

Correction du devoir surveillé de SVT n°7

Biologie

Structure et fonction d'opsines d'organismes unicellulaires.

Q1. a chloroplaste (ou thylakoïde) ; b paroi (ou matrice extracellulaire) ; c appareil de Golgi ; d. pyrénoloïde entouré d'amidon ; e noyau ; f vacuole ; g membrane plasmique ; h flagelle ; i mitochondrie.

Q2a. Lors d'un enregistrement en voltage imposé, le potentiel de membrane est fixé par l'expérimentateur qui mesure l'intensité de courant (entrant ou sortant) à travers la membrane.

Q2b. L'illumination par une radiation de $\lambda = 400$ nm (non absorbée par l'opsine d'après la fig.2A) fait office de **témoin négatif**.

La figure 2B montre que l'illumination par une radiation de $\lambda = 450$ nm (pic d'absorbance de CHR2 d'après la fig. 2A) induit un **courant négatif d'environ 5 μ A**, donc un flux d'ions à travers la membrane, si son potentiel est fixé à -100 mV. Le courant est sortant et beaucoup plus faible (1 μ A) si la membrane est dépolarisée (fig. 2C). Le fait que l'intensité du courant ionique dépende du voltage ne signifie pas forcément que le flux d'ions se fait pas des canaux voltage-dépendant ; en effet le flux passif d'un ion dépend de son gradient électrochimique qui dépend lui-même du potentiel de membrane.

Il n'est pas possible à ce stade, de savoir par quel type d'ions est porté ce courant puisque la composition du milieu n'est pas

Q2c. Deux hypothèses peuvent être proposées quant à la nature de CHR2 :

- l'opsine absorbe la lumière puis active l'ouverture d'un canal ionique porté par une autre protéine ;
- l'opsine est à la fois un photorécepteur et un canal.

Q3a. Un western-blot permet de caractériser la présence d'une protéine d'intérêt dans un extrait biologique. Après avoir séparé les protéines de la totalité ou d'une fraction d'ovocyte, on réalise une réplique du gel d'électrophorèse qui est révélée par des anticorps spécifiques des protéines d'intérêt : ici, CHR2, Na^+/K^+ ATPase (protéine membranaire, fraction 1), et actine (protéine cytoplasmique, fraction 2) qui font office de **témoin de charge**.

Q3b. CHR2 est retrouvée dans la même fraction que la Na^+/K^+ ATPase : c'est donc une **protéine membranaire**.

Q3c. Le profil d'hydrophobicité montre que CHR2 présente 8 domaines hydrophobes d'une vingtaine d'acides aminés qui correspondent à des régions transmembranaires.

Deux organisations structurales peuvent alors être proposées selon que l'extrémité C-terminale de faible hydrophobicité, est cytosolique ou extracellulaire (hydrophobes).

Q4a. En faisant entrer différents ions dans la composition du milieu extracellulaire, on cherche à préciser la nature des ions qui portent le courant transmembranaire consécutif à l'illumination de CHR2.

Q4b. La figure 4A montre que quand on change les cations du milieu extracellulaire, l'intensité du courant est modifiée : par exemple, il est 75 % plus faible avec NaCl qu'avec LiCl. Au contraire lorsque c'est l'anion qui est modifié, l'intensité de courant n'est pas changée : même intensité avec AsNa qu'avec NaCl ou avec AsK qu'avec KCl. Ces résultats montrent que le courant transmembranaire faisant suite à l'illumination de CHR2 est un **courant entrant cationique**.

Par ailleurs, l'intensité de courant dans un milieu contenant l'ion Cl⁻ est d'autant plus élevée que le cation associé est plus petit : $I_{\text{LiCl}} > I_{\text{NaCl}} > I_{\text{KCl}} > I_{\text{RbCl}} > I_{\text{CsCl}} > I_{\text{NmgCl}}$. Donc le canal activé par l'illumination de CHR2 **filtre les cations en fonction de leur diamètre**.

