

Les volatils et les silicates fondus ?

Daniel R. Neuville

Physique des Minéraux et Magmas
CNRS-IPGP

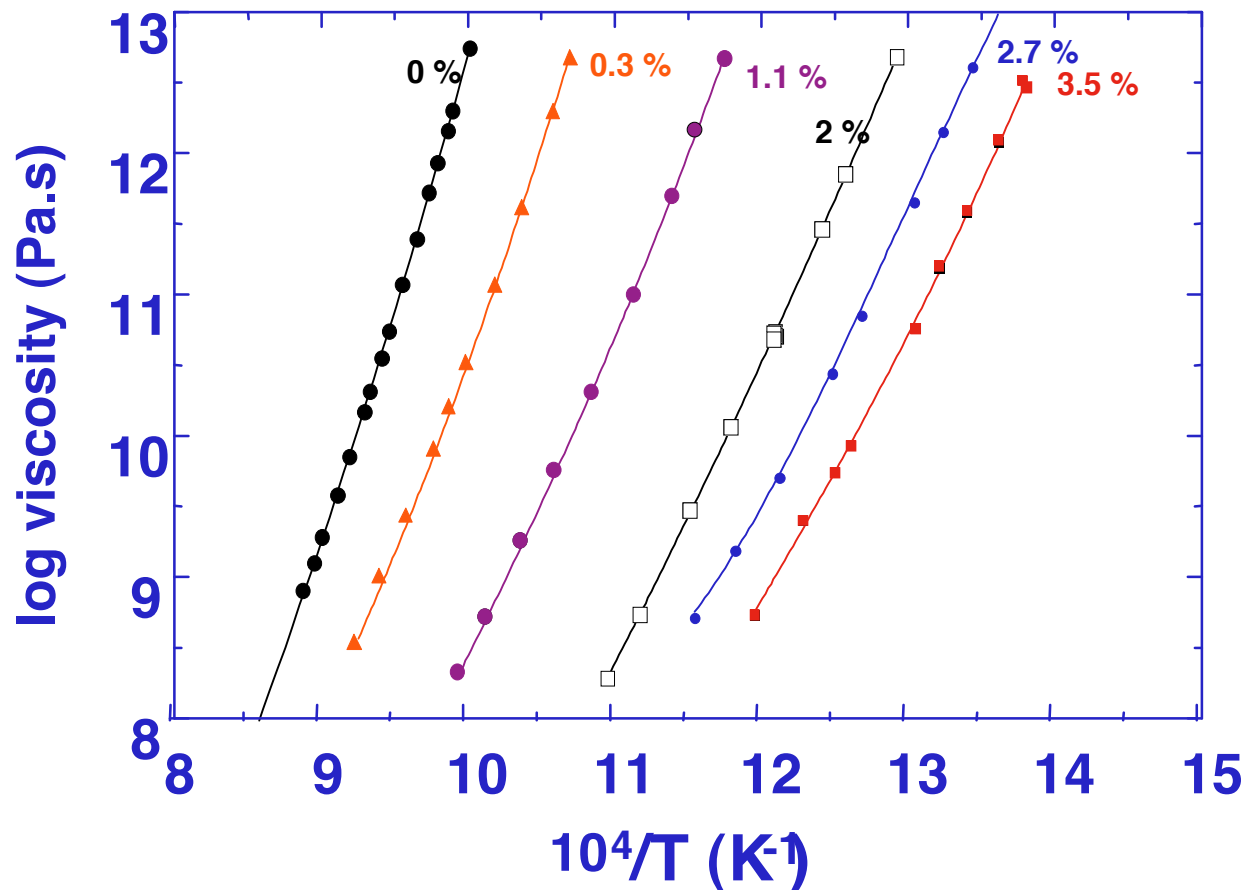


Volatils...

