

SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

Durée : 3 heures

L'usage d'abaques, de tables, de calculatrice et de tout instrument électronique susceptible de permettre au candidat d'accéder à des données, de les traiter par des moyens autres que ceux fournis dans le sujet est interdit.

Chaque candidat est responsable de la vérification de son sujet d'épreuve : pagination et impression de chaque page. Ce contrôle doit être fait en début d'épreuve. En cas de doute, il doit alerter au plus tôt le surveillant qui contrôlera et éventuellement remplacera le sujet.

Le sujet comporte 16 pages numérotées de 1 à 16 et des annexes sur une feuille au format A3 à rendre avec la copie.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Petit tour du monde et minéraux

Ce sujet est constitué de 3 parties qui sont indépendantes. **Les questions seront traitées dans l'ordre de l'énoncé.**

- Le candidat s'appuiera essentiellement sur une analyse des documents, pour répondre aux questions posées au fur et à mesure des documents.
- Le candidat ne doit pas rédiger de longs développements de ses connaissances sur le thème, indépendamment de l'exploitation des documents et des questions posées.
- La concision des réponses et l'exploitation des documents sans paraphrase seront valorisées.

Références

- Anne S. Marsh & al. (2000) The role of Equisetum in nutrient cycling in an Alaskan shrub wetland. *Journal of Ecology* 88, 999-1011
- Nathaniel A. Bogie & al. (2018) Hydraulic Redistribution by Native Sahelian Shrubs: Bioirrigation to Resist In-Season Drought. *Front. Environ. Sci.*
- Garcia K., & al. (2020). Fungal Shaker-like channels beyond cellular K⁺ homeostasis: A role in ectomycorrhizal symbiosis between Hebeloma cylindrosporum and Pinus pinaster. *PLOS ONE*. 15.
- Y. Lucas & al. (1993) The Relation Between Biological Activity of the Rain Forest and Mineral Composition of Soils. *Science* 260, 521-523
- Esteban G. Jobbágy & Robert B. Jackson (2004) The uplift of soil nutrients by plants : biogeochemical consequences across scales. *Ecology*, 85 (9), pp. 2380–2389
- N. Charles & al. (2018) Kaolin et argiles kaoliniques : Memento. Rapport du BRGM, février 2018
- M. Gautier (1962) La dépression de Toulven et l'évolution morphologique de la Bretagne sud-occidentale depuis le début de l'Éocène. *Noröis* 35, 265-290
- F. Béchenec & al. Notice de la carte géologique de Quimper.
- Bulletin d'information de l'association « Faïences de Quimper 1690-1990 » : n° 2, nov. 1988.
- J.-P. Clément & P. Dadet (1976 ?), Recherche d'argiles en Bretagne, BRGM
- Janine Esteoule-Choux (1970) Contribution à l'étude des argiles du Massif armoricain : argiles des altérations et argiles des bassins sédimentaires. Mémoire de la société géologique et minéralogique de Bretagne n° 14 ; Institut de géologie, faculté des sciences de Rennes

Partie A : Végétaux et minéraux

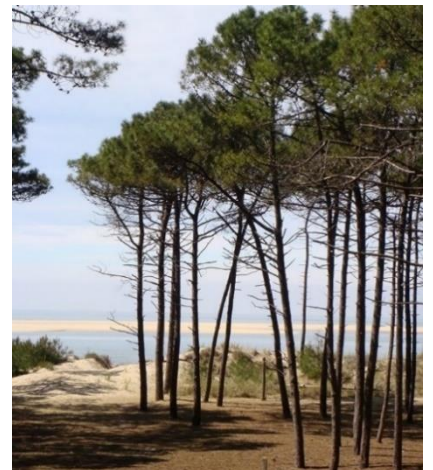
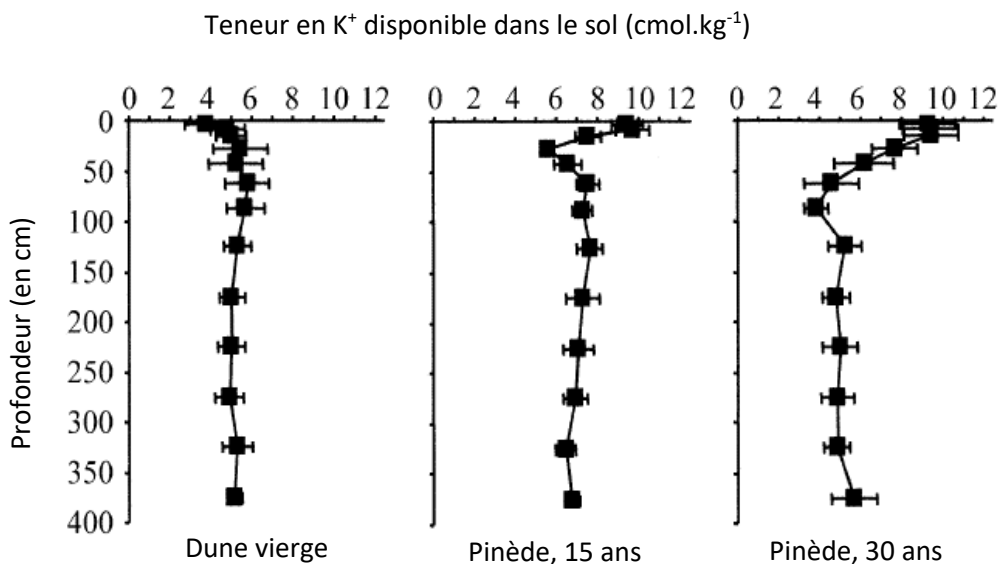
Des pins maritimes (*Pinus pinaster*) ont été plantés sur des dunes côtières en Argentine qui étaient vierges de végétation. On compare les profils de répartition des ions K^+ et Na^+ dans le sol des pinèdes et dans les dunes restées vierges (documents 1 et 2).

Des chercheurs ont observé au microscope les racines des pins maritimes étudiés dans le document 1.

Question 1

Annotez la photographie de racine sur l'annexe 1 et réalisez une diagnose de l'objet biologique observé sur votre copie.

Document 1 : Profils d'abondance de l'ion K^+ dans une dune vierge et dans le sol d'une pinède installée il y a 15 ou 30 ans sur la dune. À droite, pins maritimes.



Question 2

Montrez que le document 1 permet de déduire que les ions K^+ sont absorbés par l'appareil racinaire.

