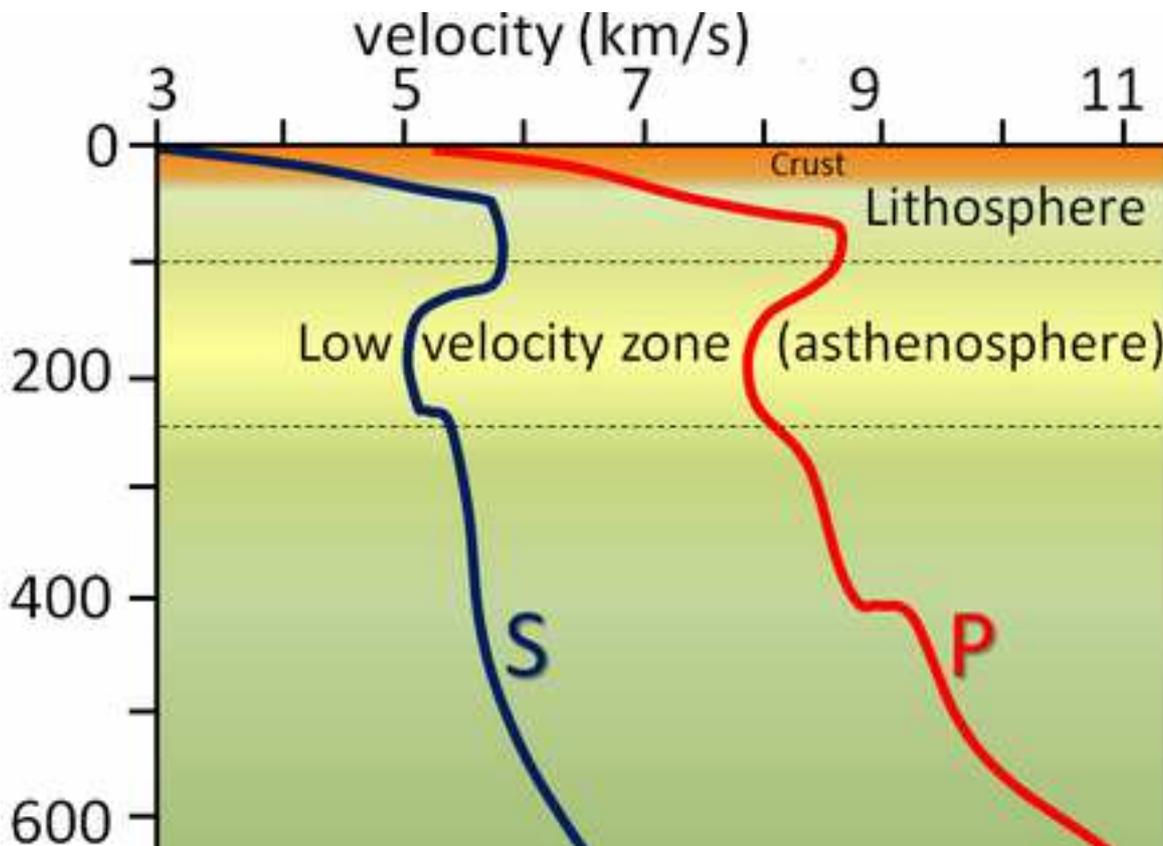


La lithosphère terrestre est découpée en plaques animées de mouvements. Ils sont possibles grâce à la LVZ caractérisée par les données sismiques

L'objectif est de comprendre comment l'étude des sismogrammes permet de mettre en évidence cette zone de découplage appelée LVZ « Low Velocity Zone » permettant la mobilité horizontale de la lithosphère sur l'asthénosphère.



Graphique de la vitesse des ondes S et P selon la profondeur (jusqu'à 600 km) montrant la LVZ sous la lithosphère

Public concerné : Professeurs de SVT de première spécialité SVT

Type de ressource : démarche, Conseils d'utilisation des logiciels, apports théoriques.

Description de l'activité : Etude d'un séisme par la comparaison des sismogrammes de stations sismiques de plus en plus éloignées (utilisation de SEISGRAM2K et IRIS/TRAVELTIME) pour mettre en évidence un amortissement des ondes s, après 1200 km, signature du passage par la LVZ puis vérification par le logiciel de modélisation ONDE_P

Documents joints : les fichiers z.sac des différentes stations sismiques.