Q4c. Dans l'expérience D, le facteur variant est le pH : plus le pH du milieu extracellulaire est élevé et plus le courant cationique qui fait suite à l'illumination de CHR2 est faible (il est nul à pH = 9). Ceci peut s'expliquer par le fait que le courant cationique se fait selon son gradient électrochimique, qui dépend de la concentration de cations et notamment de H⁺, c'est à dire du pH.

Q5a. La figure 3B montre que les séquences d'intérêt sont hydrophobes : elles sont donc potentiellement **membranaires**.

Q5b. Les acides aminés que l'on a choisi de muter sont des acides aminés à radical polaires non chargé (S : sérine), basiques (N : asparagine) ou acide (E : Glutamate) N au sein de régions hydrophobes précédemment identifiées. On peut alors supposer que ces acides aminés polaires pointent leur radical vers l'intérieur du canal et ont donc des propriétés fonctionnelles particulières que l'on cherche à explorer.

Q5c. Les résultats de la figure 5B permettent **d'identifier les acides aminés dont le remplacement modifie le temps pour atteindre le pic** : en tenant compte des barres d'incertitude, il s'agit de la **sérine (S) 102 et de l'asparagine (N) 297** dont le remplacement par l'aspartate (radical acide) diminue le temps pour atteindre le pic, donc favorise le flux cationique transmembranaire. En revanche les deux glutamate (E) 140 et 136 ne semblent pas avoir un grand rôle dans ce flux un acide est grand, puisque leur remplacement par l'alanine (aux propriétés très différentes) est sans effet. Les résultats de la figure 5C identifient les acides aminés dont le remplacement modifie le rapport des courants portés par les ions Na^+ (milieu avec NaCl) et K^+ (milieu avec KCl) c'est-à-dire les acides aminés impliqués dans la **sélectivité du canal**. De tous les acides aminés testés, seul le glutamate (E) 136 semble jouer un tel rôle : son remplacement par l'alanine rend le canal plus sélectif pour les ions K^+ .

Q6. Les expériences précédentes montrent que CHR2 permet de **modifier le potentiel de membrane de *Chlamydomonas reinhardtii* en présence de lumière**. Une telle propriété peut présenter un avantage sélectif pour un organisme phototrophe : orientation de la cellule vers des sources de lumières ; détection de la profondeur ; synchronisation du métabolisme sur le rythme jour / nuit...

Q7a. Le potentiel d'équilibre d'un ion est le potentiel de membrane pour lequel les flux nets de cet ion sont nuls.

Q7b. L'halorhodopsine NpHR absorbe les radiations de longueur d'onde comprise entre 500 et 650 nm avec un maximum d'absorbance pour $\lambda = 595 \text{ nm}$ (figure 6A). Lorsqu'elle est illuminée à cette longueur d'onde, elle est responsable d'un courant membranaire positif d'environ 40 pA (figure 5B). Pour un potentiel imposé de -60mV, le courant induit par NpHR est donc porté soit par des ions K^+ qui sortent soit par des anions qui rentrent. Or le potentiel auquel la cellule est maintenue est égal au potentiel d'équilibre de l'ion K^+ : le courant ne peut donc pas être un courant de K^+ ; on peut alors faire l'hypothèse que la protéine NpHR lorsqu'elle est illuminée est traversée par un **courant entrant d'ions Cl^-** .

Q7c. Cependant, la figure 7C montre que le courant induit par l'illumination de NpHR ne dépend pas du potentiel de membrane. Au travers de cette protéine, il ne s'établit donc pas un flux ionique passif (selon le gradient électrochimique) mais un flux actif indépendant du gradient : ce n'est donc pas un canal mais un **transporteur**.

Q8a. L'illumination à 450 nm permet d'activer l'opsine CHR2 et celle à 595 nm l'opsine NpHR. D'après les résultats précédents ces illuminations sont à l'origine de courants transmembranaires dont on cherche à savoir s'ils peuvent faire varier le potentiel de membrane des neurones.

Q8b. L'illumination de la membrane du neurone à 595 nm entraîne une hyperpolarisation. Ceci est cohérent avec les résultats de la question 7. L'illumination active NpHR qui transporte alors des anions vers l'intérieur de la cellule, ce qui **hyperpolarise la membrane**.

