

Les roches continentales, témoins de l'histoire de la Terre

L'histoire de la Terre est jalonnée par de grandes variations climatiques et un déplacement des continents. Ces événements géologiques enregistrés dans les roches ont grandement influencé l'évolution de la vie. Au contraire des roches océaniques régulièrement renouvelées, les roches continentales constituent des archives du temps et permettent de retracer l'histoire de la Terre depuis 4,28 milliards d'années, âge des roches les plus anciennes.

Montrer comment des indices géologiques présents sur les continents permettent de mettre en évidence des événements tectoniques et climatiques passés.

A partir de vos connaissances, vous rédigerez un texte argumenté, appuyé sur quelques observations et exemples que vous jugerez pertinents.

Le passé mouvementé du Massif central

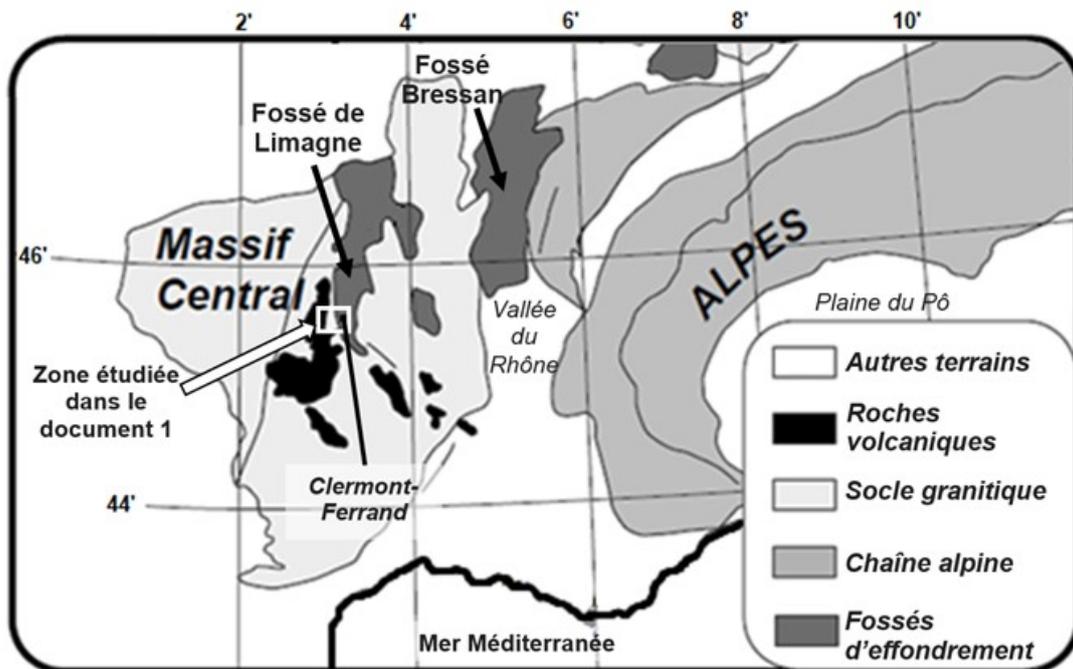
Le Massif central, vestige d'un ancien orogène, se dresse à l'ouest des Alpes, grande chaîne de montagnes géologiquement récente, comme cela est visible sur le document de référence.

Le Massif central comporte aujourd'hui la chaîne des Puys, un ensemble d'environ 80 volcans s'étirant le long d'un axe nord-sud. A l'est de cet alignement se trouve le fossé d'effondrement de Limagne délimité par la faille de Limagne.

Proposer une reconstitution de l'histoire du Massif central en datant ses principales formations géologiques (socle granitique, roches volcaniques et faille de Limagne) et en montrant sa relation avec l'orogénèse alpine.

Vous organiserez votre réponse selon une démarche de votre choix intégrant des données des documents et les connaissances utiles.

