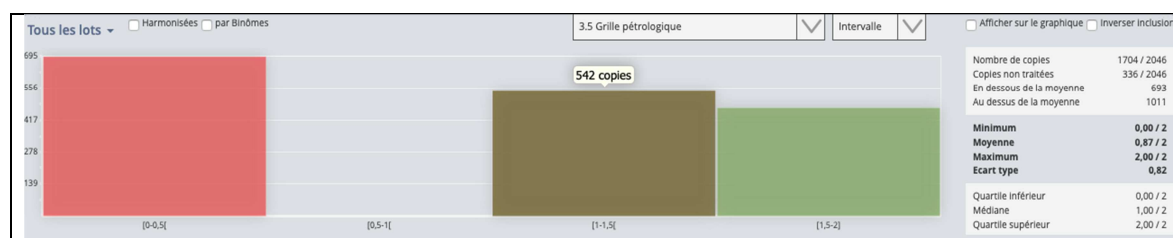


Question 3.5 - Placez les échantillons 7a, 7b, 7c et 7d dans la grille pétrogénétique fournie ci-dessous.

De manière classique, il s'agissait ici de replacer les échantillons aux conditions du pic (P,T) atteint lors du métamorphisme, indiqué par les paragenèses préservées dans ces échantillons.

Source : Centre Briançonnais de Géologie Alpine, modifié

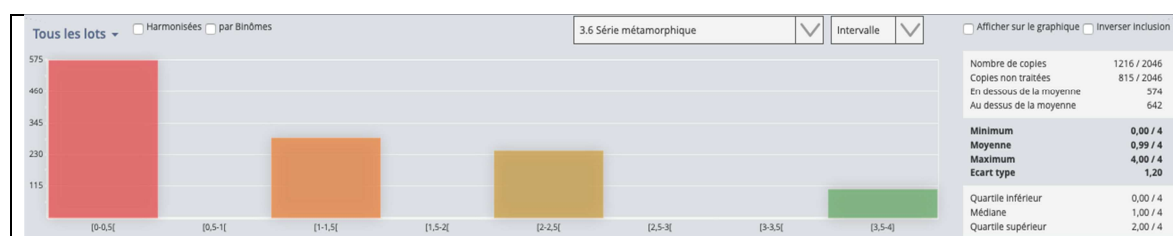




Question 3.6 - Identifiez, en argumentant, la série métamorphique illustrée par les échantillons 7a à 7d et calculez le gradient géothermique correspondant grâce à la grille pétrogénétique.

La série métamorphique illustrée par les échantillons 7a à 7d est caractérisée par les faciès schiste bleu et élogite. Il s'agit de la série métamorphique dite « franciscaine » de haute pression et basse température.

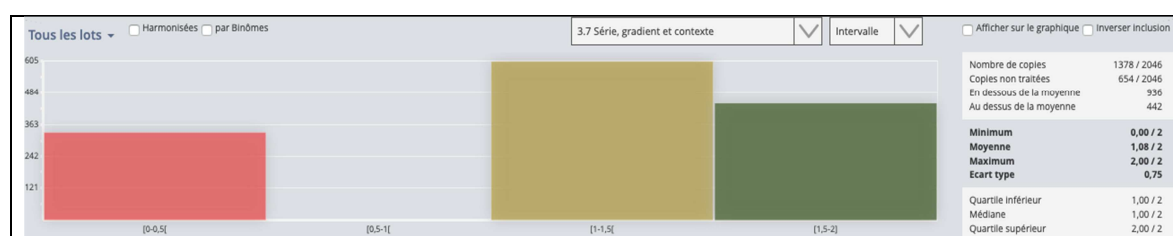
Le placement des échantillons 7a à 7d dans la grille pétrogénétique (Q.3.5) permet de tracer un gradient (P,T) linéaire passant par les 3 localités et l'origine. Ce gradient passe vers 100 km pour 700°C à 800°C, ce qui correspond donc à un gradient géothermique de 7 à 8°C/km.



Question 3.7 - Concluez quant au contexte géodynamique de formation de cette série métamorphique en précisant les conséquences en termes de dynamique du relief.

