

CONCOURS G2E

GÉOLOGIE

Durée : 3 heures

Les calculatrices programmables et alphanumériques sont interdites. Les téléphones portables et autres "smartphones" doivent être éteints au cours de l'épreuve et ne doivent en aucun cas être utilisés même à titre de montre.

L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est strictement interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il en fait mention dans sa copie et poursuit sa composition. Dans ce cas, il indique clairement la raison des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée.

Une grande attention sera apportée à la clarté de la rédaction et à la présentation des différents schémas.

Attention ! Les figures 4 et 5 ainsi que les tableaux 1 et 3 en annexe sont à découper et à coller sur votre copie.

Terre primitive et dynamique archéenne

L'histoire de la Terre est subdivisée en plusieurs grandes périodes (Fig.1). L'Hadéen de 4,6 à 4 Ga (milliards d'années) correspond à un stade d'évolution compris entre l'accrétion de la Terre et les plus vieilles roches connues. L'Archéen s'étend de 4 à 2,5 Ga, intervalle de temps pendant lequel le fonctionnement de notre planète était différent par rapport à l'actuel. Durant le Protérozoïque, de 2,5 à 0,54 Ga, le dynamisme terrestre ressemble globalement à ce qui est connu actuellement. Et enfin, le Phanérozoïque, depuis 540 Ma, où des squelettes d'organismes sont préservés sous forme de fossiles.

Nous allons aborder dans ce sujet quelques aspects de l'Archéen afin de caractériser le dynamisme particulier de cette période.

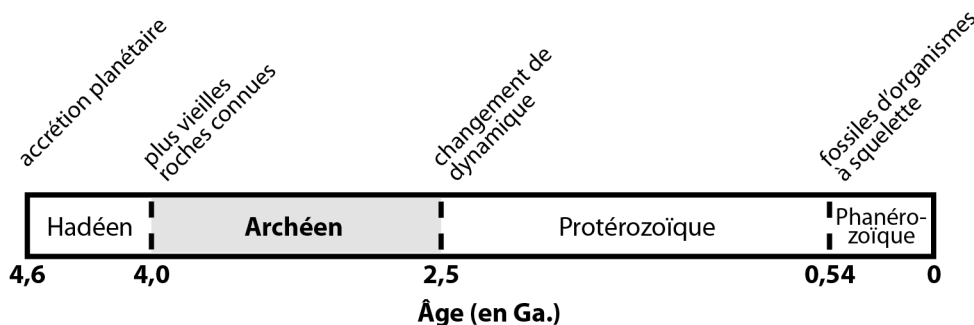


Figure 1. Echelle simplifiée des temps géologiques.

1. L'ARCHEEN, PERIODE DE CROISSANCE DE LA CROUTE CONTINENTALE PRIMITIVE (6 POINTS).

On retrouve de grandes provinces archéennes sur l'ensemble des continents actuels (Fig.2). Ces grandes provinces sont constituées de différents types de roches.

Au cours de cette période, la croissance de la croûte continentale primitive a été un processus lent et progressif lié à une intense activité magmatique. Une croûte océanique primitive était présente et le processus de subduction était déjà actif. L'extraction de la croûte continentale à partir du manteau a été en partie la conséquence de ce processus de subduction (Fig.3).

1.1. À partir de l'analyse de la figure 3, remplissez le tableau 1 en présentant les caractéristiques communes des subductions actuelle et archéenne ainsi qu'en insistant sur les spécificités de chacune d'entre elles.

1.2. Calculez les gradients géothermiques moyens à l'actuel et à l'Archéen, et proposez une (des) origine(s) pour expliquer la différence entre les deux gradients obtenus.

1.3. Les figures 4 et 5 présentent (i) un affleurement de roches archéennes (Fig. 4a) constitutives de la croûte continentale et (ii) un échantillon (Fig. 5a) de l'une d'entre elles.

Utilisez le cadre (au bas de la figure 5) pour décrire précisément l'échantillon de la figure 5a. Certains détails peuvent être dessinés sur la figure 5b. Proposez un nom pour cette roche et déterminez le processus de mise en place.

1.4. La roche sombre, située dans la partie gauche de l'affleurement (Fig. 4a), présente une texture microgrenue et est constituée de plagioclases et de pyroxènes. Proposez un nom pour cette roche. Justifiez votre réponse. Après avoir dessiné (sur la figure 4b) les contacts entre les trois types de roches présentes sur cet affleurement (pastilles blanches cerclées de jaune), établissez leur chronologie relative de mise en place en justifiant votre réponse et en numérotant les pastilles de 1 à 3 (de la roche la plus ancienne à la plus récente).

2. VOLCANISMES ARCHEEN ET ACTUEL (4 POINTS).

Associé à l'activité magmatique intense, l'Archéen correspond à un stade de forte production volcanique. Le tableau 2 présente des analyses de la composition moyenne (en % de masse d'oxydes) de différentes roches. Les quatre premières colonnes correspondent à une série magmatique actuelle, les deux dernières à des laves archéennes.

2.1. Discutez l'évolution de la composition des laves de la série magmatique actuelle. De quelle série magmatique "classique" ces roches sont-elles issues ? Précisez le contexte géodynamique de mise en place.

Représentez et discutez le diagramme approprié afin de confirmer l'identification de cette série magmatique.

2.2. Commentez les compositions des laves archéennes (komatiite et komatiite spinifex, tableau 2) en insistant sur les différences majeures entre ces analyses et celles des laves actuelles. Comment pouvez-vous expliquer de telles différences de composition ? Ces laves archéennes résultent-elles du même contexte d'extraction du manteau que celui impliqué dans la question 2.1 ? Justifiez votre réponse.

