

GÉOLOGIE

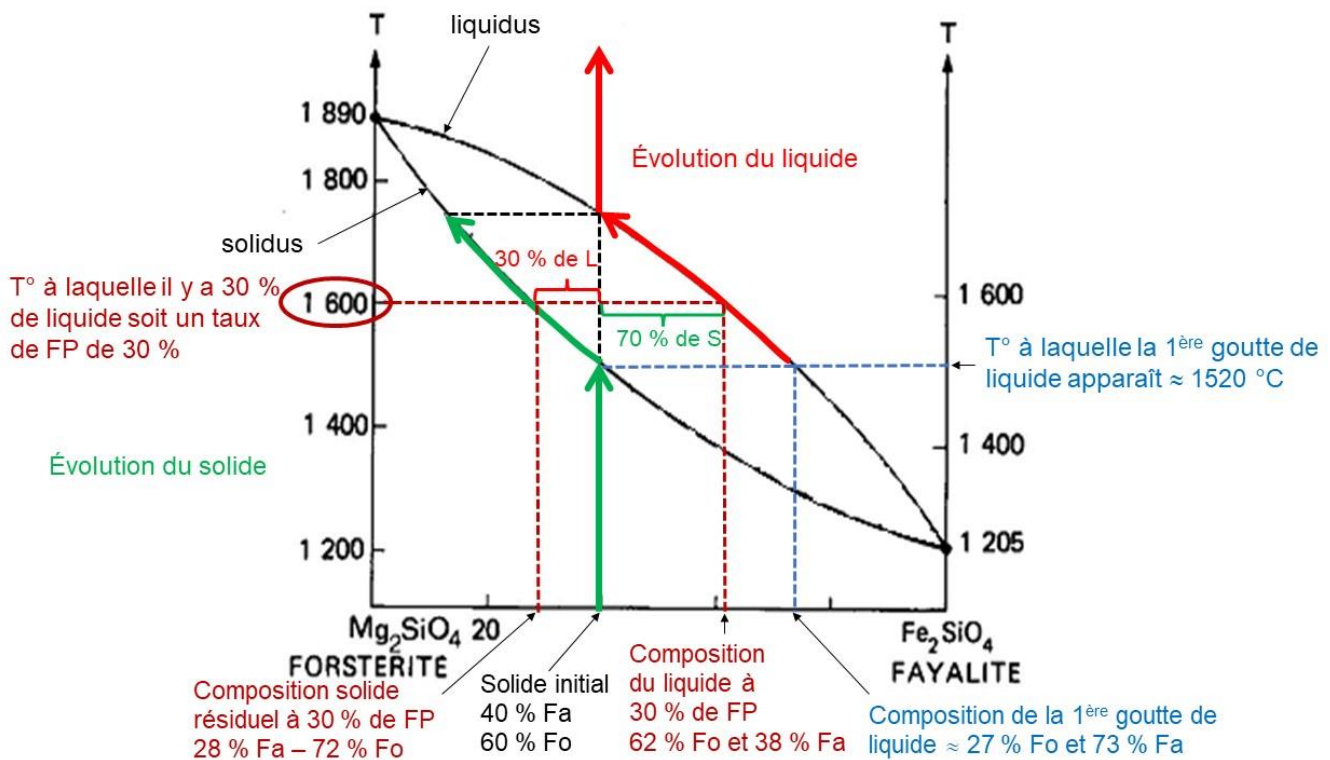
THÈME 1 : LES PROCESSUS DE FUSION PARTIELLE

On étudie la fusion partielle d'un système constitué d'un mélange de fayalite et de forstérite, deux pôles purs de l'olivine (document 1).

- **Légènder les courbes.**

Dans un processus de fusion partielle pour un solide de composition 40 % de fayalite et 60 % de forstérite :

- **Annoter le graphique pour montrer l'évolution du solide et du liquide.**
- **Indiquer sur le graphique à quelle température débute la fusion partielle et quelle est la composition du premier liquide formé.**
- **Déterminer graphiquement la température pour laquelle le taux de fusion partielle est de 30 % et indiquer quelles sont alors la composition du solide résiduel et du liquide.**



Document 1. Diagramme binaire forstérite – fayalite.

THÈME 2 : L'ISLANDE**I. L'activité tectonique en Islande**

1. Indiquez quels renseignements concernant l'activité tectonique en Islande apporte l'exploitation des documents 3 et 4.

Document 3 : nombreux séismes répartis le long de segments rectilignes (d'orientation N – S ou E – O en général).

Document 4 : failles avec leur escarpement témoignant d'une activité sismique.

Hypothèse : l'Islande serait traversée par une frontière de plaque.

2. Déterminer quelle est l'orientation du plan de faille pour le mécanisme au foyer le plus à l'Ouest (indiqué par une flèche) sur le document 5b. Vous argumenterez votre réponse.

Le mécanisme au foyer montre 4 secteurs égaux, séparés par les deux plans nodaux. L'un est d'orientation E-W et l'autre d'orientation N-S. Pour déterminer le plan de faille, il faut prendre en compte les deux autres mécanismes au foyer alignés. Ils sont le résultat de mouvements sur la même faille. Le plan commun à tous ces mécanismes est le plan de faille.

Dans le cas présent, le plan de faille est E-W

3. A partir de l'exploitation des documents 5a et 5b, déterminez quels sont les mouvements au niveau des failles principales en Islande.

Les séismes sont répartis le long des principales failles (montrées en cartouche et sur la carte 1) qui traversent l'Islande.

Au Nord :

- mécanismes au foyer en extension le long des failles orientées NS → failles normales et mouvement divergent,
- mécanismes de décrochement dextre le long des failles orientées WNW – ESE → failles décrochantes dextres et mouvement de coulissage.

