

## CONCOURS G2E

# GÉOLOGIE

Durée : 3 heures

---

**Les calculatrices programmables et alphanumériques sont interdites.**

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

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

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

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

---

**Attention ! Les figures 3, 7 et 8 sont en annexe et sont à rendre. Toutes ces figures sont à découper et coller sur votre copie.**

### La Cordillère des Andes

La Cordillère des Andes s'étend sur plus de 7000 km de long depuis le Vénézuéla au nord jusqu'à la Terre de Feu au sud (figure 1) en passant par la Colombie, le Pérou, la Bolivie, le Chili et l'Argentine. Cette chaîne de montagnes constitue actuellement le deuxième édifice montagneux le plus imposant après l'Himalaya, et résulte de la convergence de plaques depuis le Mésozoïque.

De part sa morphologie, la Cordillère des Andes est classiquement subdivisée en trois parties avec les Andes Septentrionales au nord, les Andes Centrales, et les Andes Australes au sud (figure 1).

Au nord et au sud, la cordillère a une largeur d'environ 300 km et les altitudes maximales sont moins importantes que dans sa partie centrale, où se développe un haut plateau (l'Altiplano) et où de nombreux sommets dépassent les 6000 m. Dans les Andes Centrales, la chaîne est large d'environ 600 km.

Nous allons nous focaliser sur les Andes Centrales (figure 1) qui correspondent au domaine le plus large et le plus épaissi le long de la cordillère.

*Une partie des points traités dans ce sujet est à reporter sur la figure 8 qui constituera une coupe synthétique de celui-ci.*

#### 1. SISMICITE ET TOMOGRAPHIE SISMIQUE DANS LES ANDES CENTRALES (5 POINTS)

La figure 2 localise des séismes enregistrés dans les Andes Centrales avec un code couleur correspondant à la profondeur des hypocentres (foyers).

1.1. Expliquez brièvement ce qu'est un séisme.

1.2. Reportez les valeurs du tableau 1 sur le graphique de la figure 3 (données recueillies le long du profil A-A', figure 2). Le report de ces données doit vous permettre de tracer un plan particulier. Comment appelle-t-on ce plan ? Donnez en une définition succincte. Dans quel contexte géodynamique se trouve-t-on ?

1.3. La figure 4 présente un profil de tomographie sismique obtenu au nord des Andes Centrales. Expliquez brièvement la méthode utilisée pour obtenir cette coupe tomographique.

1.4. A quoi associe-t-on les anomalies positives et négatives de vitesse de propagation des ondes sismiques observées sur cette figure 4 ?

1.5. Que nous montrent les anomalies de vitesse de propagation positives (en bleu) sous la Cordillère des Andes ?

## **2. TECTONIQUE DES ANDES CENTRALES (3 POINTS)**

La figure 5 présente un modèle de décomposition du vecteur convergence relative le long de la limite entre les plaques Nazca et Amérique du Sud. La convergence est accommodée par de la déformation qui affecte la bordure occidentale de la plaque Amérique du Sud et se traduit par la mise en place de structures compressives (plis, chevauchements) et de décrochements.

2.1. En quoi ce modèle contribue-t-il à expliquer le sur-épaississement et la courbure observés dans les Andes Centrales ?

2.2. Comment nomme-t-on le processus qui se produit dans les domaines nord et sud des Andes Centrales (association de structures compressives et de décrochements) ?

2.3. La figure 6 présente une coupe dans les Andes Centrales localisée à 21° de latitude sud. Commentez brièvement ce document et expliquez en particulier pourquoi peu de roches métamorphiques de haut grade, contemporaines de l'orogénèse andine, sont observées à l'affleurement.

2.4. À partir de cette coupe, expliquez la présence des nombreux séismes de faible profondeur identifiables dans la partie orientale des Andes Centrales (exemple : la zone B de la figure 2). Pourquoi n'observe-t-on pas une telle sismicité au travers de toute la chaîne d'ouest en est ?

## **3. MAGMATISME DES ANDES CENTRALES (5 POINTS)**

Le tableau 2 présente les compositions chimiques de différentes roches provenant de la Cordillère des Andes : péridotite (1), granodiorite (2), basalte calco-alcalin (3), andésite (4), dacite (5) et rhyolite (6).

3.1. À partir des trois premières colonnes du tableau 2, proposez une source pour le basalte calco-alcalin et expliquez le processus qui conduit à la formation du magma.

3.2. En complétant la figure 7, vous présenterez le processus de fusion qui permet la production du liquide à l'origine des différents produits magmatiques présentés dans le tableau 2 (colonnes 3 à 6).

3.3. Outre le basalte calco-alcalin, d'autres produits volcaniques ont été prélevés et analysés (colonnes 3 à 6 du tableau 2).