2.3. La figure 6 présente deux échantillons, à gauche (Fig. 6a) un basalte "actuel" à texture microlitique, à droite (Fig. 6b) une komatiite archéenne à texture spinifex. Définissez la notion de texture utilisée en pétrographie magmatique. En comparant ces deux échantillons, exposez brièvement ce qui est appelé le "paradoxe" spinifex.

3. TECTONIQUE ARCHEENNE (4 POINTS).

Pendant la période archéenne, le déplacement de plaques lithosphériques a engendré une tectonique dite horizontale telle que nous pouvons la connaître aujourd'hui, avec empilement

d'unités crustales à différentes échelles. Cependant, l'épanchement de grandes quantités de komatiites a généré la mise en place de structures particulières (Fig. 7) avec une juxtaposition de domaines "circulaires" (les dômes) bordés par des zones souvent très déformées (les bassins).

3.1. La figure 8 présente, en coupe, un modèle d'évolution depuis l'épanchement des komatiites au-dessus de la croûte continentale primitive dans un stade initial jusqu'à la formation de ces dômes et bassins. Expliquez quel est le moteur principal qui conduit à la mise en place des dômes et bassins (Figs. 7 et 8). Connaissez-vous un nom qui puisse être attribué à ce processus ?

3.2. La figure 9 est une représentation schématique, en trois dimensions, à l'échelle régionale des déformations observables dans les "bassins" situés entre les "dômes" (Figs. 7 et 8). Dans le tableau 3, différents objets déformés sont représentés (de A à E). Pour chacun de ces objets, précisez dans quelle zone (de 1 à 5, Fig.9) ils peuvent être rencontrés. Associez à chaque objet un type de déformation à partir de la liste proposée sur la figure 9.

Dans le tableau 3 (associé à la figure 9), décrivez successivement chaque structure présentée de A à E en précisant pour chacune d'entre elles les directions de raccourcissement, d'allongement et/ou de cisaillement qui ont conduit à leur développement.

4. SEDIMENTATION ARCHEENNE (3 POINTS).

Durant l'Archéen, différents types de séries sédimentaires se mettent en place. Sur la figure 8, on retrouve un de ces environnements sédimentaires dans un bassin subsidant entre deux dômes.

4.1. Définissez la subsidence et présentez les principaux paramètres qui la contrôle.

4.2. Parmi ces séries sédimentaires, on trouve les formations ferrifères rubanées appelées "BIF" (Banded Iron Formations) constituées d'une alternance centimétrique (Fig. 10) de bancs siliceux et de bancs riches en oxydes de fer (magnétite, hématite). Les gisements de fer rubané représentent la plus importante ressource en fer de la planète puisqu'ils constituent 80 % des réserves de ce métal. La teneur en fer est généralement élevée et peut atteindre 65% (Jébrak & Marcoux, 2008). En milieu réducteur et pauvre en oxygène, le fer est bivalent (Fe^{2+}) et se trouve sous forme d'hydroxyde de fer $Fe(OH)_2$ soluble. En milieu oxygéné, le fer est trivalent (Fe^{3+}) et est sous forme d'oxyde ferrique Fe_2O_3 ou d'hydroxyde ferrique $Fe(OH)_3$ qui sont des formes insolubles. Sachant que les "BIF" se sont mises en place en milieu aqueux, qu'indique leur présence massive quant à la composition de l'atmosphère primitive ainsi qu'à celle de l'océan primitif ? Quelles sont les origines possibles du fer ?

4.3. Expliquez pour quelle raison la formation des "BIF" devient négligeable à partir de 2,2 Ga.

5. SYNTHÈSE (3 POINTS).

En guise de conclusion, il vous est demandé un commentaire précis et synthétique de la figure 11.

Bibliographie

Bleeker W., 2003. *The late Archean record: a puzzle in ca. 35 pieces. Lithos, 71, 99-134.*

Escalant M., 1988. *Evolution spatiale et chronologique du volcanisme de l'île de la Martinique (Petites Antilles) : implications pétrogénétiques. Thèse Aix-Marseille.*

Jébrak M. & Marcoux E., 2008. *Géologie des ressources minérales. SIM distrib.*

Martin H., 2008. <http://www.exobiologie.fr/index.php/vulgarisation/geologievulgarisation/lenvironnement-de-la-terre-primitive-larcheen-et-lhadeen/>

Moorbath S., 2009. *The discovery of the Earth's oldest rocks. The Royal Society Publication.*

Nesbitt R.W., Sun S.-S. & Purvis A.C., 1979. *Komatiites: geochemistry and genesis. Canadian Mineralogist, 17, 165-186.*

Remerciements

Le concepteur du sujet tient à remercier Jean-François Moyen (Univ. Saint Etienne) pour certaines des photographies présentées dans ce sujet.

