

STB – La structure de la planète Terre

Chapitre 2

Les enveloppes de la Terre



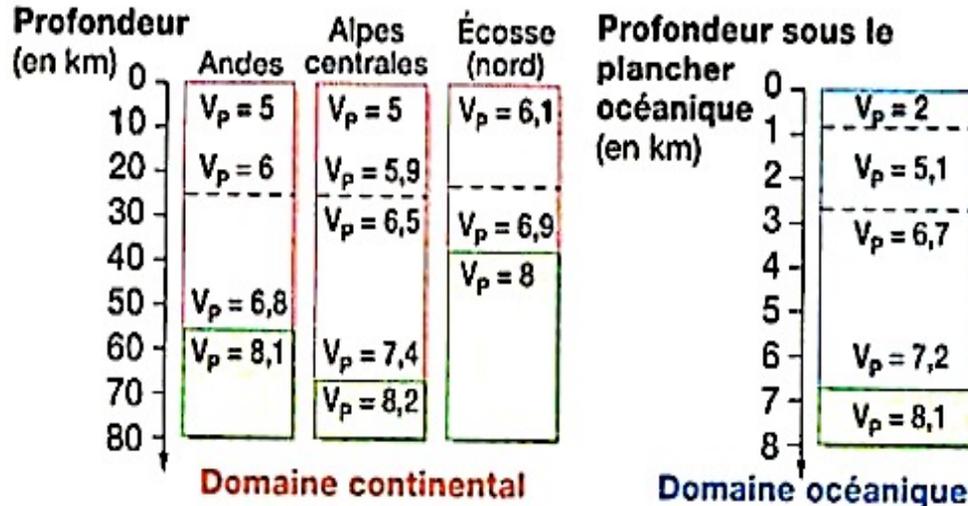
La météorite Erg Chech 002, morceau de croûte volcanique détaché d'une protoplanète, avant la formation de la Terre. Source : Irving.

Une composition où Si, O et Al dominant

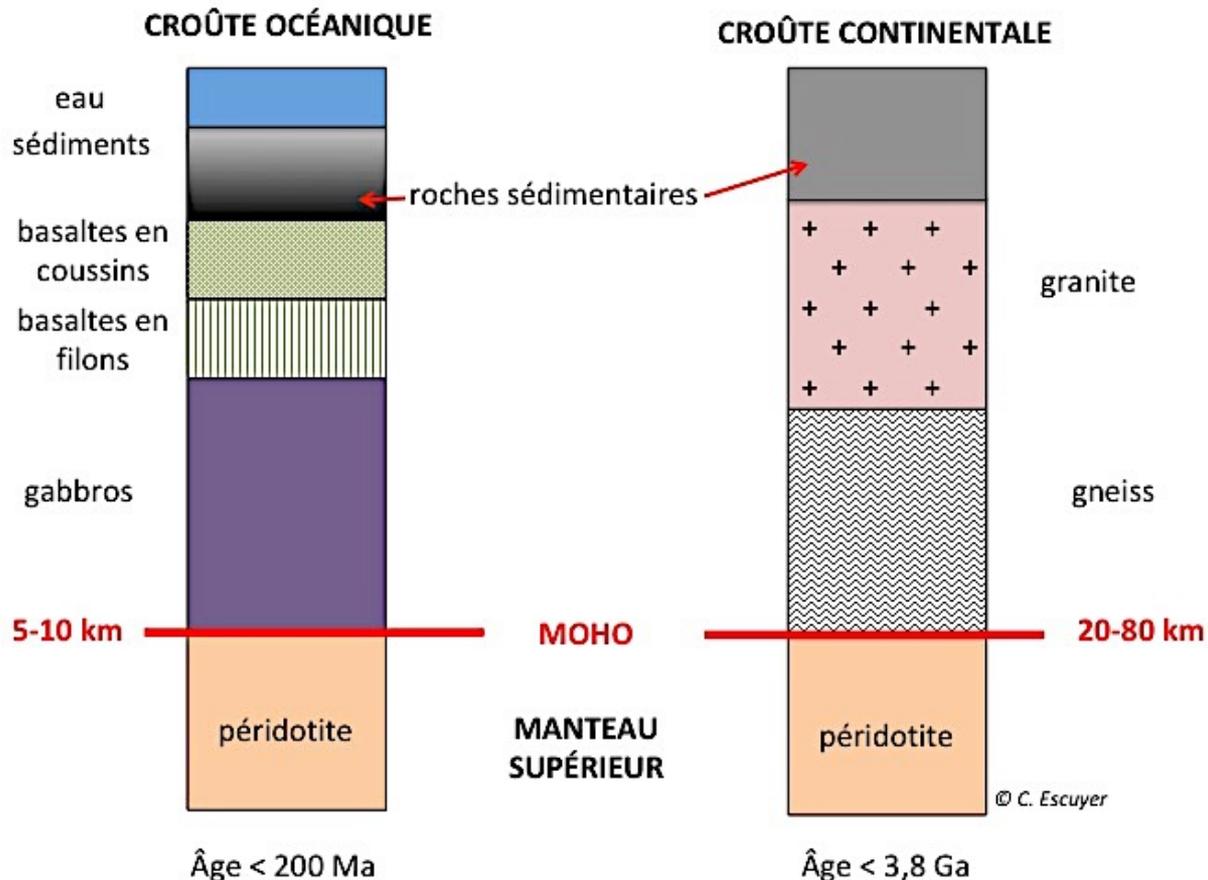
Eléments		Milieux (en %)			Etres vivants (en %)	
		Croûte Terrestre	Hydrosphère	Atmosphère Sèche (en %)	Plant de blé (en %)	Homme
Hydrogène	H	0,22	66		8,5	9,00
Oxygène	O	47	33	21	64	62,43
Carbone	C	0,19	0,001	0,03	24,2	21,15
Azote	N			78,3	0,8	3,10
Calcium	Ca	3,5	0,006		0,13	1,90
Potassium	K	2,5	0,006		0,51	0,23
Silicium	Si	28			0,65	0,001
Magnésium	Mg	2,2	0,034		0,10	0,027
Phosphore	P	0,08			0,11	0,95
Soufre	S	0,04	0,017		0,09	0,16
Aluminium	Al	7,9			-	-
Sodium	Na	2,5	0,28		?	0,08
Fer	Fe	4,5			0,04	0,005
Titane	Ti	0,46			-	-
Chlorure	Cl		0,33		0,08	0,08