À l'aide d'un diagramme approprié, montrez que ces différentes roches appartiennent à une série magmatique que vous nommerez.

Expliquez comment se développe une telle série magmatique.

## **4. COUPE SYNTHETIQUE (4 POINTS)**

En vous aidant des trois premières parties traitées dans ce sujet, complétez la figure 8 afin de produire une coupe synthétique relative à la Cordillère des Andes Centrales.

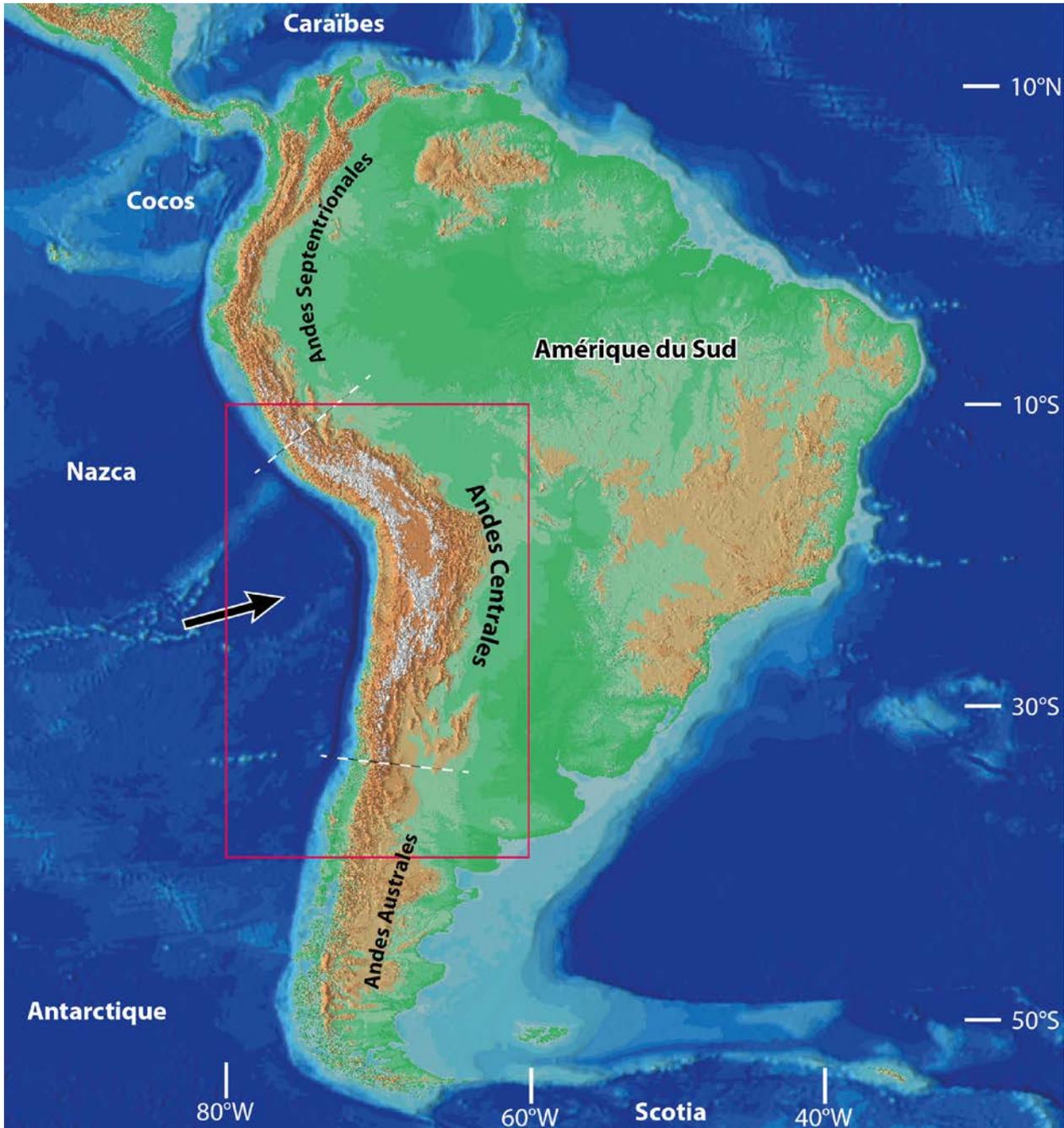
## **5. METALLOGENIE, LES GISEMENTS CUPRIFERES CHILIENS (3 POINTS)**

De nombreux gisements cuprifères sont connus et exploités le long de la cordillère des Andes. Le tableau 3 reprend les analyses présentées dans le tableau 2, mais une deuxième composition de granodiorite (B) y est ajoutée, et la teneur en Cuivre (en pourcentage d'oxydes) est donnée pour chaque roche. Les granodiorites A et B sont localisées sur la coupe du porphyre cuprifère (figure 9).