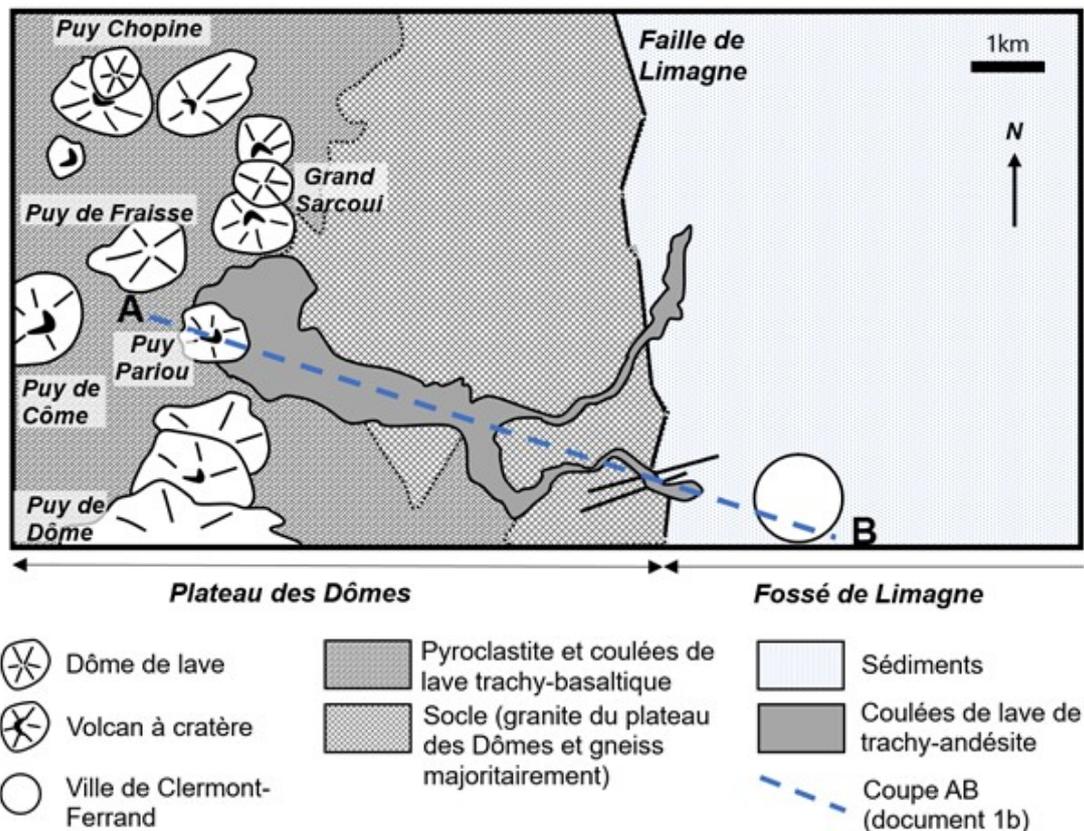
Document de référence : situation de la zone étudiée au sein des grands ensembles géologiques régionaux