Compétences : Utilisation du numérique SEISGRAM2K, IRIS/TRAVELTIME, ONDE_P

Durée : 1h30

Auteur Groupe Edusismo-Provence sous la direction de Alain Faralli (IA-IPR)

Résumé

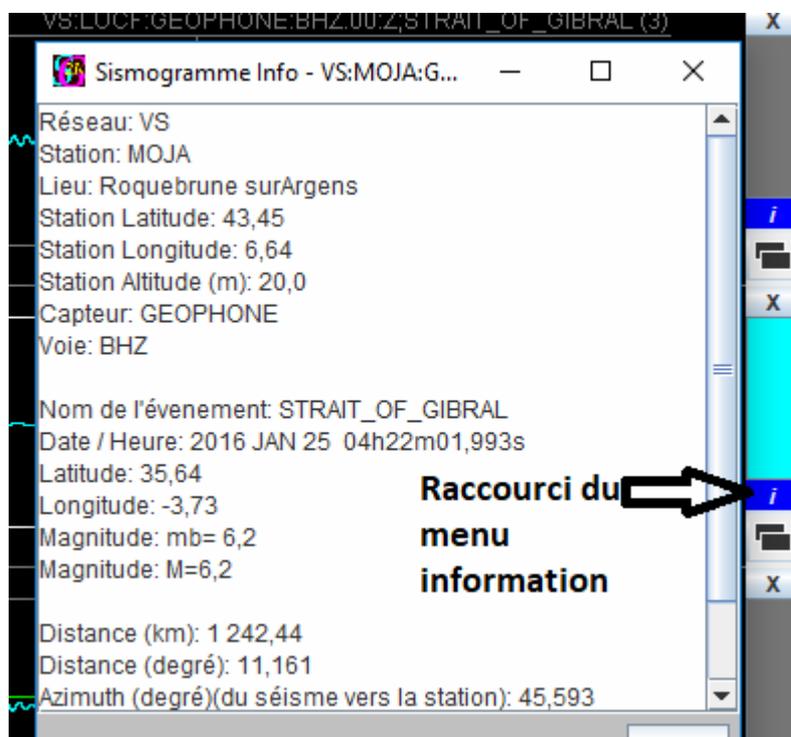
La zone de découplage a plus d'influence sur les ondes de cisaillement ; aussi nous considérerons ici les ondes S. Cependant, il est aussi possible de raisonner en utilisant les ondes P. Le choix des stations sismiques proposées par rapport au séisme de Gibraltar permet de montrer l'amortissement des ondes s mesuré par les stations sismiques après 1200 km de distance à l'épicentre.

Enregistrements du séisme M 6,2 Détroit de Gibraltar du 25 janvier 2016 (4h 22' 02'').

Réseau	Date	Heure	Latitude	Longitude	Profondeur	Magnitude	Commentaire
CSE	25/01/2016	04h22min02s	35.64	-3.73	10	6.2	STRAIT OF GIBRALTAR

Sur SISMO à l'école on peut récupérer les enregistrements sismiques (z.sac) des stations (classées de la plus proche à la plus éloignée de l'épicentre ARTZ, VMTE, LPPM, LUCF, MOJA et CIVV
Les fichiers sont téléchargeables dans l'onglet DOCUMENT

Dans **Seisgram2K** le menu Affichage/sismogramme info/ permet d'avoir accès à la profondeur du séisme, à sa localisation (lat/long) à la localisation de la station (lat/long) et à la distance du séisme en km et en degré. On y a aussi accès par un raccourci à droite de l'enregistrement sismique.
Ces informations seront ensuite utiles pour déterminer les temps d'arrivées des ondes s et p par le site **IRIS/TRAVELTIME**.