Q8c. Les illuminations de la membrane du neurone à 450 nm entraînent une dépolarisation des neurones, ce qui est cohérent avec le fait que CHR2 activé permette un flux entrant de Na^+ .

Les temps différents d'illumination à 450 nm correspondent à des intensités de stimulation différentes. Seule une stimulation de 10 msec induit une dépolarisation suffisante pour déclencher un **potentiel d'action**.

Lorsqu'on stimule simultanément CHR2 et NpHR, le flux anionique entrant causé par NpHR activé empêche l'apparition d'un potentiel d'action malgré l'illumination de 10 ms de CHR2.

Ces expériences montrent **qu'il est possible de déclencher, ou d'inhiber le déclenchement d'un potentiel d'action par de la lumière**.

Q8d. Les avantages d'utiliser de la lumière pour moduler l'activité des neurones sont nombreux et sont liés à la **précision spatiale et temporelle** du stimulus.

Cette méthode nécessite de disposer de neurones qui **expriment des opsines**, ce qui peut être difficile. De plus, tous les compartiments du neurone vont exprimer la protéine et la lumière peut donc entraîner un changement de potentiel de membrane dans tous ces compartiments, ce qui peut rendre l'interprétation délicate. Par ailleurs cette méthode demande de travailler dans une pièce noire et avec des longueurs d'onde précises.

Q9a. La figure 8 montre que l'activation de CHR2 dans les neurones présynaptiques déclenche des courants ioniques au niveau post synaptique (de plusieurs centaines de pA) avec la même fréquence que la fréquence d'illumination, ce qui semble montrer que l'illumination du neurone présynaptique **active le fonctionnement de la synapse**.

Q9b. Cependant, avec les résultats de 8B, on ne sait pas si l'activation de CHR2 induit une dépolarisation au niveau du bouton présynaptique et donc la libération du neuromédiateur avec ou sans déclenchement d'un potentiel d'action présynaptique. C'est pour le savoir que l'on recommence l'expérience en présence de TTX. L'utilisation de NBQX cherche à tester si les courants enregistrés sont liés à l'activation des **récepteurs canaux ligands-dépendants** post-synaptiques.

Q9c. La TTX, qui bloque les canaux sodium dépendants du voltage et donc les potentiels d'action bloque la transmission synaptique. Cela montre que la dépolarisation par CHR2 entraîne bien des potentiels d'action au niveau présynaptique qui, ensuite, provoquent la libération du neuromédiateur. L'utilisation de NBQX prouve que les courants sont liés à l'activation des **récepteurs canaux ligands-dépendants** post-synaptiques.

Q10a. Les vésicules fixées, les plus proches de la membrane présynaptique sont prêtes à décharger les neuromédiateurs dans la fente synaptique alors que les vésicules liées sont en réserve.

Q10b. Une illumination de 10 ms induit un bref courant ionique et un seul (et donc sans doute un seul potentiel d'action associé).

Q10c. La figure 9E montre que le nombre de vésicules fixées diminue de 50 % environ dès les 15 premières millisecondes après le déclenchement de la transmission synaptique et qu'il revient à la quantité initiale entre 3 et 10 s (ce qui pourrait correspondre au temps de récupération décrit dans l'énoncé). D'après la figure 9F, le nombre des vésicules liées reste stable dans les 300 ms qui suivent le déclenchement de la transmission synaptique et qu'il diminue au moment où le nombre de vésicules fixées augmente, ce qui confirme leur rôle de réserve.

On peut donc proposer l'interprétation suivante : lors de la transmission synaptique les vésicules fixées fusionnent à la membrane, ce qui fait baisser leur nombre pendant quelques secondes, avant que les vésicules liées ne viennent les remplacer.