Source : d'après thèse de Laurent Michon, 2000

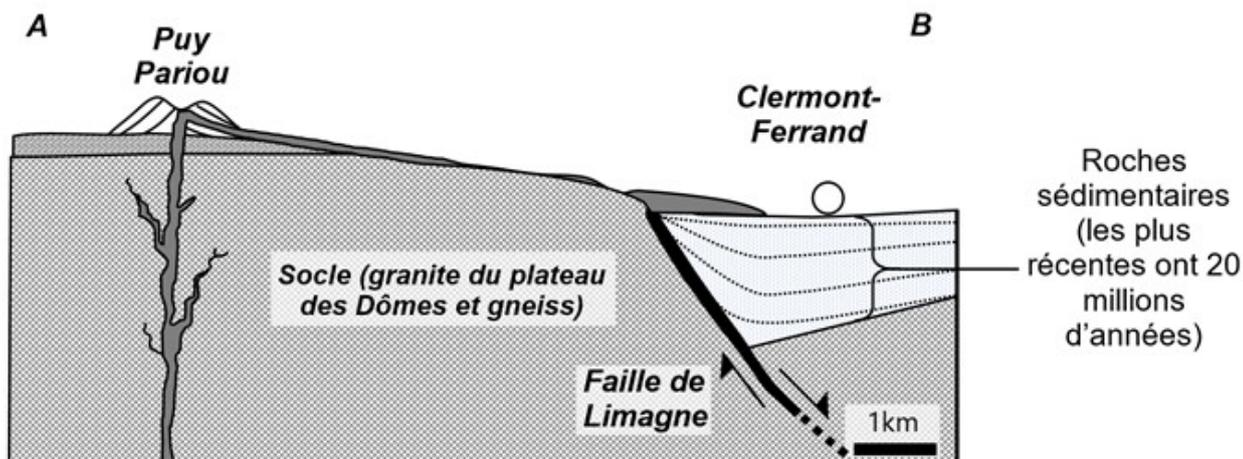
Document 1 : carte et coupe géologique de la zone étudiée

Document 1a : carte simplifiée des principales formations géologiques de la zone étudiée



Remarque : une pyroclastite est une roche constituée par l'accumulation de débris de roches magmatiques éjectés par les volcans lors des éruptions.

Document 1b : coupe géologique simplifiée selon le tracé AB présent sur le document 1a.



Remarques :

– La faille de Limagne est une faille normale bordant le fossé d'effondrement de Limagne sur son bord ouest.

– La légende des terrains en présence est identique au document 1a.

Document 2 : datation d'un granite du Massif central.

Document 2a : principe de la datation par le couple Rubidium/Strontium

Certains minéraux du granite ont incorporé lors de leur formation du rubidium ^{87}Rb ainsi que du strontium ^{87}Sr et ^{86}Sr . Au cours du temps, la quantité de strontium ^{87}Sr dans le granite augmente. Elle provient de la désintégration du rubidium ^{87}Rb . On a mesuré à l'aide d'un spectromètre de masse les nombres d'atomes (N) de ^{87}Sr , ^{86}Sr et ^{87}Rb présents dans les minéraux du granite ou dans différents échantillons du même granite. Les résultats sont exprimés sous la forme d'un rapport isotopique.

On peut alors déterminer l'âge de ce granite en utilisant la méthode des isochrones.

On construit une droite à partir des rapports isotopiques ($^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) de certains minéraux du granite (orthose, mica blanc, mica noir) ou de plusieurs échantillons du même granite. La droite obtenue est nommée droite isochrone. Son équation ci-dessous est du type $y = a x + b$.

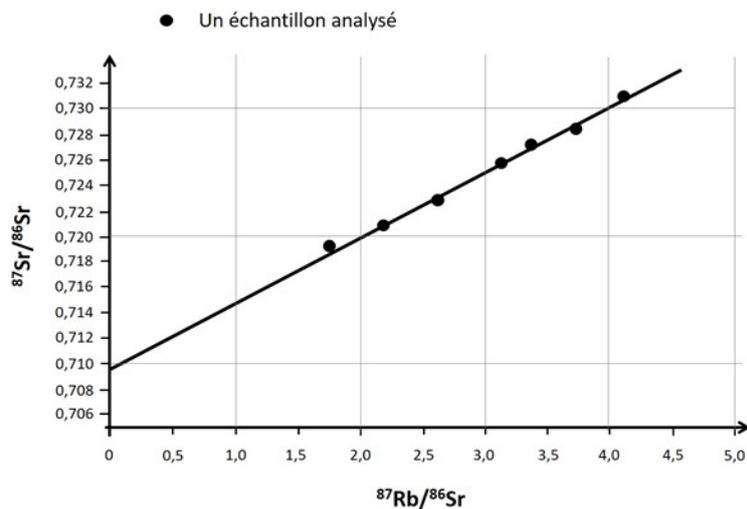
$$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{mesuré}} = (e^{\lambda t} - 1) \left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{mesuré}} + \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{initial}}$$

Avec la constante de désintégration $\lambda = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$.