Suite à l'identification d'un contexte de subduction, le jury attendait un commentaire permettant de faire un lien logique entre cette subduction ancienne et le relief actuel (les Alpes).

Le contexte géodynamique d'une série métamorphique de haute pression et basse température est la subduction, c'est à dire l'enfoncement d'une plaque lithosphérique dans le manteau. Ici la plaque lithosphérique subduite était en partie océanique (basalte, gabbro) et en partie continentale (granite). Les subductions sont souvent associées à des mouvements convergents et à du raccourcissement. Dans les Alpes, suite à une subduction océanique puis continentale de la plaque européenne, ce raccourcissement a entraîné la superposition d'unités dont le résultat est maintenant une croûte continentale épaissie. Du fait de l'isostasie, cet épaississement se traduit par une zone de relief positif : une chaîne de montagnes (les Alpes).



Question 3.8 - Donnez la définition de la densité.

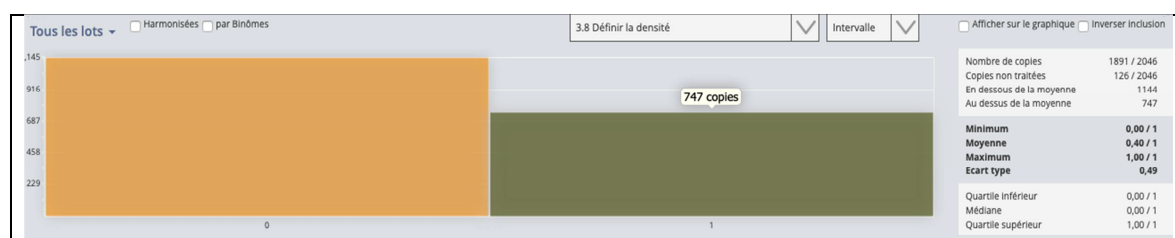
On accepte l'équation et/ou une définition rédigée.

D (densité) est une grandeur sans unité et indication de l'unité de la masse volumique ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

Eau : corps de référence à 4°C

$$\rho_{\text{eau}} = 1000\text{kg}/\text{m}^3 = 1\text{g}/\text{cm}^3$$

$$d = \frac{\rho_{\text{échantillon}}}{\rho_{\text{eau}}} = \frac{\frac{m_{\text{échantillon}}}{V_{\text{échantillon}}}}{\frac{m_{\text{eau}}}{V_{\text{eau}}}}$$



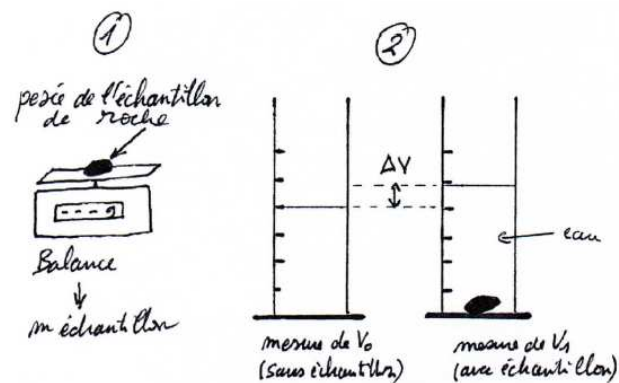
Question 3.9 - Schématisez un montage permettant, en classe, de calculer la densité de ces roches.

En s'appuyant sur la formule de la densité, il s'agit donc de présenter un montage permettant de calculer la masse volumique de la roche et donc de calculer la densité (protocole).

Tenir compte de la mesure et de son imprécision

Matériel :

Une éprouvette graduée, échantillon de roche, une balance, de l'eau



③ Calcul de la masse volumique de l'échantillon

$$\rho_{\text{échantillon}} = \frac{m}{\Delta V}$$

④ Calcul de la densité de l'échantillon

$$d = \frac{\rho_{\text{échantillon}}}{\rho_{\text{eau}}}$$

Autre montage utilisant : Un vase à trop plein de Boudreau, un bécher, une éprouvette graduée, une balance de l'eau



Question 3.10 - Des productions d'élèves sont présentées en annexe 9b : proposez une grille détaillant les critères permettant d'évaluer ces productions puis réalisez une analyse de chacune d'elles afin de dégager des pistes utiles à la formation des élèves.