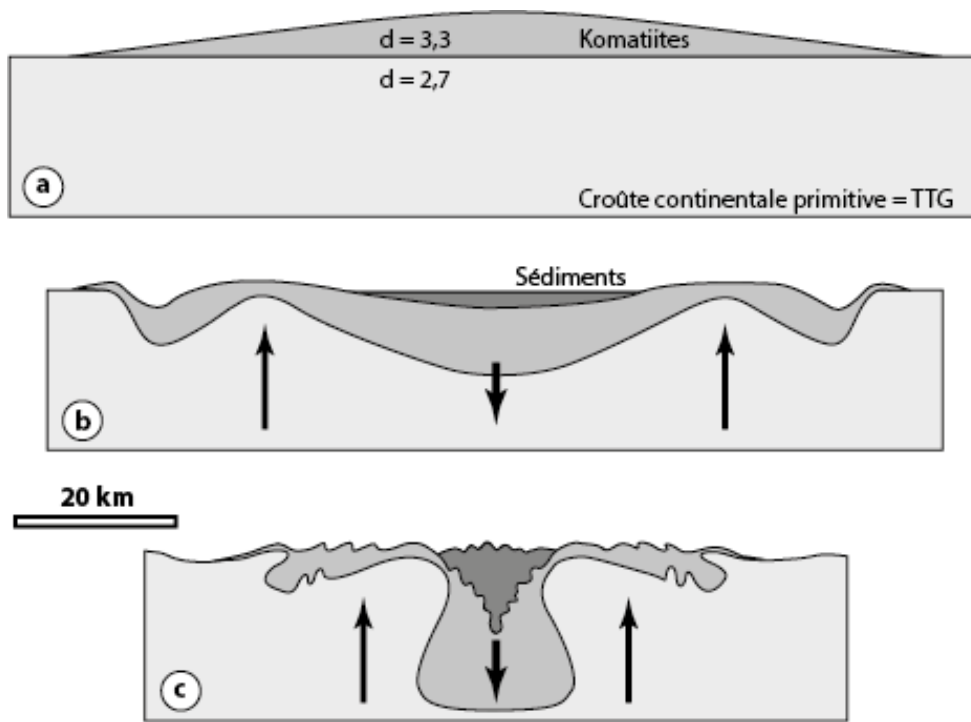


Figure 8. Modèle simplifié illustrant les étapes du développement (de a à c) des dômes et des bassins observés dans les cratons archéens. (TTG : tonalite-trondhjemite-granodiorite).

Tableau 2. Analyses de la composition moyenne (% masse d'oxydes) de différentes roches. (FeO* : tout le fer est exprimé en sous forme de FeO). Les quatre premières colonnes correspondent à des laves actuelles (Escalant, 1988) ; les deux dernières, à des laves archéennes (Nesbitt et al., 1979).

	Basalte	Andésite	Dacite	Rhyolite	Komatiite	Komatiite spinifex
SiO ₂	52,11	59,25	67,05	72,62	47,23	48,41
Al ₂ O ₃	19,13	16,83	14,93	14,63	3,79	4,40
FeO *	8,35	7,74	5,79	2,27	12,32	12,02
MgO	4,98	2,66	1,11	0,35	28,67	26,26
CaO	10,59	6,38	3,49	2,65	6,45	7,32
Na ₂ O	2,68	4,23	4,99	5,37	0,15	0,71
K ₂ O	0,49	0,75	1,05	1,33	0,01	0,04
MnO	0,19	0,2	0,13	0,05	0,19	0,19
TiO ₂	0,85	0,92	0,63	0,39	0,37	0,45
P ₂ O ₅	0,12	0,18	0,18	0,09	0,04	0,03
<i>Total</i>	<i>99,49</i>	<i>99,14</i>	<i>99,35</i>	<i>99,75</i>	<i>99,22</i>	<i>99,83</i>