Q11. La figure 10B montre que le diamètre des puits qui apparaissent au niveau de la zone active, c'est à dire où le médiateur est libéré, ont un diamètre égal à celui des vésicules. D'après 10C, leur nombre est maximal 15 ms après l'activation de la transmission synaptique et diminue ensuite ; cette cinétique d'apparition est donc compatible avec **l'hypothèse qu'elles sont dues à la fusion des vésicules fixées.**

Q12a. Les puits observés à la figure 11 ne sont pas localisés dans la zone active ; leur diamètre est bien identique à celui des vésicules synaptiques. Cependant, le fait que la ferritine, qui stocke le fer et qui est donc visible en microscopie électronique soit observée à l'intérieur de ces puits alors qu'elle a été ajoutée au milieu extérieur, montre qu'il est ici question d'**endocytose**. L'analyse cinétique de la figure 11 D montre de plus que le nombre de ces puits est maximal 100 ms après le début de l'exocytose des vésicules de la zone active.

L'hypothèse la plus vraisemblable est que cette.

Q12b. Lors de la transmission synaptique (expérimentalement déclenchée ici par une illumination de 10 ms des opsines exprimées par le neurone présynaptique), il se produit **en moins de 15 ms** une **exocytose** des vésicules de neuromédiateurs les plus proches de la membrane (vésicules « fixées ») dont le nombre baisse de 50 % après 300 ms de stimulation. Le **pool des vésicules prêtes à l'exocytose est renouvelé** après 1s à partir de vésicules « liées ». Dans le même temps il se produit une **endocytose** de vésicules membranaire qui contribue probablement à régénérer des vésicules synaptiques et à restaurer la surface de membrane du bouton présynaptique. Le neuromédiateur se fixe sur des canaux ligand dépendant de la membrane post-synaptique (bloqués par NBQX) ce qui **entraîne des courants transmembranaires** dans le neurone post-synaptique.

Géologie

Partie 1 : Etude de la région de Séderon

Question 1.1. Étude tectonique à partir de l'extrait 1 (carte de Séderon au 1/50000°)

a) *Quel est le pendage des couches de la Montagne d'Albion (au Sud de l'extrait) ? Justifiez.*

Dans la montagne d'Albion, la limite entre n2 et n3 montre des V dans la vallée dont la pointe est dirigée vers le Sud. On note aussi plusieurs signes de pendage (au Sud de Chassari et au Nord du col du Négron) qui témoignent d'un pendage vers le Sud. Plus au sud, la limite entre n3 et n4a suit le tracé des courbes de niveau : le pendage est donc nul à cet endroit.

En résumé, les couches de la Montagne d'Albion sont horizontales à faiblement pentées vers le Sud.

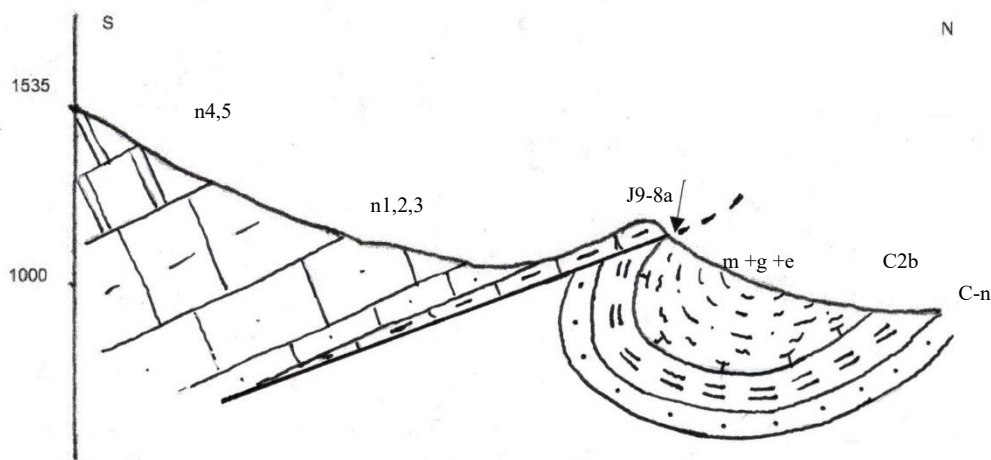
b) *Dans les secteurs de Séderon et Vers-sur-Méouges (Baronnies), identifiez la structure géologique : s'agit-il d'une structure horizontale, monoclinale ou plissée ? Justifiez.*