Les roches de la croûte

Catégorie de roches	Vitesse des ondes P en km.s^{-1}
sédiments non consolidés	$1,5 < v < 2,5$
sédiments consolidés	$3,5 < v < 5,5$
granites	$5,6 < v < 6,3$
basaltes	$4,0 < v < 5,8$
gabbros	$6,5 < v < 7,1$
roches métamorphiques	$6,5 < v < 7,6$
péridotites	$7,9 < v < 8,4$



Les roches de la croûte



Attention, on trouve aussi des basaltes et gabbros sur des continents !

Les roches de la croûte

Roches
magmatiques

Roches
métamorphiques

Roches
sédimentaires

Roches
plutoniques

Roches
volcaniques

Roches
silicatées

Roches
salines

Roches
carbonatées

Roches
carbonées



Les roches de la croûte continentale

Roches sédimentaires

Calcaire : carbonate de calcium CaCO_3

*Plateau et falaise calcaires
(Vallée de la Jonte, Cévennes)*



photo C. Escuyer



Grès : grains de quartz liés
par une matrice

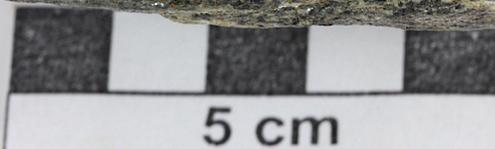
Les roches de la croûte continentale



Orthogneiss œillé



Micaschiste



Granite des Cévennes (Florac)