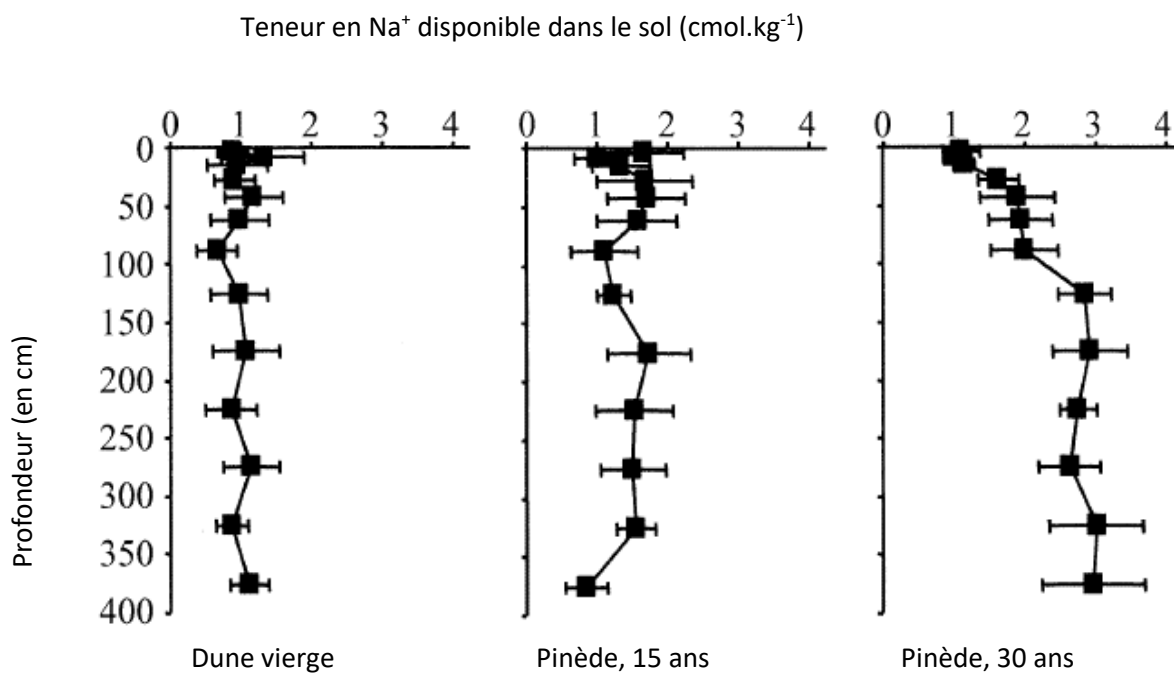
Question 3

Expliquez pourquoi, entre 15 et 30 ans, on constate une différence de la teneur en K^+ disponible en fonction de la profondeur.

Question 4

Complétez votre réponse à la question 3 en proposant deux hypothèses pouvant expliquer les modifications de la teneur en K^+ disponible dans le sol en fonction du temps.

Document 2 : Profils d'abondance de l'ion Na^+ dans une dune vierge et dans le sol d'une pinède installée il y a 15 ou 30 ans sur la dune.



Question 5

En raisonnant de la même façon que pour l'ion K^+ (questions 2 à 4), expliquez les modifications de la teneur en Na^+ disponible dans le sol au cours du temps.

Question 6

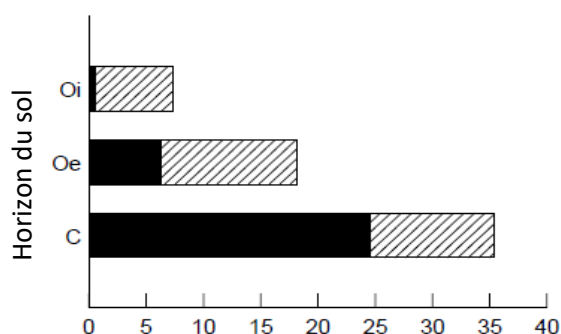
Complétez le schéma des échanges ioniques identifiés au niveau de la racine dans les questions précédentes, sur l'annexe 2.

En Alaska, on a étudié la biocénose de zones humides, dont la productivité primaire est remarquablement élevée pour ces hautes latitudes. Les prêles (genre *Equisetum*) n'y représentent que 6 % du couvert dominé par des carex et des saules nains. La répartition des appareils racinaires de différentes plantes dans les différents horizons du sol est présentée sur le document 3. La concentration en nutriments minéraux de ces horizons est présentée sur le document 4.

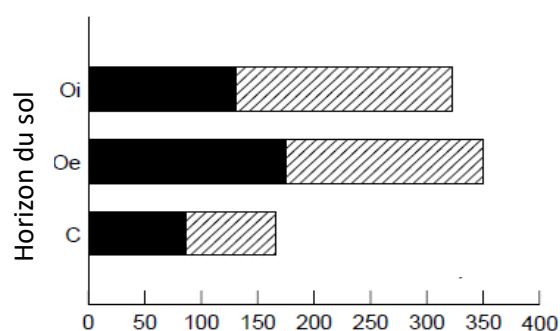
Document 3 : Biomasse des appareils racinaires (racines et rhizomes) des prêles (*Equisetum*, à gauche) et des autres végétaux (à droite) dans les différents horizons du sol (en g par m² de végétation). Oi est l'horizon superficiel du sol, Oe intermédiaire et C plus profond. En noir : racines fines (<2 mm) ; en hachuré : racines grossières (2-10 mm). Les mesures ont été réalisées dans la Rivière Copper, en Alaska.



Prêles des eaux (*Equisetum fluviatile*)



Biomasse des racines et rhizomes (g.m⁻²) des prêles des eaux (*Equisetum fluviatile*)



Biomasse des racines et rhizomes (g.m⁻²) des autres végétaux des zones humides étudiées

Document 4 : Quantités de nutriments minéraux contenus dans les différents horizons du sol sous 1 m² de végétation, Delta de la rivière Copper, Alaska. L'horizon Oi est le plus superficiel, suivi de Oe, l'horizon C se prolonge plus bas (on ne considère que les 30 premiers cm).

