

Thème 1 : Etude géodynamique du Zagros et de la zone Sanadaj-Sirjan**1.1 Analyse géophysique****Question 1**

La figure 1 du haut montre la position des principales limites de plaques. À partir de cette figure :

- **Donnez des arguments permettant d'identifier l'Arabie comme une plaque indépendante :**

Attention de ne pas confondre des observations (localisation de séismes, de reliefs...) et des interprétations : la localisation des limites de plaques présentée à l'échelle du globe sur le document est une interprétation, et ne peut pas être utilisée ici comme argument.

Une plaque lithosphérique est une zone rigide stable limitée à sa périphérie par des marges actives. Or, on observe la présence de nombreux foyers de séismes concentrés sur la périphérie de l'Arabie.

Les reliefs au N et au N-E, qui coïncident avec la localisation de nombreux séismes, témoignent de déformations associées à des mouvements relatifs.

Ces observations permettent donc d'identifier l'Arabie comme une plaque indépendante.

- **Identifiez le type de limite de plaque entre l'Arabie et l'Afrique :**

Une analyse topographique précise est nécessaire pour pouvoir caractériser la limite de plaque. Repérez que la profondeur ne dépasse pas 5000 m sur la carte, la répartition des reliefs sous-marins, la localisation des séismes par rapport à ces reliefs...

Entre l'Afrique et l'Arabie, la Mer Rouge montre une bathymétrie particulière : au centre, une zone en creux est bordée de manière symétrique par des bandes moins profondes. On reconnaît la présence d'un rift.

Au Sud, on peut observer d'étroites zones plus profondes qui recoupent le rift, qui apparaît décalé à leur niveau : il s'agit de failles transformantes. Ces caractéristiques topographiques sont celles d'une dorsale.

Cette dorsale est active comme en témoignent de nombreux foyers sismiques.

La limite de plaque est donc une limite en divergence.

Question 2

Analysez la figure 2 pour déterminer quelques caractéristiques de la croûte de la zone étudiée (Zagros / Sanandaj – Sirjan).

La topographie de cette zone montre une altitude positive de l'ordre de 3000 m pour les reliefs orientés NO– SE.

Les anomalies de Bouguer sont corrélées à la zone de haute altitude et montrent des valeurs négatives comprises entre -150 et -200 mGal.

Des anomalies de Bouguer négatives indiquent un déficit de masse (on a trop corrigé). Il y a donc davantage de matériel peu dense qu'attendu. Or la croûte continentale est moins dense que le manteau. On peut donc en conclure la présence d'une racine crustale de faible densité à l'aplomb des reliefs. La croûte est épaissie.

Question 3

À partir de la figure 3, décrivez la norme et la direction des déplacements des stations dans le Zagros en fonction de leur distance à la station BES, et tirez-en des conclusions concernant la région au Sud-Ouest de la MZRF.

Le mouvement des stations est assez homogène en direction du NNE avec une vitesse de déplacement jusqu'à 12 mm/an pour les stations GPS les plus éloignées de la station BES (ex station KAN, OSL). En revanche, plus les stations sont proches de BES, plus la norme du déplacement est réduite (2 mm/an ou moins).

Il y a un mouvement convergent de la région du Zagros localisée au SO de la MZRF en direction du NE, vers la région Sanadaj-Sirjan, où sont localisées des montagnes : la région de la MZRF est donc en compression.

Question 4

À partir de la figure 4 et des observations faites à la question précédente :

- **Identifiez l'orientation et le jeu des principales failles actives dans le Zagros Sud (encart 1 de la figure 4),**
Pensez à décrire les mécanismes au foyer pour justifier l'interprétation que vous en faites. Pensez aussi à utiliser l'information sur la profondeur des foyers des séismes, c'est important pour correctement caractériser le contexte.

Les foyers localisés dans l'encart 1 sont superficiels, situés dans les dix premiers kilomètres de la croûte (il n'y a pas de foyer localisé au-delà d'une centaine de km de profondeur sur l'ensemble de la carte).

Les plans de faille sont d'orientation NW-SE.