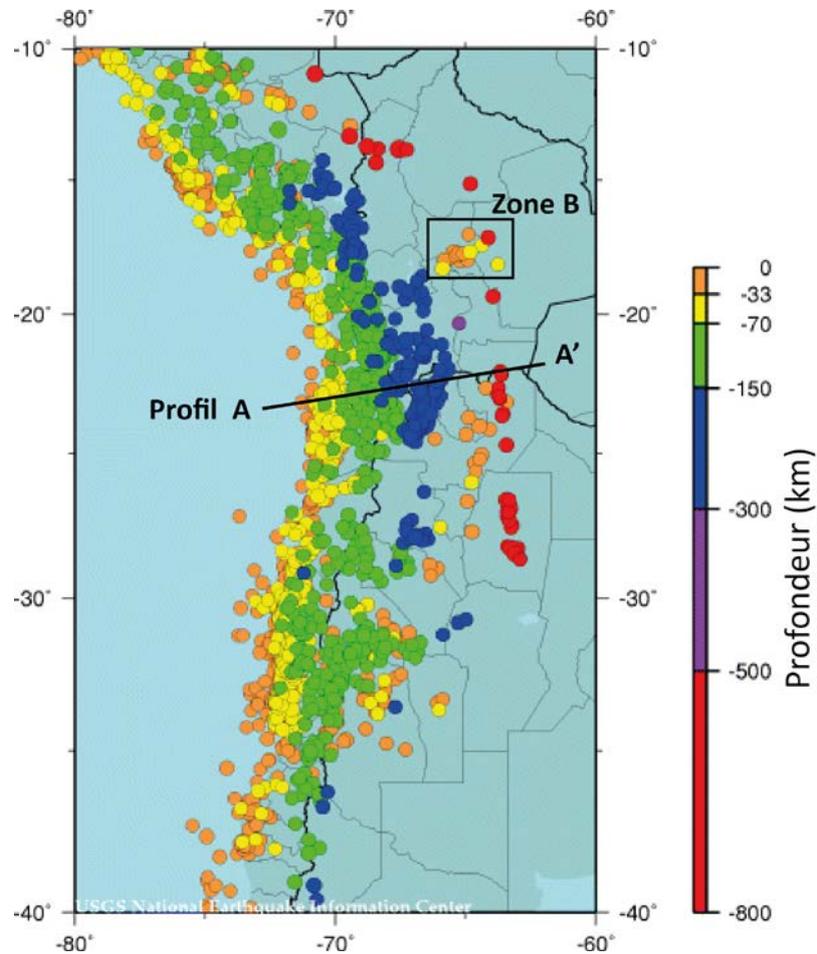
5.1. A partir des données du tableau 3 et de la coupe synthétique réalisée (figure 8), proposez un processus simple permettant d'expliquer la concentration du Cuivre dans les granodiorites A et B.

5.2. La teneur moyenne en Cuivre d'un porphyre cuprifère oscille entre 0,2 et 1%. Le tonnage moyen d'un gisement de type porphyre cuprifère est d'environ 1 milliard de tonnes. Sachant que la teneur minimale économiquement exploitable d'un porphyre cuprifère est de 0,5% de Cuivre, calculez la masse de cuivre par gisement.

5.3. La figure 10 représente la distribution dans l'espace et dans le temps des porphyres cuprifères économiques de cette section de la cordillère chilienne. Compte-tenu du contexte géodynamique, ces gisements géants se développent sur l'ensemble de l'orogène andin. A partir de la figure 10, estimez l'espacement moyen entre deux porphyres cuprifères, et calculez le volume total de Cuivre concentré dans ce type de gisement tout au long de la cordillère de l'Amérique du Sud.