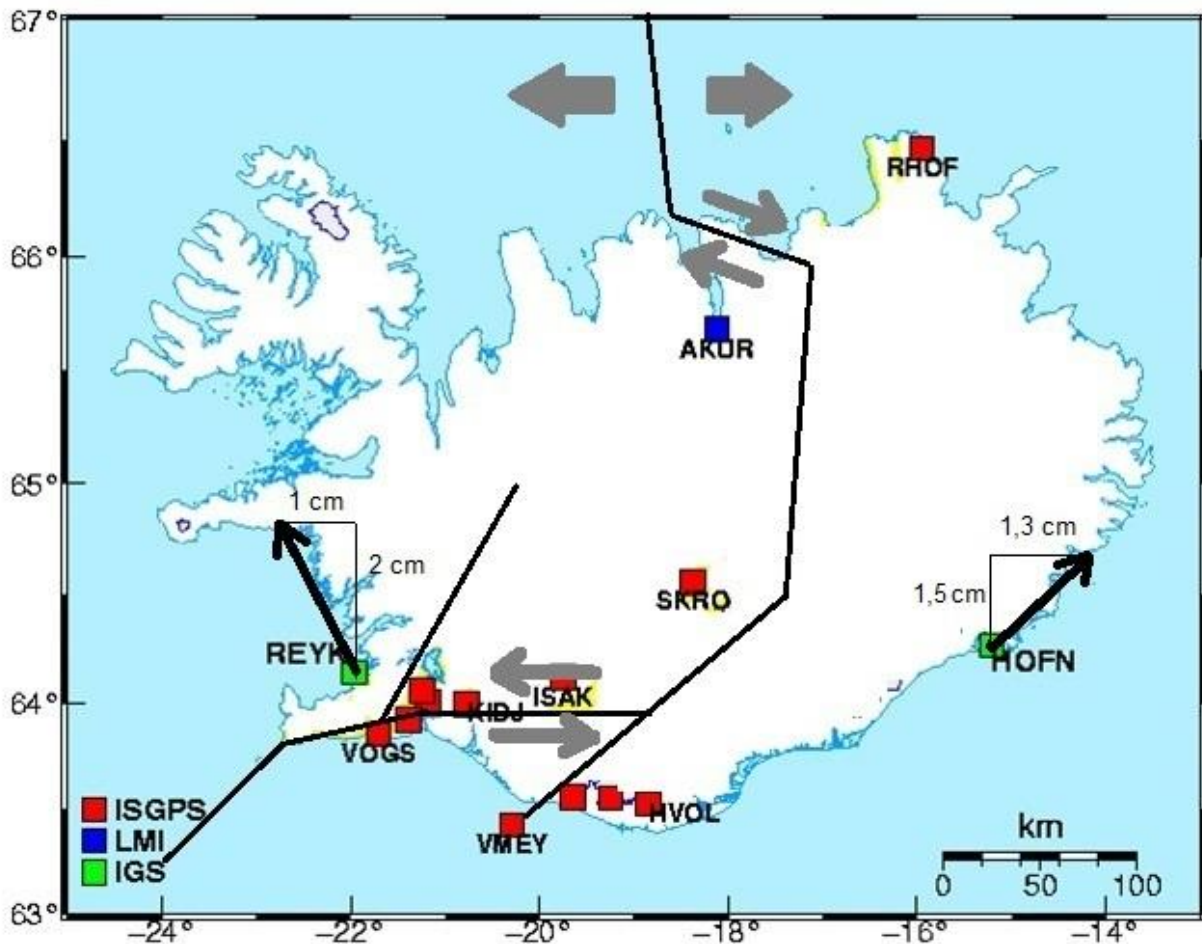
Au Sud : mécanismes de décrochement sénestre le long des failles orientées WE → failles décrochantes et mouvement de coulissage.

Mise en relation avec les documents 3 et 4 :

La localisation des séismes coïncide avec celle montrée sur le document 3, la faille montrée sur le document 4 pourrait être localisée au niveau d'un des jeux de failles de la carte.

Les mécanismes au foyer identifiés suggèrent que l'Islande est localisée sur une frontière de plaques divergente, ce qui confirme l'hypothèse précédente.

Carte de l'Islande complétée :



Les grosses flèches indiquent les mouvements déterminés grâce aux mécanismes aux foyers.

Les flèches plus étroites se rapportent à la question 3. Ils indiquent les mouvements des stations GPS (les flèches ne sont bien sûr pas à l'échelle de la carte, mais la même échelle utilisée pour les deux stations permet de comparer leur déplacement).

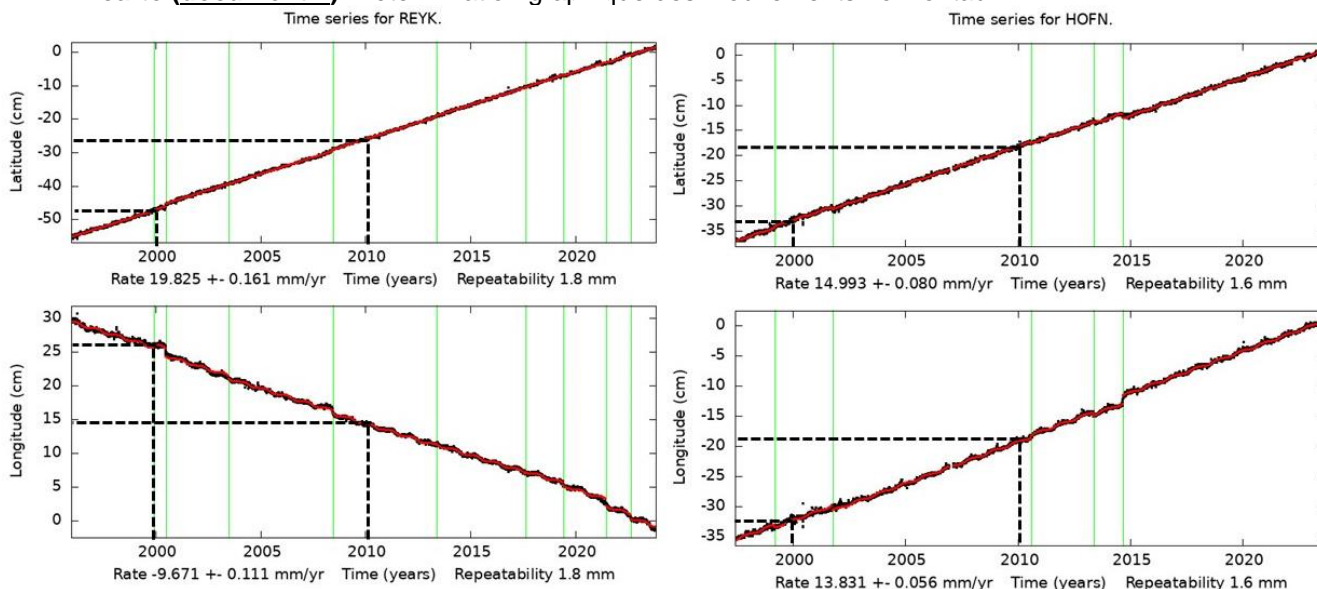
4. Rappelez brièvement le principe de la méthode GPS et indiquez quel est le repère utilisé pour positionner les stations (10 lignes maximum).