Les mécanismes au foyer montrent tous un compartiment central en compression, entouré de deux compartiments en dilatation : il s'agit de mécanismes en compression, associés au jeu de failles inverses.

• **Proposez une origine au jeu des séismes dans le Zagros dans son ensemble.**

On observe deux types de mécanismes au foyer :

- des mécanismes au foyer en compression associés au jeu des failles inverses comme dans l'encart 1,
- des mécanismes au foyer en décrochement sénestre dans l'encart 2 (faille O-E) et dextre (faille NO-SE).

Les failles inverses associées aux failles décrochantes sont associées à une convergence, qui a été mise en évidence avec les données GPS de la figure 3. Les deux lithosphères affectées par ce mouvement sont de nature continentale : la zone du Zagros est une zone de collision entre l'Arabie et l'Eurasie, ce que confirme la faible profondeur des foyers des séismes.

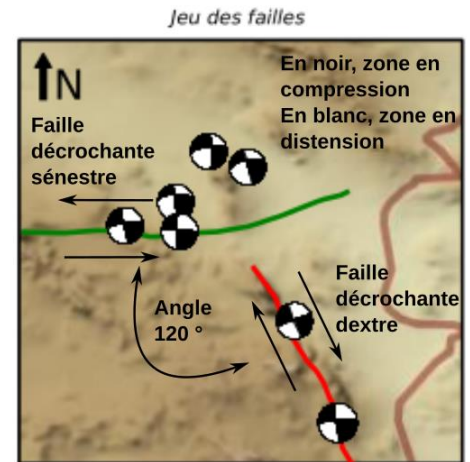
Question 5

Sur l'encart 2 de la figure 4, deux failles du Nord-Est de l'Iran sont présentées ainsi que plusieurs symboles de mécanismes au foyer :

- sur la copie de cet encart de l'annexe A3, dessinez le jeu des deux failles, puis proposez un lien entre ces deux failles que vous justifierez

Pensez à légender le document pour caractériser précisément les failles, et argumenter qu'il s'agit de failles conjuguées.

L'angle entre les plans de failles montre que ces deux failles sont des failles conjuguées.



Question 6

La figure 5 présente une tomographie sismique, dont la position est indiquée sur la figure 2 :

• **Présentez le principe d'obtention d'une tomographie et précisez ce que signifie « anomalie de vitesse »**

La tomographie sismique consiste à comparer la vitesse calculée des ondes P à partir de l'enregistrement de nombreux séismes à celle prévue par le modèle PREM.

On appelle anomalie de vitesse toute différence entre les deux. Si la vitesse calculée est plus faible que celle attendue, l'anomalie en pourcentage est négative et montre l'existence d'une zone à faible vitesse, souvent compatible avec une zone plus chaude que la moyenne. Dans le cas inverse, c'est une anomalie positive compatible avec une zone plus froide que la moyenne.

• **Interprétez le profil tomographique puis précisez le contexte géodynamique de l'Ouest Iranien (zones Zagros et Sanandaj – Sirjan)**