Les roches de la croûte océanique

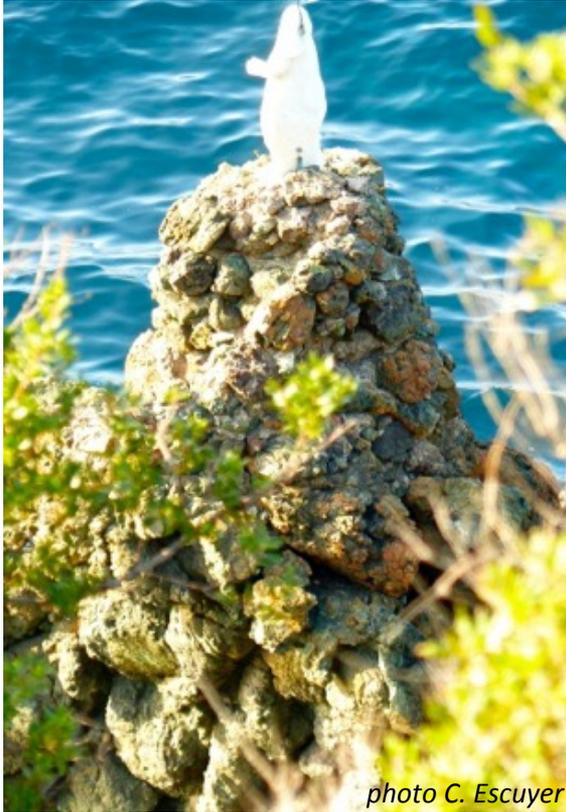


photo C. Escuyer

*Empilement de pillows lava
(Marcia Marina, île d'Elbe)*



Basalte à olivine et
pyroxène

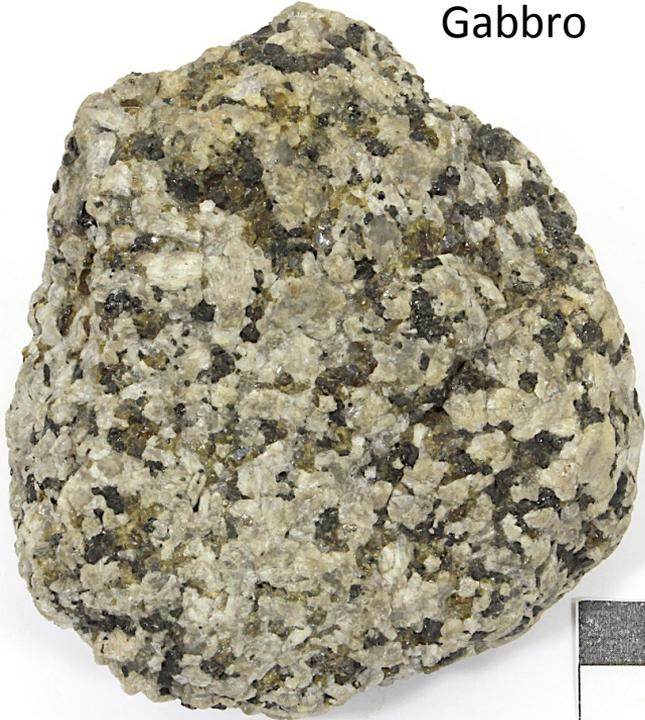


Basalte à enclave de
péridotite

Source : lithothèque de l'ENS Lyon

Les roches de la croûte océanique

Gabbro



Gabbro lité

Les roches du manteau



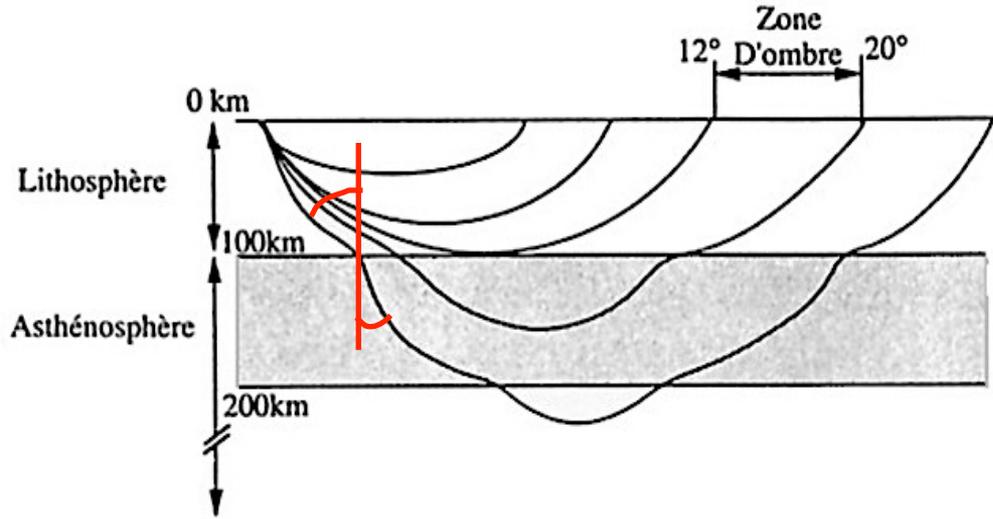
Source : lithothèque de l'ENS Lyon



Composition SiO_2 : 43,5% MgO : 41,5 % FeO : 8,2 % Al_2O_3 : 3,6 % et CaO : 3,2 %

Exercice 3

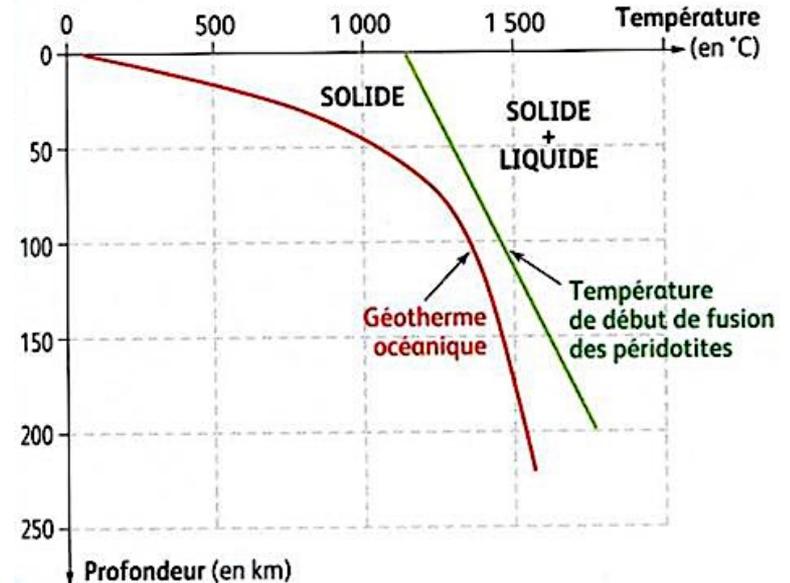
Des variations de rhéologie



L'angle réfracté est plus petit que l'angle incident.

La vitesse des ondes est donc plus faible dans la couche sous 100 km.