		Nutriments du sol (en g.m ⁻² , ± erreur standard)				
Horizon	Épaisseur	N	P	K	Ca	Mg
Oi	≈ 10 cm	94 ± 10	11 ± 1	75 ± 12	103 ± 13	66 ± 12
Oe	≈ 10 cm	130 ± 10	25 ± 3	256 ± 28	296 ± 36	235 ± 24
C	30 premiers cm de C	438 ± 10	363 ± 26	3669 ± 258	5098 ± 393	3962 ± 261

Question 7

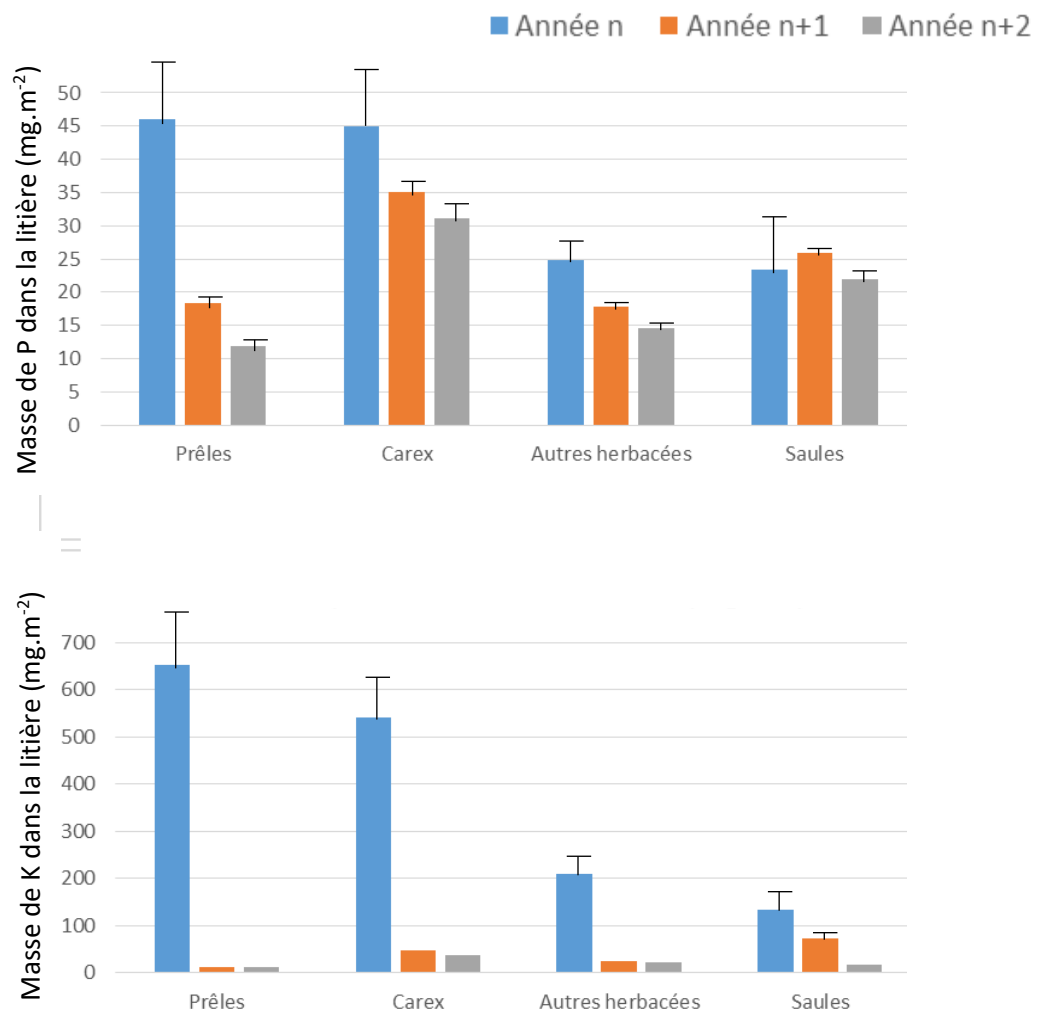
En utilisant les données des documents 3 et 4, argumentez une hypothèse selon laquelle les prêles constituent une espèce qui participe à la structuration spatiale de l'écosystème « sol des zones humides ».

La composition de la litière dans ces zones humides et la cinétique de libération des éléments minéraux qu'elle contient sont présentées sur le document 5.

Document 5 : Abondance des nutriments minéraux P et K dans la litière des zones humides suivie sur trois ans.

Les masses indiquent la contribution de chaque espèce dans la masse de P et K retrouvée dans la litière la première année de l'étude (année n), un an plus tard (année n+1) et deux ans plus tard (année n+2).

Les prêles ne représentent que 6 % de la communauté végétale en surface et 13 % de la litière.



Question 8

En utilisant les données du document 5, montrez la contribution des prêles dans le recyclage de la matière au sein de l'écosystème étudié.

Au Sahel, région semi-désertique, des agronomes ont étudié la culture conjointe du mil avec un arbrisseau bien adapté à l'aridité, le nger. Ils ont évalué la production des parcelles de mil cultivées avec le nger et celui de parcelles de mil seul (document 6).

Document 6 : Effet de la culture en présence de nger sur le rendement du mil.

A : Arbrisseau nger (*Guiera senegalensis*). Ses racines descendent à plus de 3 mètres de profondeur.

B : Mil (*Pennisetum glaucum*). Graminée cultivée à enracinement plus superficiel.

C : Aspect des deux parcelles (mil seul à gauche, mil + nger à droite).

D : Biomasse du mil des deux parcelles. Le mil a été semé le 7 mars, l'irrigation a été maintenue jusqu'au 9 mai, et la récolte a eu lieu le 19 juin, 41 jours plus tard (période sans eau).

A



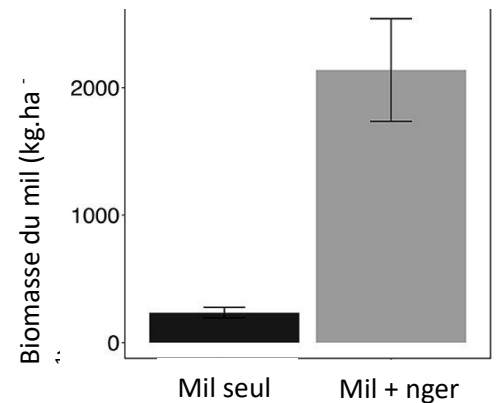
B



C

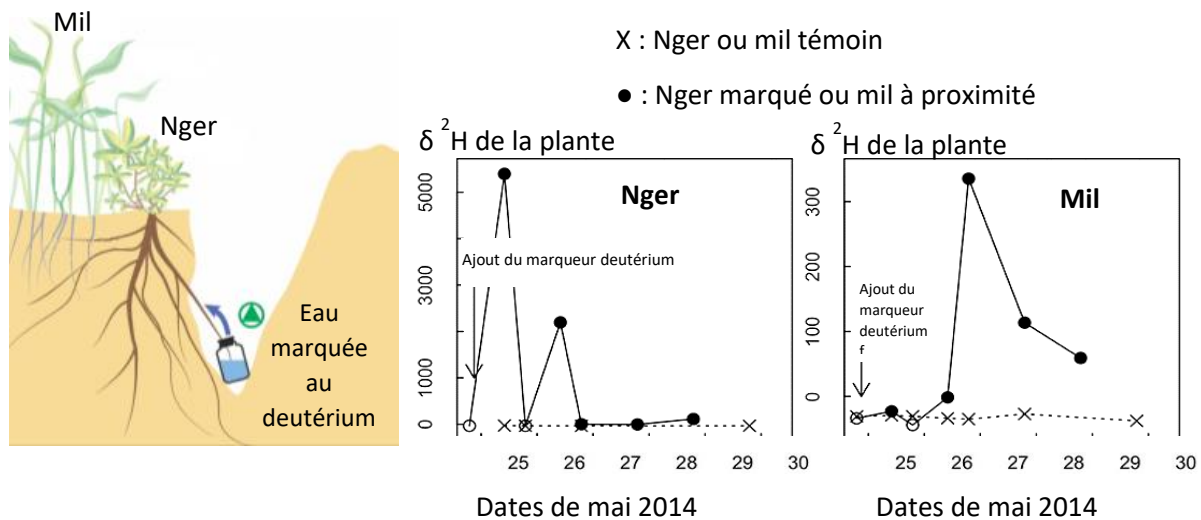


D



Ces agronomes ont également réalisé un marquage (avec du deutérium, isotope stable de l'hydrogène) de l'eau absorbée par un buisson de nger, et ont suivi l'apparition du deutérium dans le mil tout proche (document 7).