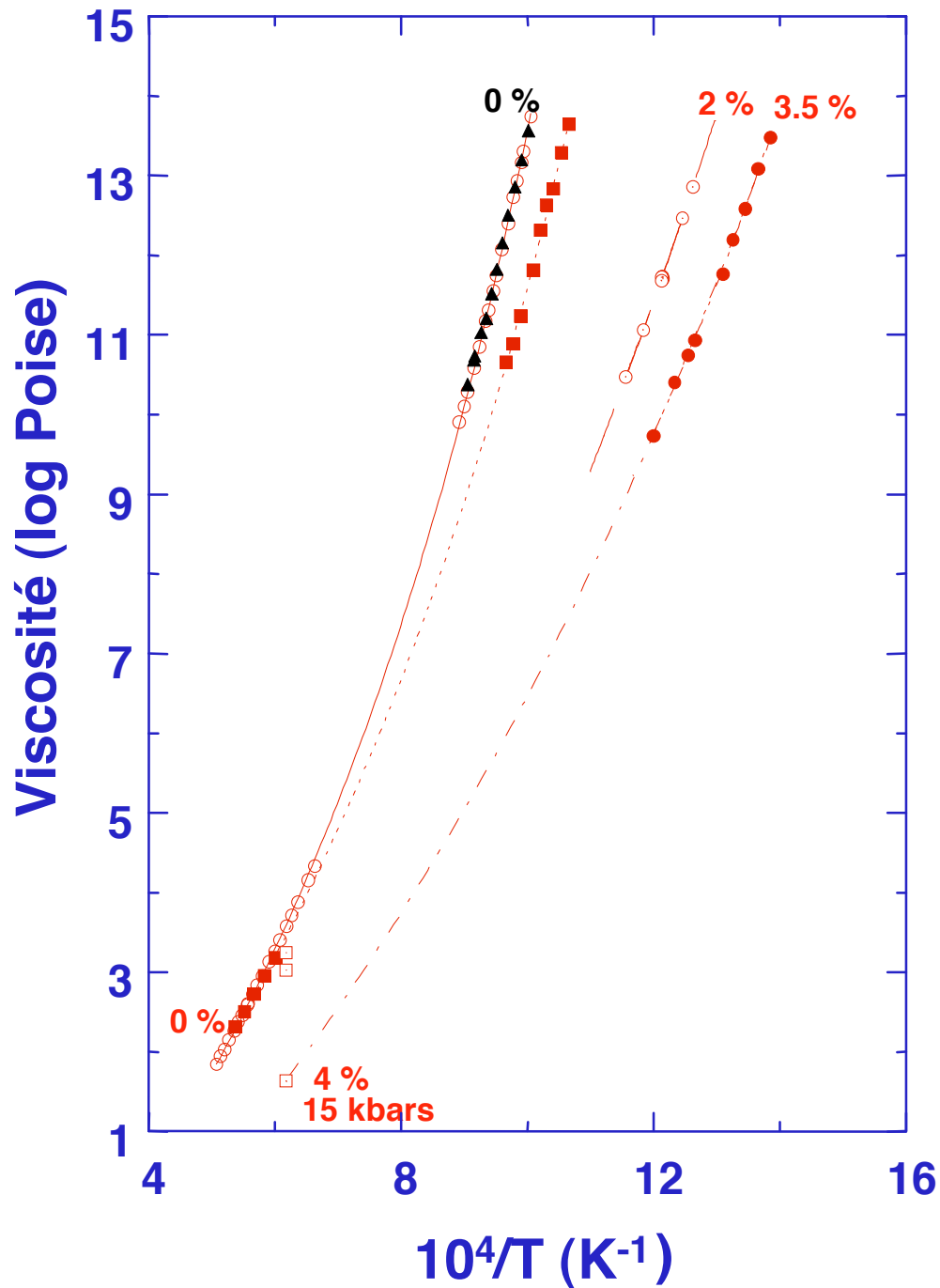
H_2O , CO_2 ...

Une lave volcanique est composée de liquide en fusion, de cristaux mais également de gaz dissout. Parmi les principaux gaz, on peut noter l'eau H_2O et le gaz carbonique CO_2 . Ces gaz sont généralement dissout dans le magma lorsque la température et la pression sont élevées, c'est à dire dans la chambre magmatique ou à de grande profondeur. Par contre, lors de la remonté du magma, la diminution de la pression et de la température, produit des changements dans le magma qui conduisent à la formation de bulles d'eau ou de CO_2 . L'effet physique de bulle est compris maintenant, mais quel sera l'effet de H_2O et CO_2 sur la viscosité ?

Afin de comprendre l'effet de l'eau sur la viscosité des échantillons cylindriques ont été préparé à partir de verre et d'eau, le tout mis sous pression et température pour que l'eau rentre et diffuse dans le silicate fondu. Ces échantillons sont par la suite, trempés et préparés pour mesurer les viscosités. Dans la figure ci-dessous, la viscosité pour une composition de lave andésitique, voisine de celle érupté à la Montagne Pelée en 1902 est étudiée en fonction de la teneur en eau dissoute dans la lave.