Il s'agit d'évaluer une présentation de résultats pour les communiquer. On s'intéresse au choix de la présentation et la qualité technique de celle-ci, aux informations qu'elle apporte et à leur organisation qui doit être en rapport avec le problème à traiter.

Par exemple :

<i>Attendus</i>		<i>Evaluation</i>
<i>Techniquement correcte</i>	<i>Soignée</i>	<i>Niveau A : trois critères</i>
	<i>Lisible</i>	
	<i>appropriée</i>	
<i>Bien renseignée</i>	<i>Informations complètes</i>	<i>Niveau B : deux des trois critères</i>
	<i>Exactes</i>	
<i>Bien organisée</i>	<i>En rapport avec le problème à traiter</i>	<i>Niveau C : un seul des trois critères</i>
		<i>Niveau D : rien à valoriser</i>

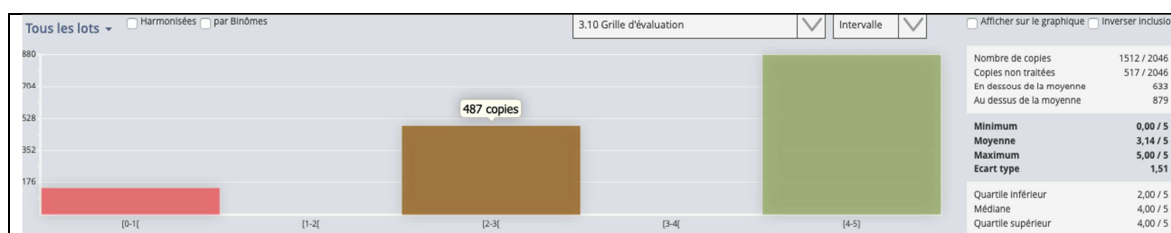
Production 1 : niveau A

Tableau bien organisé puisqu'il propose un tri sur les roches puis sur leurs caractéristiques, qui sont correctement renseignées (informations complètes, unités, calculs, densité et identifications minéraux et domaines de stabilité...), techniquement correct (à part l'absence de cadre global). L'ensemble prépare à la comparaison des densités et à l'interprétation minéralogique des différences observées. La colonne sur les domaines de stabilité parachève la présentation en apportant une information qui sera utile à l'interprétation des résultats.

Association pertinente du tableau et d'un court commentaire qui découle du choix de présentation et renforce la qualité de celle-ci.

Production 2 : niveau D

Présentation qui présente un défaut d'organisation, très incomplet en termes d'informations, techniquement non maîtrisé (deux tableaux dont un à simple entrée qui correspondrait à une ligne de l'autre tableau...)



Question 3.11 - En vous appuyant sur ces résultats, mettez en évidence la

relation qui existe entre les transformations minéralogiques subies par les roches soumises à un gradient métamorphique et leur densité. Vous expliquerez en quoi cette relation permet, selon l'objectif du programme, de reconstituer l'orientation de la convergence alpine.

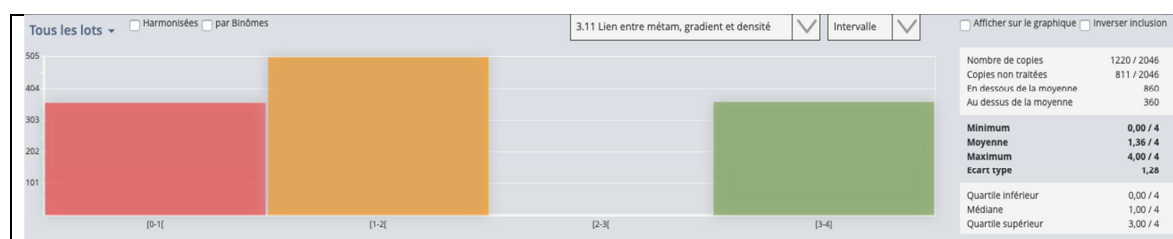
Les observations de roches et leur localisation : metagabbro (annexe 7a), au NO ; élogite (annexe 7b), au SE.