Document 7 : Suivi du deutérium dans l'eau absorbée par le nger. Une fiole contenant de l'eau marquée au deutérium (un isotope stable de l'hydrogène, noté ^2H) est enterrée à 1 m de profondeur. On y a introduit une racine de nger, scellée de façon hermétique. On suit la teneur en deutérium dans des tiges prélevées à différentes dates sur le nger, et sur le mil qui pousse à côté. La grandeur mesurée est notée $\delta^2\text{H}$. Cercle vide : signal ne dépassant pas le bruit de fond de la méthode d'analyse du deutérium.



Question 9

D'après les expériences présentées dans les documents 6 et 7, décrivez les résultats obtenus par les agronomes au Sahel et proposez une hypothèse sur le mécanisme impliqué.

Pendant plusieurs jours, le potentiel hydrique du sol a été mesuré à différentes profondeurs sous un buisson de nger avec du mil à côté, et à distance de lui (document 8).

Document 8 : Évolution du potentiel hydrique du sol sous une culture mixte de nger et de mil.

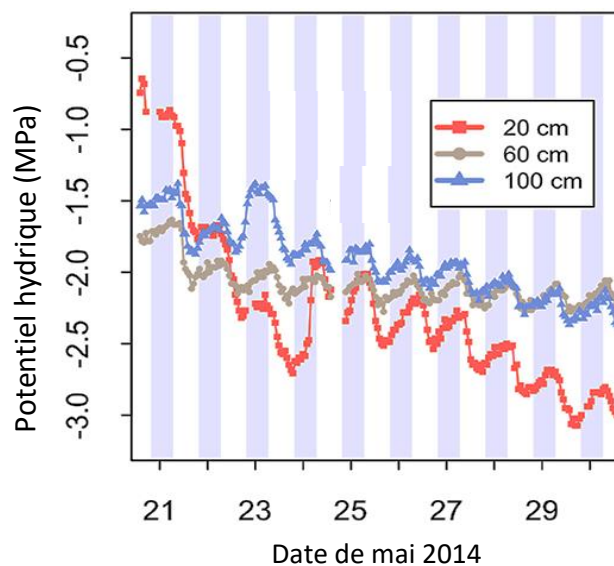
L'alternance jour et nuit est schématisée par les zébrures grises et blanches. Les barres grises correspondent à la nuit.

Les 3 couleurs indiquent des mesures faites à 3 profondeurs différentes du sol.

Pour les mêmes profondeurs, le potentiel hydrique d'un sol d'une parcelle proche, non cultivée, ne montre presque pas de variation diurne.

Aucune irrigation n'a été apportée et il n'a pas plu pendant toute la durée de l'expérience.

Le point de flétrissement permanent est à -1,5 MPa.



Question 10

Après avoir décrit les variations de potentiel hydrique du sol entraînées par la présence de nger en culture, expliquez leurs conséquences sur les flux hydriques entre le sol et des racines.

Question 11

Réalisez un schéma bilan fonctionnel représentant vos interprétations des documents 6 à 8.

L'agroforesterie consiste à associer des arbres à diverses cultures ou élevages.

Question 12

À partir de l'ensemble des conclusions de la partie A, expliquez pourquoi il pourrait être intéressant d'associer différents types d'espèces végétales.

Partie B : Sols et minéraux

Afin de continuer notre étude de la dynamique des minéraux présents dans le sol, on s'intéresse à présent à l'influence de la composition et de la structuration des sols.

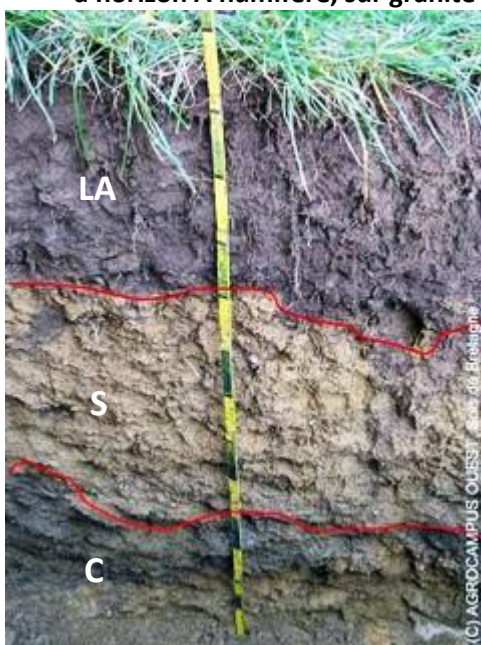
Question 13

À partir de vos connaissances, complétez l'annexe 3 illustrant la structuration d'un sol typique.

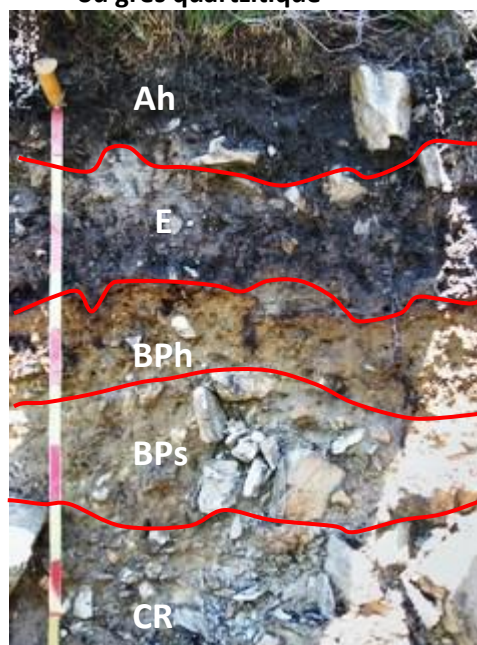
On souhaite à présent comparer deux sols : un sol brun et un sol podzolique.