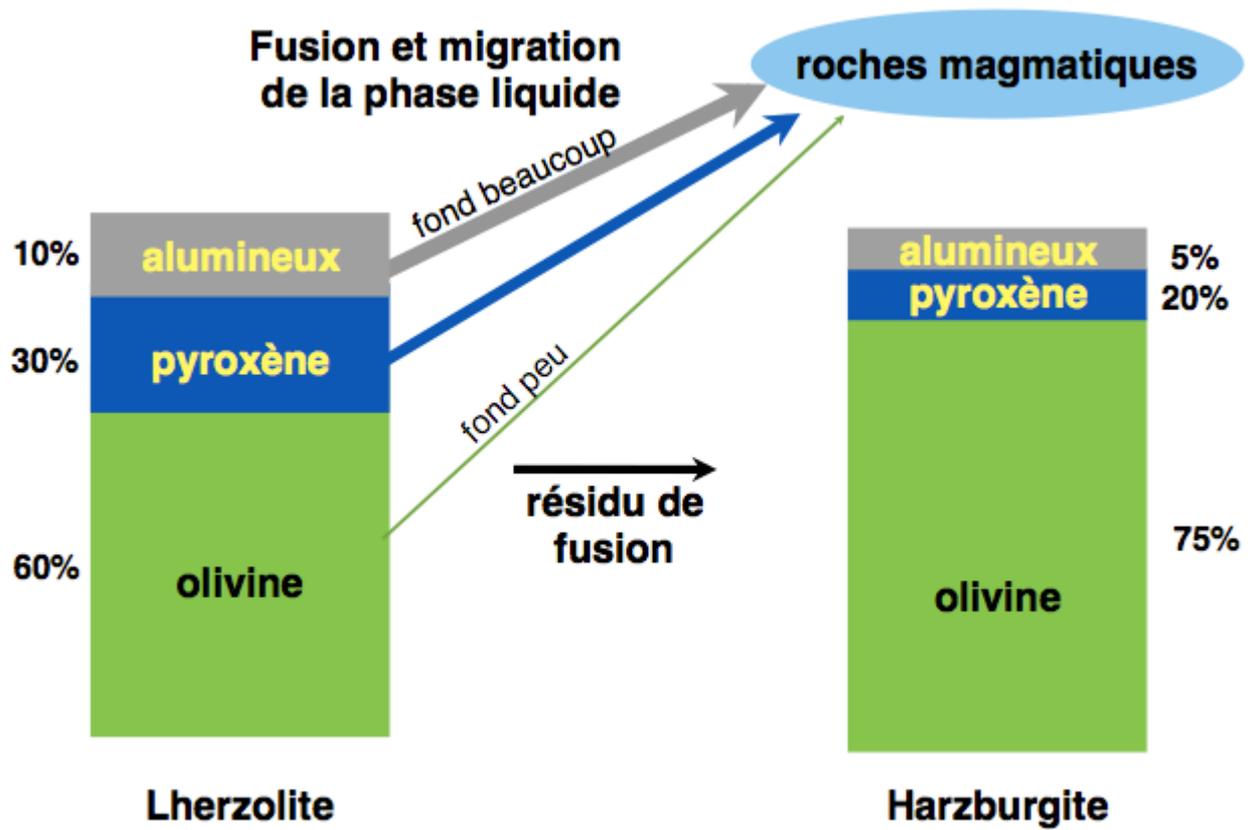
Entre 100 et 200 km, le géotherme est proche des conditions de début de fusion partielle (courbe verte du solidus) : la roche y est plus « molle » donc la vitesse des ondes sismiques P et S diminue.



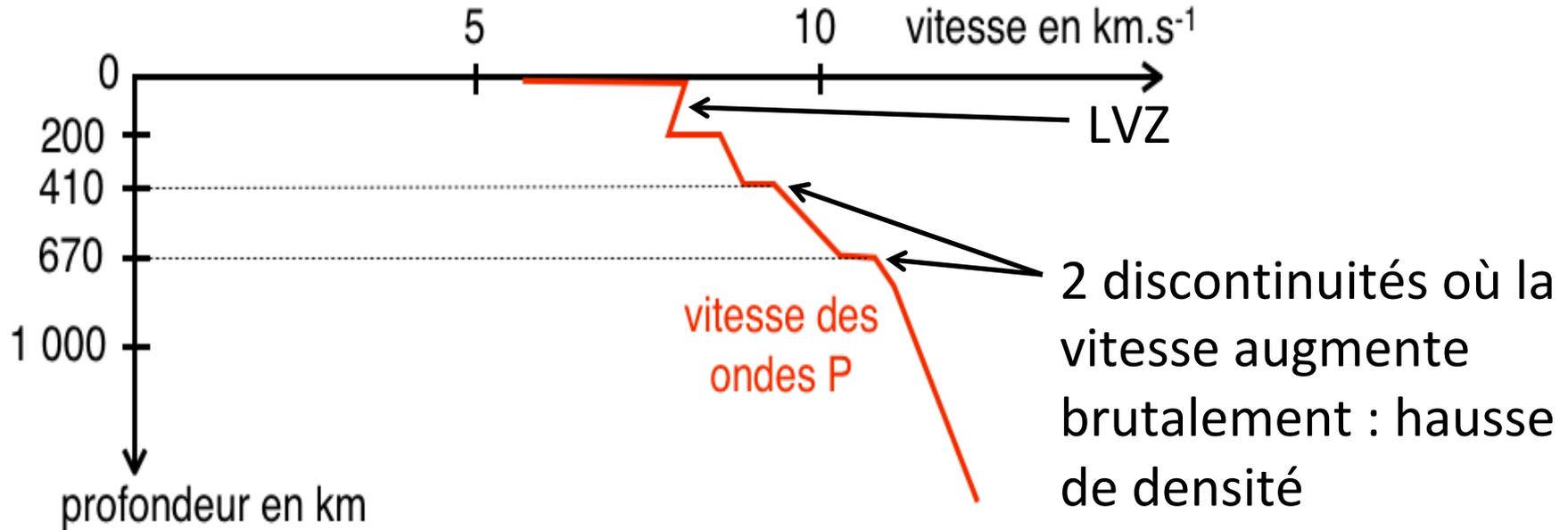
Des proportions minéralogiques différentes

Type de péridotite	Lherzolite	Harzburgite	Dunite
Minéralogie	Olivine : 60-70 % pyroxène : 25-30 % Alumineux : 5-10 %	Olivine : 70-80 % pyroxène : 20 % Alumineux : 5 %	Olivine > 95 % pyroxène : résidus
Localisation océanique	manteau de lithosphère océanique type Atlantique	manteau de lithosphère océanique type Pacifique	-
Gisements ophiolitiques	Alpes, Corse	Oman	Oman

Des proportions minéralogiques différentes



Les changements de phase de l'olivine



Les changements de phase de l'olivine

Profondeur (km)	115	200	300	410	410	500	600	670	670	770	1070	1570
Densité ρ	3,37	3,40	3,48	3,54	3,72	3,85	3,95	3,99	4,38	4,44	4,62	4,90



sauts de densité

À 410 km, la densité est multipliée par $3,72/3,54 = 1,0508$.