Les satellites du système GPS émettent en permanence des signaux (ondes radio) qui contiennent l'information de la position du satellite et de l'heure d'émission. La station GPS qui reçoit les signaux peut déterminer, à partir de l'heure de réception (et connaissant la vitesse de ces ondes), la distance qui la sépare du satellite émetteur.

En combinant les informations résultant de la réception de signaux issus de 4 satellites différents, la position de la station peut être précisément déterminée à l'instant t de réception des signaux. La répétition des mesures permet d'accroître la précision de la détermination de la position, et de suivre un déplacement au cours du temps. La position est déterminée dans le référentiel axe de rotation de la Terre / équateur.

5. Exploitez les données GPS fournies (document 6) pour caractériser le déplacement des stations HOFN et REYK (Reykjavik) :

a. Quantifiez le mouvement horizontal de ces deux stations et reportez les résultats obtenus sur la carte (document 2). Détermination graphique des mouvements horizontaux :



Déplacement en LAT de REYK ≈ 20 cm entre 2000 et 2010
soit 2 cm. an⁻¹ vers le Nord
Déplacement en LONG de REYK ≈ - 10 cm entre 2000 et 2010
soit 1 cm. an⁻¹ vers l'Ouest

Déplacement en LAT de HOFN ≈ 15 cm entre 2000 et 2010
soit 1,5 cm. an⁻¹ vers le Nord
Déplacement en LONG de HOFN ≈ 13 cm entre 2000 et 2010
soit 1,3 cm. an⁻¹ vers l'Est

b. Précisez s'il s'agit d'un mouvement relatif ou absolu (après avoir défini l'un et l'autre).

Le mouvement est relatif quand on considère deux plaques lithosphériques (ou deux stations GPS) l'une par rapport à l'autre : le repère n'est alors pas indépendant du système étudié, puisque c'est une des plaques. Le mouvement est absolu quand le repère utilisé est indépendant du système étudié (repère absolu), ce qui est le cas ici puisque le repère est l'axe de rotation de la Terre et le plan équatorial (comme dit plus haut).

Mise en relation avec les données précédentes :

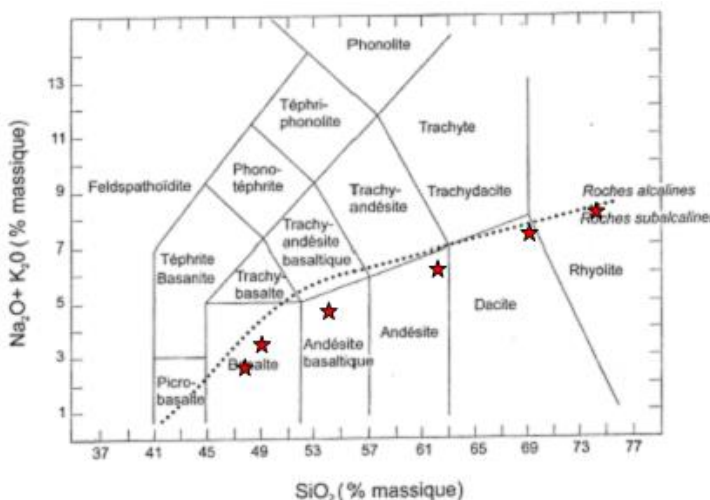
Les déplacements absolus des deux stations sont cohérents avec les mouvements relatifs déduits de l'analyse des mécanismes au foyer : les stations s'éloignent l'une de l'autre selon un axe WNW – ESE.

II – L'activité magmatique en Islande

1. Placez les roches échantillonnées en Islande dans le diagramme TAS fourni en annexe.

	A	B	C	D	E	F
SiO ₂	47,3	49,3	54,2	61,7	69,6	73,9
Na ₂ O	2,45	3	3,55	4,35	4,6	4,75
K ₂ O	0,3	0,55	1,15	2,1	2,9	3,45
Na ₂ O + K ₂ O	2,75	3,55	4,7	6,45	7,5	8,2

Attention, la lherzolite n'est pas à placer dans le diagramme : elle ne fait pas partie des roches échantillonnées en Islande, et c'est une roche mantellique ! C'est le solide initial, il ne fait pas partie de la série magmatique étudiée.



2. Argumentez l'appartenance de ces roches à une même série.

Placées dans le diagramme, ces roches montrent une continuité dans l'évolution de la teneur en alcalins en fonction de la teneur en silice (continuum chimique). De plus ces roches sont toutes échantillonnées en Islande : il y a une unité de lieu. Il manque l'argument de l'unité de temps puisqu'on ne connaît pas l'âge des échantillons mais on peut raisonnablement penser (cf document 14) que les dates de mise en place de ces roches sont proches dans le temps. Ce sont donc différents termes d'une même série magmatique.

3. Indiquez quels critères vous permettent de déterminer cette série à partir des données du document 7, puis indiquez la série à laquelle appartiennent les roches échantillonnées.

Les teneurs en alcalins (Na₂O, K₂O), en silicium SiO₂, en Al₂O₃ et en H₂O de la roche la moins différenciée donc la plus proche du magma initial sont des indicateurs permettant de caractériser une série magmatique.

La teneur de ces roches en alcalins (2,75 % pour la roche A, la moins différenciée) les place dans le domaine des roches subalcalines, comme le sont les roches de la série tholéiitique.

La teneur en silice du terme le moins différencié de la série (roche A) est de 47 % : c'est la limite inférieure pour les basaltes tholéiitiques et la limite supérieure pour les basaltes de la série alcaline.

Ces roches seraient donc représentatives de la série tholéiitique, série associée au magmatisme de dorsale.

4. A partir des données fournies, estimez un taux de fusion partielle à la l'origine du magma primaire.

On utilise pour le raisonnement l'élément le plus incompatible, soit le potassium K₂O.