L'identification des minéraux caractéristiques qui les composent : glaucophane pour le metagabbro (faciès schiste bleu) ; grenat + jadéite pour l'élogite (faciès élogite).

Le calcul de leur densité : élogite plus dense (3,7) que le metagabbro (3,2).

Les domaines de stabilité des minéraux : les deux roches appartiennent à une série métamorphique de type HP/BT correspondant à un contexte géodynamique de type subduction (informations apportées par la grille pétrogénétique question 3.5)

Les conditions de pression et de température subies par les roches sont de plus en plus importantes du Nord-Ouest vers le Sud-Est et permettent d'en déduire que ces roches sont témoins d'une subduction orientée du nord ouest vers le sud est.



Partie 4 : la Loire et la dynamique de son bassin versant

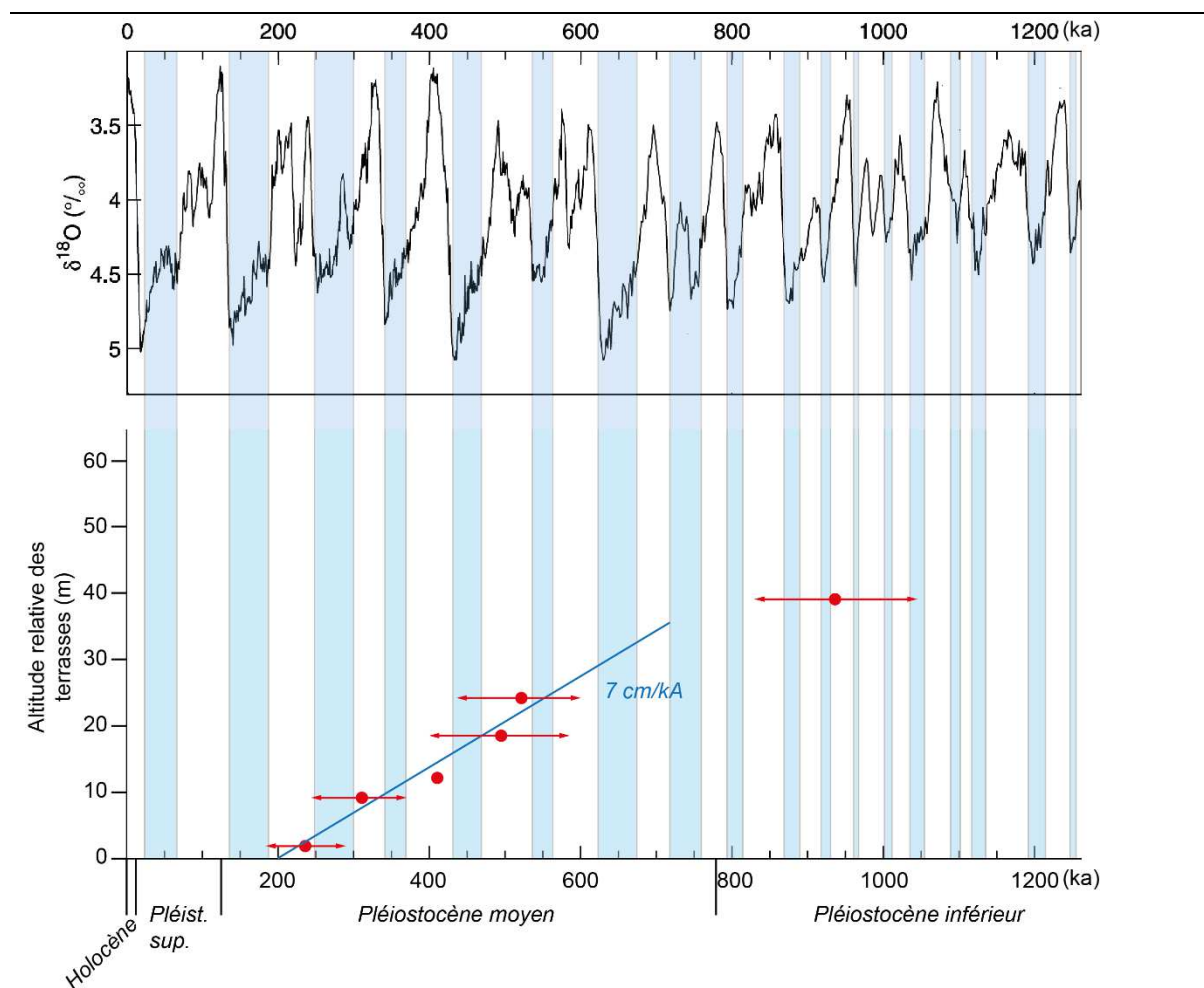
Question 4.1 - En vous appuyant sur les documents de l'annexe 10, identifiez les trois régions géologiques distinctes qui caractérisent le substratum du bassin versant de la Loire.