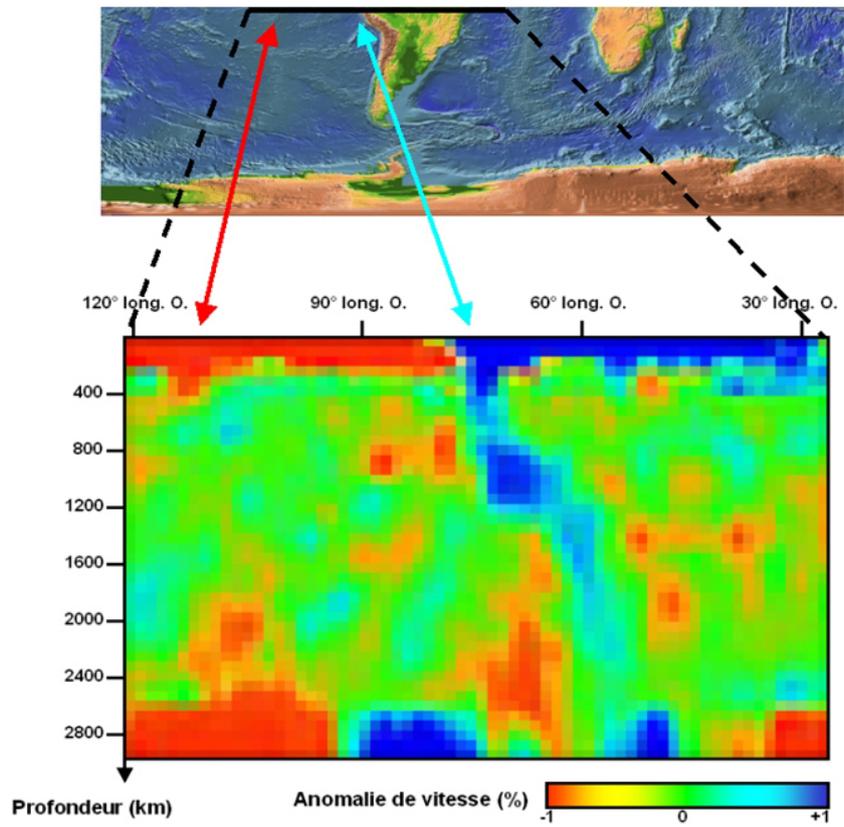
**Figure 1.** Modèle numérique de terrain de l'Amérique du Sud et des plaques océaniques adjacentes. Les pointillés blancs correspondent aux limites des domaines andins (Andes Septentrionales, Andes Centrales et Andes Australes). La flèche noire correspond à la direction de convergence relative entre les plaques Nazca et Amérique du Sud. Le cadre rouge localise la figure 2.



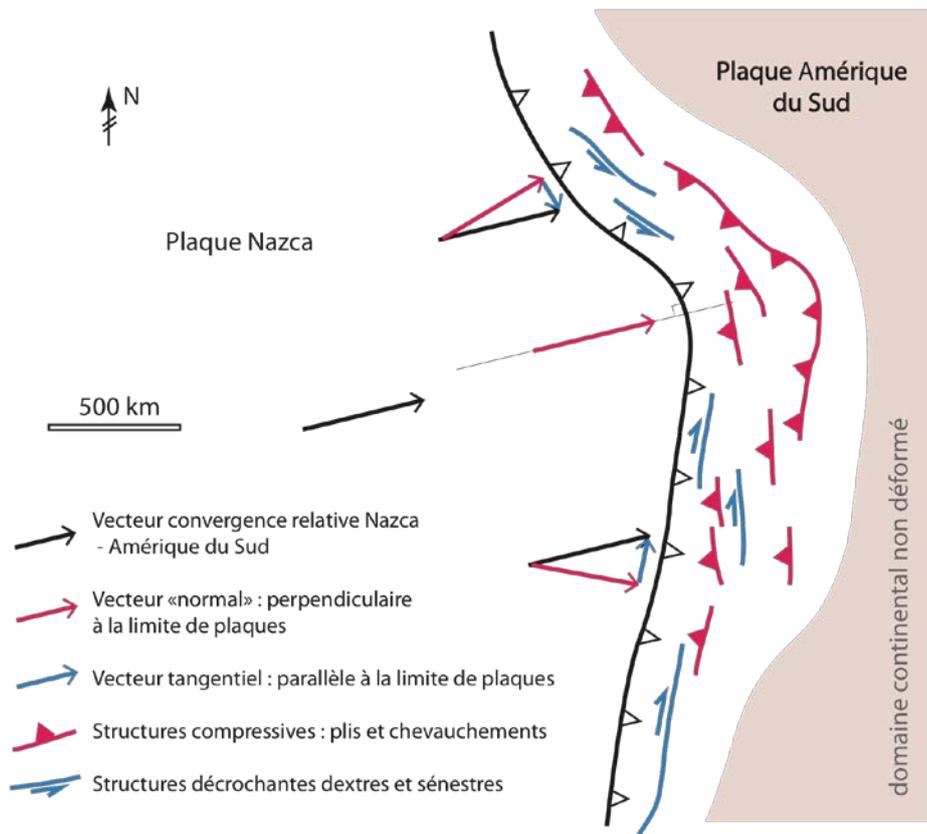
**Figure 2.** Répartition de la sismicité dans les Andes Centrales. Les couleurs représentent les différentes profondeurs des hypocentres. Le profil A-A' correspond à l'emplacement des données de sismicité figurant dans le tableau 1.