Pour cet élément, on écrit la conservation de masse :

$$(1) m_K \text{ péridotite initiale} = m_K \text{ magma primaire} + m_K \text{ péridotite résiduelle}$$

$$\text{or } m_K \text{ péridotite initiale} = m \text{ péridotite initiale} \cdot \%K_{\text{péridotite initiale}}$$

L'élément étant très incompatible, on peut estimer que m_K péridotite résiduelle est nulle

Le taux de fusion partiel est $T = m_{\text{magma primaire}} / m_{\text{péridotite initiale}}$

On peut donc écrire à partir de (1) :

$$m_{\text{péridotite initiale}} \cdot \%K_{\text{péridotite initiale}} = m_{\text{magma primaire}} \cdot \%K_{\text{magma primaire}}$$

$$\text{d'où } T = \%K_{\text{péridotite initiale}} / \%K_{\text{magma primaire}}$$

Taux estimé :

$$\%K (\text{roche mère : péridotite initiale}) / \%K (\text{magma primaire : terme le moins différencié}) = 0,06/0,3 = 20 \%$$

5. On a déterminé la composition minéralogique normative de l'une des roches volcaniques échantillonnées (document 7).

Utilisez ces données pour placer cette roche dans le diagramme de Streckeisen fourni (à la fin du sujet, à rendre avec votre copie) et la nommer.

Il faut recalculer le pourcentage de quartz, plagioclase et feldspaths alcalins :

$$\% \text{ quartz} = 25 / (25 + 30 + 10 + 25) = 27,8 \%$$

$$\% \text{ Plagioclase} = 27,8 \%$$

$$\% \text{ Feldspaths alcalins} = 100 - (2 \times 27,8) = 44,4 \%$$

Attention : F alcalins = orthose + albite

La roche échantillonnée est donc une rhyolite (c'est une roche volcanique donc pas un granite).

6. Rappelez quels sont les processus qui permettent d'expliquer la diversité des roches appartenant à une même série magmatique (15 lignes maximum).

La différenciation magmatique comprend l'ensemble des processus qui contribuent à l'évolution du magma et expliquent la diversité des roches produites. Ces processus sont les suivants :

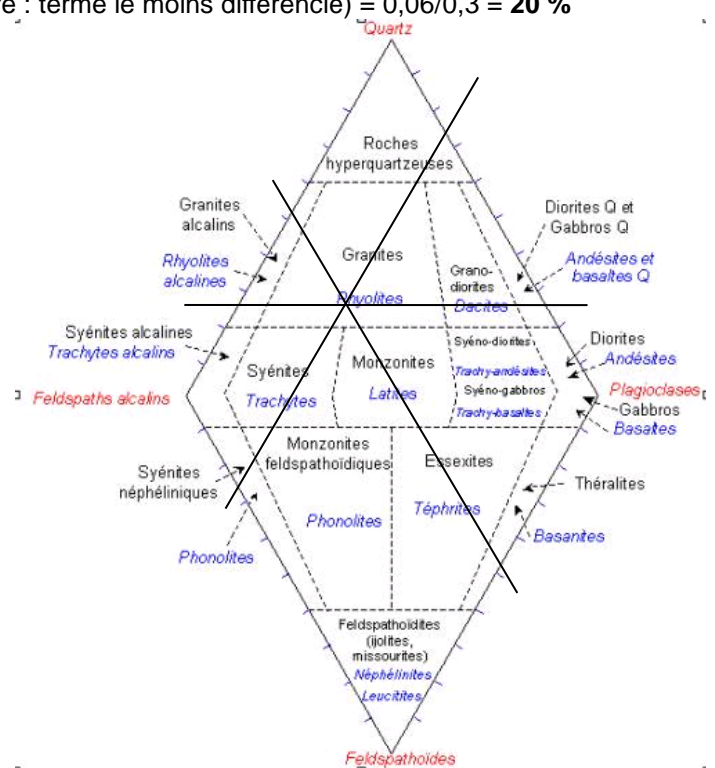
- La cristallisation fractionnée : tous les minéraux ne cristallisent pas en même temps, l'ordre dépend de la composition chimique du magma ; en conséquence, la composition chimique du magma résiduel varie, il s'enrichit en éléments magmatophiles (alcalins) et s'appauvrit en éléments compatibles (Fe, Mg).

- Des processus de séparation de la phase solide et de la phase liquide : ils empêchent les échanges d'éléments chimiques par diffusion entre phase solide et liquide résiduel, ce qui permet que les premières roches cristallisées soient différentes des suivantes. Ces processus sont la sédimentation gravitaire (dépôt par gravité des premiers minéraux formés au fond de la chambre magmatique), la cristallisation aux parois de la chambre magmatique (car elles sont plus froides), le mécanisme de filtre-pressé (quand 50 à 70 % de phase solide / phase liquide).

7. A partir des données précédemment fournies et de l'exploitation du document 9, proposez une hypothèse concernant l'origine du magma primaire dans le cas de l'Islande.

Certains éléments chimiques comme Nd et Sr peuvent être utilisés comme traceurs de l'origine d'un magma :

- les basaltes de dorsales, résultant du refroidissement d'un magma provenant de la fusion partielle du manteau asthénosphérique, présentent un rapport isotopique ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr faible et un rapport ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd élevé,
- au contraire, les basaltes des points chauds (Açores) présentent un rapport isotopique ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr élevé et un rapport ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd faible, qui signe une origine profonde pour le matériel mantellique à l'origine du magma.



Les basaltes islandais occupent une position intermédiaire dans le diagramme. Cela peut s'expliquer par un mélange, en proportions variables, entre un manteau source riche en Nd et pauvre en Sr (asthénosphère) et un manteau source riche en Sr et pauvre en Nd (panache de manteau profond).

8. Discutez alors du taux de fusion partielle préalablement estimé.

Le taux estimé de 20 % est cohérent avec un contexte de dorsale. Dans les contextes de points chauds, les taux sont plutôt de l'ordre de 5 % mais ils peuvent atteindre 20 % pour certains points chauds très actifs, donc ce n'est pas incompatible.

On peut par ailleurs penser que la contribution du manteau inférieur (manteau plus riche en incompatibles que le manteau supérieur, car il a moins été soumis à la FP et qu'il peut être enrichi par le recyclage de croûte appartenant à la lithosphère subduite) à la genèse du magma peut l'enrichir en éléments incompatibles et en conséquence fausser l'estimation. De plus celle-ci est conduite en prenant en compte une péridotite qui appartiendrait au manteau supérieur comme solide initial...

III – Le contexte géodynamique islandais

1. Analysez et expliquez les anomalies gravimétriques constatées sur les documents 10 et 11.

Le document 10 présente la répartition des anomalies à l'air libre. Ces anomalies rendent compte de la topographie : une anomalie positive correspond à un relief, une anomalie négative à un creux.

On constate une anomalie à l'air libre positive de + 60 mgal autour de l'Islande et selon un axe orienté NS qui traverse l'Islande. Cet axe correspond à la dorsale Atlantique, et l'Islande semble correspondre à un secteur émergé de cette dorsale.