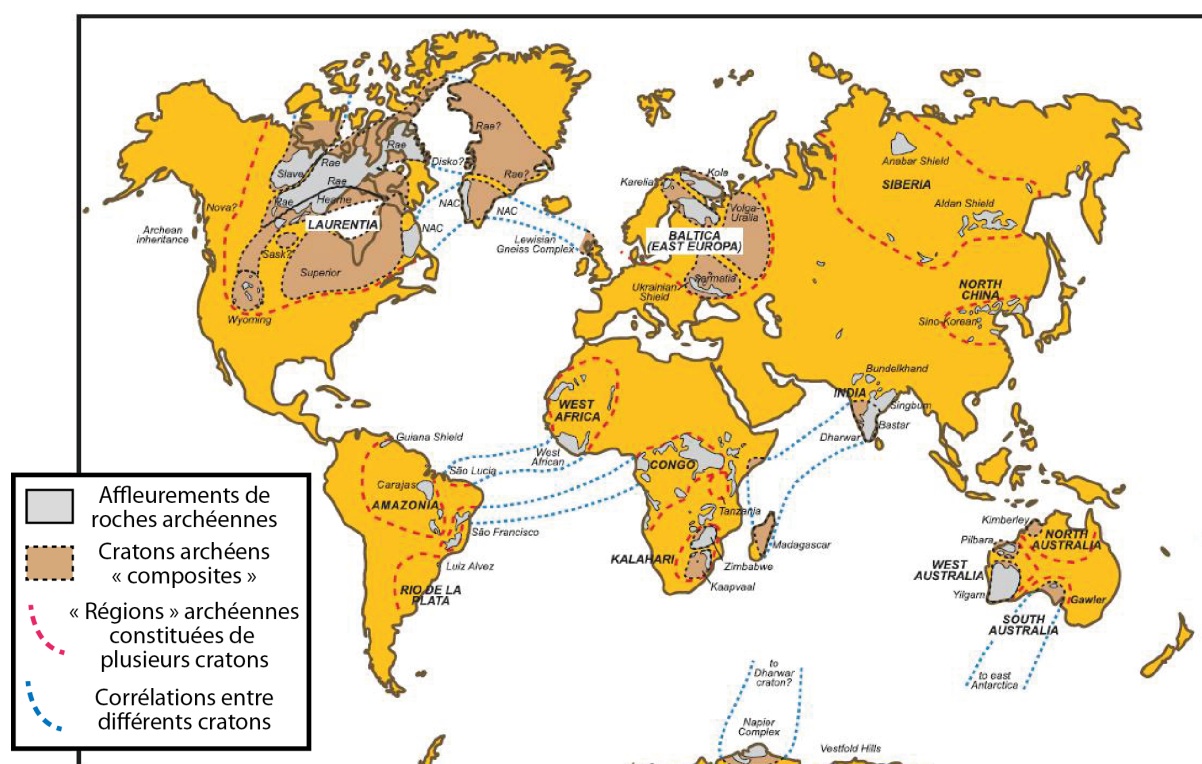


Figure 2. Distribution des différents affleurements et cratons archéens au sein des continents actuels (modifié d'après Bleeker, 2003).

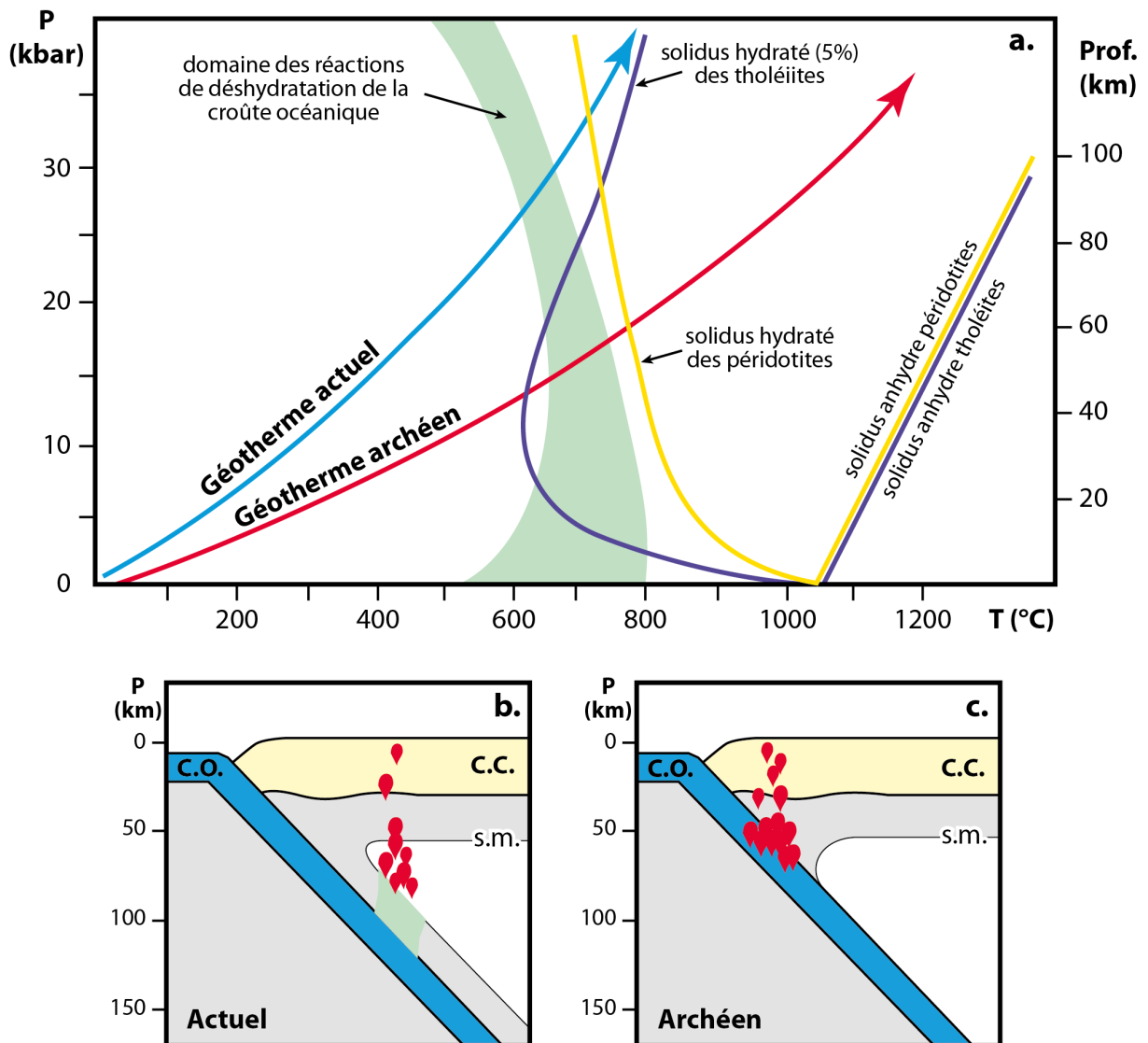


Figure 3. Diagramme Pression/Température (a) et coupes schématisiques des zones de subduction actuelle (b) et archéenne (c).
 Les flèches rouge et bleu correspondent aux gradients géothermiques le long des plans de subduction à l'Archéen et à l'actuel.
 Les courbes jaune et violette montrent le solidus et le solidus hydraté d'une tholéiite et d'une péridotite.
 Le domaine vert correspond à la zone où se produisent les réactions de déshydratation de la croûte océanique lors de son enfouissement.
 C.C. = Croûte continentale ; C.O. = Croûte océanique ; s.m. = solidus du manteau hydraté (modifié d'après Martin, 2008).