On peut alors retrouver t en calculant « a » à partir de la droite isochrone à l'aide de la formule suivante :

$$t = \frac{\ln(a + 1)}{\lambda}$$

Document 2b : droite isochrone issue de l'étude de différents échantillons d'un même granite du Massif central.



$$t = \frac{\ln(a + 1)}{\lambda}$$

Document 2c : tableau de valeur de la fonction

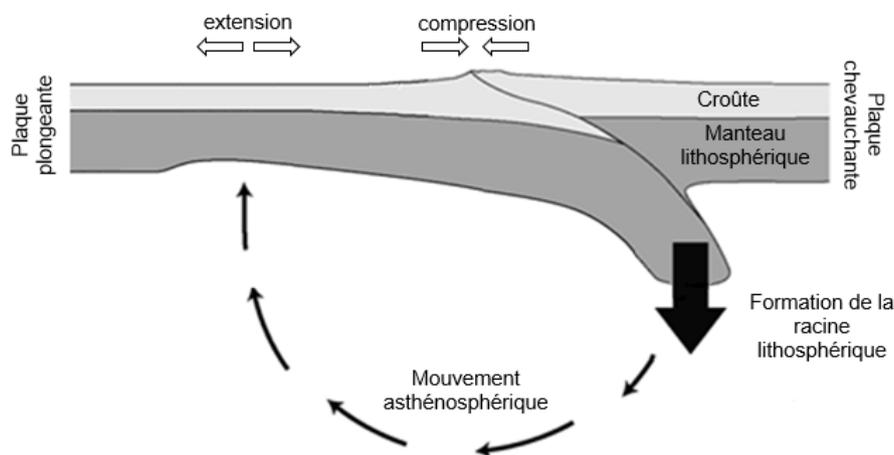
Coefficient directeur de l'isochrone noté « a »	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010
Age du granite noté « t » en millions d'années	141	211	281	351	421	491	561	631	701

On considérera que le granite du plateau des Dômes (visible sur le doc 1a et 1b) s'est formé à la même époque que le granite étudié ici.

Document 3 : conséquence de la formation d'un nouvel orogène

La naissance d'une nouvelle chaîne de montagnes par la collision continentale amène à la formation d'une racine lithosphérique.

Des simulations numériques ont montré que la formation d'une profonde racine peut parfois engendrer un mouvement de l'asthénosphère à l'origine d'une extension dans la lithosphère plongeante.

