



## Xénon et iode : témoins de la dynamique de la Terre

***Le xénon, gaz rare et l'iode, élément halogène, sont deux éléments très peu abondants et pourtant très utiles en géochimie car ce sont de bons indicateurs des processus magmatiques. A la fois voisins dans le tableau périodique des éléments, ils sont liés par certains de leurs isotopes : l'iode 129, aujourd'hui éteint, est le père du xénon 129, appauvri dans l'atmosphère. Très différents par leurs affinités chimiques, ils sont notamment étudiés dans les roches et minéraux pour comprendre la formation de l'atmosphère. Ce sont aussi des traceurs précieux des processus dynamiques comme le recyclage dans les zones de subduction et le dégazage magmatique. Paradoxalement, leurs stockages et transferts profonds sont très peu connus. L'équipe Minéralogie, pétrologie et physique planétaire de l'IMPMC<sup>1</sup> propose des pistes pour comprendre leurs abondances dans les réservoirs terrestres.***

Sur Terre, le xénon et l'iode sont anormalement abondants comparé aux abondances solaires représentées par les teneurs mesurées dans les météorites de type chondrites carbonées. On parle même de « xénon perdu », à la fois en abondance élémentaire totale, mais aussi en abondance isotopique de xénon 129 pour l'atmosphère. L'iode et le xénon seraient manquants sur Terre. Nous avons étudié à la fois leur solubilité dans les magmas et leur dégazage des magmas profonds vers les fluides qui s'en exsolvent lors de leur remontée vers la surface. Ceci nous a permis de trancher entre plusieurs hypothèses visant à expliquer les observations faites sur Terre : Pourquoi l'atmosphère terrestre est-elle appauvrie à la fois en xénon élémentaire et en isotope 129 ? Comment sont recyclés l'iode et le xénon dans les zones de subduction ? Sont-ils tous deux stockés dans la Terre profonde et si oui, comment ? Comment se comportent iode et xénon lors de l'ascension des magmas profonds vers la surface, et du dégazage de fluides qui y est associé ?

Nous avons étudié les solubilités de l'iode et du xénon dans les magmas profonds afin de savoir si leur stockage pourrait y être significatif. Des verres de différentes compositions (basaltes et analogues de magmas granitiques) dopés en iode et en xénon ont été caractérisés ex situ par PIXE (particle induced X-Ray Emission) et in situ en pression et température en cellules à enclumes de diamant par micro-fluorescence X.

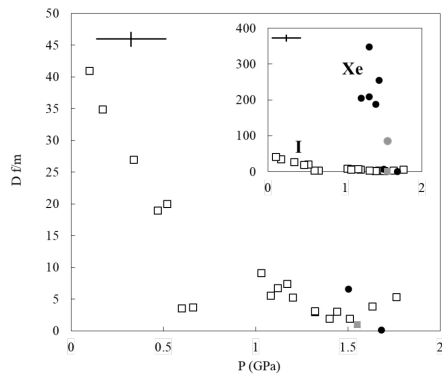
La solubilité en iode dans les magmas, i.e. la teneur maximale, s'élève à 1.4 % en poids à 2 GPa ( $\approx 65$  km) pour des basaltes de zones de subduction. Quant au xénon, sa solubilité atteint 0.3% en poids dans les magmas des zones de subduction et jusqu'à 4% en poids dans les magmas granitiques à 3.5 GPa ( $\approx 110$  km). Dans les deux cas, ces valeurs sont largement au-delà des teneurs naturelles.

Iode et xénon peuvent donc être incorporés de façon significative dans des magmas de zones de subduction où ils sont recyclés via les sédiments de la croûte océanique et l'eau de mer.