Le substratum du bassin versant de la Loire est constitué de la partie :

- orientale du Massif Central (dont la plaine du Forez) ;
- méridionale du Bassin Parisien ;
- méridionale du massif Armoricaïn.



Question 4.2 - A l'aide de l'annexe 11, complétez le document-réponse (page suivante). Après avoir rappelé l'intérêt de déterminer la composition isotopique des glaces anciennes ou des foraminifères benthiques dans l'étude de l'évolution récente du climat vous proposerez un scénario de mise en place des terrasses fluviales de la vallée du Loir.



Courbe isotopique déterminée à partir de tests calcaires de foraminifères benthiques et altitude relative des terrasses.

Source : modifié depuis Lisiecki et Raymo, *Paleoceanography* – 2005

Le $\delta^{18}\text{O}$ des tests calcaires quantifie la quantité d'isotope 18 de l'oxygène par rapport à celle de l'isotope

$$16 \text{ dans un échantillon : } \delta^{18}\text{O} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{échantillon}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{PDB}}} - 1 \right) \times 1000.$$

$\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{PDB}}$ étant le rapport isotopique de référence (PeeDee Belemnite) d'un rostre de Belemnite de la formation PEEDEE aux Etats-Unis.

Au cours des changements de phase de l'eau, il y a fractionnement des isotopes de l'oxygène ce qui provoque une modification du $\delta^{18}\text{O}$ des précipitations en un lieu donné en fonction de la température globale de la Terre.

En période de refroidissement, il y a diminution du $\delta^{18}\text{O}$ des précipitations dans les hautes latitudes en raison de l'appauvrissement en vapeur et en H_2^{18}O des nuages lors de leur transport. Les glaces polaires sont alors très appauvries en ^{18}O et leur $\delta^{18}\text{O}$ est très négatif, ce qui provoque corrélativement un enrichissement en ^{18}O des eaux océaniques. Les tests carbonatés des foraminifères étant en équilibre isotopique avec l'eau des océans, le $\delta^{18}\text{O}$ des ces tests augmente lors d'une période glaciaire.

A l'inverse, en période interglaciaire, la fonte des calottes polaires au $\delta^{18}\text{O}$ très négatif diminue le $\delta^{18}\text{O}$ océanique ce qui conduit à une diminution du $\delta^{18}\text{O}$ des tests carbonatés des foraminifères.

La détermination de la composition isotopique des glaces anciennes ou des foraminifères benthiques fossiles permet ainsi de reconstituer l'histoire climatique récente de la Terre.

Dans l'annexe 11, on constate que le Loir a mis en place des terrasses fluviatiles dont la disposition pourrait s'expliquer par l'hypothèse eustatique simple :

- En période interglaciaire, la fonte des glaciers provoque une élévation du niveau marin et donc une diminution de l'hydrodynamisme de la rivière qui conduit à une phase d'alluvionnement ;
- En période glaciaire, la croissance des glaciers provoque une diminution du niveau marin et donc une augmentation de l'hydrodynamisme de la rivière qui conduit à une phase d'incision.