Séisme	Distance à la fosse (km)	Profondeur de l'hypocentre (km)
1	50	-32
2	72	-45
3	91	-56
4	102	-82
5	110	-70
6	140	-89
7	210	-120
8	215	-140
9	270	-180
10	280	-160
11	320	-190
12	380	-225
13	405	-265
14	475	-280
15	530	-335

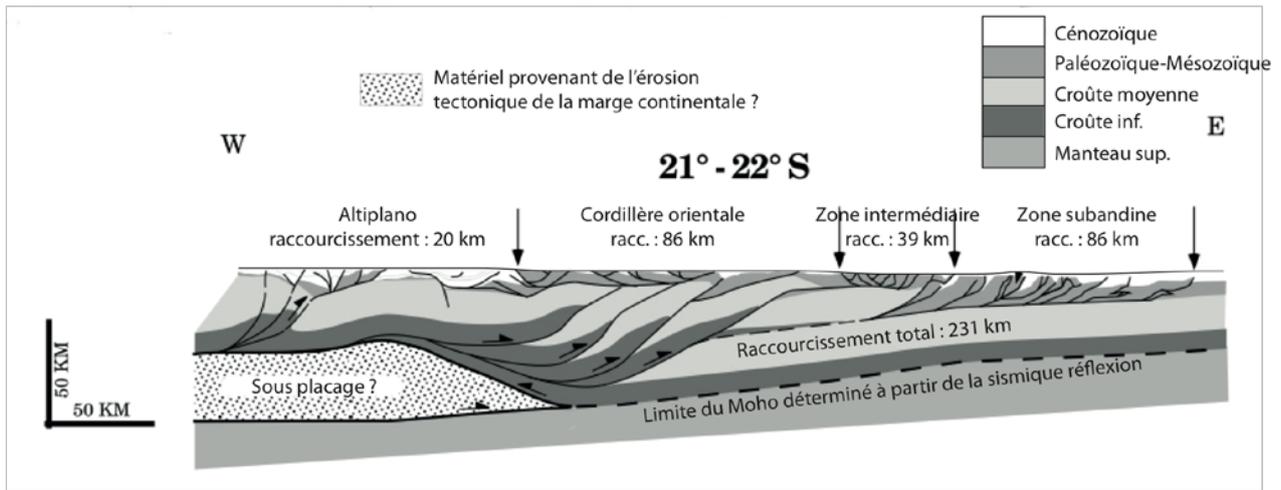
**Tableau 1.** Séismes enregistrés à l'aplomb du profil A-A'.



**Figure 4.** Profil O-E de tomographie sismique réalisé au nord des Andes Centrales.



**Figure 5.** Modèle de décomposition du vecteur convergence relative (d'après Dewey & Lamb, 1992).



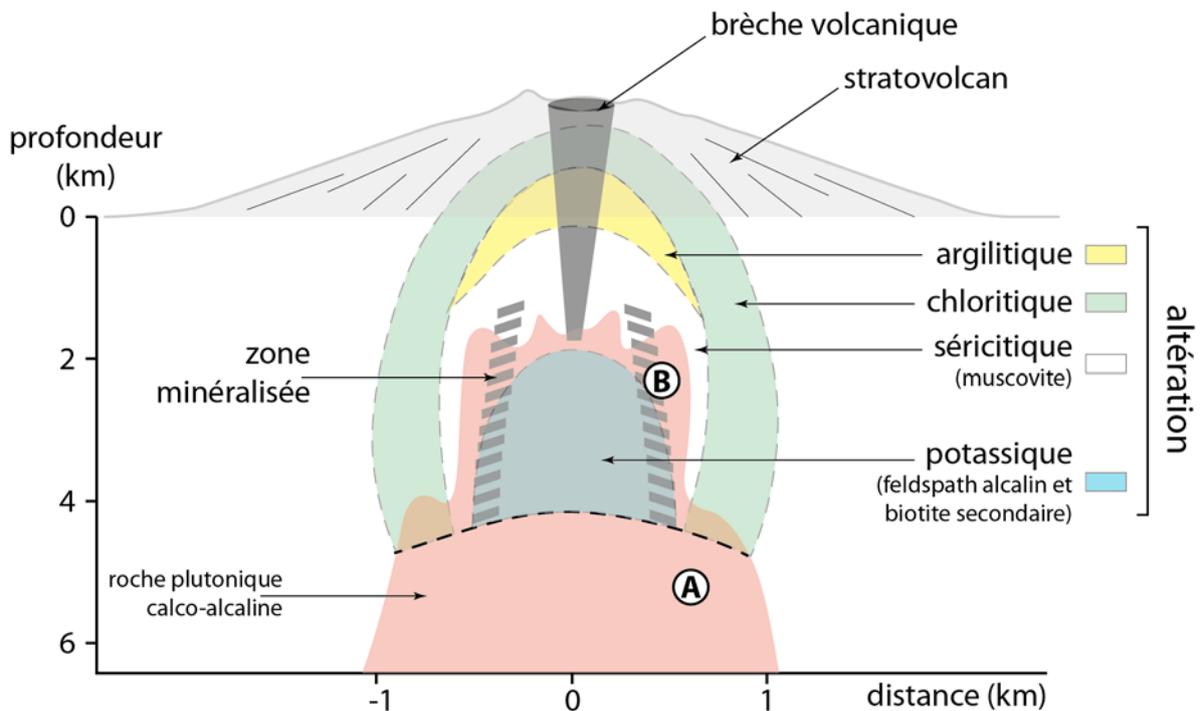
**Figure 6.** Coupe au travers des Andes Centrales depuis l'Altiplano à l'ouest jusqu'au bassin d'avant-pays à l'est (d'après Baby *et al.*, 1997).