Document 9 : Profils de deux sols localisés sur le document 10 et caractéristiques des différentes strates de ces deux sols.

**Sol A : sol brun moyennement profond
à horizon A humifère, sur granite**



**Sol B : sol podzolique, sur schiste
ou grès quartzitique**



Sol A : sol brun

Strate	Épaisseur (cm)	Argiles (%)	Limons (%)	Sables (%)	Carbone organique (%)	pH de l'eau	CEC (10^{-2} mol/kg)
LA	0-32	15,1	39,6	45,2	3,9	5,6	15,1
S	32-52	11,5	41,3	47,1	1,5	5,6	4,1
C	52-	7,0	20,2	72,8	0,6	5,2	3,4

Sol B : sol podzolique

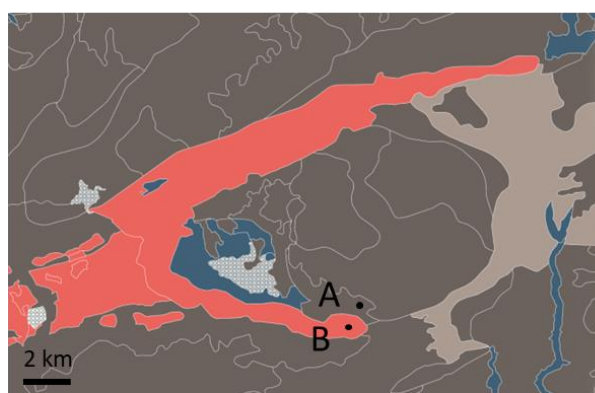
Strate	Épaisseur (cm)	Argiles (%)	Limons (%)	Sables (%)	Carbone organique (%)	pH de l'eau	CEC (10^{-2} mol/kg)
Ah	0-16	3,9	34,6	61,5	2,8	4,4	3,4
E	16-30	4,1	36,5	59,4	0,5	4,8	1,3
BPh	30-43	10,7	33,6	55,8	1,3	4,3	3,9
BPs	43-68	6,1	34,7	59,2	1,0	4,5	2,8
CR	68-	5,4	32,6	62,0	0,3	4,8	1,6

CEC désigne la capacité d'échange cationique. Dans le sol podzolique, l'horizon E a un aspect cendré typique.

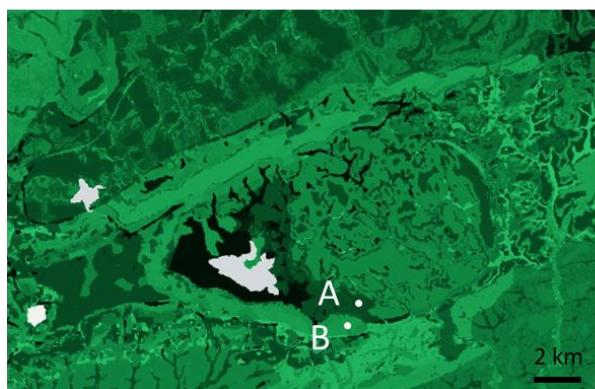
Document 10 : Cartes des sols de la région du massif granitique de Huelgoat. Les points A et B renvoient aux deux sols du document 9. Un grès quartzitique est constitué essentiellement de quartz (silice, SiO_2). Les schistes contiennent en abondance des minéraux pouvant donner des argiles par altération. Les zones grisées claires sont sans mesure. On ne s'intéressera qu'aux couleurs présentées en légende.



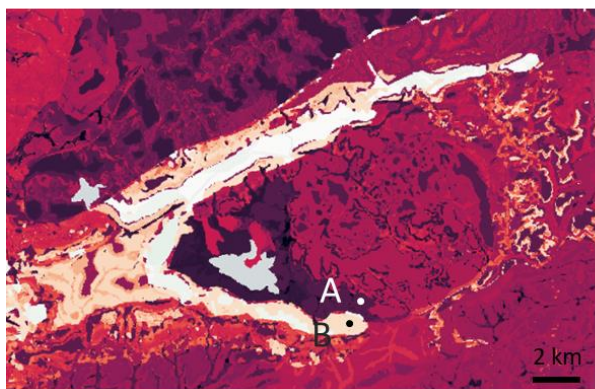
- Granite ou gneiss
- Schistes et grès quartzitiques
- Schiste mêlé de quartzite
- Schiste de type ardoisier



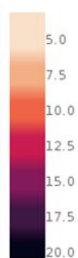
- Sols brunifiés
- Sols podzolisés



Carbone organique
(g/kg) entre 5 et 15
cm de profondeur



Capacité d'échange
cationique de la couche de
sol entre 5 et 15 cm de
profondeur (en cmol/kg)

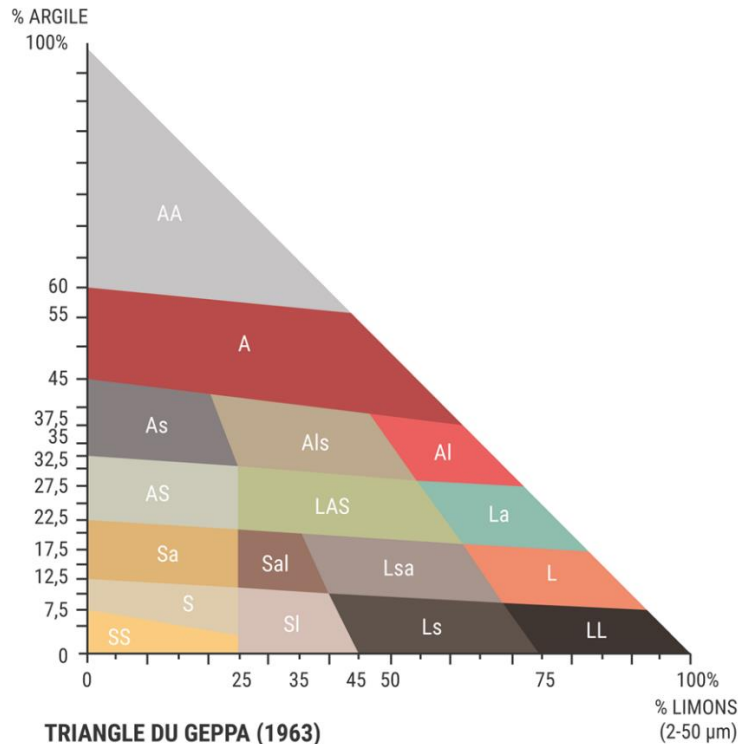


Source : www.sols-de-bretagne.fr

Question 14

À partir d'arguments tirés des documents 9 et 10, montrez l'importance de la roche mère pour les propriétés du sol.