Au Nord de la Montagne d'Albion, et au Sud de Séderon la carte montre un grand nombre de signes de pendage dirigés de façon très variable : vers le Nord ou vers le Sud. **La région des Baronnies est plissée.** Malgré les éboulis, on repère la symétrie des terrains et les terminaisons péricleinales à l'Ouest) ; on en déduit la **direction des plis : Est-Ouest.**

c) *Quelles sont les caractéristiques du contact entre le secteur des Baronnies et celui de la Montagne d'Albion ?*

Ce contact est représenté par des traits épais sur la carte : c'est un **contact tectonique, ou anormal** : un ensemble de failles de direction Est-Ouest, comme les plis. On ne repère pas de V dans les vallées.

Question 1.2. Coupe à main levée à partir de l'extrait 2



a) *Quelle est la signification du trait pointillé noir qui traverse l'extrait d'est en ouest au nord de la « crête des serres »*

Il s'agit d'un contact tectonique ou anormal, cette fois ci on repère deux vallées l'une à l'est et l'autre à l'ouest, il devient donc possible de trouver le sens du pendage du contact en observant la direction pointée par le « V » le pendage de la faille est vers le sud, l'âge des terrains de part et d'autre de la faille permet d'affirmer que celle-ci est une faille inverse. Le compartiment sud est chevauchant sur le compartiment nord.

b) *Quelle est la signification du symbole présent dans la formation C2b à l'ouest de l'extrait (300 m au sud de « La bèque »)*

Il s'agit d'une charnière de pli synclinal.

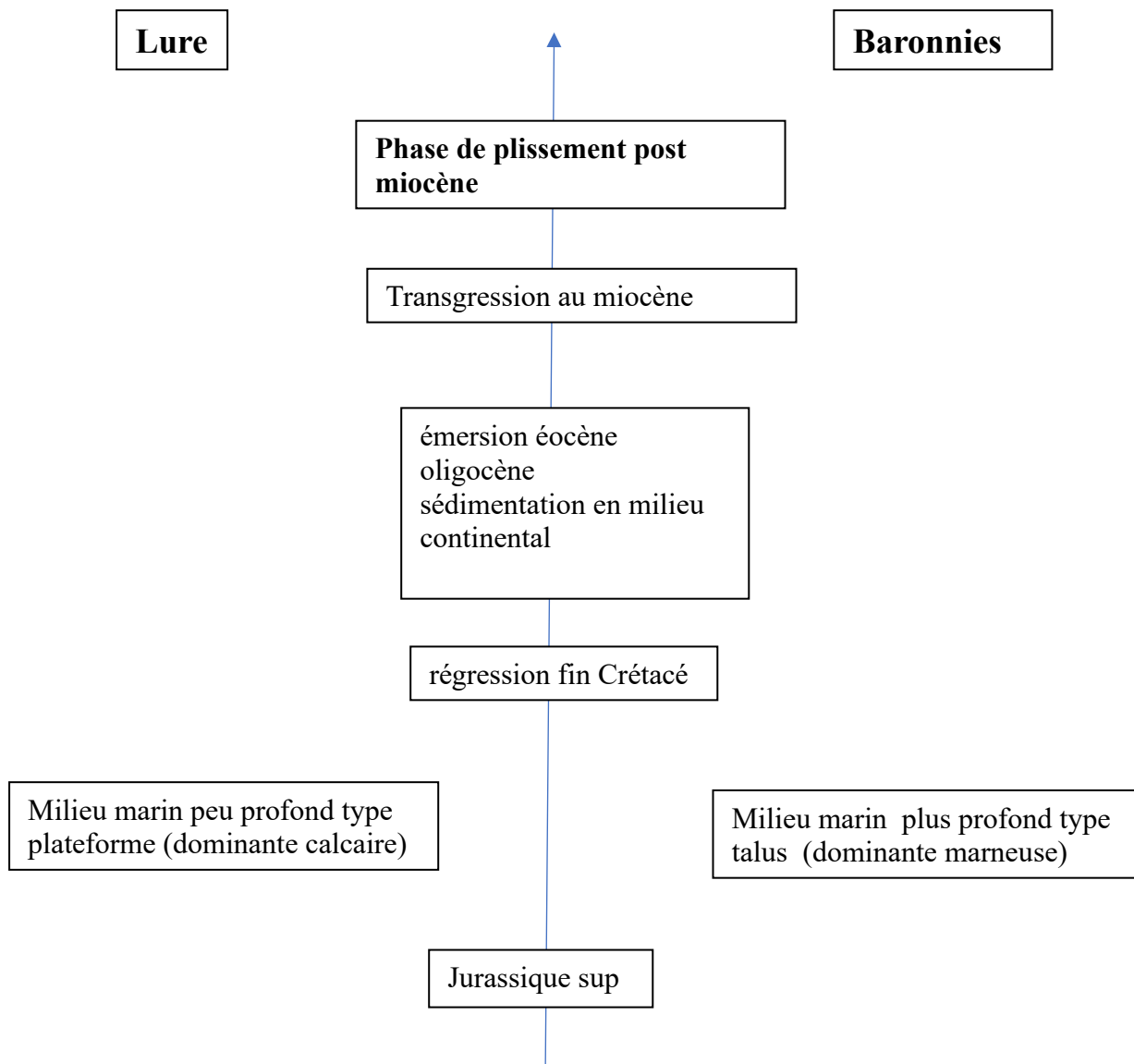
Question 1.3. Etude lithologique des terrains sédimentaires dans la région nord (Baronnies) et la région sud (Lure)