À 670 km, la densité est multipliée par $4,38/3,99 = 1,0977$.

Les sauts de densité sont liés à des hausses de la masse volumique des cristaux d'olivine. Il faut chercher des sauts de masse volumique correspondant aux hausses de densité constatées.

Les changements de phase de l'olivine

Attention : forstérite seule ici
donc modèle approximé.

À 410 km, densité multipliée par 1,0508.
À 670 km, densité multipliée par 1,0977.

Phases	olivine α	olivine β	olivine γ	bridgmanite	magnésioiwüstite
Minéral	Mg_2SiO_4	Mg_2SiO_4	Mg_2SiO_4	MgSiO_3	MgO
V	$43.67 \cdot 10^{-6}$	$40.54 \cdot 10^{-6}$	$39.65 \cdot 10^{-6}$	$24.5 \cdot 10^{-6}$	$11.25 \cdot 10^{-6}$

Olivine $\alpha \rightarrow \beta$: le volume d'une mole passe de $43,67 \cdot 10^{-6}$ à $40,54 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ donc la masse volumique est multipliée par $43,67/40,54 = \mathbf{1,077}$.

De la même manière :

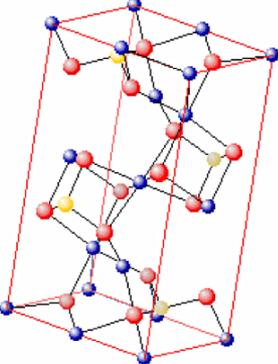
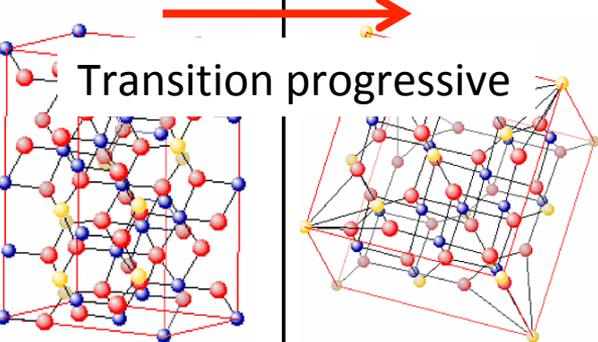
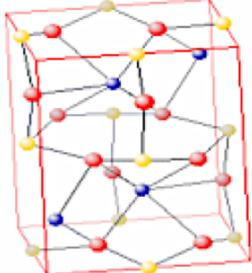
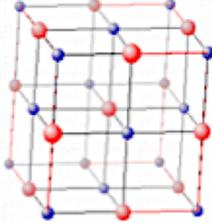
Olivine $\alpha \rightarrow \gamma$: facteur de multiplication = 1,101

Olivine $\alpha \rightarrow$ bridgmanite + magnésioiwüstite : facteur de multiplication = 1,2215

Olivine $\beta \rightarrow$ bridgmanite + magnésioiwüstite : facteur de multiplication = 1,1339

Olivine $\gamma \rightarrow$ bridgmanite + magnésioiwüstite : facteur de multiplication = **1,1091**