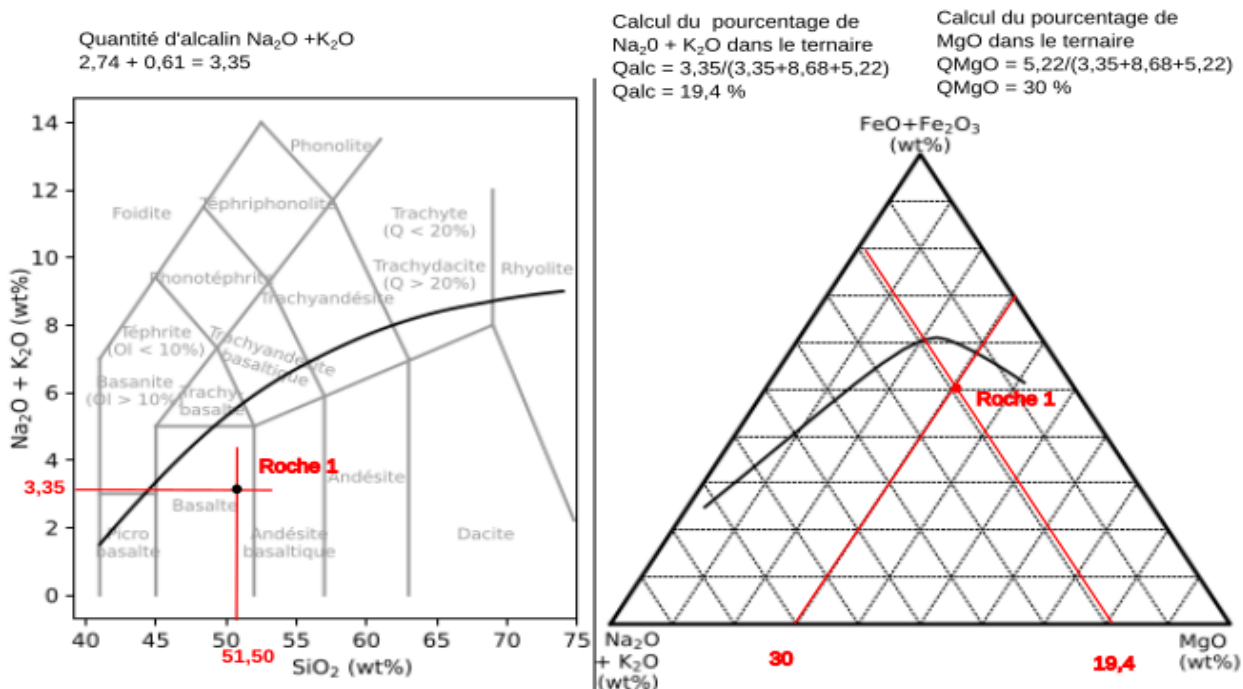
On observe une zone bleue donc froide et rigide plongeant à l'aplomb du Zagros du SW vers le NE. Ceci peut être interprété comme le plongement de la plaque lithosphérique Arabie sous la plaque Eurasie : c'est une subduction continentale ou collision du SW vers le NE.

• **Proposez une hypothèse à l'origine du mouvement relatif de la plaque Arabie par rapport à la plaque Eurasie identifiable sur la figure 3**

La plaque en subduction est froide et dense. Elle entraîne donc la plaque Arabie vers le NE. Ce mouvement permet la collision des deux plaques.

Question 7

• **Placez l'échantillon 1 dans les diagrammes donnés dans l'annexe A3.**



La roche 1 est un basalte.

Attention : bien penser à recalculer les pourcentages des trois éléments dans le ternaire.

Pour faire le calcul « approché » sans calculatrice, sans perdre de temps :

$$3,35 + 8,68 + 5,22 \approx 17$$

Il faut donc diviser par 17 et multiplier par 100 les valeurs qui nous intéressent, et comme $100/17 \approx 6$ il suffit de multiplier chaque pourcentage par 6, ce qui donne avec les arrondis :

$$3 \times 6 = 18 \text{ (Na}_2\text{O + K}_2\text{O)}$$

$$5 \times 6 = 30 \text{ (MgO)}$$

$$9 \times 6 = 54 \text{ (FeO+Fe}_2\text{O}_3)$$

Vérifiez que le total fait bien 100.

• **Argumentez à partir des données de cette figure pour identifier la source mantellique ou crustale du magma**

Attention : l'échantillon 1 est présenté comme une « roche magmatique plutonique » de la zone étudiée, c'est donc cette roche qui représente le magma dont on recherche le matériau source. Parmi les deux roches restantes, il faut identifier le solide initial, c'est-à-dire la roche qui a subi la fusion partielle. Deux raisonnements sont possibles : avec la teneur en silice, ou avec la teneur en incompatibles.

Lors de la fusion partielle à l'origine du magma, le magma primaire est enrichie en éléments incompatibles par rapport à la source.

Si l'on raisonne sur le potassium, élément très incompatible, on voit que le magma (représenté par l'échantillon 1), qui contient 0,61 % de K₂O doit provenir de la lherzolite qui en contient que 0,1 %. Il ne peut pas provenir de la croûte continentale qui en contient 3,3 %.