Le document 11 présente la répartition des anomalies de Bouguer. Lorsque cette anomalie est négative, c'est que l'on a trop corrigé : il y a un déficit de masse par rapport à ce que l'on attend. Lorsque cette anomalie est positive, au contraire, on n'a pas assez corrigé : il y a un excès de masse par rapport à ce que l'on attend.

On constate une anomalie de Bouguer positive qui entoure l'Islande, moins forte que dans le reste de l'océan Atlantique : le moindre excès de masse coïncide avec l'anomalie à l'air libre précédemment observée dans le même secteur. On peut faire l'hypothèse d'un épaississement crustal (croûte océanique : basaltes tholéitiques comme l'a montré l'étude du magmatisme) accompagné d'un soulèvement par un panache mantellique chaud.

2. Analysez les données présentées sur le document 12 puis mettez-les en lien avec les observations précédentes.

Le Moho est la discontinuité entre la croûte et le manteau, révélée par l'étude de la trajectoire des ondes sismiques. On sait que sa profondeur moyenne – qui traduit donc l'épaisseur de la croûte – est de 30 km sous les continents et de 6 à 10 km sous les océans.

On constate sur le document 12 que la profondeur du Moho est de 40 km au sud-ouest de l'île. C'est là qu'il est le plus profond. Il remonte de manière concentrique au sud, au nord et à l'ouest, puis il remonte au nord-ouest.

Dans l'océan, le Moho se situe à une profondeur de 11 km.

Le Moho est donc localisé à une profondeur anormalement élevée sous l'Islande, qui excède les valeurs normalement rencontrées en domaine océanique et même en domaine continental.

Un Moho plus profond signifie un épaississement de la croûte au niveau de l'Islande. Ces données sont cohérentes avec l'épaississement crustal suggéré par les anomalies de Bouguer relevées au niveau de l'Islande.

3. Montrez en quoi les données présentées dans le document 13 permettent de discuter du contexte géodynamique à l'origine du magmatisme en Islande.

Sur la coupe WE, on observe une anomalie de vitesse négative qui occupe une zone centrée sous l'Islande jusqu'à 500 km de profondeur. Peu marquée entre 550 et 670 km, cette anomalie de vitesse négative se poursuit jusqu'à 1 500 km de profondeur. A nouveau peu marquée entre 1 500 et 2 000 km de profondeur, l'anomalie de vitesse se poursuit ensuite jusqu'à jusqu'à 2800 km de profondeur (bien qu'elle soit légèrement décalée vers l'W), non loin de la limite manteau inférieur – noyau externe.

Ces observations sont en faveur d'un panache mantellique chaud qui remonterait depuis le manteau inférieur : un point chaud. Ce panache expliquerait le bombement de la lithosphère en surface – comme le montrent les anomalies gravimétriques à l'air libre (document 10) – qui entraîne l'émersion de la dorsale au niveau de l'Islande.

L'existence d'un point chaud expliquerait également l'épaississement de la croûte mis en évidence par la profondeur anormalement élevée du Moho (document 12) et les anomalies gravimétriques de Bouguer (document 11) : un point chaud peut produire d'énormes volumes de magma (cf les Trapps du Dekkan) entraînant un épaississement crustal et une surcharge de la lithosphère.

Sur la coupe SN, l'anomalie de vitesse négative localisée dans l'asthénosphère sous l'Islande se prolonge vers le Sud entre 100 et 350 km de profondeur : cette anomalie coïncide avec l'axe de la dorsale atlantique, elle correspond à la remontée par convection de manteau asthénosphérique chaud qui subit une décompression adiabatique à l'origine du magmatisme de dorsale.

Sous l'Islande, cette anomalie de vitesse se poursuit jusqu'à près de 1 500 km de profondeur, elle affecte donc le manteau inférieur, ce qui plaide là aussi en faveur de l'hypothèse point chaud.

4. Quelles informations du document 14 pouvez-vous mettre en relation avec le contexte géodynamique islandais ?

La répartition de l'âge des roches montre une symétrie par rapport à un axe qui traverse l'Islande du Nord au Sud (et qui coïnciderait avec la localisation des principales failles sur la carte du document 1 exploitée plus tôt). Plus les roches sont éloignées de cet axe, plus elles sont âgées.

Cette disposition rappelle celle constatée de part et d'autre des dorsales océaniques, liée à la mise en place de lithosphère océanique dans un contexte de divergence.

Ce constat est cohérent avec l'hypothèse que la dorsale atlantique traverse l'Islande, comme le suggèrent les données sismiques et GPS et les caractéristiques des roches magmatiques produites.

5. Bilan : quel contexte permet de rendre compte de l'ensemble des données présentées et explique l'intense activité géodynamique en Islande ?

Les données sismiques, magmatiques et géodynamiques sont en faveur d'un contexte de frontière de plaques qui traverserait l'Islande : il s'agit d'une portion de la dorsale atlantique émergée, au niveau de laquelle l'activité géologique est le résultat de mouvements divergents et d'un magmatisme tholéitique associé. A ce contexte s'ajoute un point chaud localisé sous l'Islande, qui explique l'émergence de la dorsale, l'importance du magmatisme (avec une contribution du manteau inférieur à la genèse du magma primaire d'où ses particularités) et donc l'épaississement crustal.

BIOLOGIE

THÈME 1 : LES ESPÈCES INVASIVES DE FOURMIS ET LEURS IMPACTS SUR LES ÉCOSYSTÈMES

1.1. Répartition de *W. auropunctata* dans les écosystèmes.

Question 1. Décrire la répartition de *W. auropunctata* dans les zones étudiées et formuler au moins deux hypothèses explicatives.

Le document 1-A montre que *Wa* est présente sur 17 % (bords) à 23 % (bords / lisières) des appâts, en revanche moins de 6 % des appâts placés en lisière, lisière/forêt ou forêt sont occupés.

Le document 1-B montre que cette espèce occupe 18 % des appâts sur le sol contre 6 % de ceux placés sur les troncs, proportions qui sont différentes de celles de l'ensemble des différentes espèces (respectivement 97 % et 63 % d'occupation).

Nous pouvons proposer différentes hypothèses pour expliquer cette répartition :

- Les conditions du biotope (température, hygrométrie...) sont plus favorables pour cette espèce en lisière de forêt,
- Les ressources qu'elle consomme y sont plus abondantes (graines d'herbacées, utilisation de tiges ou feuilles d'herbacées pour la construction des nids...),
- Des interactions interspécifiques, telles que la colonisation des zones boisées par d'autres espèces, la confinent dans la zone herbacée.