Document 11 : Texture des sols. On a calculé les pourcentages ternaires de sables (S), limons (L) et argiles (A) : $S + L + A = 100\%$. Les deux axes n'indiquent que les pourcentages de limons et d'argiles, le pourcentage de sable s'en déduit.



Classes texturales

AA : argile lourde	Sal : sable argilo-limoneux
A : argileux	Lsa : limon sablo-argileux
As : argile sableuse	L : limon
Als : argile limono-sableuse	S : sableux
Al : argile limoneuse	SS : sable
AS : argilo-sableux	SI : sable limoneux
LAS : limon argilo-sableux	Ls : limon sableux
La : limon argileux	LL : limon pur
Sa : sable argileux	

Question 15

a. À l'aide des documents 9 et 11, positionnez la texture de l'horizon LA du sol A et celle de l'horizon Ah du sol B sur l'annexe 4.

b. D'après vos connaissances et le document 9, discutez de la capacité de rétention d'eau de ces deux horizons.

Question 16

D'après vos connaissances, discutez de la fertilité des deux sols A et B et expliquez les causes de la différence.

Question 17 Nommez le phénomène qui conduirait à une évolution du sol A pour ressembler à un sol B.

Partie C : Roches et minéraux

Dans cette dernière partie, nous nous intéressons à la part des minéraux du sol venant directement des processus d'altération de la roche mère.

Dans le Finistère, la commune de Huelgoat est célèbre pour son **chaos** (document 12) : d'énormes boules de roche qui semblent avoir été empilées de façon désordonnée, sur le cours de la rivière d'Argent qui dévale une forte pente dans la forêt à l'Est de la ville. La roche qui forme ces boules est le granite de Huelgoat (document 13).

Document 12 : Carte géologique au 1/50 000^e de Huelgoat. Le chaos est indiqué par un cercle blanc. Deux photos de ce chaos granitique sont ajoutées sous la carte.

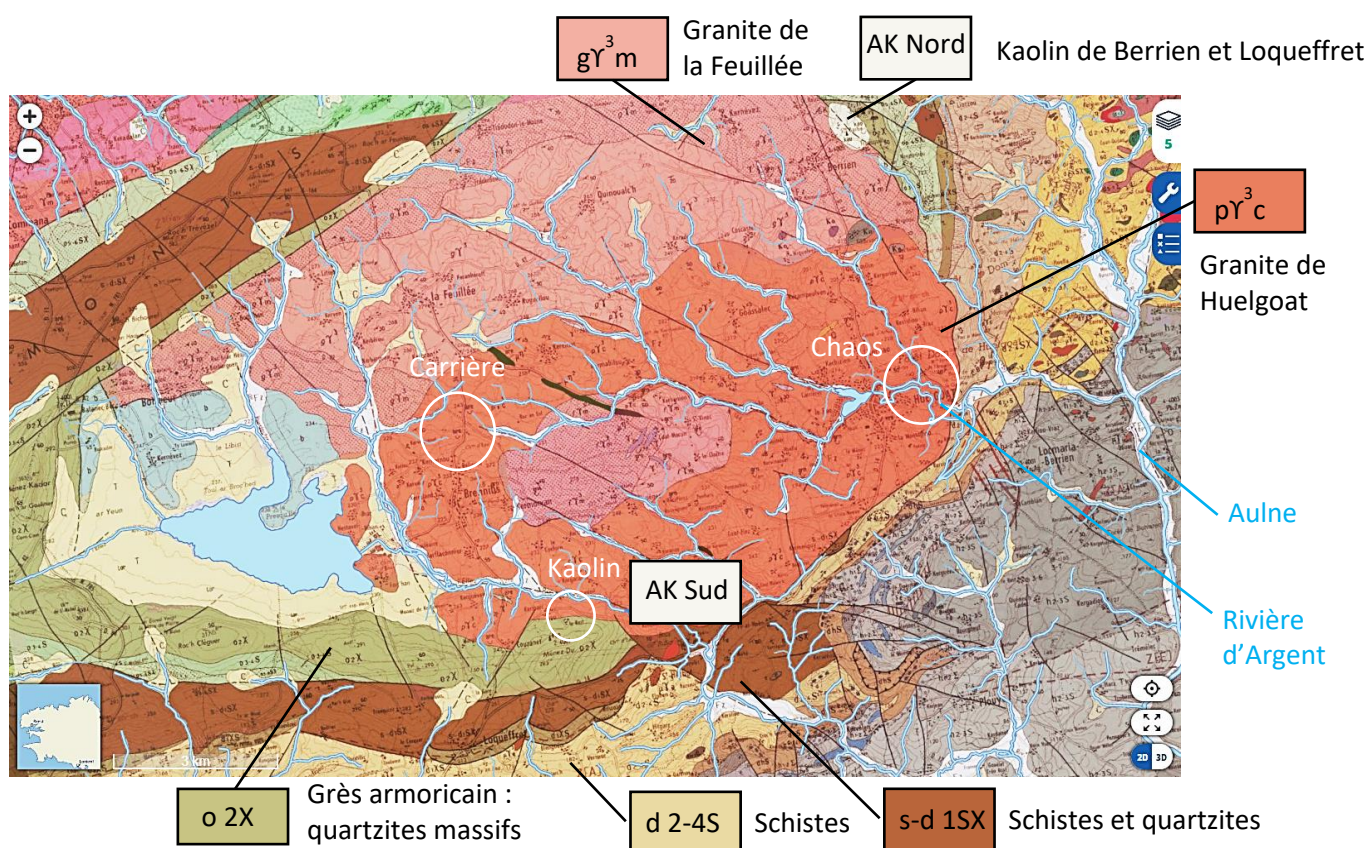


Figure 1 consists of four photographs illustrating different aspects of rock weathering and geological features.
 1. A close-up photograph of a rock surface showing four circular features labeled A, B, C, and D. A 1 cm scale bar is visible in the bottom left corner.
 2. A photograph of a quarry or construction site showing a large rock face, a red tractor, and workers.
 3. A close-up photograph of a rock sample showing a mix of dark and light-colored mineral grains.
 4. A close-up photograph of a rock surface showing a network of cracks and a 50 cm scale bar.

Nommez les minéraux B, C, D sur l'image 1 du document 13 et indiquez le minéral le plus résistant à l'altération.

Document 14 : Deux réactions d'altération de l'orthose.

$$3 \text{ KAlSi}_3\text{O}_8 + 12 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ H}^+ \longrightarrow \text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 6 \text{ Si(OH)}_4 + 2 \text{ K}^+$$

Orthose Illite Acide silicique

$$2 \text{ KAlSi}_3\text{O}_8 + 9 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ H}^+ \longrightarrow \text{ Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4 \text{ Si(OH)}_4 + 2 \text{ K}^+$$

Orthose Kaolinite Acide silicique

Question 19

À partir du document 14, indiquez :

- la réaction d'altération la plus poussée.
- la réaction qui consomme le plus d'eau par mole d'orthose.
- s'il s'agit d'une dissolution ou d'une hydrolyse en justifiant votre réponse.