On obtient donc le tableau suivant :

Station	Distance épacentrale (km - °)	Localisation de la station sismique [lat,long]
---------	-------------------------------	--

Model: iasp91

Distance (deg)	Depth (km)	Phase Name	Travel Time (s)	Ray Param p (s/deg)	Takeoff (deg)	Incident (deg)	Purist Distance	Purist Name
8.51	10.0	P	123.33	13.716	45.77	45.68	8.51	= P
8.51	10.0	Pn	123.43	13.754	45.94	45.84	8.51	= Pn
8.51	10.0	S	220.60	24.610	48.14	48.04	8.51	= S
8.51	10.0	Sn	220.93	24.739	48.48	48.38	8.51	= Sn
8.51	10.0	PcP	513.02	0.812	2.43	2.43	8.51	= PcP
8.51	10.0	ScS	938.99	1.497	2.60	2.59	8.51	= ScS
8.51	10.0	PKiKP	993.65	0.190	0.57	0.57	8.51	= PKiKP
8.51	10.0	SKiKS	1416.80	0.213	0.37	0.37	8.51	= SKiKS
9.50	10.0	P	136.78	13.705	45.73	45.63	9.50	= P
9.50	10.0	Pn	136.92	13.754	45.94	45.84	9.50	= Pn
9.50	10.0	S	244.71	24.576	48.06	47.96	9.50	= S
9.50	10.0	Sn	245.19	24.739	48.48	48.38	9.50	= Sn
9.50	10.0	PcP	513.86	0.903	2.70	2.70	9.50	= PcP
9.50	10.0	ScS	940.54	1.665	2.89	2.88	9.50	= ScS
9.50	10.0	PKiKP	993.85	0.212	0.63	0.63	9.50	= PKiKP
9.50	10.0	SKiKS	1417.02	0.237	0.41	0.41	9.50	= SKiKS
10.41	10.0	P	149.27	13.695	45.68	45.59	10.41	= P
10.41	10.0	Pn	149.46	13.754	45.94	45.84	10.41	= Pn
10.41	10.0	S	267.11	24.541	47.96	47.86	10.41	= S
10.41	10.0	Sn	267.75	24.739	48.48	48.38	10.41	= Sn
10.41	10.0	PcP	514.72	0.988	2.96	2.95	10.41	= PcP
10.41	10.0	ScS	942.13	1.821	3.16	3.15	10.41	= ScS
10.41	10.0	PKiKP	994.05	0.232	0.70	0.69	10.41	= PKiKP
10.41	10.0	SKiKS	1417.24	0.260	0.45	0.45	10.41	= SKiKS
10.94	10.0	P	156.56	13.688	45.65	45.56	10.94	= P
10.94	10.0	Pn	156.79	13.754	45.94	45.84	10.94	= Pn
10.94	10.0	S	280.18	24.518	47.91	47.81	10.94	= S
10.94	10.0	Sn	280.93	24.739	48.48	48.38	10.94	= Sn
10.94	10.0	PcP	515.26	1.037	3.10	3.10	10.94	= PcP
10.94	10.0	ScS	943.12	1.912	3.32	3.31	10.94	= ScS
10.94	10.0	PKiKP	994.18	0.244	0.73	0.73	10.94	= PKiKP
10.94	10.0	SKiKS	1417.38	0.273	0.47	0.47	10.94	= SKiKS
11.16	10.0	P	159.59	13.685	45.64	45.55	11.16	= P
11.16	10.0	Pn	159.83	13.754	45.94	45.84	11.16	= Pn
11.16	10.0	S	285.59	24.509	47.88	47.78	11.16	= S
11.16	10.0	Sn	286.40	24.739	48.48	48.38	11.16	= Sn
11.16	10.0	PcP	515.49	1.057	3.17	3.16	11.16	= PcP
11.16	10.0	ScS	943.55	1.949	3.38	3.38	11.16	= ScS
11.16	10.0	PKiKP	994.24	0.249	0.75	0.74	11.16	= PKiKP
11.16	10.0	SKiKS	1417.45	0.279	0.48	0.48	11.16	= SKiKS
11.49	10.0	P	164.03	13.681	45.62	45.53	11.49	= P
11.49	10.0	Pn	164.30	13.754	45.94	45.84	11.49	= Pn
11.49	10.0	S	293.56	24.494	47.84	47.74	11.49	= S
11.49	10.0	Sn	294.44	24.739	48.48	48.38	11.49	= Sn
11.49	10.0	PcP	515.84	1.087	3.25	3.25	11.49	= PcP
11.49	10.0	ScS	944.19	2.004	3.48	3.47	11.49	= ScS
11.49	10.0	PKiKP	994.32	0.256	0.77	0.77	11.49	= PKiKP
11.49	10.0	SKiKS	1417.54	0.287	0.50	0.50	11.49	= SKiKS

Ce document vous indique que le délai d'arrivée (**travel time (s)**) des **premières ondes P** de la station située à **8°51 (station ARTZ)** est de **123 s** et le délai d'arrivée **des premières ondes S** est de **220s** par rapport au **T₀** du début du séisme.