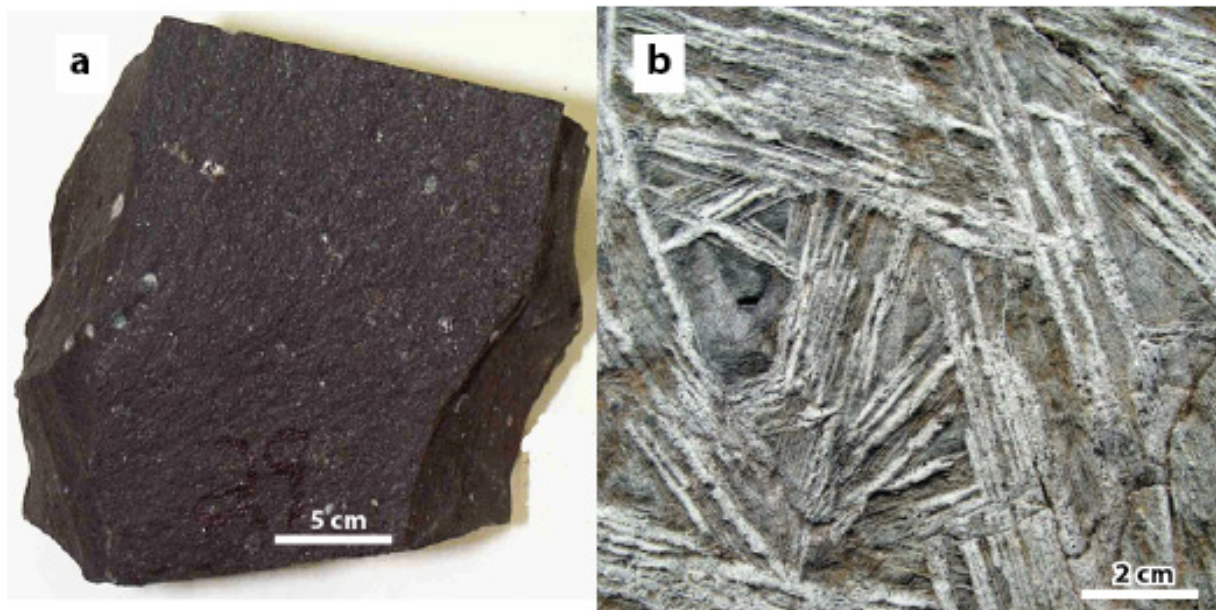


Figure 6. Echantillons de (a) basalte « actuel » et (b) komatiite à texture spinifex.



Figure 7. Image Landsat du Craton archéen de Pilbara en Australie. Les "dômes" de couleur claire (structures "circulaires") sont bordés par des "bassins" de couleur sombre souvent très déformés.

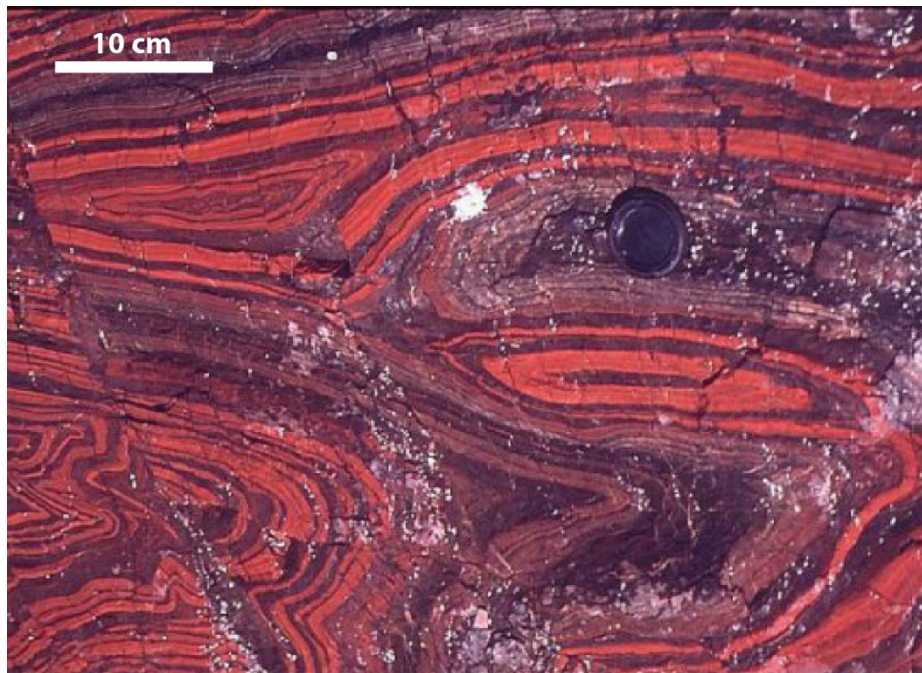


Figure 10. Echantillon d'une série ferrifère rubanée, constitué d'une alternance de couches d'oxydes fer (rouges) et de couches siliceuses (sombres). (Source : J.-F. Moyen).