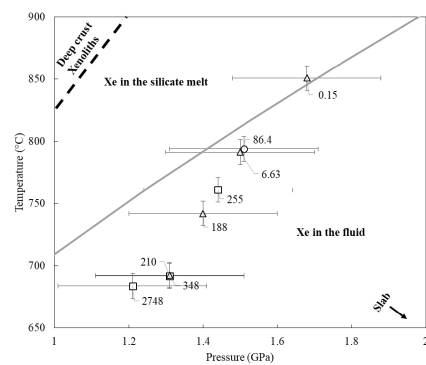
Plus généralement, l'iode et du xénon peuvent être stockés dans tous les magmas détectés en profondeur, comme à la limite lithosphère-asthénosphère (70-150 km) ou encore au sommet de la zone de transition (410 km).



<sup>1</sup> En collaboration avec le CEA de Saclay, l'Institut des sciences de la Terre d'Orléans, l'institut de recherche sur les céramiques de Limoges et le Synchrotron DESY.



**Figure 1**  
Coefficients de partage de l'iode (rectangles) et du xénon (cercles)  $D_{fm} = C^{Xe,l_{magma}} / C^{Xe,l_{fluide}}$  en fonction de la pression. Le petit encadré souligne le caractère précoce du dégazage du xénon par rapport à celui de l'iode.



**Figure 2**  
Conditions de pression et de température des mesures des coefficients de partage (en étiquettes) du xénon. La droite grise représente la courbe de fusion du xénon. La droite pointillée et la flèche indiquent les domaines de la croûte profonde en haut à gauche et du plan océanique subducté en bas à droite.

Le partage de ces éléments entre magma granitique et eau en équilibre à haute pression et température a été mesuré *in situ* par micro-fluorescence X au cours d'une décompression visant à reproduire le dégazage de l'eau (figure 1).

Les deux éléments dégazent totalement au cours de la décompression mais le chemin suivi est différent : alors que l'iode dégaze avec l'eau quelle que soit la température, le xénon reste préférentiellement dans le magma pour des températures élevées (>800°C), mais dégaze encore plus efficacement que l'iode pour des températures plus faibles (figure 2).

Le dégazage de l'iode dans les zones de subduction est donc fortement induit par celui de l'eau, et est très probablement sous-estimé dans le cas naturel, car beaucoup d'eau est dégazée dans ces contextes mais on ne connaît pas l'ampleur du dégazage de l'iode. De même l'impact de l'iode sur la chimie de la stratosphère est méconnu (destruction des molécules d'ozone par réactions en chaîne), bien que ce processus soit très efficace.

Au contraire, le dégazage du xénon dépend de la température et ne suit pas celui de l'eau, étant plus précoce (figure 1, encadré). Un dégazage massif d'eau de l'océan de magma primitif à l'Hadéen (de 4.56 à 4 milliards d'années) n'a donc pas pu être responsable de l'appauvrissement en isotope léger du xénon (129) de l'atmosphère de la Terre moderne. Il est donc plutôt proposé que ce soit un processus de cristallisation fractionnée qui les a séparés, l'iode étant concentré dans le magma puis dégazé avec l'eau et le xénon stocké en profondeur dans les minéraux du manteau ou de la croûte profonde.

En conclusion, l'étude couplée de l'iode et du xénon dans les magmas montre que bien que ces éléments sont proches, leurs affinités géochimiques ont conditionné leur comportement dissemblable au cours des processus magmatiques qui ont construit la Terre moderne. Ces premiers résultats sont la base d'études en cours visant à étudier le stockage profond du xénon dans les minéraux de la croûte et du manteau et la réelle contribution en iode volcanique à l'atmosphère terrestre, avec comme objectif ultime de tenter de définir les abondances terrestres de ces deux éléments.

#### Référence

«Xenon and iodine behaviors in magmas»

C. Leroy, H. Bureau, C. Sanloup, C. Raepsaet, K. Glazirin, P. Munsch, M. Harmand, G. Prouteau, H. Khodja  
Earth and Planetary Sciences Letters 522, 144-154 (2019)

#### Contacts

helene.bureau@upmc.fr  
chrystele.sanloup@upmc.fr