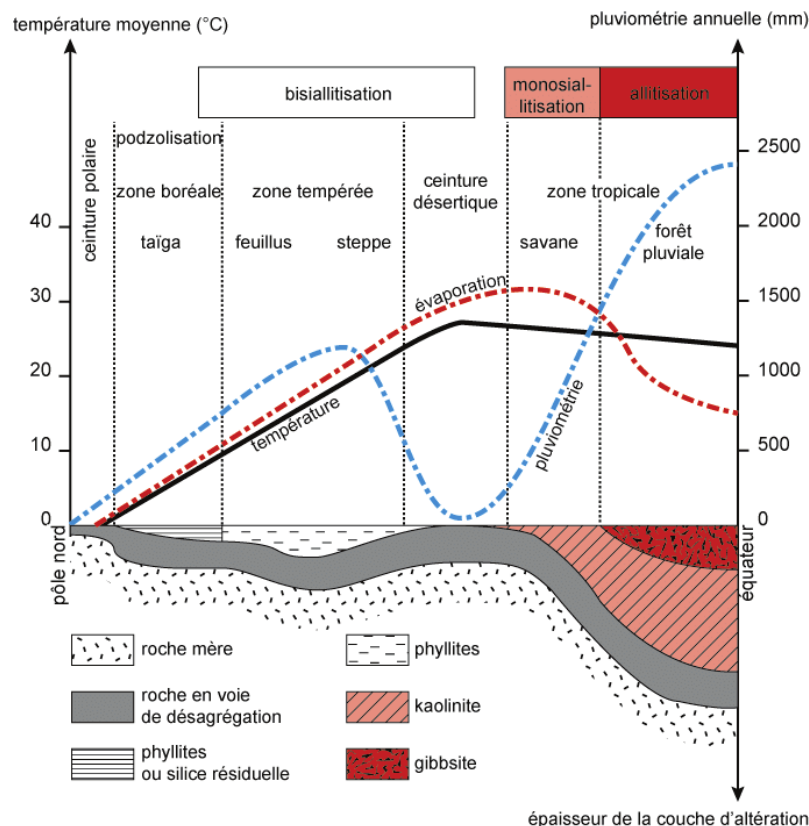
Question 20

À partir des informations du document 13, expliquez la formation chronologique du chaos de Huelgoat illustré dans le document 12. Complétez votre explication par un schéma sur lequel apparaîtra la position relative des objets géologiques 1, 3 et 4 du document 13.

Le kaolin est une argile blanche où domine le minéral argileux kaolinite. C'est une ressource, utilisée dans de nombreux domaines : porcelaine, couchage du papier... Deux gisements de kaolin ont été exploités à la périphérie du massif granitique de Huelgoat : l'un au nord du massif (AK Nord), et l'autre au sud (AK Sud), visibles sur la carte du document 12. Le granite sain est trouvé à plusieurs dizaines de mètres sous la surface de ces gisements.

Au nord, la formation de la kaolinite est due à la circulation précoce dans le granite d'eaux chaudes hydrothermales remontant de la profondeur, puis, dans un second temps, à la circulation d'eaux météoriques issues des précipitations. Au sud (document 12), elle n'est due qu'aux eaux météoriques. On a pu dater la formation de ces deux gisements de kaolin de l'ère Tertiaire (Éocène).

Document 15 : Diagramme de Pedro (extrait de la thèse de N. J. Bonnet)



Question 21

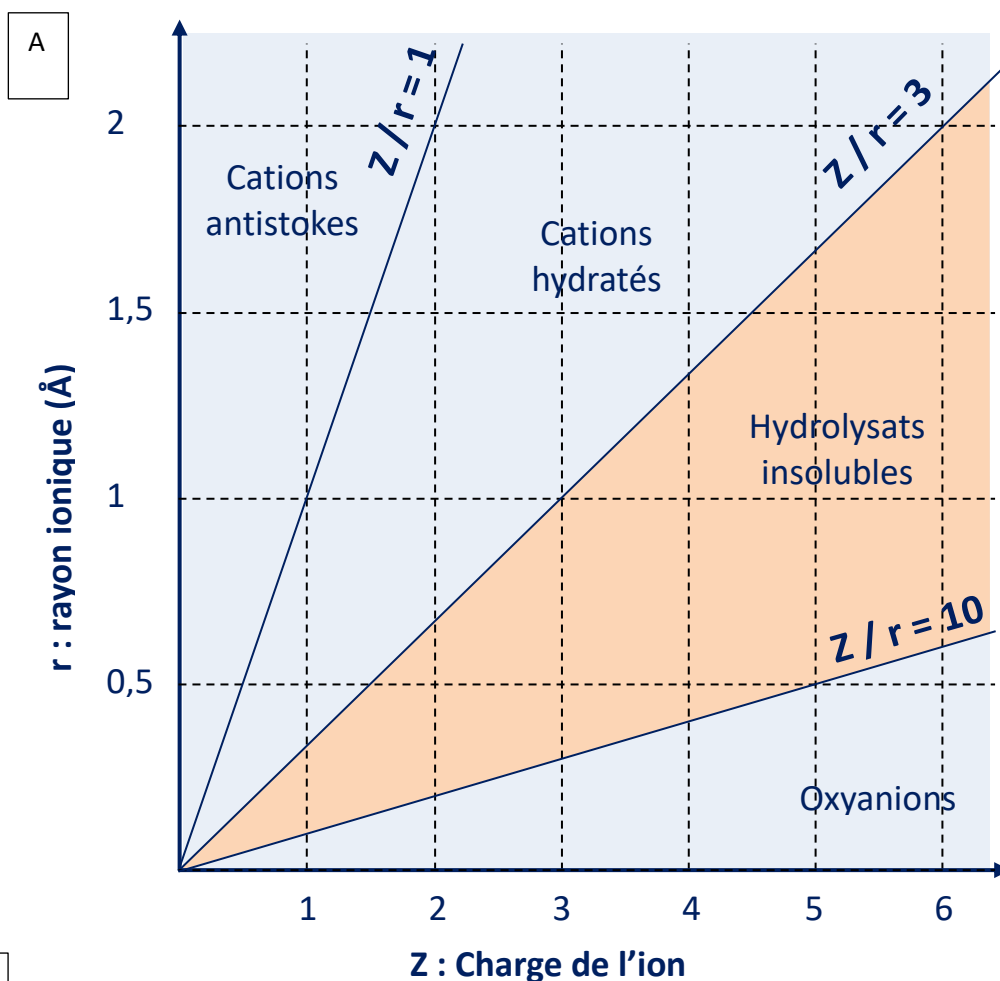
Décrivez le gradient vertical d'altération attendu dans le cas d'une altération par les eaux hydrothermales et celui attendu dans le cas d'une altération par les eaux météoriques.