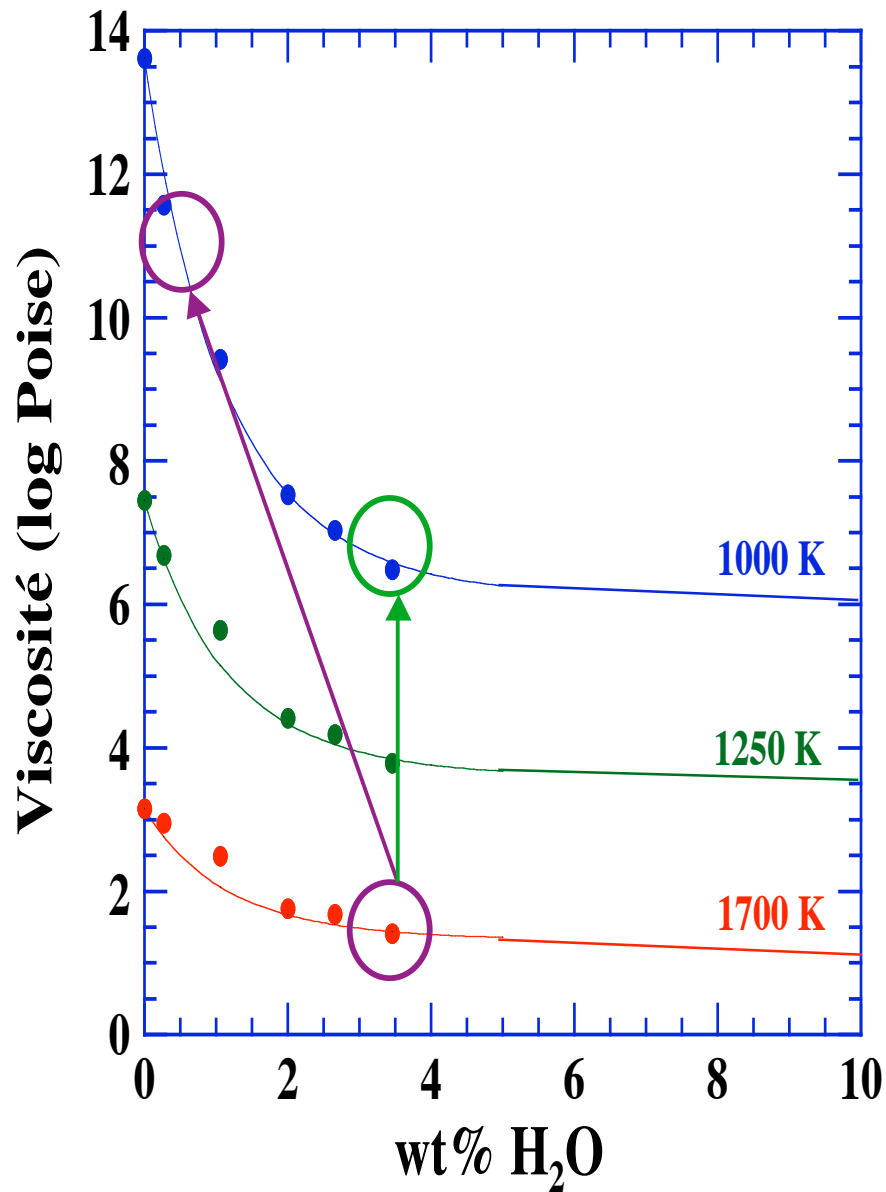
On constate clairement que la viscosité diminue avec l'augmentation de la teneur en eau contenu dans la lave. Ces mesures de viscosité sont réalisées à pression ambiante et ne sont donc pas en équilibre avec la pression de préparation des échantillons. Cependant, la pression joue un rôle très faible sur la viscosité.



En combinant des mesures à haute et basse températures, on obtient la relation viscosité-température complète. Lorsque la température augmente, l'eau s'échappe du silicate fondu et cela conduit à ce que toutes les courbes à haute température se rejoignent. Pour réaliser une mesure à haute température, il faut travailler à haute pression, cela permet d'obtenir le point à 15kbar pour 4% d'eau.

Afin de reproduire ces mesures de viscosité, il suffit d'utiliser une équation de TVF du type $\log \eta = A + B/(T - T_1)$ pour laquelle le terme A est constant quelque soit la teneur en eau.