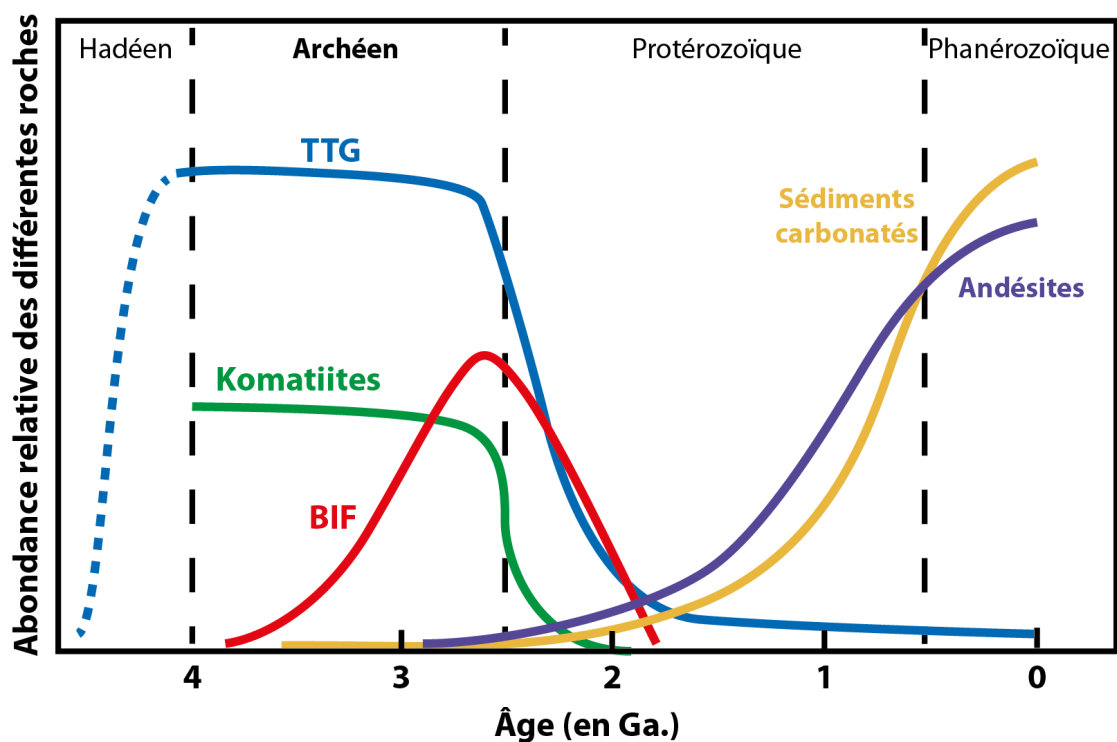


Figure 11. Abondance de différents types de roches au cours des temps géologiques. Le terme TTG désigne la suite tonalite-trondhjémite-granodiorite de la croûte continentale primitive ; les séries ferrifères rubanées sont appelées "BIF" (modifié d'après Martin, 2008).