Question 2. A partir de l'analyse du document 2, proposer une explication à la répartition de *W. auropunctata*.

Les 11 premiers genres figurés sur le document occupent moins de 10 % des appâts exploités quel que soit le milieu, il est donc raisonnable de penser que leur faible fréquence n'aura pas d'impact sur la répartition de *Wa*.

Solenopsis a le même type de répartition entre les différents milieux que *Wa*, avec une fréquence légèrement inférieure.

Crematogaster est présente sur au moins 15 % des appâts quel que soit le milieu. En particulier elle coexiste avec *Wa* en bordures / lisières de forêt.

En revanche, la fréquence d'occupation des appâts par *Diplorhoptrum* et *Pheidole* dans les différents milieux est anti-corrélée à celle de *Wa*, avec une fréquence très forte pour *Ph*, présente dans tous les milieux sur au moins sur 30 % des appâts.

Compte-tenu de la fréquence de leur présence sur les appâts de *Cr* et *Ph*, on peut faire l'hypothèse que des interactions entre ces espèces et *Wa* pourraient être impliquées dans la répartition de *Wa*.

En particulier, l'anti-corrélation entre la répartition de *Wa* et celle de *Ph* suggère qu'une relation de compétition pourrait exister entre ces espèces.

1.2. Interactions de *W. auropunctata* avec les autres fourmis.

Question 3.a. Expliquer brièvement comment les scientifiques font pour considérer que les différences observées sont significatives ou non.

Le document 3-A présente des barres d'erreur qui se chevauchent, cependant des différences significatives sont indiquées entre certains résultats.

Les barres d'erreur représentent une répartition des données, qui peut avoir plusieurs significations : écart-type, erreur standard, intervalle de valeurs (voire incertitude de mesure = « de type B » dans certains cas). Elles ne constituent pas un test statistique. L'utilisation de tests statistiques tels que le test du χ^2 , le teste de Student... permet de vérifier si les différences sont significatives ou non.

Lorsque le document précise, comme c'est le cas ici, que la différence entre des données est significative, c'est cette information qui prime même si les barres d'erreur se chevauchent.

Question 3.b. Analyser les résultats du document 3 et conclure sur les interactions entre *W. auropunctata* et les fourmis du genre *Pheidole* d'une part, puis entre *W. auropunctata* et *C. limata* d'autre part.

Le document 3-A indique que 30 minutes après le retrait de Wa il y a une diminution du nombre d'ouvrières présentes sur les appâts de moitié pour Pe et de 20 % pour Pf. Cette différence est significative, ce qui n'est pas le cas dans l'expérience avec Cl.

Ces observations suggèrent une compétition pour l'accès aux ressources entre Wa et Pf ou Pe.

Sur le document 3-B, on constate que le nombre moyen de soldats sur les appâts 10 minutes après l'introduction de Wa passe de 14 à 24 pour Pf et de 7 à 11 pour Pe.

Le recrutement de soldats confirme une compétition avec confrontation entre les espèces mises en présence.

Sur le document 3-C, on constate que l'introduction de Wa est suivie le plus souvent par l'initiation d'une interaction par Pe (78 % des cas) ou Pf (59 % des cas), et qu'il en résulte la mort de Wa respectivement dans 99 % et 79 % des cas. Il s'agit donc dans ce cas d'une exclusion compétitive par le combat, Pe ou Pf étant plus agressive et gagnant dans la plupart des cas.

En revanche, l'initiation de l'interaction et la victoire sont à peu près équitables entre Wa et Cl : les deux espèces entrent en compétition mais aucune n'exclut l'autre, elles peuvent cohabiter.

Question 3.c. A partir de l'ensemble des conclusions sur les documents 1 à 3, dégager une explication à la répartition de *W. auropunctata* en Guyane.

Wa n'occupe pas la totalité des niches présentes dans son écosystème : elle est présente surtout en bord et bord/lisière (document 1).

Wa est principalement en interaction avec les fourmis Psp et Csp, majoritairement présentes dans son écosystème (document 2).

Ces espèces entrent en compétition pour l'accès aux ressources, et cette compétition peut exclure Wa lorsqu'elle est confrontée à Psp (document 3).

Ces données sont cohérentes avec les répartitions anti-corrélées de ces deux espèces (document 2).

Pour conclure, les relations interspécifiques apparaissent déterminantes dans la répartition de Wa dans les différentes niches écologiques (niches réalisées).

THÈME 2 : LES GIBBÉRELINES CHEZ LES VÉGÉTAUX

Partie 1 : Action biologique des gibbérellines

1.1. Synthèse et action biologique

Question 4. Analyser le document 4 afin de proposer un rôle pour les gibbérellines.

La longueur initiale de la tige des mutants est 3 à 7 fois moins importante que celle des plants sauvages. On observe à peu près le même rapport pour la longueur entre les nœuds 4 et 6 : les deux mutants ont une croissance nettement inférieure à celle du témoin.

On observe par ailleurs que les taux de gibbérellines, qui sont de 860 pg par plante pour GA1 et de 750 pg par plante pour GA8 sont respectivement 20 fois et 6 fois plus faibles chez le mutant le-1, et encore plus faibles chez le mutant le-2, de plus petite taille.

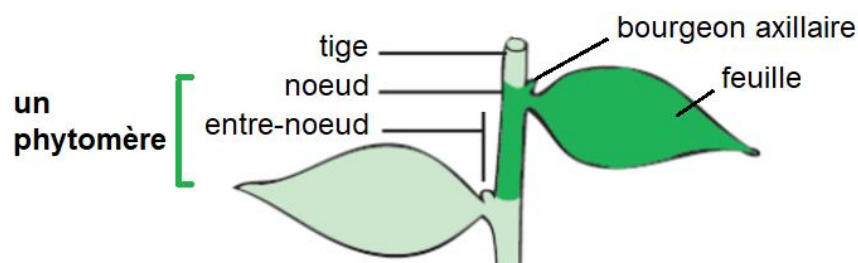
La corrélation entre la taille et les taux de gibbérellines suggère que celles-ci permettent la croissance de la tige, en particulier des entre-nœuds.

1.2. Action cellulaire des gibbérellines

Question 5a. Rappeler la définition d'un phytomère. Un schéma accompagnera votre définition. Dans quelle zone d'un phytomère la croissance est-elle localisée ?