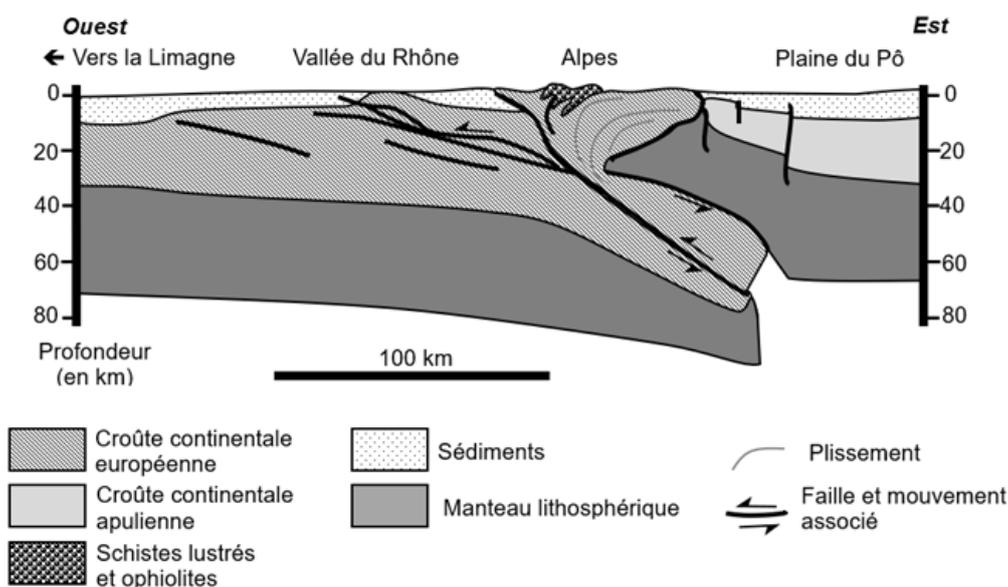


Document 4 : schéma d'une coupe interprétative de la vallée du Rhône à la plaine du Pô

De nombreux indices géologiques ont permis de reconstituer l'histoire de l'orogène alpin.

Au Crétacé supérieur, il y a -100 millions d'années environ, débute la subduction de l'océan alpin. Sa fermeture amène à la collision des lithosphères continentales européenne et apulienne, il y a environ 30 millions d'années, au cours de l'Oligocène. Les Alpes se forment alors.

Une coupe actuelle simplifiée des Alpes occidentales est présentée ci-dessous.



	Critères de réussite	Eléments de correction	
La synthèse répond complètement au problème	<p>- La problématique est correctement posée et explicitée en introduction (et donc les termes du sujet sont définis)</p>	<p>Problèmes posés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le problème est posé en introduction et la démarche permet de répondre aux problèmes posés. <p>Définition des termes scientifiques du sujet :</p> <ul style="list-style-type: none"> - indices géologiques (roches ou structures géologiques) / on se limite aux indices retrouvés sur les continents - évènements tectoniques = liés au déplacement des plaques lithosphériques - évènements climatiques = liés aux modifications du climat 	
	<p>- Le développement répond à cette problématique de façon logique</p> <ul style="list-style-type: none"> - la synthèse est structurée en plusieurs parties et /ou paragraphes, qu'on identifie clairement et qui respectent la logique du raisonnement utilisé. - toutes les grandes parties nécessaires pour répondre au sujet sont présentes - les connaissances ne sont pas seulement exposées mais utilisées pour répondre au sujet. - il n'y a pas de hors sujet (tous les textes et les schémas sont utiles pour répondre au problème) 	<p>Idées essentielles</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Des indices géologiques continentaux permettent de reconstituer des évènements tectoniques du passé : - rifting/expansion océanique /subduction océanique /collision <input type="checkbox"/> Des indices géologiques continentaux permettent de reconstituer des évènements climatiques du passé 	
La synthèse est complète, structurée et bien argumentée.	<p>- tous les éléments indispensables pour répondre au sujet sont présents</p> <p>- Un nombre suffisant d'arguments scientifiques (expériences, observations, exemples) viennent étayer l'exposé de façon judicieuse</p> <p>- les connaissances et les arguments exposés sont scientifiquement exacts et la synthèse utilise le vocabulaire scientifique approprié.</p> <p>- La synthèse utilise des connecteurs logiques pour mettre en relation les différents éléments de réponse entre eux et répondre au problème</p>	<p>1. Des indices géologiques continentaux permettent de reconstituer des évènements tectoniques du passé</p> <p>A. Rifting</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Failles normales / blocs basculés/ roches sédimentaires associées retrouvées sur les continents témoignent d'une ancienne étape de rifting <p>B. Expansion océanique</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> On retrouve dans les chaînes de montagnes des ophiolites constitués d'une association de basaltes, de gabbros (parfois métamorphisés dans le faciès schiste vert) et de péridotites (souvent serpentinisées). Ces ophiolites sont des lambeaux de LO incorporées à la chaîne de montagnes au cours de la collision par obduction. Les ophiolites obduites témoignent donc d'une ancienne étape d'expansion océanique. <input type="checkbox"/> Failles inverse / nappes de charriage <p>C. Subduction</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> on retrouve dans les chaînes de montagnes des ophiolites formées de métagabbros du faciès schiste bleu ou éclogite. Elles correspondent à des lambeaux de lithosphère océanique entrés en subduction puis ayant subi une exhumation en surface. Les ophiolites subduites témoignent donc d'une ancienne étape de subduction océanique. <p>D. Collision</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Au cours de la collision des structures géologiques comme les plis, les failles inverses, les chevauchements et les nappes de charriages se mettent en place. <i>Schéma possible, par ex pli ou faille inverse.</i> <input type="checkbox"/> Au cours de la collision, l'enfouissement de roches peut conduire à la formation de roches métamorphiques, de migmatites (roches ayant subi un début de fusion) ou de granites d'anatexie (par fusion totale de la roche, formation d'un magma qui forme un pluton en recristallisant). <input type="checkbox"/> La présence de telles structures et de telles roches témoigne d'une ancienne étape de collision, même en absence de reliefs (ont été érodés). 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Etude des rifts actuels (rift des Afars, est Afrique) <input type="checkbox"/> Ex de sédiments syn rift : roches sédimentaires issues de l'érosion des bords du rift comme les conglomérats, roches sédimentaires issues de l'évaporation des eaux de ruissellement comme les évaporites. <input type="checkbox"/> Ex des ophiolites du Chenaillet dans les Alpes → océan Alpin <input type="checkbox"/> Serpentinites de la lande du Cluzeau en Limousin → océan Massif Central <input type="checkbox"/> Ex des ophiolites du Queyras et du Mont Viso dans les Alpes → subduction océan Alpin <input type="checkbox"/> Eclogites du Puy Bavaud en Limousin → subduction océan massif central avant orogénèse Varisque <input type="checkbox"/> Observation de plis, failles inverses, nappes de charriage (terrains plus anciens au-dessus de terrains plus récents) <input type="checkbox"/> Ex et observations de roches métamorphisées : schiste, gneiss. <input type="checkbox"/> Observations de migmatites <input type="checkbox"/> Gneiss de Couzeix, migmatites de Isle et granite d'anatexie de Blond → collision de l'orogénèse Varisque