Un niveau supplémentaire de détail pouvait être envisagé en faisant intervenir un facteur bio-rhexistatique, sans qu'il ait été exigé de la part des candidats :

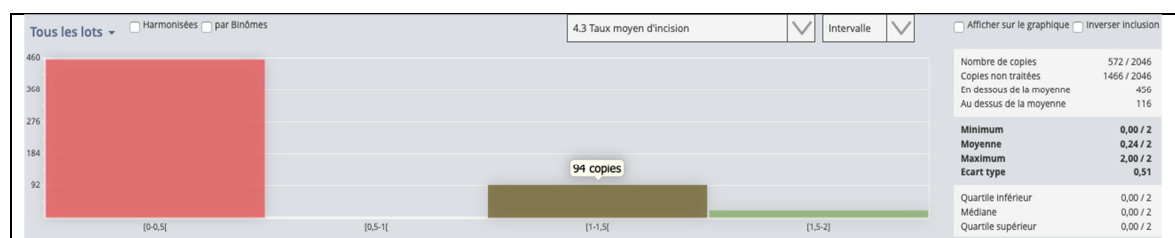
- Au début de la période glaciaire, l'abaissement du niveau marin lié au stockage continental des glaces modifie le profil d'équilibre de la rivière, augmente son hydrodynamisme et provoque l'incision du substratum ;
- Au maximum glaciaire, la couverture végétale est réduite, le ruissellement s'accroît et la charge sédimentaire de la rivière augmente conduisant à un alluvionnement : la mise en place d'une nouvelle nappe débute ;
- Au début de la période interglaciaire, la fonte des glaciers provoque une augmentation du niveau marin qui conduit à une diminution de l'hydrodynamisme de la rivière et poursuit l'alluvionnement ;
- Au maximum interglaciaire, la couverture végétale est abondante et diminue le ruissellement, la charge sédimentaire de la rivière est très faible. La rivière creuse son lit lors de périodes de forts débits.

De plus, l'annexe 11 montre que les terrasses fluviatiles mises en place par le Loir sont des terrasses étagées et non emboîtées. Cette disposition particulière traduit un phénomène érosif suffisamment important pour entailler intégralement les terrasses les plus anciennes. Ainsi, on peut par exemple proposer qu'un phénomène de surrection tectonique se superpose à l'alternance des périodes glaciaires et interglaciaires.



Question 4.3 - Calculez le taux moyen d'incision de la vallée du Loir au cours du Pléistocène moyen.

La construction d'une droite de régression linéaire à partir des points précédents donne un taux d'incision au Pléistocène moyen de l'ordre de 7 cm/ka.



Question 4.4 - Proposez un QCM (Questionnaire à Choix Multiples) composé de 3 questions permettant aux élèves de s'appropriier le diagramme de Hjulström. Chaque question comprendra une série de 3 propositions avec une seule bonne réponse que vous identifierez.

Le QCM doit mettre en relation vitesse du courant / diamètre des grains et comportement sédimentaire et couvrir les 3 domaines sédimentation / transport / érosion + transport du diagramme.

Trois **exemples** de question :

- Déterminer quelle vitesse de courant permettra le dépôt d'une particule de 1mm de diamètre :
 - 100 cm/s
 - 10 cm/s
 - 1 cm/s

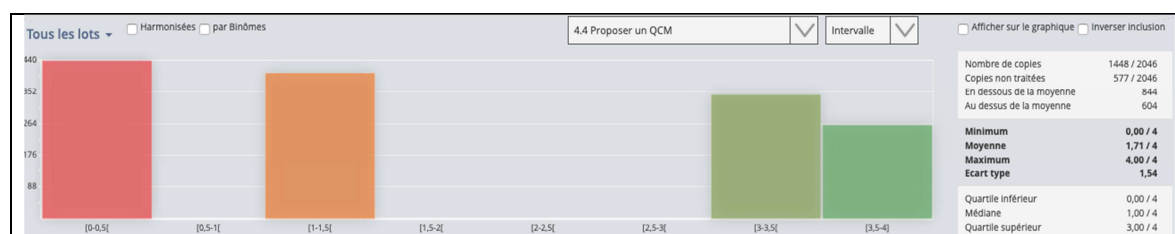
Réponse c

- Des particules de 0,1 mm de diamètre sont déposées au fond d'une rivière . déterminer quelle vitesse permettra de remettre en suspension et de transporter ces particules dans la colonne d'eau :
 - 100 cm/s
 - 5 cm/s
 - 0,2 cm/s