Le tableau suivant présente les caractéristiques des formations sédimentaires dans la zone sud et nord

a) Formulez une hypothèse permettant d'expliquer les différences de nature des formations dans la zone sud et nord de la carte de Séderon

L'hypothèse la plus probable est celle d'un passage latéral de faciès : le milieu de sédimentation n'était pas le même dans la zone sud (Lure) et dans la zone nord (Baronnies). Ces deux zones sont maintenant en contact à la faveur du chevauchement mais elles correspondaient à deux domaines paléogéographiques distincts au jurassique et au crétacé.

b) A l'aide de la carte et du tableau ci-dessous, reconstituez l'histoire géologique (sédimentaire et tectonique) de la région de Séderon.



Question 1.4.

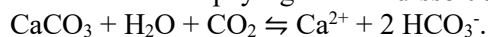
Analyse de paysages

a) Expliquez le plus précisément possible les processus géologiques responsables de la formation du paysage 1.

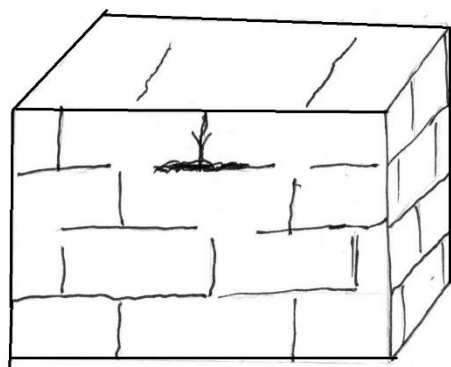
Le mécanisme géologique à l'origine du paysage du mont Ventoux est la thermoclastie. Sous l'influence des variations thermiques importantes, alternance jour/ nuit alternance des saisons, gel/dégel (cryoclastie) les roches présentes à l'affleurement se fragmentent. Les conditions climatiques températures basses en altitude, vent permettent difficilement la formation d'un sol : la roche est à nu. Le mécanisme d'altération dominant est ici l'altération physique.

b) Même question pour le paysage 2 en vous appuyant sur une séquence de schémas simples

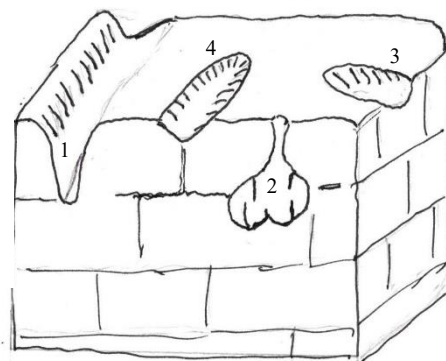
On reconnaît un paysage karstique : gorges (canyons) et lapiez. Le mécanisme principal à l'origine de la formation de ces paysages est la **dissolution** des calcaires suivant l'équation :