	1	2	3	4	5	6
	Péridotite	Granodiorite	Basalte calco-alcalin	Andésite	Dacite	Rhyolite
SiO <sub>2</sub>	44,20	66,60	49,80	54,20	63,60	73,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,10	15,10	15,22	17,20	16,70	13,40
FeO	8,30	2,82	-	5,50	3,00	0,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	1,16	9,60	3,50	2,20	1,20
MgO	42,10	1,58	6,14	4,40	2,10	0,30
CaO	1,90	3,87	9,55	7,90	5,50	1,10
Na <sub>2</sub> O	0,30	2,70	1,30	3,70	4,00	3,00
K <sub>2</sub> O	0,06	4,03	1,07	1,10	1,40	5,30
MnO	-	0,06	0,20	0,10	0,10	0,10
TiO <sub>2</sub>	0,10	0,55	0,30	1,30	0,60	0,20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,12	0,40	0,30	0,20	0,10

**Tableau 2.** Compositions chimiques de six roches échantillonnées dans les Andes Centrales.

	Péridotite	Granodiorite A	Granodiorite B	Basalte calco-alcalin
SiO <sub>2</sub>	44,20	66,28	65,80	49,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,10	15,10	15,40	15,22
FeO	8,30	2,82	2,56	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	1,16	1,02	9,60
MgO	42,10	1,58	1,21	6,14
CaO	1,90	3,87	3,65	9,55
Na <sub>2</sub> O	0,30	2,70	2,73	1,30
K <sub>2</sub> O	0,06	4,03	3,98	1,07
CuO	-	0,28	0,73	0,02
MnO	-	0,06	0,05	0,20
TiO <sub>2</sub>	0,10	0,55	0,51	0,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,12	0,10	0,40

**Tableau 3.** Compositions chimiques de quatre roches échantillonnées dans les Andes Centrales. Les granodiorites A et B sont localisées sur la figure 9.



**Figure 9.** Coupe d'un porphyre cuprifère et des zones d'altérations associées (modifié d'après Nédélec & Bouchez, 2011). Les lettres A et B correspondent à la localisation des deux échantillons de granodiorite du tableau 3.

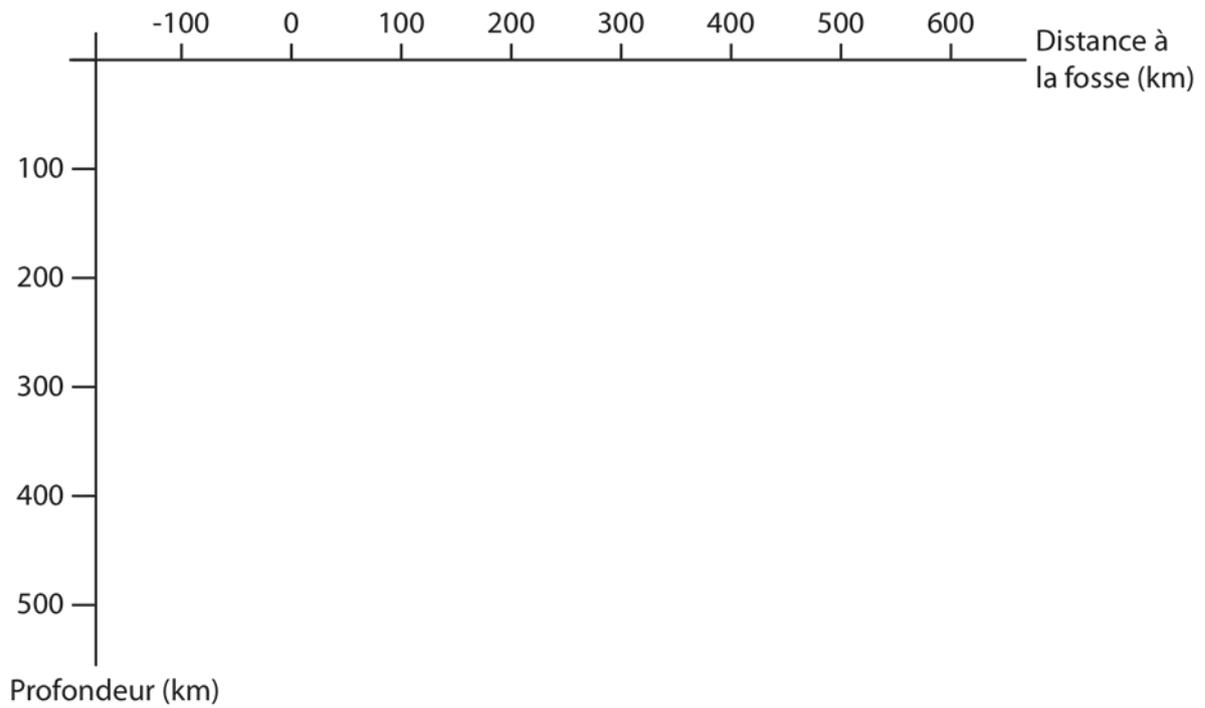
Stratovolcan : volcan dont le cône présente une alternance de coulées de lave et de couches pyroclastiques.