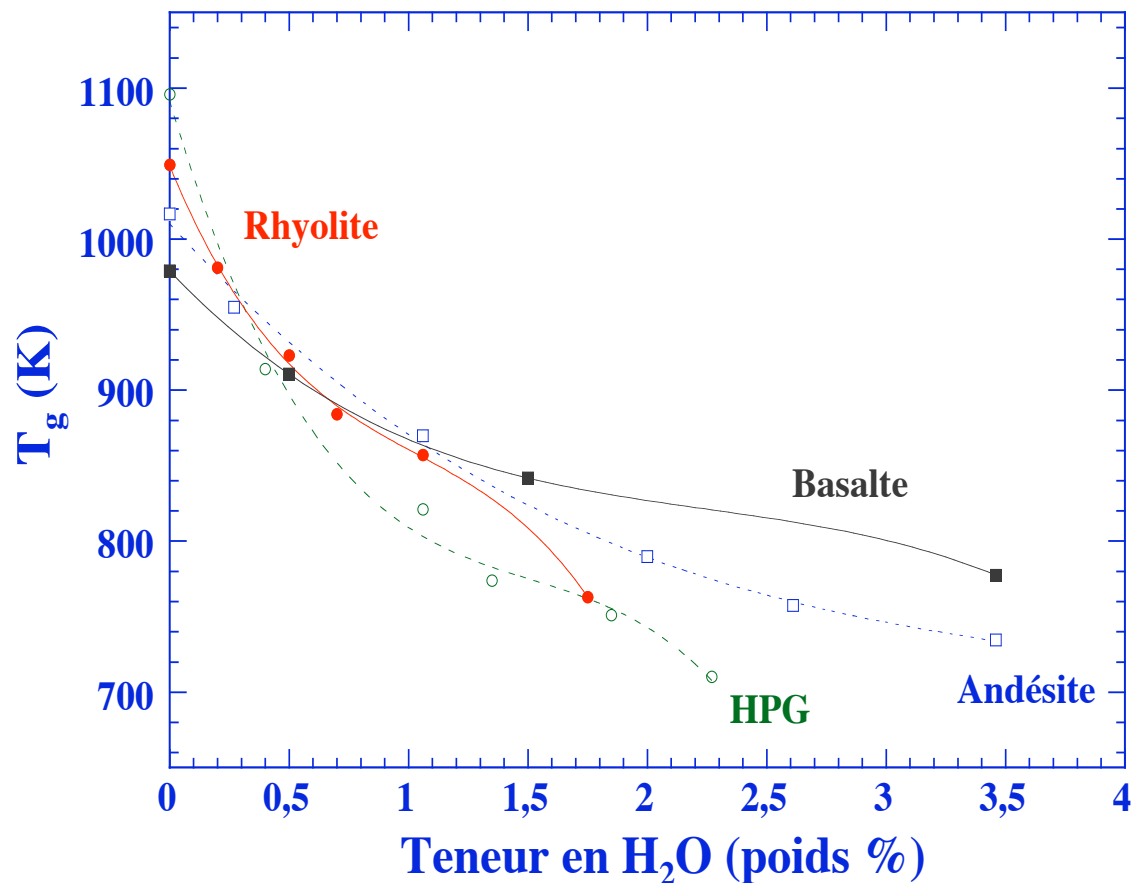
La présence de 3,5% d'eau dans une lave andésitique provoque une diminution de viscosité de 9 ordres de grandeur.



La figure ci-contre représente la viscosité à température constante en fonction de la teneur en eau. On voit clairement l'effet fort important de l'eau sur la viscosité d'une lave. Maintenant imaginons une lave volcanique à haute température et pression dans la chambre magmatique. Lorsque cette lave remonte dans le conduit volcanique, la lave va refroidir et donc la viscosité va augmenter (flèche verte). Mais lors du refroidissement, l'eau dissoute dans la lave n'est plus stable et sera exsolvée de la lave, donc la teneur en eau va diminuer et la viscosité augmenter encore plus que dans le cas précédent (flèche violette).

On constate donc que le simple fait de diminuer la teneur en eau, peut changer totalement la viscosité d'une lave volcanique et donc changer le mode d'éruption.