De plus, tout liquide magmatique est plus riches en silice que le solide initial qui subit la fusion partielle. La croûte continentale contient 63,9 % de silice contre 51,5 % pour l'échantillon 1, elle ne peut pas être le solide initial. La lherzolite qui en contient 45,3 %, si.

Question 8

La figure 7 présente des lames minces de roches échantillonnées dans la zone.

• **A partir de l'analyse des clichés, identifiez chacune de ces roches**

Roche A : texture grenue ; présence de Q, Pl, Px et Amp : diorite

Roche B : texture microlitique ; présence de Q et Fd : rhyolite

Roche C : texture microlitique ; présence de Pl, Px et Amp : andésite

Roche D : texture grenue ; présence de Pgcl, Fk, Q et Bi : granite

Dans la roche C on observe un plagioclase (Pl) dont la périphérie est riche en sodium alors que le centre est riche en calcium.

• **Proposez une explication à ces différences de composition.**

Attention à la lecture attentive de la question : elle porte sur le plagioclase de la roche C, pas sur l'ensemble des roches !

On observe ici l'effet de la différenciation magmatique par cristallisation fractionnée. La cristallisation des plagioclases suit la suite continue des plagioclases de Bowen.

Le cœur du plagioclase se forme en premier dans un magma peu différencié. Il est riche en plagioclase calcique (anorthite) qui cristallise en premier à haute température. Ensuite la composition du magma évolue par perte des éléments contenus dans les premiers cristaux formés. Il devient plus riche en éléments incompatibles, comme par exemple le sodium (c'est un alcalin). La périphérie du plagioclase se forme à partir de ce magma différencié.

Question 9

À partir des diagrammes de la figure 8 :

• **Justifiez l'appartenance de ces roches à une même série magmatique, puis identifiez celle-ci.**

Les roches sont échantillonnées dans une zone restreinte. Il y a donc unité de lieu.

Leur chimie montre une évolution régulière et continue dans le diagramme TAS et AFM. Il y a donc un continuum chimique (et donc minéralogique).

Il manque une information temporelle pour avoir une idée d'une éventuelle unité de temps (Mésozoïque + Cénozoïque couvrent un intervalle de temps bien trop vaste pour pouvoir parler d'unité de temps. Il faudrait plus précisément connaître l'âge des roches échantillonnées pour construire le diagramme).

Avec les deux premiers arguments, on peut cependant penser que ces roches appartiennent à une même série magmatique.

La position des roches dans les diagrammes TAS et AFM permet de déterminer une série calco-alcaline.

• **Indiquez le(s) contexte(s) géodynamique(s) de mise en place de ces roches. Justifiez succinctement.**

Cette série calco-alcaline est mise en place dans un contexte de subduction. Le plongement d'une plaque lithosphérique océanique, froide et hydratée, entraîne sa déshydratation (métamorphisme HP-BT). Il en résulte une hydratation du manteau lithosphérique de la plaque sus-jacente ce qui permet la fusion partielle. Le magma primaire remonte ensuite dans la lithosphère et subit une différenciation magmatique importante d'où la création de nombreux magmas de plus en plus acides.

- **Justifiez que l'on peut utiliser l'échantillon 1 pour calculer le taux de fusion partielle à l'origine du magma primaire de cette série. Proposez une estimation de ce taux de fusion partielle.**

La première partie de la question n'a souvent pas été traitée. Il est important de repérer qu'on ne peut raisonner pour déterminer un taux de fusion partielle que sur une roche non différenciée ! Les processus de différenciation magmatique entraînent une concentration des incompatibles – dont le potassium – dans les magmas ce qui fausserait le résultat.

L'échantillon 1 est placé en début de série magmatique au niveau des roches basiques. Cette roche n'est donc pas ou peu différenciée, elle constitue une bonne représentation du magma primaire.

On calcule le taux de fusion partielle en travaillant sur le potassium K_2O , incompatible au comportement bien tranché.