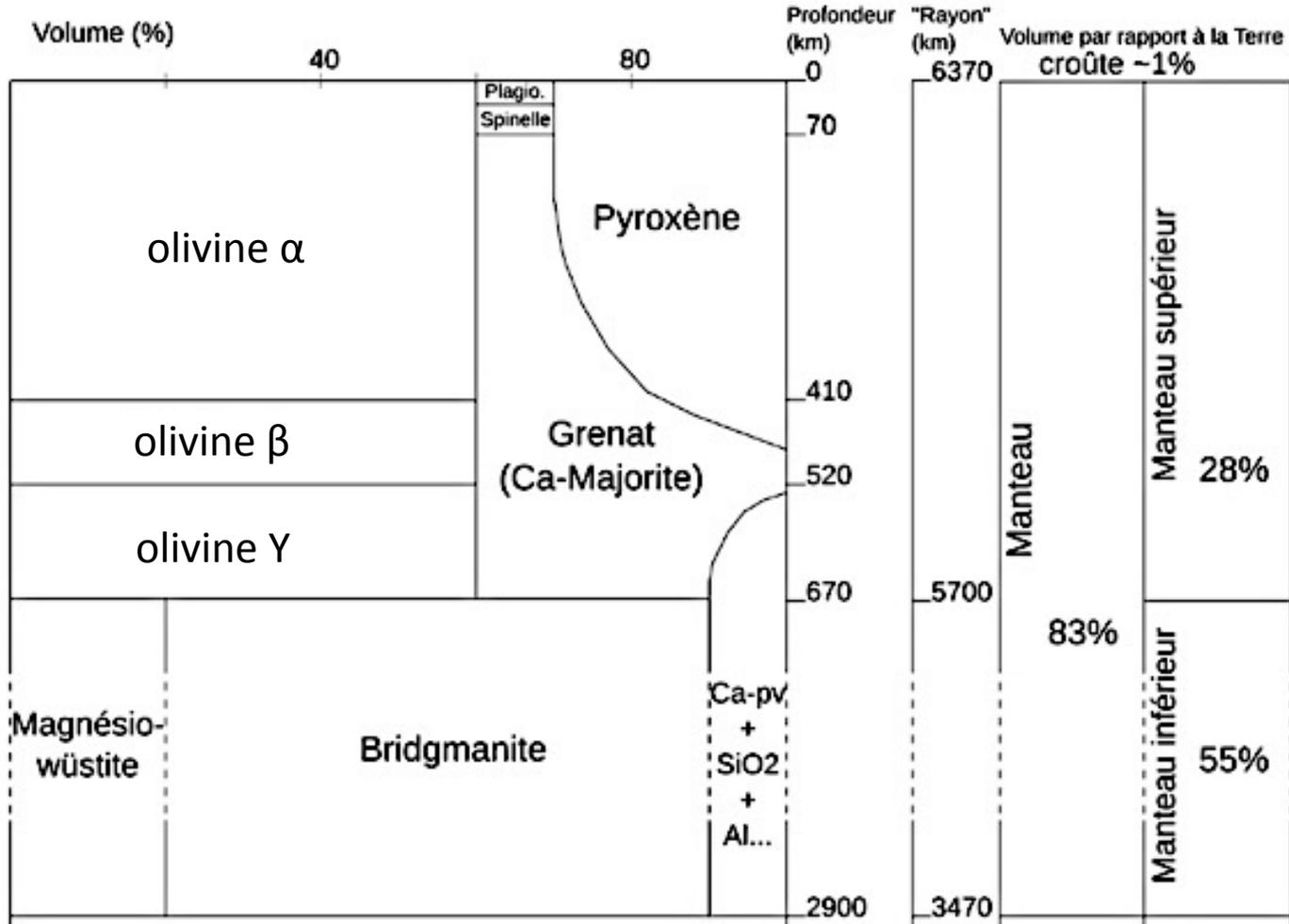
Les transitions de phase de l'olivine

Phases	olivine α	olivine β	olivine γ	bridgmanite	magnésioiwüstite
Minéral	Mg_2SiO_4	Mg_2SiO_4	Mg_2SiO_4	$MgSiO_3$	MgO
V	$43.67 \cdot 10^{-6}$	$40.54 \cdot 10^{-6}$	$39.65 \cdot 10^{-6}$	$24.5 \cdot 10^{-6}$	$11.25 \cdot 10^{-6}$
Maille cristalline		 <p>Transition progressive</p>			

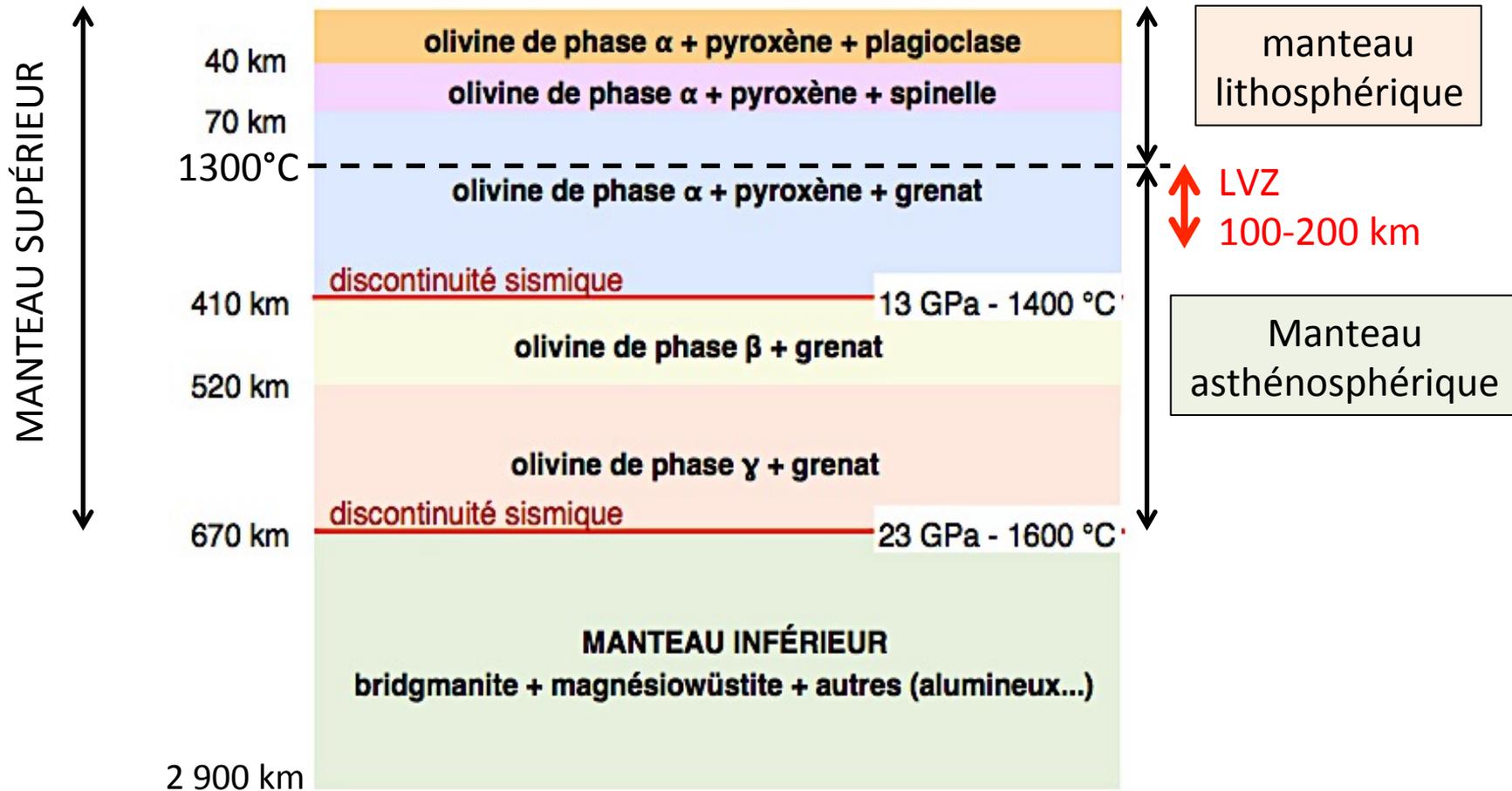
À 410 km, réarrangement cristallin sous l'effet de la pression (maille plus compacte)