**ANNEXES A DECOUPER ET A COLLER
SUR VOTRE COPIE**

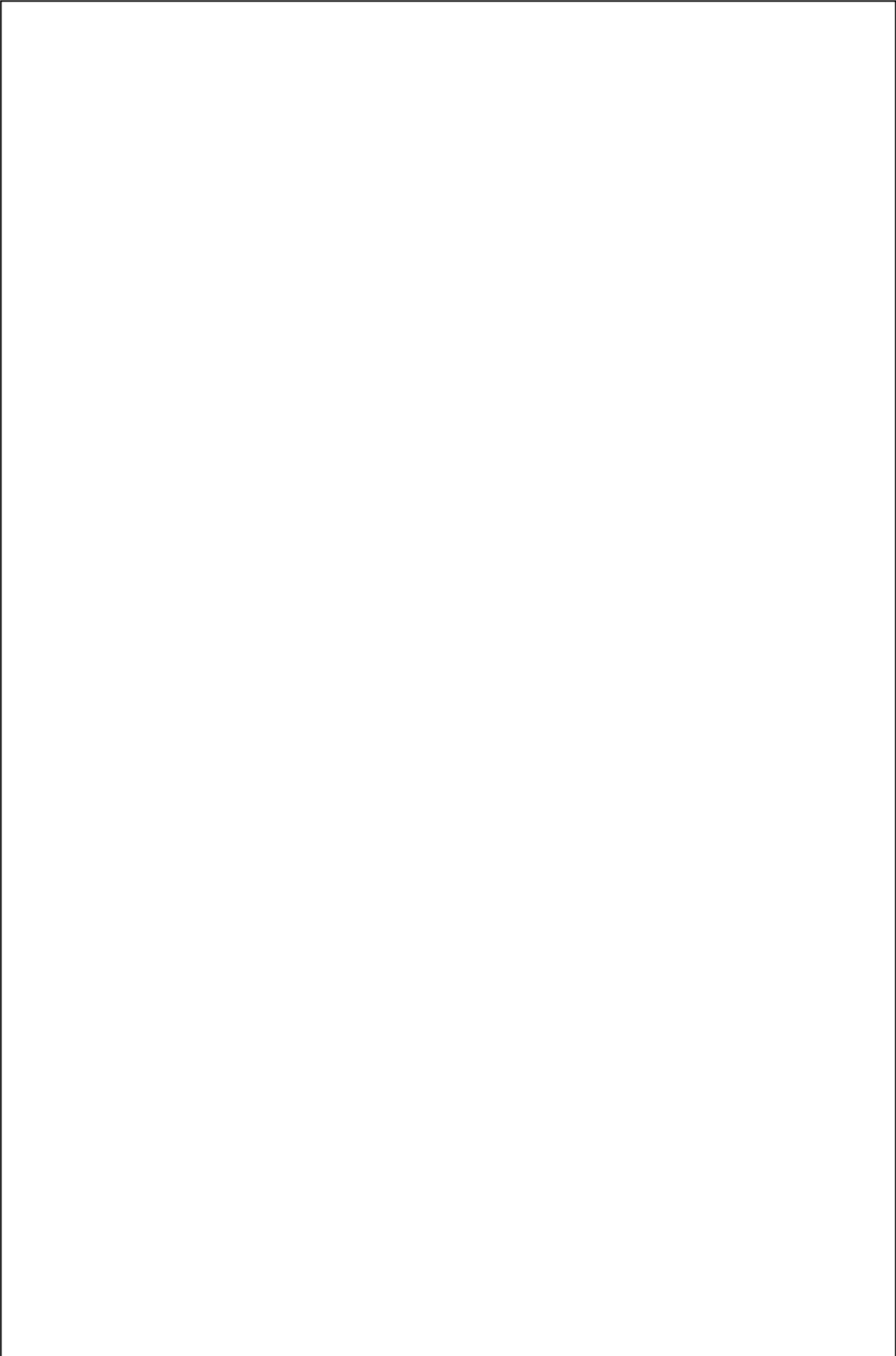
FIGURES 4 et 5, Tableaux 1 et 3

Tableau 1. Comparaison des subductions actuelle et archéenne (réponse à la question 1.1)

Caractéristiques communes des subductions actuelle et archéenne	
Spécificités de la subduction	
actuelle	archéenne



Figure 4. (a) Affleurement de roches archéennes (Moorbath, 2009). (b) Même image atténuée pour réponse à la question 1.4. La photo de l'échantillon de la figure 5 a été prise à la hauteur du cercle rouge figurant sur la photographie a.