Réponse a

- Les particules inférieures à 0,01 mm :
 - nécessitent une vitesse de courant supérieure à 1 cm/s pour sédimenter
 - nécessitent une vitesse de courant inférieure à 100 cm/s pour être érodées
 - sont transportées par un courant à la vitesse de 10 cm/s

Réponse c



Question 4.5 - Expliquez quel intérêt pédagogique présenteraient l'observation et l'analyse des échantillons de différents sables alluvionnaires de la Loire ; puis présentez, en vous aidant d'un schéma, le protocole permettant de réaliser une analyse granulométrique d'échantillons de sables alluvionnaires

Intérêt pédagogique proposé :

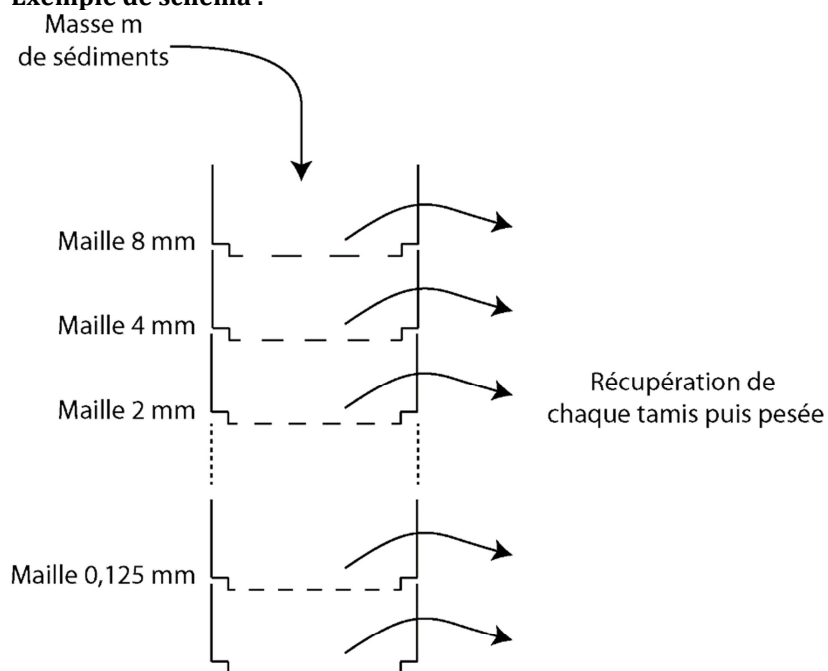
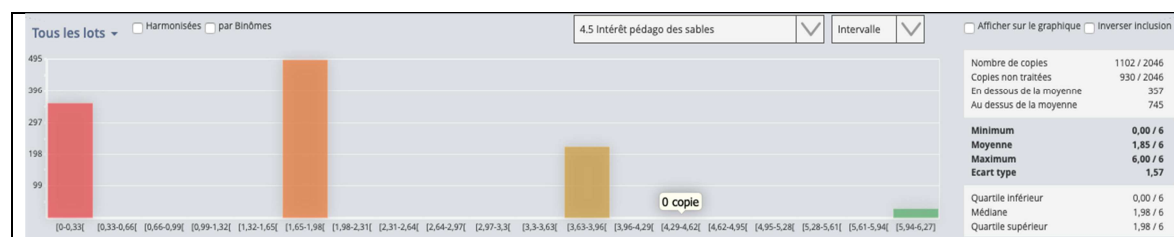
Déterminer la diversité de nature, de taille, de forme et d'aspect des grains de façon à relier ce sable à l'érosion de roches mères et à son transport par un agent fluviatile, puis, à l'aide du tamisage, établir une relation entre granulométrie des échantillons et distance de transport des particules. On constate alors une diminution de la taille moyenne du sable depuis l'amont vers l'aval de la Loire, en raison à la fois de l'érosion des particules au cours du transport, mais aussi (et surtout) de leur dépôt au fur et à mesure de la diminution de la vitesse du courant conformément au diagramme de Hjulström.

Protocole expérimental :

Une masse m de chaque échantillon de sable de Loire est passé à la colonne de tamisage puis le refus de chaque tamis est pesé. À l'aide d'un tableur, on peut ainsi construire plusieurs graphiques : pourcentage massique en fonction de la taille des particules, courbe cumulative puis détermination du diamètre moyen.