**Figure 10.** Localisation de gisements de Cuivre exploités au Chili (étoiles vertes). Les âges reportés correspondent aux datations des roches plutoniques de chaque gisement. Les traces rouges sont des structures tectoniques identifiées sur le terrain (d'après Pardilla Garza *et al.*, 2001).

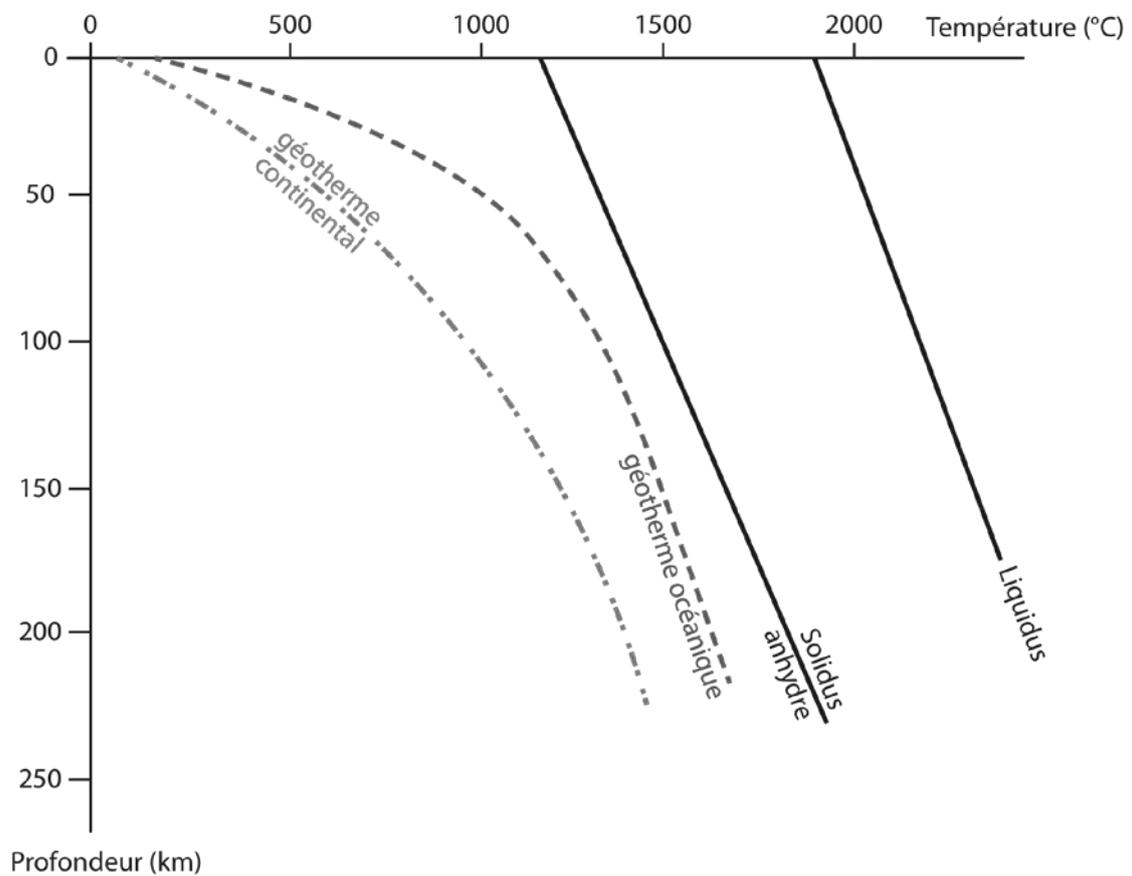
**ANNEXES A DECOUPER ET A COLLER SUR  
VOTRE COPIE**