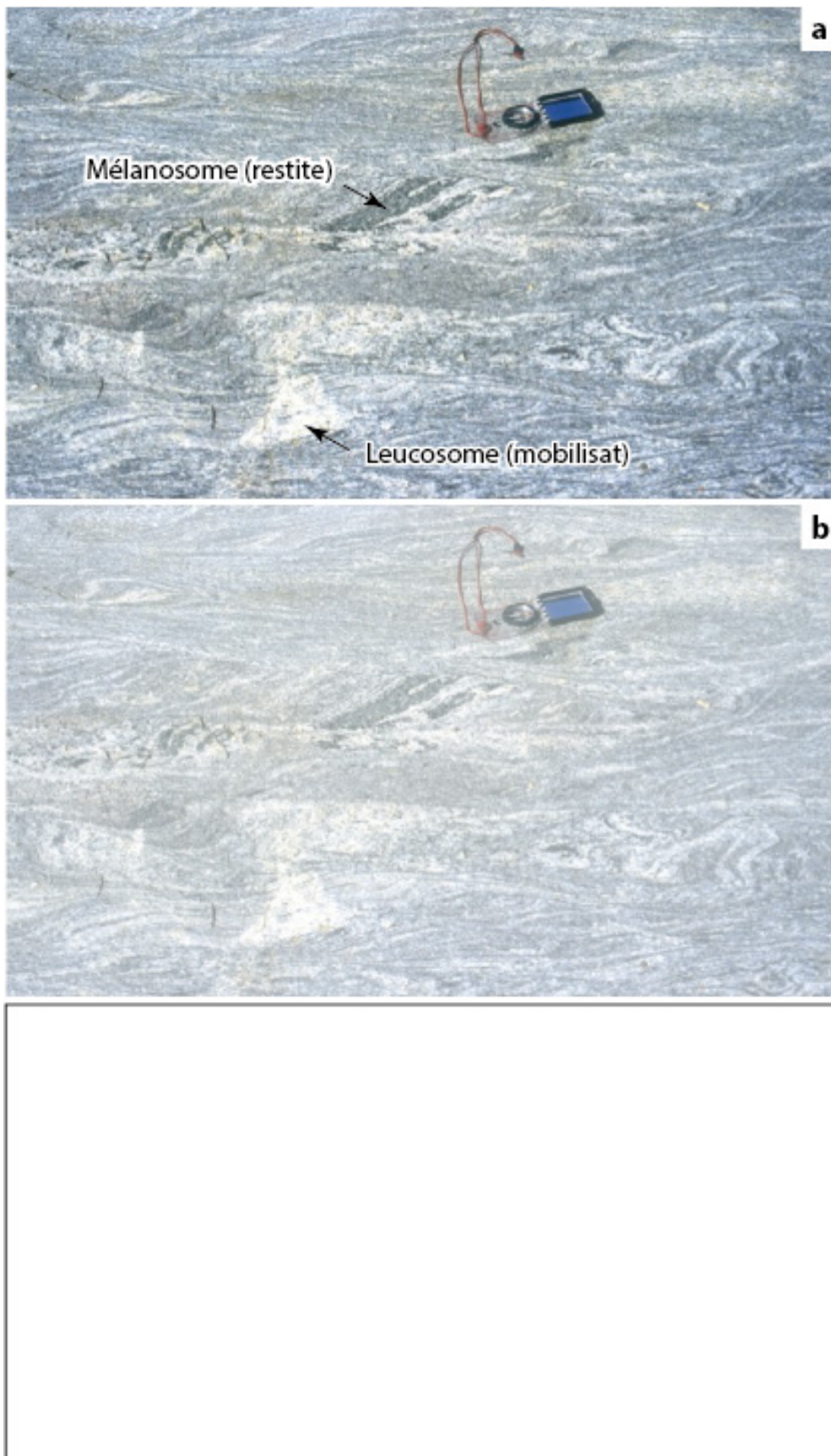
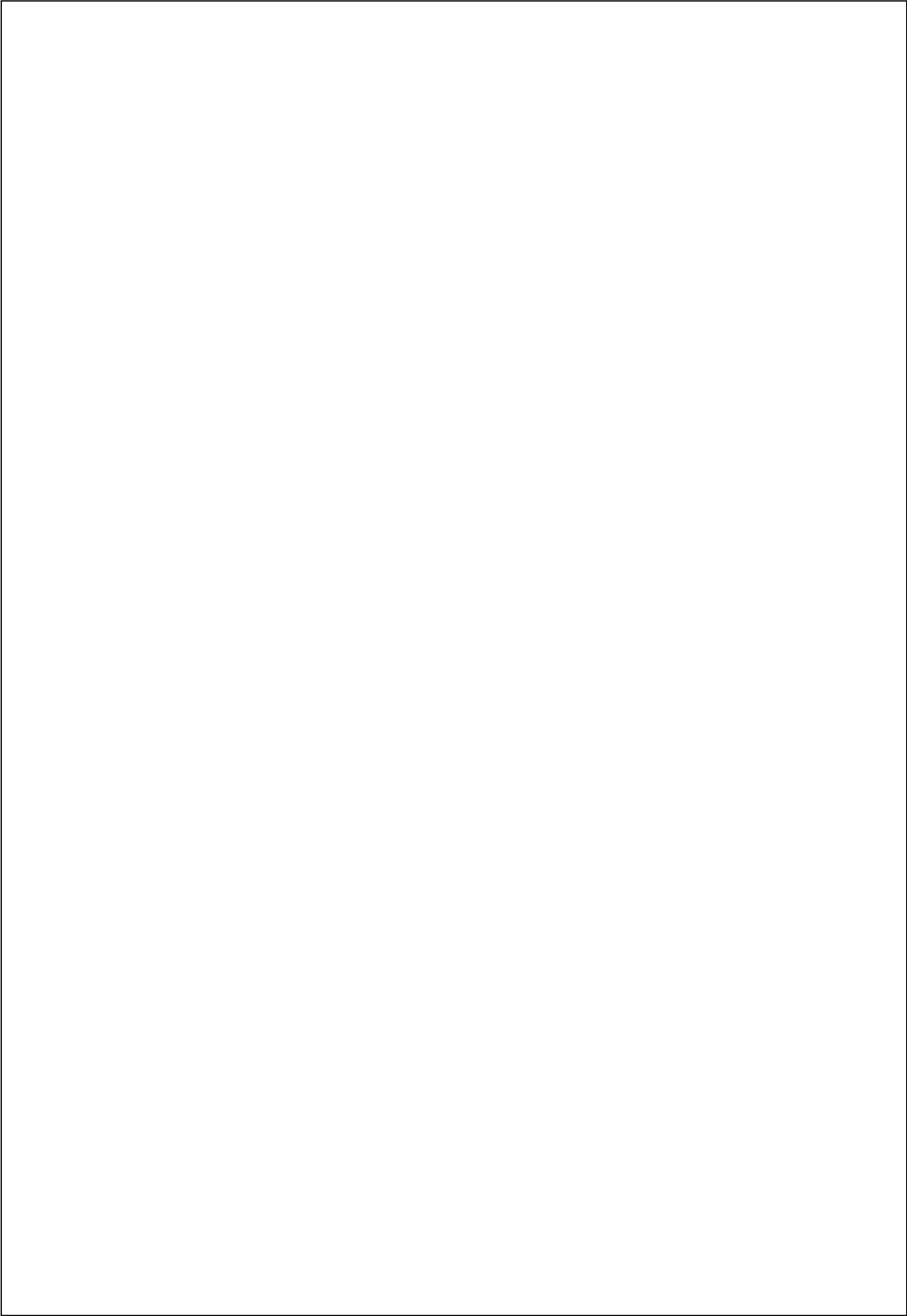
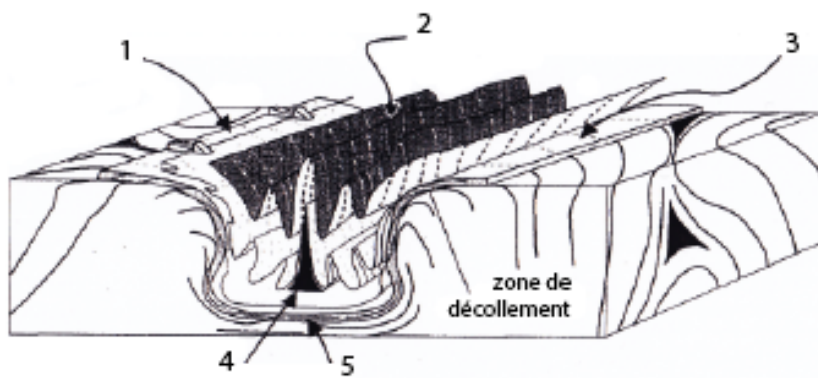


Figure 5. (a) Echantillon d'une roche archéenne (Source : J.-F. Moyen). (b) Même image atténuée pour réponse à la question 1.3. Localisation de l'échantillon sur la figure 4a.





Types de déformation possible :

- cisaillement
- constriction
- aplatissement vertical
- aplatissement horizontal

Tableau 3.

Objets	Zone	Type de déformation	Interprétation - Commentaires
<p>A.</p>			
<p>B.</p>			
<p>C.</p>			
<p>D.</p>			
<p>E.</p>			

Figure 9. Bloc diagramme 3D illustrant les déformations dans un bassin situé entre deux dômes. Tableau 3 pour réponse à la question 3.2.