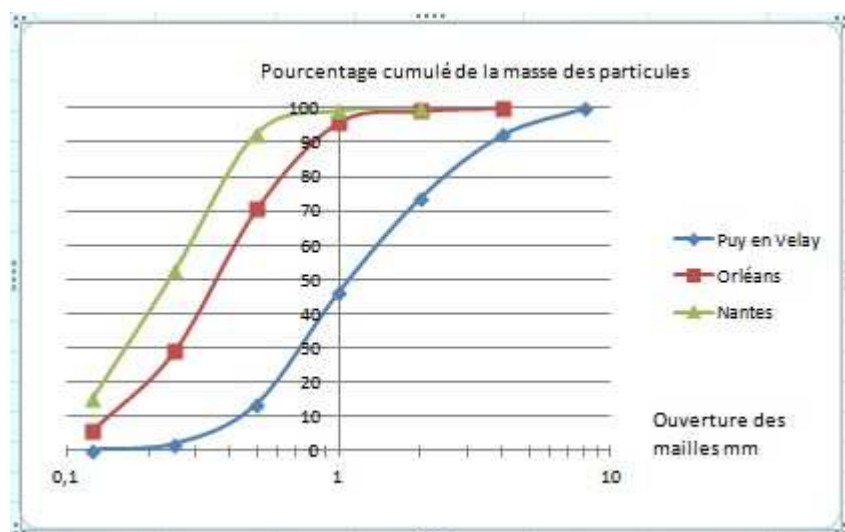
Schéma faisant apparaître :

- Des tamis à diamètre de maille variable et décroissant ;
- Une masse tamisée identique entre chaque échantillon ;
- La récupération et pesée du refus de chaque tamis.

Exemple de schéma :**Protocole de tamisage d'un sable de Loire****Question 4.6 - Interprétez les résultats d'analyse granulométrique présentés en annexe**

13 et concluez quant au rôle de la Loire sur l'évolution des reliefs.

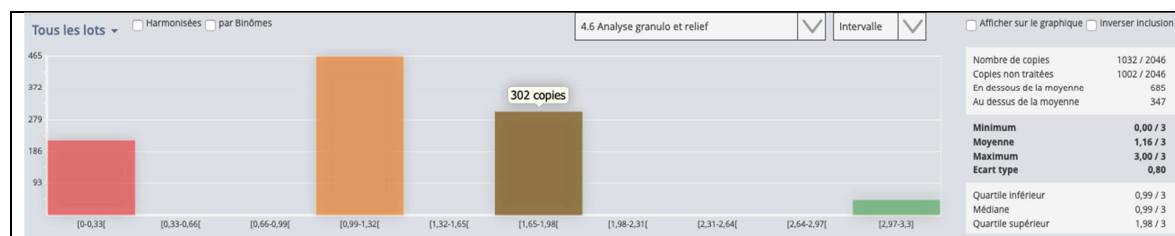
On constate une diminution de la taille moyenne des particules depuis l'amont vers l'aval qui pourrait être mise en évidence avec certitude à l'aide d'un graphique du pourcentage massique en fonction de la taille des particules et/ou de la courbe cumulative, par exemple :



(le graphique n'était pas attendu).

En mettant en relation ces résultats avec le diagramme de Hjulström, on peut expliquer cette diminution de taille moyenne par un tri granulométrique exercé par la Loire : de l'amont vers l'aval du fleuve, la vitesse moyenne du courant diminue et provoque la sédimentation des particules les plus grossières tandis que les particules les plus fines continuent d'être transportées.

Ainsi la Loire participe à l'évolution des reliefs en transportant les produits de l'érosion sous forme de particules solides dans la colonne d'eau.



Épreuves d'admission

En préalable d'une approche détaillée des deux épreuves constitutives de l'admission, le tableau ci-dessous résume **les domaines de compétences qu'elles évaluent conjointement** (domaines scientifique, domaine didactique et pédagogique, attitudes) **ou respectivement** (la mise en œuvre d'une activité pratique pour l'une, les perspectives éducatives et métier pour l'autre) ainsi que les **résultats obtenus lors de la session 2019**.