Un phytomère est une unité structurale de la tige des Angiospermes, constituée d'un entre-nœud et d'un nœud portant une ou plusieurs feuilles et bourgeons axillaires.

Dans un phytomère, la croissance est localisée au niveau des entre-nœuds (croissance intercalaire).



Question 5b. Analyser le document 5 afin de proposer les mécanismes cellulaires de l'effet physiologique pour les gibbérellines.

Le document 5-A montre que la vitesse d'élongation de l'entre-nœud est initialement d'environ 1 mm.h⁻¹ puis la vitesse diminue et l'élongation atteint un palier vers 1,5 mm au bout de 3 h et stagne alors chez le plant témoin. L'ajout de GA4 sur l'autre portion de tige étudiée est suivi d'une reprise rapide de l'élongation : + 1 mm 2 h après l'ajout. GA4, forme active de gibbérelline, stimule donc l'élongation des entre-nœuds.

Le document 5-B permet de comparer la taille des cellules parenchymateuses selon leur position par rapport au nœud basal de la section 24 h après l'ajout de GA4. On observe que les cellules situées à 2 mm du nœud basal ont une mesure horizontalement environ 20 µm, celles situées à 7 mm environ 30 µm et celles situées à 10 mm du nœud font environ 150 µm (les mesures changent peu dans le sens vertical de l'image).

Il y a donc une élongation cellulaire importante, et l'on peut faire l'hypothèse que l'auxèse est stimulée par l'ajout de GA4 mais il manque un témoin sans GA4 pour pouvoir l'affirmer.

Le document 5-C permet de discuter de la proportion de noyaux dans les différentes phases de l'interphase à la suite d'un traitement par GA4. Pendant les 5 premières heures, les barres d'erreur qui se chevauchent ne permettent pas de dégager de variations significatives. En revanche, à partir de 15 h environ, on constate que la proportion de noyaux en phase G1 est passée de 83 à 73 % environ, alors que celles de noyaux en phases S et G2 sont passées respectivement de 10 à 15 % et de 8 à 10 %.

La diminution du nombre de noyaux en phase G1 explique l'augmentation du nombre de noyaux en phases S et G2, (ces phases se succèdent dans cet ordre lors de l'interphase), qui préparent la mitose : on peut alors faire l'hypothèse que GA4 stimule la mérése, mais là aussi il nous manque un témoin sans GA4 pour pouvoir l'affirmer.

En conclusion, les résultats présentés suggèrent que GA4 aurait un effet stimulant sur la mérése et sur l'auxèse, ce qui explique qu'il stimule la croissance des entre-nœuds.

NB : ces travaux ont été menés chez le riz, Monocotylédone (c'est une Poacée) qui possède des méristèmes intercalaires à la base des entre-nœuds, ce qui permet d'étudier l'effet des gibbérellines sur la mérése.

Partie 2 : Régulation de la synthèse des gibbérellines

2.1. Synthèse de gibbérellines : facteurs internes

BX-112, inhibiteur de la GA 3-oxydase.

Deux semaines après germination, on mesure la longueur de l'hypocotyle et la quantité d'ARNm codant pour la GA 3-oxydase.

Les résultats sont présentés dans les documents 6-A et 6-B.

Le document 6-C utilise des plants d'*A. thaliana* ne synthétisant pas d'ent-Kaurène.

Selon la présence ou l'absence de GA, on mesure l'intensité de la transcription du gène de la GA 2-oxydase, responsable de la transformation de la dégradation de GA actives en formes biologiquement inactives. On mesure aussi l'activité transcriptionnelle d'autres gènes de la voie de biosynthèse des gibbérellines.

Question 6. Analyser les documents 6-A, 6-B et 6-C afin de caractériser les modalités de régulation de la synthèse des gibbérellines. Vous veillerez à préciser l'intérêt des mutants utilisés.

Rédiger un bilan bref (1 phrase) sur le fonctionnement mis en évidence.

On utilise des graines d'un mutant d'*Arabidopsis thaliana* qui ne synthétise pas d'ent-Kaurène : les effets mesurés sont donc totalement dépendant des gibbérellines ajoutées dans le milieu.

Pour les documents 6-A et 6-B :

Les graines qui ne subissent aucun traitement sont des témoins négatifs : absence de gibbérellines.

L'ajout de BX-112 seul, inhibiteur de la GA 3-oxydase, aboutit à des résultats identiques au témoin concernant la longueur de l'hypocotyle : elle est réduite, < 1 mm. Le niveau d'expression du gène GA 3-oxydase est d'environ 80 % de celui relevé chez le témoin mais en l'absence de barre d'erreur, on ne sait pas si cette différence est significative. Ces conditions permettent de dire que l'inhibiteur seul est sans effet sur la croissance de l'hypocotyle.

Après traitement par GA4, gibbérelline active, ou par GA9, précurseur de GA4, les hypocotyles ont une longueur de près de 4 mm (ce qui permet de dire que l'enzyme GA 3-oxydase est fonctionnelle), et l'on ne met pas en évidence d'expression du gène GA 3-oxydase qui code l'enzyme permettant la formation de GA4 à partir de GA9.

Les résultats sont quasiment identiques si le traitement effectué associe GA4 et BX-112 (qui n'a pas d'effet sur GA4).

En revanche, lorsque les graines ont été traitées avec GA9 et BX-112, qui inhibe la transformation de GA9 en GA4 active, la longueur des hypocotyles est réduite à 1,3 mm environ et l'expression du gène GA 3-oxydase est stimulée (plus de 50 % de celle du témoin négatif).

Ces observations permettent de vérifier d'une part que la présence d'une gibbérelline active, ou d'un précurseur et de l'enzyme fonctionnelle pour sa transformation en forme active, sont nécessaires à la croissance de l'hypocotyle.

D'autre part, on constate que l'expression du gène GA 3-oxydase est inhibée par la présence de GA4, ou par celle de GA9 quand l'enzyme qui la convertit en GA4 est fonctionnelle.

GA4 semble donc inhiber l'expression de ce gène codant pour une enzyme impliquée dans sa voie de biosynthèse.

Pour le document 6-C :

L'effet de GA4 sur l'expression de différents gènes codant des enzymes de la voie de biosynthèse des gibbérellines est étudié. L'actine sert de témoin de charge : on peut donc interpréter quantitativement la taille des taches.