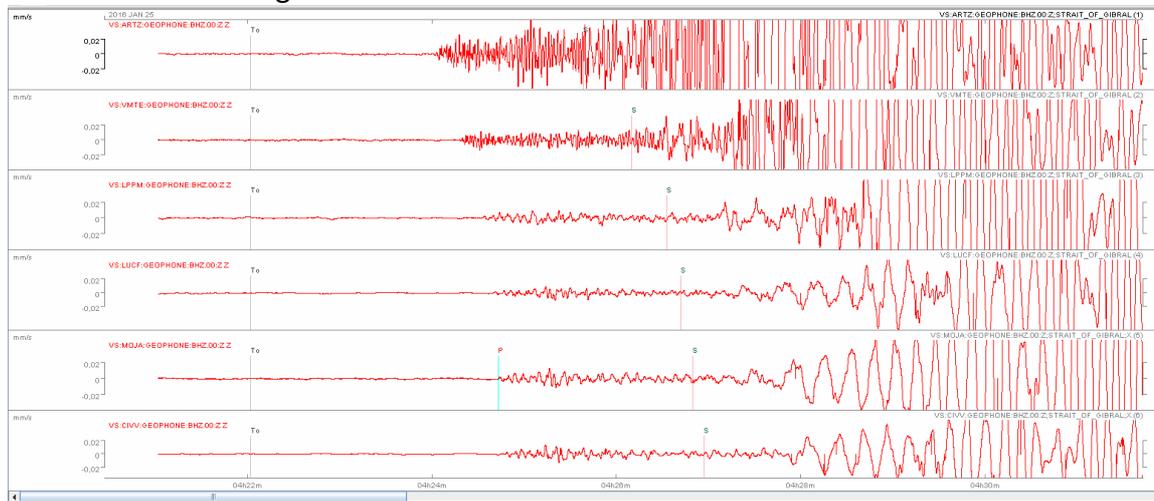
On peut reprendre le tableau et le compléter avec le temps d'arrivée des ondes s (TS-To)

Station		Distance épacentrale (km - °)		TS-To (sec)	TS
ARTZ	Artez-de-Béarn (64)	947	8°5	220 s	4h 25' 42''
VMTE	Bordeaux (33)	1055	9°49	245 s	26' 07''
LPPM	Marseille (13)	1158	10°4	267 s	26' 29''
LUCF	Le Luc (83)	1217	10°9	280 s	26' 42''
MOJA	Roquebrune / A. (83)	1242	11°1	286 s	26' 48''
CIVV	Valbonne (06)	1278	11°5	294 s	26' 56''

Dans Seisgram2K, après avoir effectué les opérations suivantes :

- affichage/inverser les couleurs
- Augmentation de l'amplitude du signal (NECESSAIRE pour voir les ondes p trop petites à l'ouverture du fichier)

On obtient les sismogrammes suivants :



On observe une arrivée des ondes de plus en plus tardive ainsi qu'un amortissement du signal ce qui pour l'élève peut s'interpréter facilement par un éloignement de plus en plus important des stations sismiques par rapport à l'épicentre.