La dissolution de la roche se produit soit en surface, soit plus ou moins en profondeur, selon que l'eau circule lentement ou plus ou moins vite. Des pressions partielles en CO_2 élevées favorisent l'équation précédente vers la droite. Quand une fissure est élargie par la dissolution, le débit qui la traverse augmente aux dépens des fissures voisines ; elle prend alors de plus en plus d'importance et constitue une voie de circulation de l'eau. Les cannelures ou lapiez se forment par dissolution différentielle.



circulation de l'eau par
les diaclase et fractures
ruissèlement et
dissolution
formation d'éléments de
morphologie karstique :
canyon ou gorge (1)
aven (2)
doline (3)
lapiez (4)



Partie 2 Étude de turbidites

Question 2 :

a) Analysez en détail chaque photographie A, B et C de la figure 2 et replacez-la dans la séquence type de Bouma.

La photo A concerne l'affleurement d'un matériau finement granulaire (surface assez lisse) évoquant un grès fin. Le litage comporte quelques formes linéaires horizontales suggérant des limites de strates et, entre celles-ci, des formes ondulées, convexes vers le haut, symétriques ou légèrement asymétriques, rappelant des rides. Leurs recouvrements latéraux et non strictement verticaux (angle inférieur droit, près de la clé) seraient en lien avec le paléocourant (de gauche à droite) à leur origine. Cet affleurement A présente les caractères du terme TC de la séquence de Bouma.

L'affleurement B, plurimétrique, peut être décomposé en 2 unités superposées : l'unité inférieure présente un fin litage stratigraphique, assez régulier, et se trouve en retrait de l'unité susjacent, signe d'une lithologie plus sensible à l'érosion. Quelques bancs centimétriques plus clairs y apparaissent. On peut supposer qu'elle est constituée d'argilites avec quelques passées de grès fins (silts indurés) intercalés. Il s'agirait dans ce cas du terme TD de la séquence de Bouma. L'unité supérieure est très massive, sans réelle stratification, avec une forte rugosité de sa surface et de nombreuses taches blanches évoquant des graviers de quartz. Tout ceci suggère qu'on est en présence d'un grès grossier, sans granoclassement. Par ailleurs la surface basale de ce niveau est très sinueuse, recoupant par endroits la stratification de l'unité inférieure. Cela signifie que les sables grossiers se sont déposés consécutivement à une phase d'érosion en comblant de petits chenaux ou

sillons parallèles les uns aux autres. L'absence de granoclassement dénote l'existence d'un paléocourant de régime turbulent avec chute brutale de la vitesse et dépôt sans tri des matériaux. Tous ces caractères sont ceux de l'unité basale ou TA d'une séquence de turbidites.

L'affleurement C est décomposable en 2 secteurs selon une diagonale angle inférieur gauche/ angle supérieur droit. Le secteur de l'angle inférieur droit possède une certaine rugosité et ne présente aucun litage ; il évoque le terme TA précédent dont il serait le toit (absence de graviers de quartz dans ce cas). Le secteur de l'angle supérieur gauche est par contre lité avec des laminations bien parallèles, sans rides, suggérant un dépôt sous régime laminaire et paléocourant de moyenne à haute énergie (lits plans dans le diagramme de Allen).

Cet exemple illustrerait la transition entre termes TA et TB de la séquence de Bouma.

b) Sur quelle photo pourriez-vous observer des figures basales d'érosion ? Quel enseignement seriez-vous susceptible d'en tirer ?

Les figures d'érosion se localiseraient sur la photo B, au niveau de la transition entre argilites et grès grossiers, là où la surface ondulée érode le toit de la séquence précédente et le moule en négatif (les creux ou sillons apparaissent en relief sur la surface basale de la nouvelle séquence). L'observation de figures en flûte permettrait de déterminer le sens du courant de turbidité et donc la direction de provenance des sédiments détritiques.