À 670 km, dissociation de l'olivine γ en bridgmanite + magnésioiwüstite

Le manteau



Un manteau hétérogène

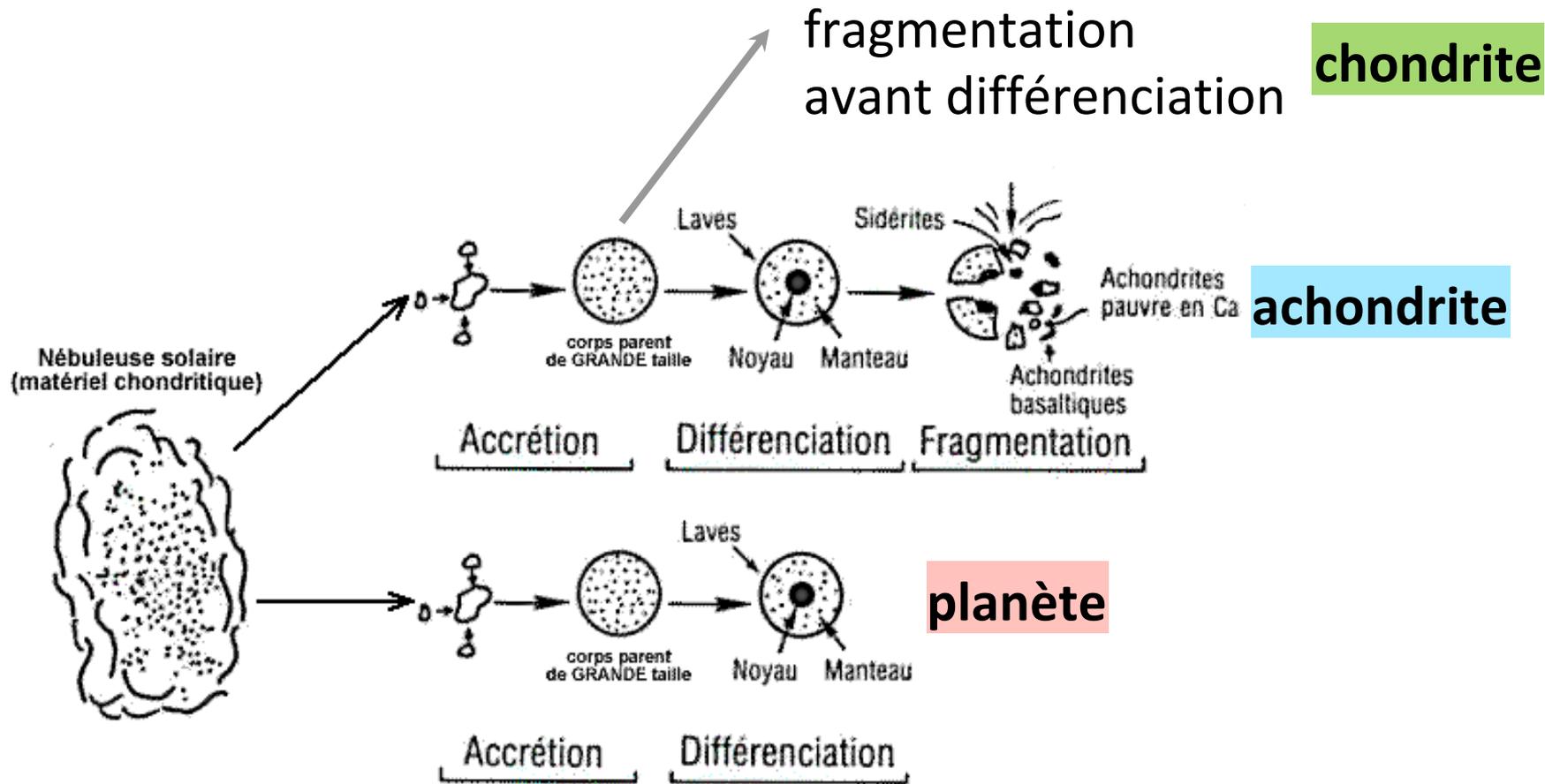


Le noyau de la Terre

Élément	O	Si	Al	Mg	Fe	Ni	Na	K	Ca
Chondrite	32,4	17,2	1,5	15,9	28,2	1,6	0,25	0,02	1,6
Manteau	44,8	21,5	2,2	22,8	5,8	0,2	0,3	0,03	2,3

Seuls Fe et Ni sont moins concentrés dans le manteau que dans la Terre totale. Un autre compartiment est donc riche en Fe et Ni et contient ces éléments : le **noyau**.