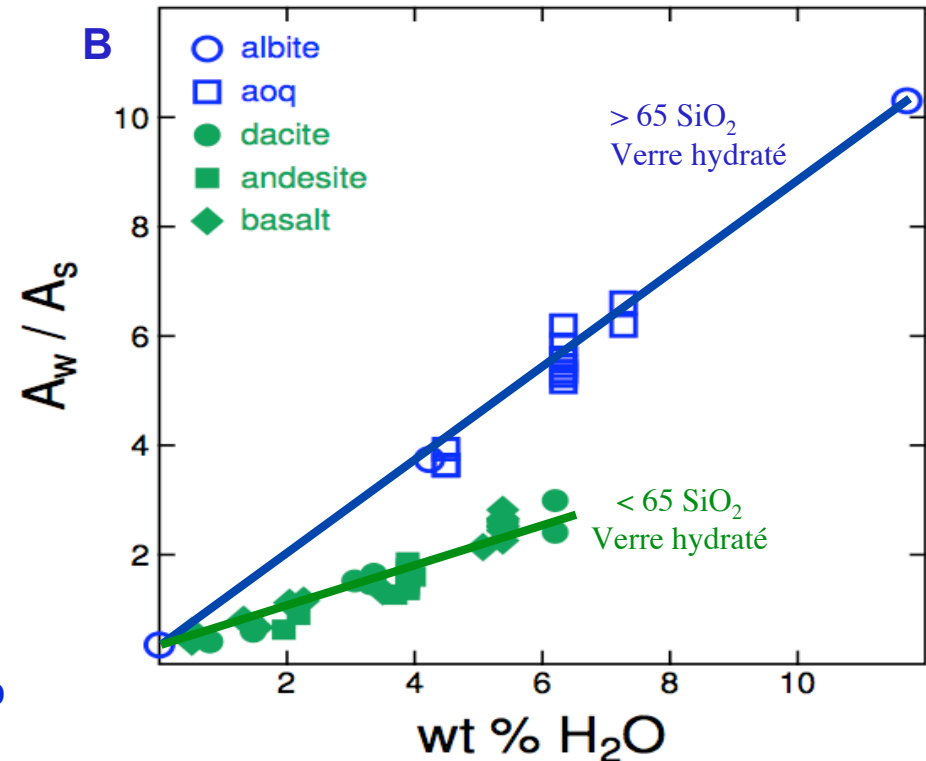
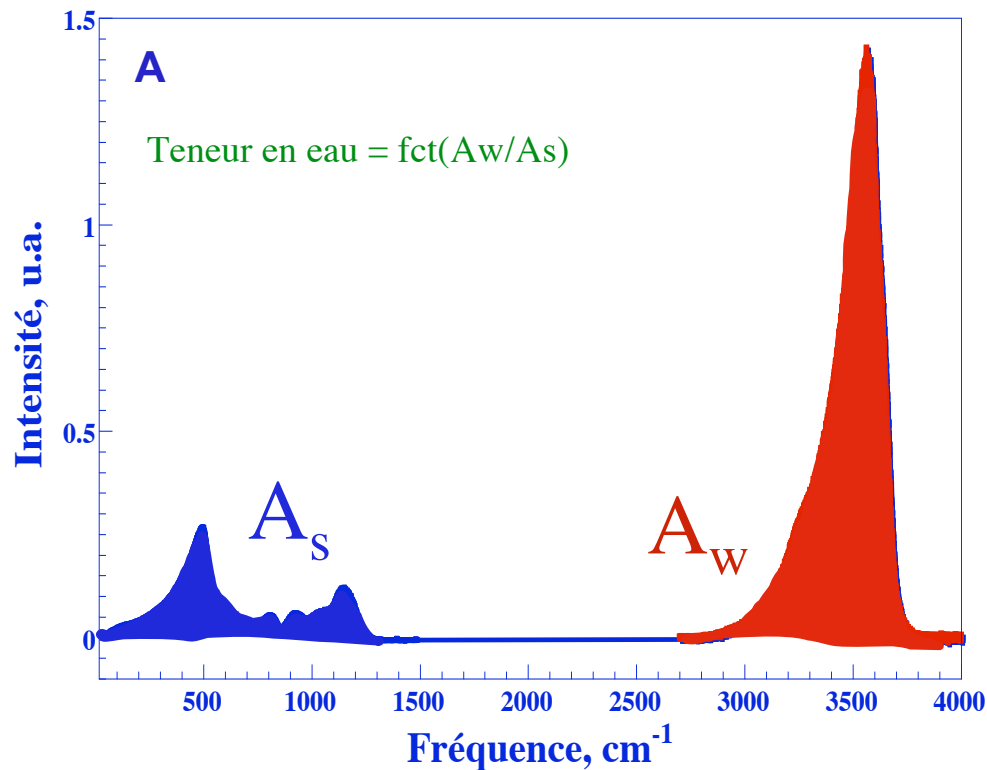
Afin d'essayer de comprendre l'influence de l'eau sur la viscosité et les propriétés des laves, nous avons reporté la température de transition vitreuse qui correspond à une viscosité de 10^{13} poises en fonction de la teneur en eau pour 4 laves de composition chimique fort différente : rhyolite (riche en silice et donc très visqueux), basalte (pauvre en silice, faible viscosité), l'andésite ayant une composition intermédiaire entre le basalte et la rhyolite, et le HPG un haplogranite très riche en silice.



Le T_g diminue donc rapidement avec l'ajout d'eau quelque soit la composition chimique de la lave. On remarque un point d'intersection entre 0,5 et 1% d'eau pour lequel les laves ont presque toute la même T_g . Par la suite, on constate clairement que l'eau diminue plus le T_g pour une lave riche en silice que pour un basalte. Un système fortement polymérisé, riche en silice, est plus sensible à la teneur en eau qu'un système déjà fortement dépolymérisé tel qu'un basalte.