Partie 3 Etude de joints stylolithiques du calcaire

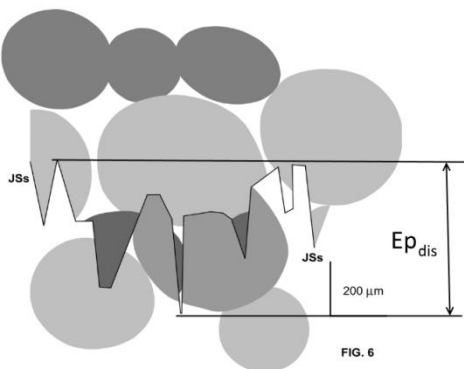
Question 3.1

En nous aidant des oolites comme repère, nous voyons **qu'une partie de la matière disparaît**. Cette disparition est **différentielle sur la surface du joint**. Certaines zones résistent plus et pénètrent dans le compartiment d'en face.

Nous pouvons estimer cette disparition $E_{p_{dis}}$ en mesurant l'écartement de deux points repères, A et B par exemple avant et après dissolution. $D_{A-B \text{ initial}} = 1700 \text{ } \mu\text{m}$ et $D_{A-B \text{ final}} = 1100 \text{ } \mu\text{m}$.

Le raccourcissement $E_{p_{dis}} = D_{A-B \text{ initial}} - D_{A-B \text{ final}} = 600 \text{ } \mu\text{m}$

Remarque : nous pouvons aussi estimer $E_{p_{dis}}$ en mesurant l'écart maximum entre les différents sommets de pics dans la situation finale.



Le processus qui engendre la création d'un joint stylolithique est une **pression-dissolution sous contraintes**. Le calcaire est très sensible à la dissolution, comme en témoignent dans le diagramme de Goldschmidt la position de l'élément calcium dans les cations solubles et la position de l'élément carbone dans les oxyanions solubles (ici CO_3^{2-}).

Question 3.2

La composition du joint est le résultat de la **concentration des éléments insolubles** lors de la dissolution différentielle du calcaire.

Le calcium, le potassium, le sodium et le magnésium sont dissous et donc en faible proportion. Les **éléments insolubles, tels que le fer, l'aluminium et dans une moindre mesure le silicium, sont concentrés**.

En prenant les éléments les plus insolubles, nous pouvons estimer la quantité de calcaire dissout :

Exemple avec l'aluminium :

Le joint stylolithique a une épaisseur $E_{p_{joint}}$ de 20 μ m en moyenne. Il contient une quantité Q_{Al} d'aluminium avec une concentration C_{joint} .

Cette quantité était contenue dans une épaisseur $E_{p_{calc/Al}}$ de calcaire, dont la concentration en aluminium est C_{calc} .

$$Q_{Al} = E_{p_{joint}} \times C_{joint} = E_{p_{calc/Al}} \times C_{calc} \text{ d'où } E_{p_{calc/Al}} = (E_{p_{joint}} \times C_{joint}) / C_{calc}$$

$$\text{A.N. } E_{p_{calc/Al}} = 20 \cdot 10^{-6} \times 15 / 0,33 \approx 1000 \mu\text{m}$$

Avec le fer, on obtient : $E_{p_{calc/Fe}} \approx 1000 \mu\text{m}$ de la même façon.

Nous voyons donc que la reconstitution de l'état initial a été sous-estimée à la question 3.1, ce qui est normal puisqu'il n'existe aucun repère fiable de l'état initial.

Question 3.3

Il faut faire la somme des épaisseurs des joints sur la série : elle est de $90 \times 6 = 540 \text{ mm} = 0,54 \text{ m}$

Or nous avons calculé qu'un joint de 20 μ m concentre les éléments d'une épaisseur de 1000 μ m de calcaire.

La quantité totale de calcaire dissoute sur l'ensemble de la série est donc de $0,54 * (1000/20) = 27 \text{ m}$.

La série calcaire a donc diminué de près d'un tiers de son épaisseur sous l'effet de la dissolution.

La stylolithisation entraîne une compaction et une diminution de l'épaisseur du sédiment.