<p>La synthèse est complète, structurée et bien argumentée.</p>	<p>- tous les éléments indispensables pour répondre au sujet sont présents</p> <p>- Un nombre suffisant d'arguments scientifiques (expériences, observations, exemples) viennent étayer l'exposé de façon judicieuse</p> <p>- les connaissances et les arguments exposés sont scientifiquement exacts et la synthèse utilise le vocabulaire scientifique approprié.</p> <p>- La synthèse utilise des connecteurs logiques pour mettre en relation les différents éléments de réponse entre eux et répondre au problème</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Des indices géologiques continentaux permettent de reconstituer des évènements climatiques du passé <input type="checkbox"/> basé sur le principe d'actualisme : les principes géologiques valables aujourd'hui l'étaient par le passé <input type="checkbox"/> Les roches sédimentaires continentales peuvent contenir des fossiles permettant de déduire le climat (ex pollens permettent de reconstituer biomes et donc climat de l'époque) <input type="checkbox"/> Les moraines / blocs erratiques / roches striées témoignent d'un climat local froid, puisqu'elles sont la conséquence de la présence d'un glacier. L'étude des moraines frontales met en évidence l'avancée et le recul d'un glacier et donc l'évolution locale du climat. <input type="checkbox"/> Certaines roches sont caractéristique de climats chauds : latérites / bauxites (roches rouges typiques d'un climat tropical selon actualisme) / évaporites (roches salines formées par évaporation dans des milieux très secs) <input type="checkbox"/> la présence de gisements de charbons témoigne d'un climat localement chaud et humide propice au développement d'une végétation luxuriante. <input type="checkbox"/> L'analyse du rapport isotopique $\delta^{18}O$ de la glace prélevée sur le continent Antarctique renseigne sur la température de formation de la glace (plus ce rapport est faible, plus la température est faible) <input type="checkbox"/> L'analyse de l'atmosphère des bulles d'air de la glace permet de remonter à la teneur de GES de l'époque et donc à la température moyenne. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> ex de diagramme pollinique d'une tourbière (pollens typiques de climat froid : graminées, bouleau/ Pollen typiques climats tempérés : chêne, noisetier etc...) <input type="checkbox"/> feuilles de ginko fossilisées permettant de calculer l'indice stomatique qui dépend de la teneur en CO2 de l'époque <input type="checkbox"/> La présence du bloc erratique de la croix rousse (Lyon) témoigne de l'existence d'un très grand glacier/ moraines Alpines et recul des glaciers etc... <input type="checkbox"/> roches rouges typiques du crétacé <input type="checkbox"/> grands gisements de charbon du Carbonifère (<i>attention climat chaud en Europe située au niveau de l'Equateur mais globalement froid</i>) <input type="checkbox"/> carottes Antarctique permettent de remonter jusqu'à 800 000 ans.
<p>La synthèse est correctement mise en forme</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Une introduction est présente, suffisamment riche, amène le sujet, pose la problématique et annonce le plan. - les textes sont rédigés avec clarté, en respectant la grammaire et l'orthographe - le texte est suffisamment aéré (interlignes, alinéas) - les schémas (ou les tableaux, dessins, graphiques...) sont suffisamment nombreux et soignés (suffisamment grands, légendés et titrés...) - Une conclusion est présente, elle répond clairement au sujet en reprenant les idées essentielles. <p><i>Ouverture possible : on peut dater les événements par la datation absolue ou relative</i></p>		