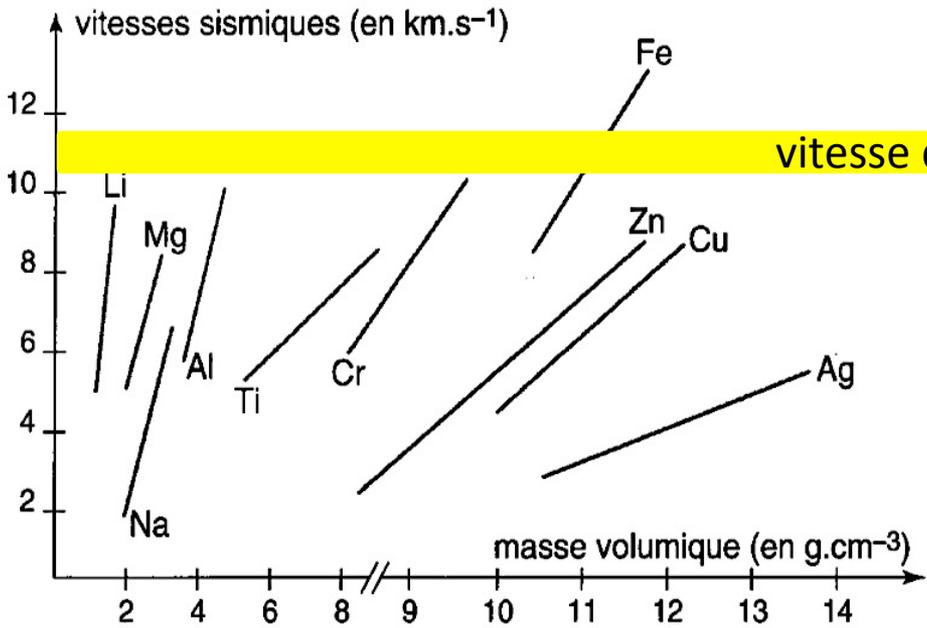
L'existence des **sidérites**, météorites issues du noyau d'un astre différencié fragmenté, permet de justifier un noyau riche en fer et nickel, apparu par percolation lors de la différenciation de la Terre.



âge des chondrites = âge de la Terre 4,55 GA

âge des achondrites plus récent : 4,3 GA

Approche sismique

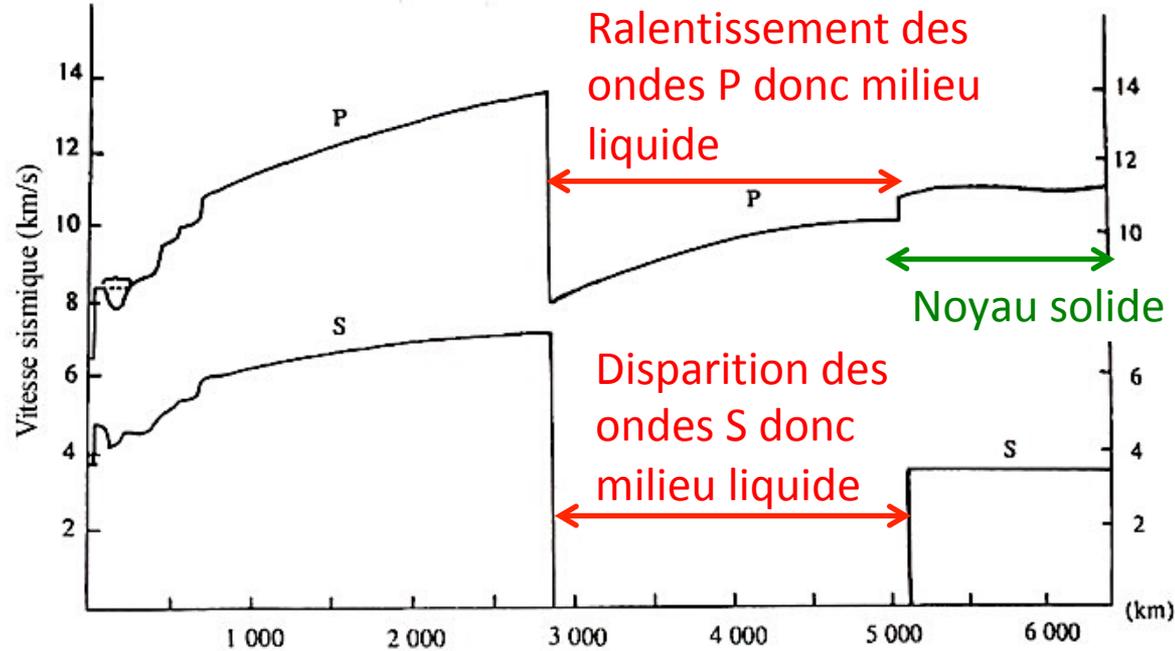


vitesse des ondes P mesurées dans le noyau

Vitesse concordant avec une propagation dans le fer

Diagramme de Birch

Le noyau en deux compartiments



Le noyau est constitué d'un noyau liquide jusqu'à 5 100 km et d'un noyau solide (graine) au cœur de la planète.