Soit F le taux de fusion partielle :

$$d'o\grave{u} : \quad F = \frac{[K_2O]_{\text{solide initial}} - [K_2O]_{\text{solide résiduel}}}{[K_2O]_{\text{magma}} - [K_2O]_{\text{solide résiduel}}}$$

Ici, le solide initial est la lherzolite, la composition du magma est donnée par celle de l'échantillon 1. Comme on ne connaît pas les caractéristiques du solide résiduel, on peut faire une estimation en considérant que $[K_2O]_{\text{solide résiduel}}$ est nulle.

A.N. $F = 0,1/0,61$

$F = 16 \%$

C'est cohérent avec les ordres de grandeur habituels des séries calco-alcalines.

Question 10

La figure 9 montre la répartition du magmatisme méso-cénozoïque en Iran :

- **Décrivez la position des roches magmatiques dans la zone du Sanandaj-Sirjan,**

Les roches magmatiques mésozoïques forment pour l'essentiel un alignement d'orientation NW-SE parallèle à la faille MZRF et situé au NE de cet accident.

Les roches magmatiques cénozoïques sont peu abondantes et forment deux petits ensembles localisés aux extrémités de cet alignement d'une part, et deux autres localisés plus au NE et toujours en association avec des formations magmatiques mésozoïques.

- **Reliez la mise en place de ces roches au contexte géodynamique actuel de l'Iran décrit dans la partie 1.1.**

Ces roches sont issues du magmatisme calco-alcalin issu de la subduction de la plaque Arabie sous la plaque Eurasie. La déshydratation de la plaque subductée liée au métamorphisme HP-BT entraîne l'hydratation du manteau sus-jacent et sa fusion partielle au NE du Zagros, ce qui explique la mise en place des roches magmatiques en surface dans la zone du Sanandaj-Sirjan au Mésozoïque.

C'est cohérent avec le contexte géodynamique actuel de mis en évidence : la subduction mésozoïque précède la collision actuelle.

Question 11

À partir des informations extraites des figures 2 à 8, réalisez dans l'encart de l'annexe A3 prévu à cet effet, des coupes qui présentent la géodynamique actuelle et mésozoïque du Zagros et de la zone Sanadaj-Sirjan.

Voir en page suivante.

Thème 2 – Mouvements verticaux et tectonique salifère dans le Sud-Zagros

Question 12

Les dômes de sel contiennent plusieurs types de roches, dont certaines contiennent de la halite. Un échantillon d'un dôme de sel est photographié à la figure 10 et contient d'autres minéraux que la halite :

- **Donnez la formule de la halite**

Formule de la halite : $NaCl$

- **Utilisez les informations fournies pour donner un nom à la roche de la figure 10, et précisez son mode de formation et les conditions de sa mise en place.**

La roche est tendre, non carbonatée. Sa densité est plutôt faible. C'est du gypse (sulfate de calcium hydraté).

Le gypse est une évaporite : elle se forme par évaporation d'eau salée qui conduit à la précipitation des ions sous forme de sels. Ce processus nécessite une évaporation intense, donc un milieu aride, et se produit généralement dans des lagunes pas ou peu reliées à la mer, ou encore dans des lacs salés.

Question 13

- **À partir d'arguments tirés de la figure 11, expliquez en quoi les relations géométriques entre les dômes de sel et leur environnement peuvent être surprenantes.**

Les dômes de sel recouvrent les terrains crétacés, paléogènes et quaternaires par discordance angulaire (présence de points triples). L'application du principe de superposition suggère qu'ils sont postérieurs aux autres formations. Or le sel est daté du Protérozoïque, donc plus ancien que tous les autres terrains.

- Proposez un mécanisme permettant d'expliquer la position et la morphologie des dômes de sel en surface dans le Zagros.

Le sel ayant une densité faible par rapport aux autres roches de la croûte continentale, il remonte par isostasie. Il forme des dômes qui se déposent ensuite en discordance sur les terrains alentours.

Question 11 :

Coupes présentant la géodynamique actuelle et mésozoïque du Zagros et de la zone Sanandaj-Sirjan