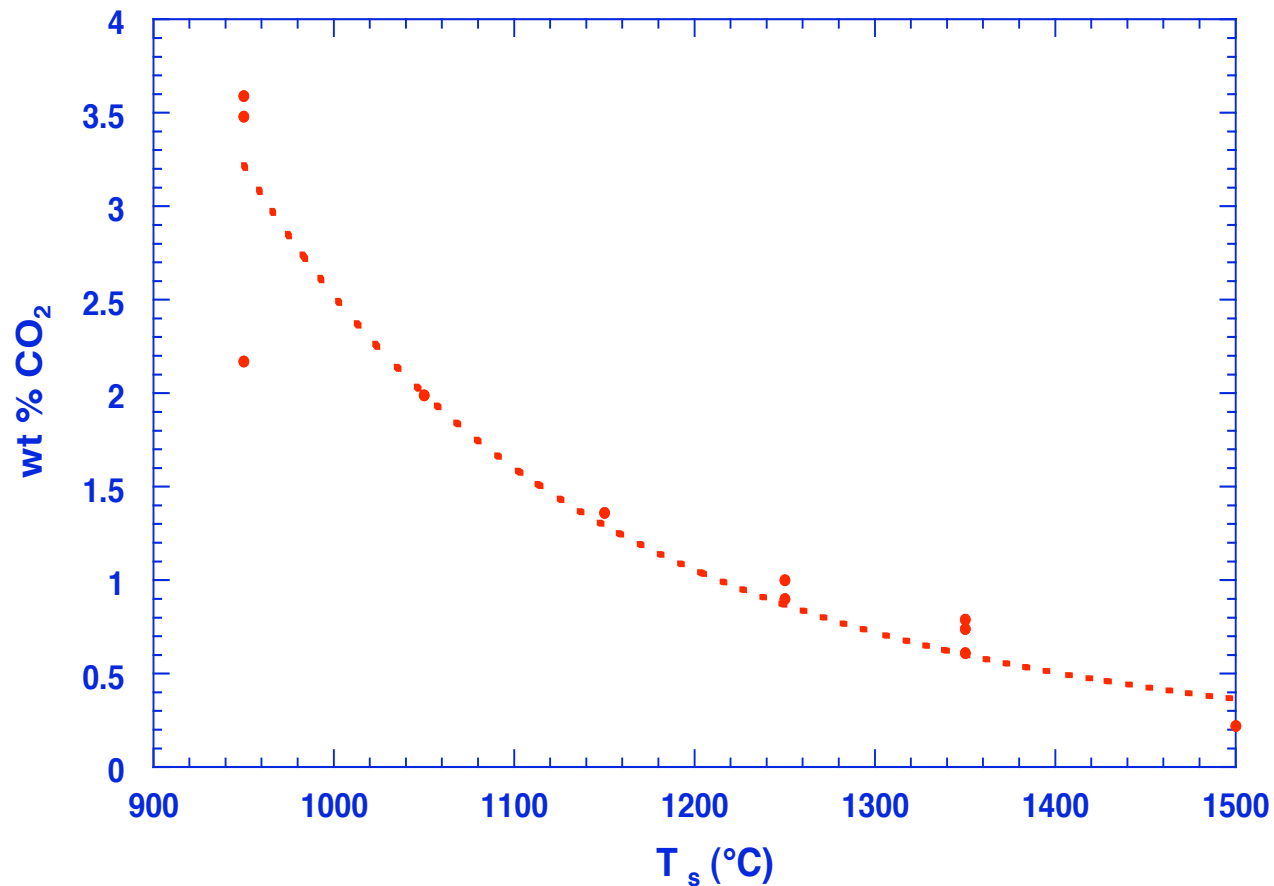
Comment déterminer la teneur en eau d'un silicate fondu ?

Le spectre Raman d'une andésite est représenté dans la figure A, ce spectre se compose essentiellement de deux parties correspondant au vibration de d'étirement de Si(Al)-O (partie bleue) et au vibration d'étirement de H₂O et OH (partie rouge). Nous avons montré que à l'aide d'une calibration, et en faisant le rapport des aires correspondant à ces deux types de vibration, A_w/A_s (figure B) il est possible de déterminer la quantité d'eau dissoute dans une lave. Cette technique est rapide mais nécessite une calibration, qui dépend de la teneur en silice de la lave (figure B).