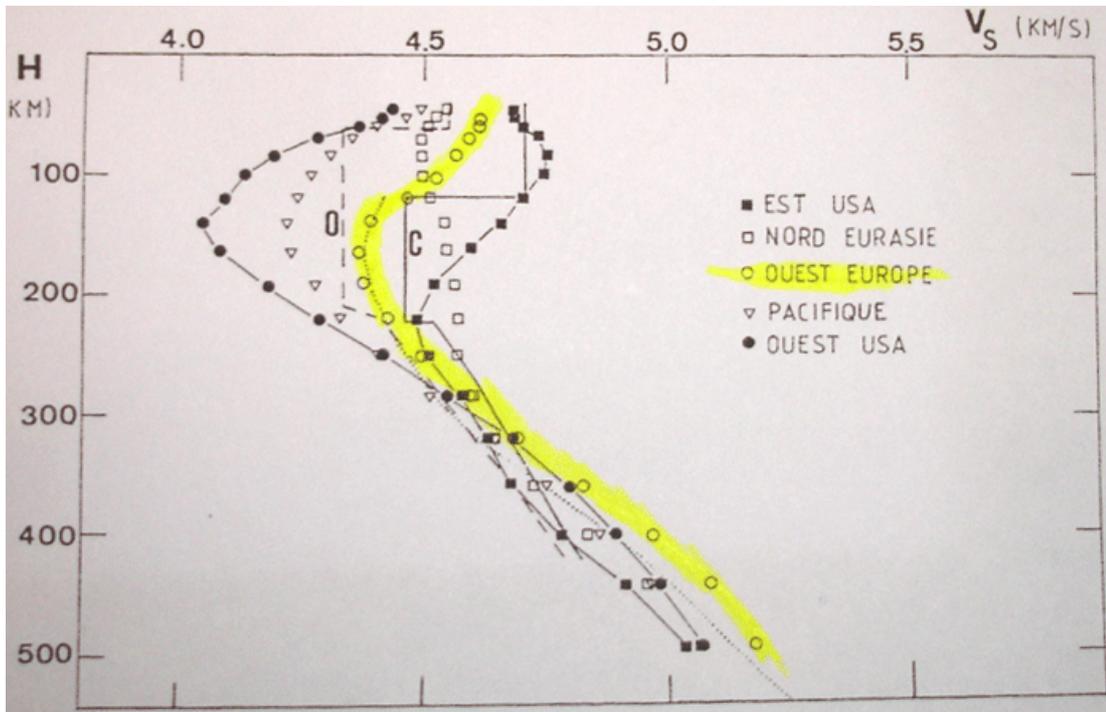
Mais au-delà (MOJA, CIVV,...), on peut noter des ondes S relativement plus amples...

Problème : comment expliquer cet amortissement des ondes P et/ou S entre 1 050 à 1 200 kilomètres de l'épicentre que la seule augmentation de distance par rapport à l'épicentre ne peut pas expliquer ?

Pour essayer de résoudre ce problème on a recours à la modélisation numérique qu'offre le logiciel ONDES P – onglet LVZ de Jean-François MADRE.

On paramètre l'application selon le modèle de Cara. Précisons à nouveau que ce chercheur a privilégié un travail avec les ondes S car ce sont les plus sensibles aux différences de rhéologie. Le phénomène est identique pour les ondes P.

EVOLUTION DE LA VITESSE DES ONDES S EN FONCTION DE LA PROFONDEUR selon le contexte géodynamique (Cara, 1989)



C = Vitesse moyenne en domaine continental, O = Vitesse moyenne en domaine océanique

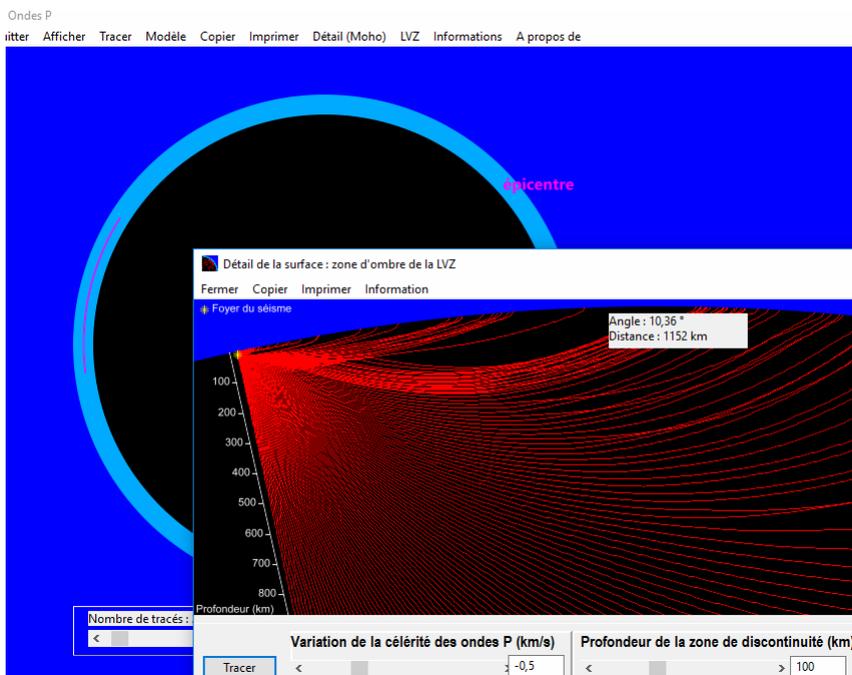
La vitesse des ondes S est en relation directe avec la viscosité des milieux traversés selon la formule : $V_s = \sqrt{(\mu/\rho)}$, avec μ = indice de rigidité du matériau et ρ = masse volumique.