Construction scientifique complète (les grandes parties sont présentes) et logique par rapport au sujet		Construction scientifique logique mais incomplète par rapport au sujet		Construction scientifique non logique et incomplète par rapport au sujet	
<p>Connaissances complètes et exactes ; arguments exacts, suffisants et pertinents (bien associés ou à propos).</p>	<p>Connaissances complètes et exactes étayées par des arguments exacts mais avec des arguments manquants ou erreurs dans les arguments présentés</p> <p>OU</p> <p>Connaissances incomplètes mais exactes et associées à des arguments recevables (exactes et à propos)</p>	<p>Connaissances incomplètes et toutes ne sont pas étayées par des arguments OU les arguments ne sont pas exacts ou pertinents (non ou mal associés ou non à propos)</p>	<p>De rares éléments exacts pour répondre à la question posée (Connaissances et arguments)</p>	<p>Aucun élément (connaissances et arguments) pour répondre correctement à la question</p>	
7	6	5	4	3	2
1		0			

La qualité de l'exposé permet de discriminer les points attribués.

CORRIGES- Le passé mouvementé du Massif central

Nom, Prénom :

Démarche de résolution personnelle		
2	1	0
Construction d'une démarche cohérente bien adaptée au sujet	Construction insuffisamment cohérente de la démarche	Absence de démarche ou démarche incohérente

Le problème est posé en introduction et la démarche argumente et date les principales formations géologiques du Massif central et les met en relation avec l'orogénèse alpine.

Idées essentielles :

- le socle granitique est daté de 350Ma
- la collision Alpine a généré un contexte d'extension à l'origine de la faille et de la sédimentation de la Limagne
- un épisode volcanique plus récente a conduit à la mise en place des roches volcaniques

Analyse des documents et mobilisation des connaissances ⁴ , dans le cadre du problème scientifique posé			
3	2	1	0
Informations issues des documents pertinentes, rigoureuses et complètes et connaissances mobilisées pertinentes et complètes pour interpréter	Informations issues des documents incomplètes ou peu rigoureuses et connaissances à mobiliser insuffisantes pour interpréter	Seuls quelques éléments <i>pertinents</i> issus des documents et/ou des connaissances	Absence ou très mauvaise qualité de traitement des éléments prélevés

Doc 1 :