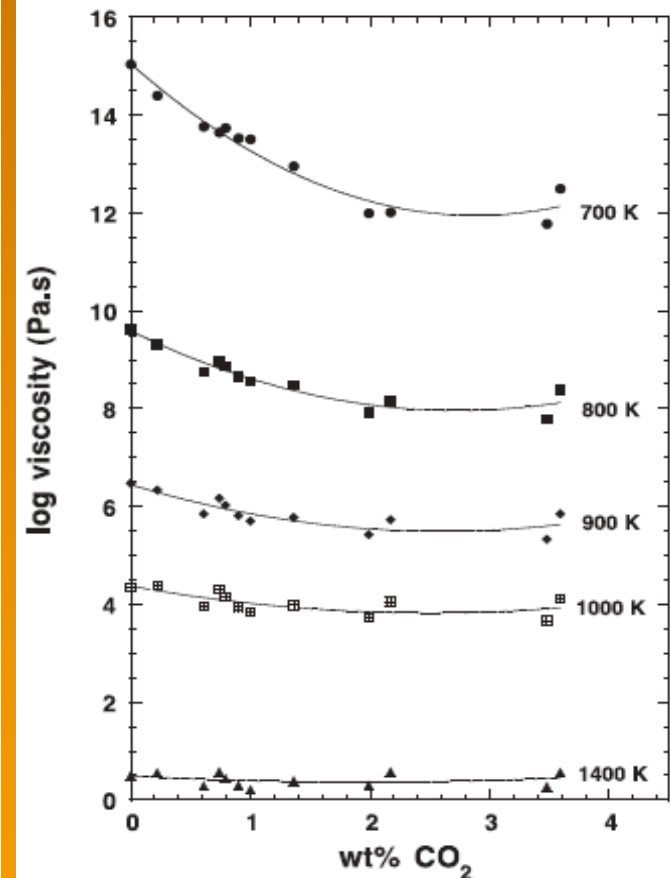
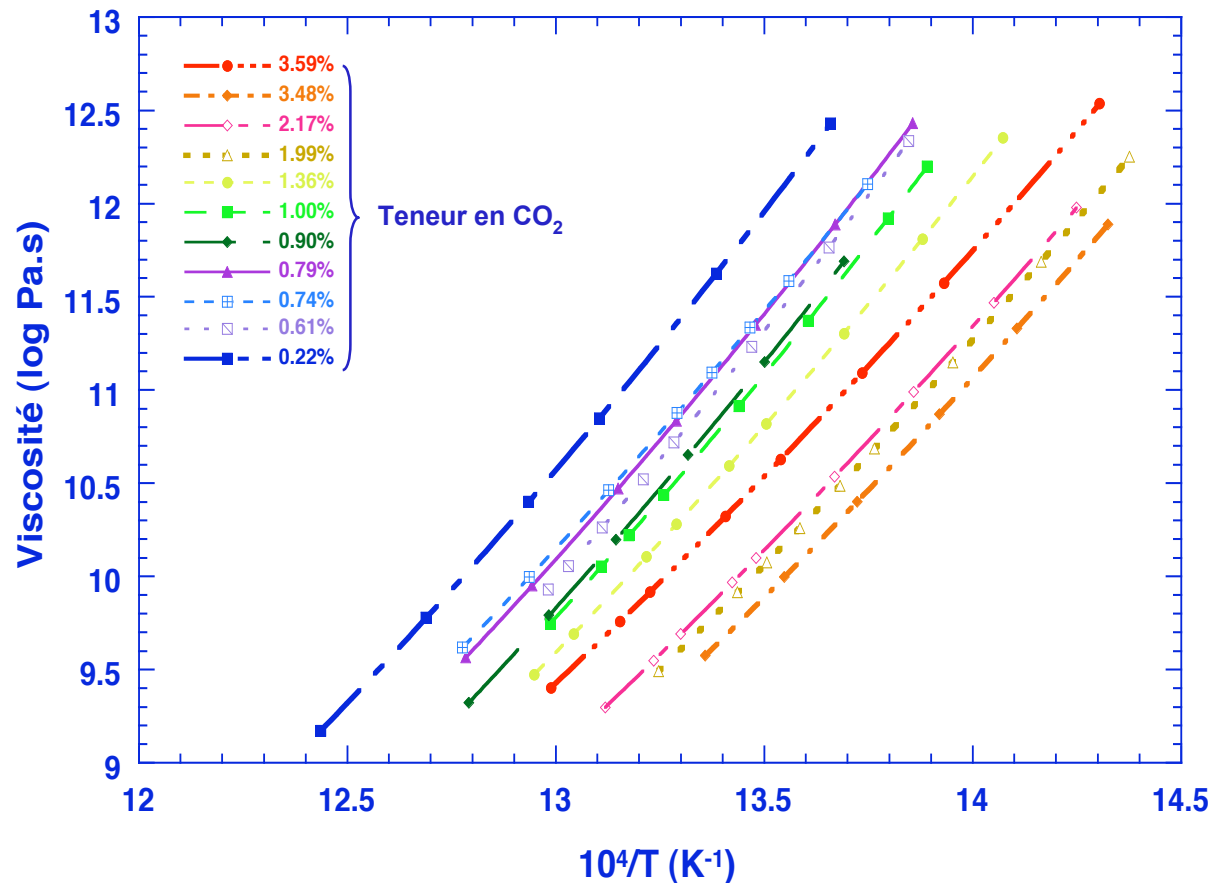
CO₂

Afin de comprendre le rôle du CO₂ sur la viscosité d'un silicate fondu, nous avons préparé des silicates fondus riches en CO₂. Le point de départ est un silicate en potassium préparé à partir de silice et de carbonate de potassium. Au cours du processus de fabrication, le silicate perd du CO₂, il suffit donc d'arrêter la synthèse au cours du temps à différente température pour obtenir des silicates fondus avec différente teneur en CO₂.