Ce graphique permet de paramétrer l'onglet LVZ du logiciel Ondes P constatant la variation de vitesse des ondes S et la profondeur de cette variation (voir photo ci-dessous).

On ne modifiera pas les autres paramètres (choix de la profondeur du foyer à 10 Km).

Lien de téléchargement du logiciel (© Jean-François Madre) :

http://aces.ens-lyon.fr/aces/logiciels/applications/ondes-p/ondesP_2014.zip/view



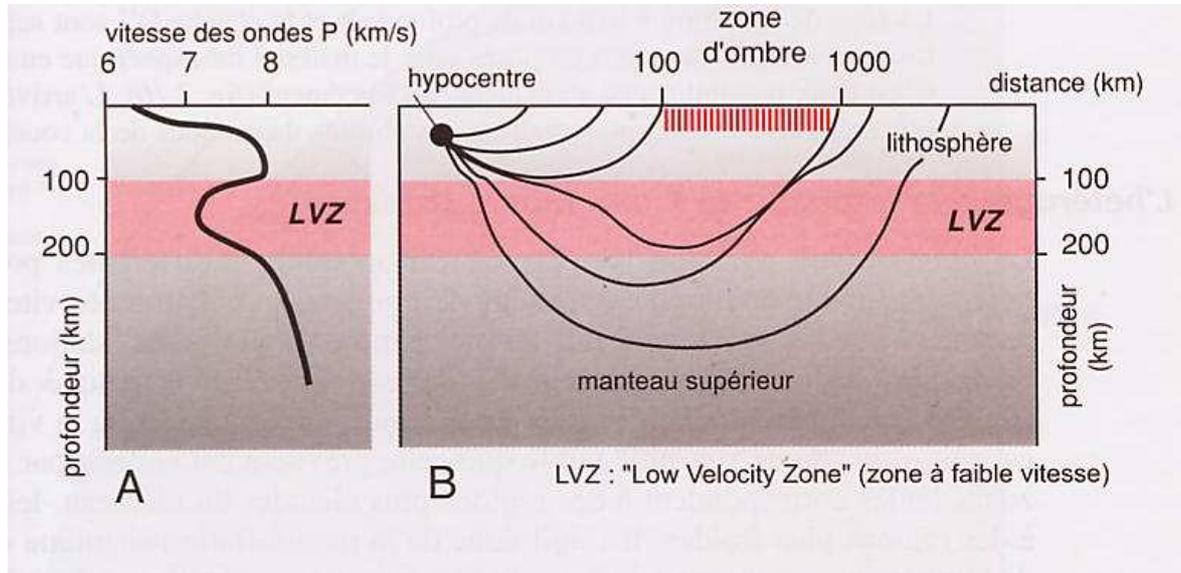
On modélise ainsi l'existence d'une zone d'ombre que la simple application des lois de Descartes appliquée aux rais sismiques permet à l'élève de comprendre géométriquement :

L'amortissement des ondes entre 100 et 200 kilomètres de profondeur matérialise la LVZ dont une modélisation analogique assistée par ordinateur de mesures de la vitesse de propagation dans un même

matériau (pâte à modeler) mais à des températures différentes permettra l'interprétation en terme rhéologique et matérialisera le concept de lithosphère-asthénosphère (travaux d'Oliver et Isacks).

Voir activité sur le site Edusismo-Provence

http://www.edusismoprovence.ac-aix-marseille.fr/ancien_site/1/formations/geosciences4eme/rigidite.htm



A. Profil de vitesse des ondes P en fonction de la profondeur

B. Trajet des rais sismiques : la présence en profondeur d'une zone à moindre vitesse provoque la disparition de l'arrivée des ondes P pour les stations situées entre 100 et 1000 km du foyer d'un séisme.

D'après Dubois, Diament et Cogné 2011

[In *Éléments de géologie Renard, Lagabrielle, Martin, de Rafélis – Dunod 2015*]