On observe que les gènes AtGA2ox1 et AtGA2ox2 ne s'expriment pas en l'absence de GA4, et s'expriment lorsque GA4 est ajouté. Or ces gènes codent des enzymes qui catalysent la transformation de GA9 en formes inactives, ce qui va limiter la synthèse de GA4.

En revanche les gènes AtGA20ox2 et AtGA3ox1 s'expriment en l'absence de GA4 et ne s'expriment pas en sa présence. Or ces gènes codent des enzymes qui catalysent la synthèse de précurseurs de GA4 (notamment GA9) ou de GA4 lui-même : il y a ici une inhibition de la voie de synthèse de GA4 en présence de GA4.

En bilan, GA4 exerce un contrôle sur sa propre synthèse : il inhibe la transcription de gènes codant les enzymes de sa voie de synthèse et active celle de gènes codant les enzymes de son inactivation (rétrocontrôle négatif).

2.2. Synthèse de gibbérellines : facteurs externes

Question 7a. Analyser l'effet de l'imbibition des graines. Analyser les autres résultats et conclure sur l'effet de la lumière.

L'imbibition des graines est sans effet sur la transcription de LsGA3ox : il ne s'exprime pas plus que dans les graines sèches. En revanche, l'imbibition est suivie de l'expression de LsGA20ox qui ne s'exprimait pas dans les graines sèches.

Ces observations constituent les situations initiales auxquelles nous pouvons comparer les résultats obtenus après traitement par la lumière.

Pour LsGA20ox, on observe que le traitement par la lumière est sans effet, qu'il s'agisse d'un seul flash de rouge sombre (RL) ou d'un flash de rouge sombre suivi d'un flash de rouge clair (RL/R) : le gène est exprimé tout au long de l'expérience.

Pour LsGA3ox : l'exposition à un flash RL n'est pas suivi de la transcription du gène, contrairement à l'exposition à RL/R : une heure après, une tâche pâle indique une faible expression, qui augmente dès la 2^e heure et se poursuit ensuite.

On peut conclure que la lumière, et plus précisément un flash rouge clair, peut déclencher l'expression de certains gènes comme LsGA3ox qui code pour l'enzyme GA3-oxydase, laquelle, on l'a vu précédemment, catalyse la transformation du précurseur GA9 en GA4 actif. La lumière peut ainsi stimuler la croissance par l'intermédiaire des gibbérellines.

Question 7b. Formulez une hypothèse sur la nature du récepteur de la lumière régulant la synthèse étudiée.

Le récepteur doit être un pigment photorécepteur activé par le rouge clair. C'est le cas du phytochrome, activé par le rouge clair (660 nm) et désactivé par le rouge sombre (730 nm). On peut faire l'hypothèse que le phytochrome activé par le rouge clair est impliqué ici.

Question 7c. Indiquer un autre phénomène régulé par le même type de récepteur.

Le phytochrome agit également sur la floraison chez les Angiospermes, dans le contrôle de l'induction par la photopériode (*activé, il joue le rôle de facteur de transcription et active notamment l'expression du gène CONSTANS*).

Partie 3 : Mode d'action cellulaire des gibbérellines

3.1. Intérêt du mutant gid1

Question 8. Identifier le paradoxe du mutant gid1.

Pour le plant témoin (= sauvage), la 2^e gaine foliaire est d'autant plus longue que la quantité de GA4 ajoutée est importante : elle est d'un peu plus de 2 cm de 0 à 10⁻⁸ mol.L⁻¹, mais de 8 cm pour une concentration de 10⁻⁵ mol.L⁻¹. En revanche, la longueur de cette gaine est réduite (< 0,5 cm) quelle que soit la concentration de GA4 testée chez le mutant *gid1*.

GA4 semble sans effet sur le mutant.

Par ailleurs, il est dit que ce mutant accumule naturellement GA1 qui est une autre forme active de gibbérelline.

On peut faire l'hypothèse qu'il manque à ce mutant une protéine qui serait un récepteur fonctionnel de la forme active de GA4.

Question 9. En prenant soin d'exploiter tous les contrôles, analyser les différents résultats du document 9 pour caractériser l'activité de la protéine GID1.

La fixation d'une protéine sur colonne permet de déterminer si cette protéine peut interagir et lier une substance contenue dans une solution que l'on fait passer dans la colonne.

$^3\text{H-GA4}$ est une forme de GA4 que l'on peut repérer grâce à sa radioactivité.

En l'absence de GA4 excédentaire, la rétention de $^3\text{H-GA4}$ sur la colonne est d'autant plus élevée que la concentration en GST-GID2 fixée sur la colonne est importante (les barres d'erreur ne se chevauchent pas : les résultats sont significativement différents). En revanche, en présence d'un excès de GA4 la rétention est très faible et varie peu quelle que soit la concentration en GST-GID2 dans la colonne.

Il y a donc compétition entre GA4 et $^3\text{H-GA4}$ pour la rétention dans la colonne, on peut en déduire que GST-GID2 est une protéine capable de lier GA4.

De plus, si la protéine GST-GID2 est bouillie, la rétention est minimale qu'il y ait ou pas excès de GA4 : ce traitement a dénaturé la protéine, et en perdant sa conformation spatiale elle a perdu sa fonctionnalité.

Enfin, si l'on fixe dans la colonne une autre protéine, GST-GID2, on constate aussi que la rétention est minimale qu'il y ait ou pas excès de GA4 : il y a une spécificité de liaison entre GST-GID2 et GA4.

On peut conclure que la protéine GST-GID2 présente les caractéristiques d'un récepteur à GA4, qui est son ligand.

Question 10. Analyser le document 10. Conclure sur le rôle de la protéine GID1 sauvage.

Pour le témoin (=sauvage), on retrouve la relation entre la longueur de la 2^e gaine foliaire et la concentration en GA4 ajouté au milieu de germination des graines de riz qui a été décrite dans le document 8 : GA4 stimule l'élongation de cette gaine foliaire.

Pour le plant surexprimant GID1, l'allure de la courbe est globalement la même, mais avec un décalage : la longueur de la gaine est systématiquement plus grande, de 20 à 50 % selon la concentration de GA4 utilisée (l'écart est d'autant plus important que la concentration est importante sauf pour $10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$).

On peut en déduire que l'action de GA4 est dépendante de la quantité de récepteur GID1 présente dans la cellule. La protéine GID1 est un récepteur de GA4 exprimé en quantité limitante dans la cellule et conduisant à une élongation contrôlée de la gaine foliaire.