- le socle granitique est situé à la base ;
- la faille de Limagne recoupe le socle mais n'affecte pas les coulées de lave du Puy Pariou qui sont au-dessus du socle;
- les roches sédimentaires du bassin de Clermont Ferrand sont déposées dans le creux du bloc basculé généré par la faille de la Limagne / les plus récentes ont 20 Ma / elles sont recouvertes par la coulée trachy-andésitique
- la coulée de lave trachy-andésitique recoupe et recouvre les coulées trachy-basaltiques, qui recouvrent elles-mêmes le socle

Doc 2 :

- le calcul de la pente pour l'isochrone du granite étudié donne $a = (0.73-0.71)/4 = 0.02/4 = 0,005$.
- l'âge du granite est donc d'environ 350 MA

Doc 3 :

- dans un contexte de convergence (subduction puis collision), et si la racine lithosphérique est importante, une extension peut se produire côté plaque plongeante, à l'avant de la zone en convergence (en raison de mouvements asthénosphériques)

Doc 4 :

- un phénomène de subduction débute à partir de 100 Ma qui amène à la formation des Alpes par collision depuis 30 Ma
- d'après la coupe, la subduction Alpine s'est faite d'ouest en est
- L'épaississement, la superposition de nappes et la présence de failles inverses sont des preuves de convergence, ainsi que la présence d'ophiolites.
- de part et d'autres de l'orogène des Alpes, la vallée du Rhône et la plaine du Pô sont recouvertes de sédiments (=bassins flexuraux)*

Connaissances complémentaires :

LA DATATION RELATIVE :

- Principe de superposition à énoncer
- Principe de recoupement à énoncer

LA DATATION ABSOLUE :

- principe de la datation par le couple Rubidium/Strontium qui permet de dater la fermeture du système (cristallisation du granite composant le socle)

DIVERGENCE

- Les failles normales + sédimentation syn-rift sont caractéristiques des domaines d'extension

CONVERGENCE

- subduction, collision, témoins géologiques de la convergence

Exploitation (mise en relation/cohérence) des informations prélevées et des connaissances ³ au service de la résolution du problème			
3	2	1	0
Argumentation complète et pertinente pour répondre au problème posé	Argumentation incomplète ou peu rigoureuse		Argumentation absente et/ou réponse explicative absente ou incohérente
Réponse <i>explicative, cohérente et complète</i> au problème scientifique	Réponse explicative cohérente avec le problème posé	Absence de réponse ou réponse non cohérente avec le problème posé	

Mise en relation des principes de datation relative et des évènements du doc 1

- la faille affecte le socle mais pas les sédiments → ppe recoupement : 1 socle 2 faille 3 sédiments
- coulée pyroclastique et trachy-basaltique au dessus du socle → ppe superposition : 1 socle 2 coulée trachy-basaltique
- la coulée de lave traverse trachy-andésitique le socle et les pyroclastiques et recouvre les sédiments déposés sur le socle → ppe superposition + recoupement : 1 socle 2 sédiments/coulée trachy basaltique 3 coulée trachy-andésitique

Mise en relation : Histoire de la région

1-Mise en place du socle granitique il y a environ 351 MA

2-Subduction de l'océan Alpin (il y a 100 MA) d'ouest en est, puis collision il y a 30 MA

3-La collision provoque une zone d'extension sur la plaque plongeante donc à l'ouest des Alpes : mise en place de la faille de Limagne entre -30 et -20 MA

4-Dépôts des sédiments jusqu'à -20 MA dans le fossé d'effondrement (la faille continue à jouer vu la forme des dépôts)

5-Dépôt de pyroclastiques et de laves trachy-basaltique ? On sait que cette coulée est postérieure au socle mais antérieure à la coulée trachy-andésitique. On n'a pas d'argument pour la situer par rapport à la faille de la Limagne. On aurait donc pu la placer plus tôt. Mais il est probable que cette coulée soit contemporaine de l'épisode volcanique donc après l'épisode Alpin.

6.Coulée de lave de trachy andésite (qui recouvre la faille et les sédiments)