**FIGURES 3, 7 et 8**



**Figure 3.** Distance à la fosse *versus* profondeur.

**A DÉCOUPER ET A COLLER IMPÉRATIVEMENT SUR VOTRE COPIE**



**Figure 7.** Liquidus et solidus anhydre d'une péridotite et géothermes moyens.

**A DÉCOUPER ET A COLLER IMPÉRATIVEMENT SUR VOTRE COPIE**

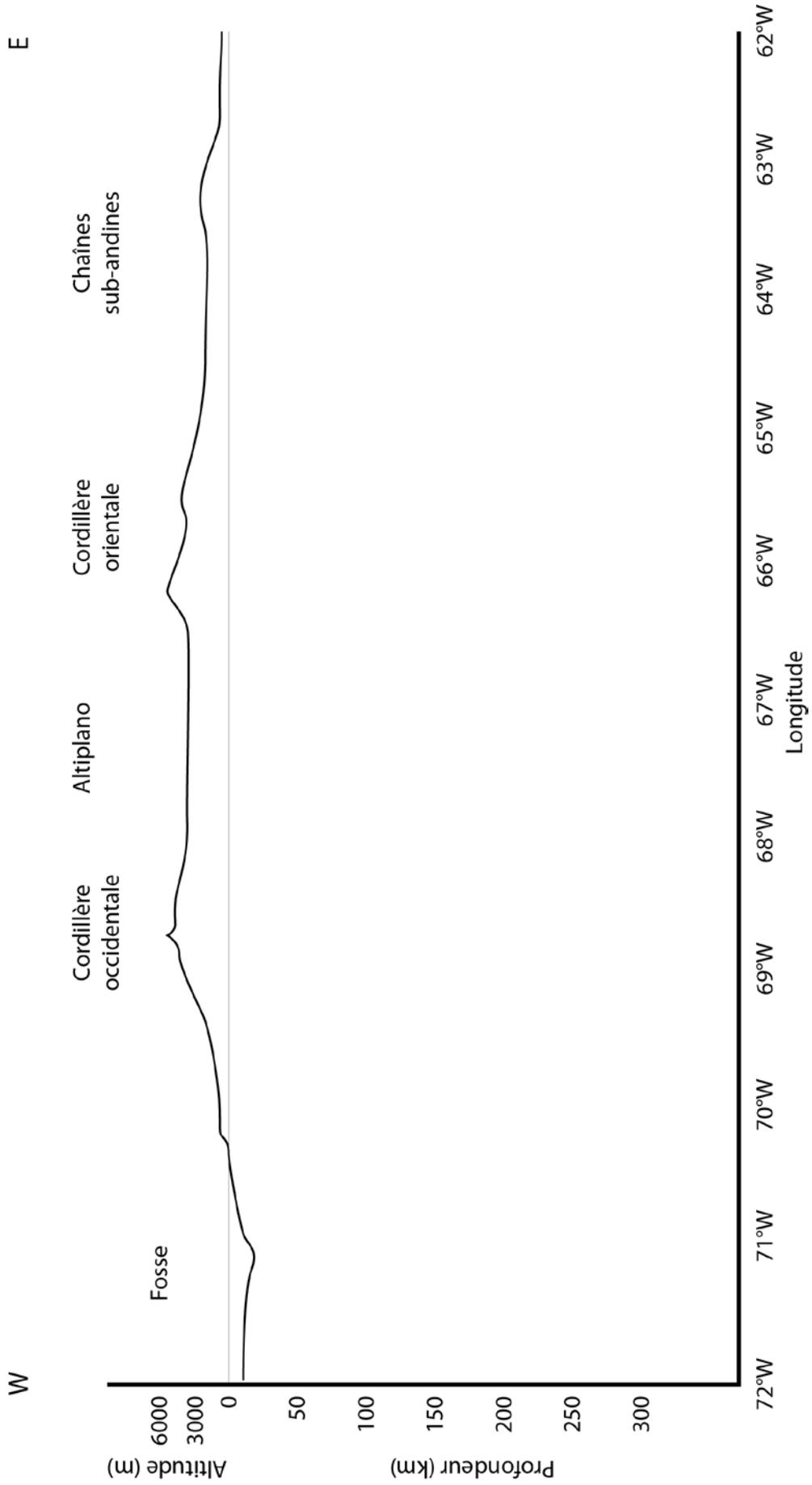


Figure 8. Coupe synthétique des Andes Centrales.

**A DÉCOUPER ET A COLLER IMPÉRATIVEMENT SUR VOTRE COPIE**