Question 22

Sachant que, sous le climat actuel en Bretagne, l'altération de l'orthose donne surtout de l'illite ou de la smectite (autre minéral argileux), et un peu de kaolinite dans les zones les mieux drainées, proposez une hypothèse pour expliquer l'abondance de la kaolinite formée lors de l'altération du granite de Huelgoat en utilisant le document 15.

Certains minéraux du granite comme la biotite contiennent du fer. Libéré lors de l'altération, ce fer peut former des oxydes et hydroxydes [comme la goethite $\text{FeO}(\text{OH})$] qui colorent vivement la formation résiduelle. Or, les kaolins de Berrien et Loqueffret sont remarquablement blancs. Cela s'explique en partie par le piégeage précoce du fer dans un autre minéral, la tourmaline, mais on ne peut pas exclure non plus le départ du fer en solution.

Document 16 : Diagramme de Goldschmidt (A). Les rayons ioniques du potassium, du fer (II) et du fer (III) sont indiqués en B. Le diagramme est reproduit en annexe (n° 5), à rendre avec la copie.



B

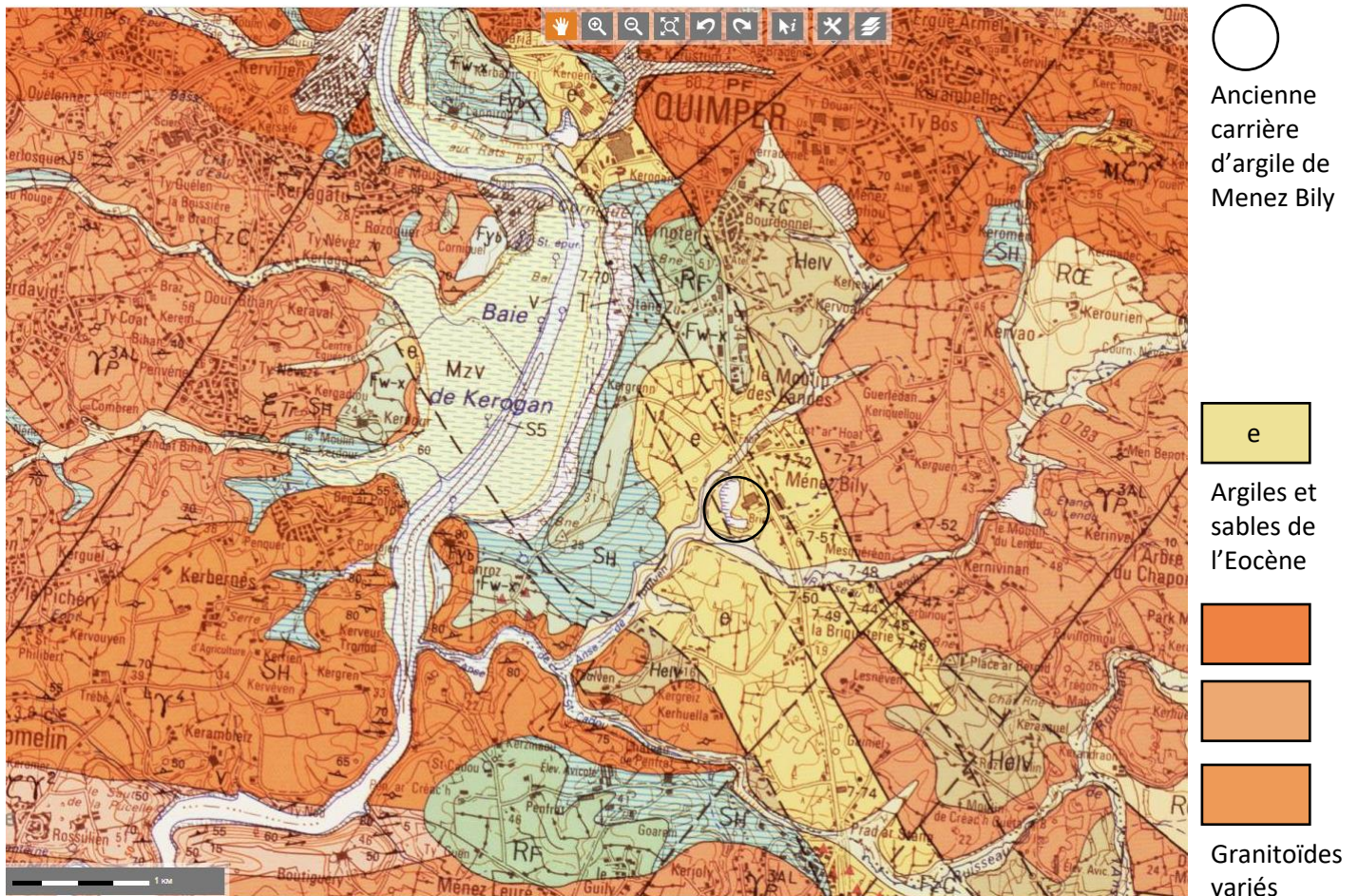
Élément	Charge	Rayon ionique (Å)
K	+1	1,38
Fe	+2	0,92
Fe	+3	0,78

Question 23

À partir du diagramme de Goldschmidt du document 16 et reproduit en annexe, comparez la solubilité de Fe^{2+} et Fe^{3+} . Proposez une hypothèse pour expliquer la couleur de ces kaolins.

Au sud de Quimper (Finistère), le site de Menez-Bily, dans la dépression de Toulven, est un gisement d'argile d'âge Éocène, exploité de l'Antiquité à la fin du XX^e siècle (document 17). Sur une épaisseur de plus de 20 mètres alternent des couches d'argile, où domine la kaolinite, et des couches de sable aux grains émoussés et luisants. Argiles et sables contiennent certains minéraux absents des arènes granitiques de la dépression de Toulven, mais présents dans des roches plutoniques plus distantes. La carrière aujourd'hui transformée en plan d'eau a joué un rôle dans l'essor de l'industrie de la faïence à Quimper.

Document 17 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000^e de Quimper. L'emplacement de l'ancienne carrière de Menez Bily, dans la dépression de Toulven, est indiqué.



Question 24

a. Expliquez en quoi le gisement d'argiles kaoliniques de la dépression de Toulven diffère des gisements de kaolin du massif d'Huelgoat quant aux conditions de formation et de dépôt.

b. À partir du document 17, identifiez les deux types de zone dans lesquelles il vous semble intéressant de prospecter à la recherche de kaolin.

FIN DU SUJET