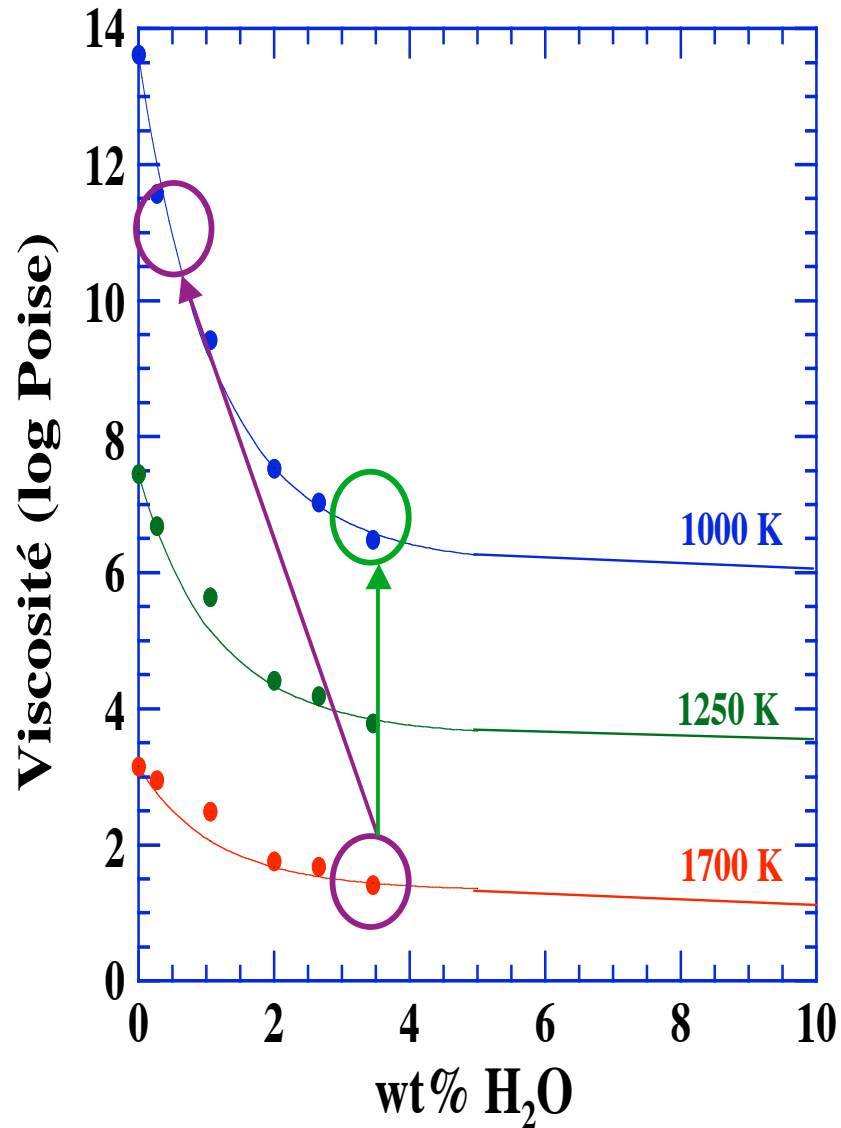


Evolution de la teneur en CO₂ en fonction de la température d'élaboration de silicate fondu.

Dans la figure ci-dessous, on observe que la viscosité d'un silicate fondu varie fortement avec la teneur en CO₂ à basse température. En effet 1% de CO₂ produit une diminution de viscosité de presque 2 ordres de grandeur à 700K alors que l'effet est quasiment nul à plus haute température.



On constate clairement que l'effet de 2% d'eau sur la viscosité, la diminue plus que 2% de CO₂.



Dans une lave volcanique, on peut trouver d'autres gaz, SO₄, Cl₂... cependant leur effet sur les propriétés et notamment la viscosité sont relativement faible.

Comme nous l'avons déjà mentionné, la viscosité d'une lave peut augmenter considérablement lors de sa remonté dans le conduit volcanique si la teneur en élément volatil diminue.

Pour avoir plus d'informations:

Richet, P., A. M. Lejeune, Holtz, F. and Roux, J. (1996). "Water and the viscosity of andesite melts." *Chem. Geol.* **128**: 185-197.

Bourgue, E. and P. Richet (2001). "The effects of dissolved CO₂ on the density and viscosity of silicate melts : a preliminary study." *Earth Planet. Sci. Lett.* **193**: 57-68.

Behrens H., Roux J, Neuville D.R. and. Siemann M. (2006) Quantification of dissolved H₂O in silicate glasses using Raman spectroscopy. *Chem. Geol.*, 229, 96-113.

Conclusions

Nous avons essayé de montrer quel sont les principaux paramètres qui contrôlent la viscosité d'une lave volcanique. Ce que l'on a vu clairement c'est la grande variation en fonction de la température et de la composition chimique de la lave.

Nous ne vous avons pas expliqué les variations de la viscosité avec la pression, car ces variations sont relativement faible par rapport à celle produite par les changement de température ou de composition.

Dans tout les cas, bien connaître les variations de viscosité, apporte des informations fondamentale sur les transferts de masse, les échanges thermiques, les problèmes de convection, et aussi les éruptions volcaniques....



Il possédait deux volcans en activité. Et c'était bien commode pour faire chauffer le petit déjeuner du matin. Il possédait aussi un volcan éteint. Mais, comme il disait, "On ne sait jamais !" Il ramona donc également le volcan éteint. S'ils sont bien ramonés, les volcans brûlent doucement et régulièrement, sans éruptions. Les éruptions volcaniques sont comme des feux de cheminée. Évidemment sur notre terre nous sommes beaucoup trop petits pour ramoner nos volcans. C'est pourquoi ils nous causent des tas d'ennuis.

Chapitre IX, Le petit Prince, Antoine de Saint-Exupéry