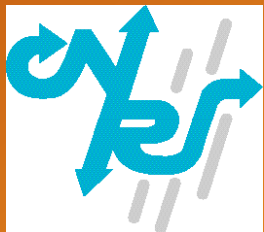


La viscosité, les silicates fondus, les verres et les magmas

Daniel R. Neuville

Physique des Minéraux et Magmas
CNRS-IPGP

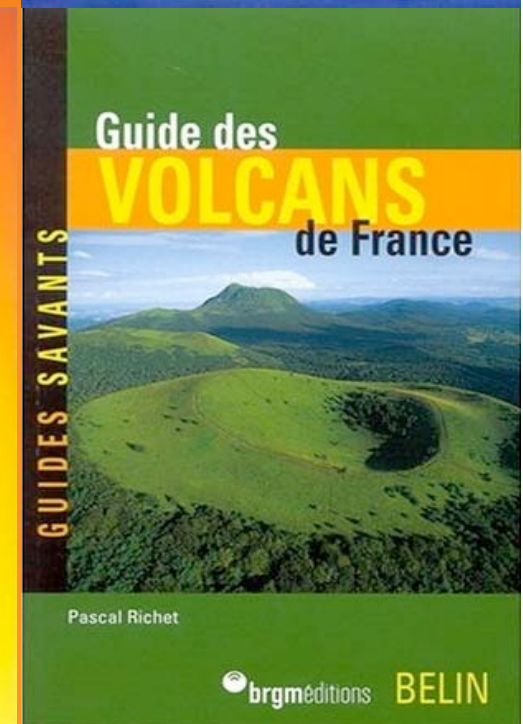
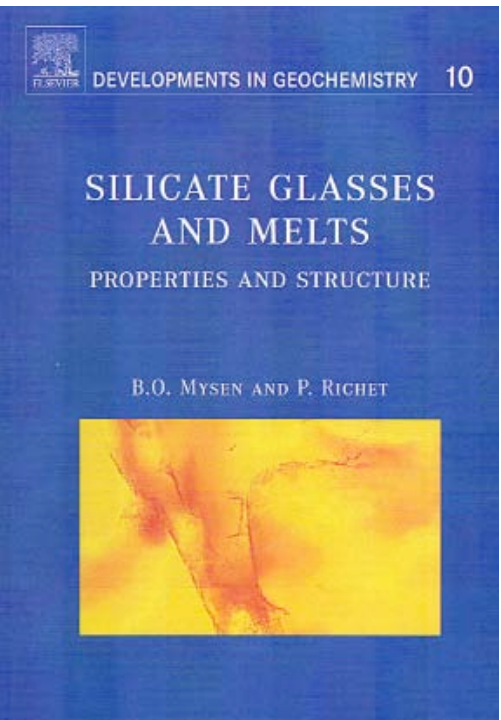


Quel est le point commun entre une lave volcanique, un magma, un silicate fondu, ou du verre ?

Ils sont tout les quatre constitués de matière amorphe, désordonnée à l'échelle atomique. Un « verre » est un silicate fondu fabriqué par l'homme, alors qu'une lave volcanique ou un magma est un silicate fondu naturel « fabriqué » dans les profondeurs de la terre ou d'autres planètes.

Dans ce document, nous allons essayer de vous expliquer, ce qu'est une lave volcanique, un verre, et comment la viscosité d'une lave volcanique varie en fonction de la température, de la composition chimique.... Et quelle peut-être les implications des ces variations sur les éruptions volcaniques ou la fabrication et le formage des verres.

Le lecteur trouvera de plus amples informations dans les quelques ouvrages présentés sur cette page.

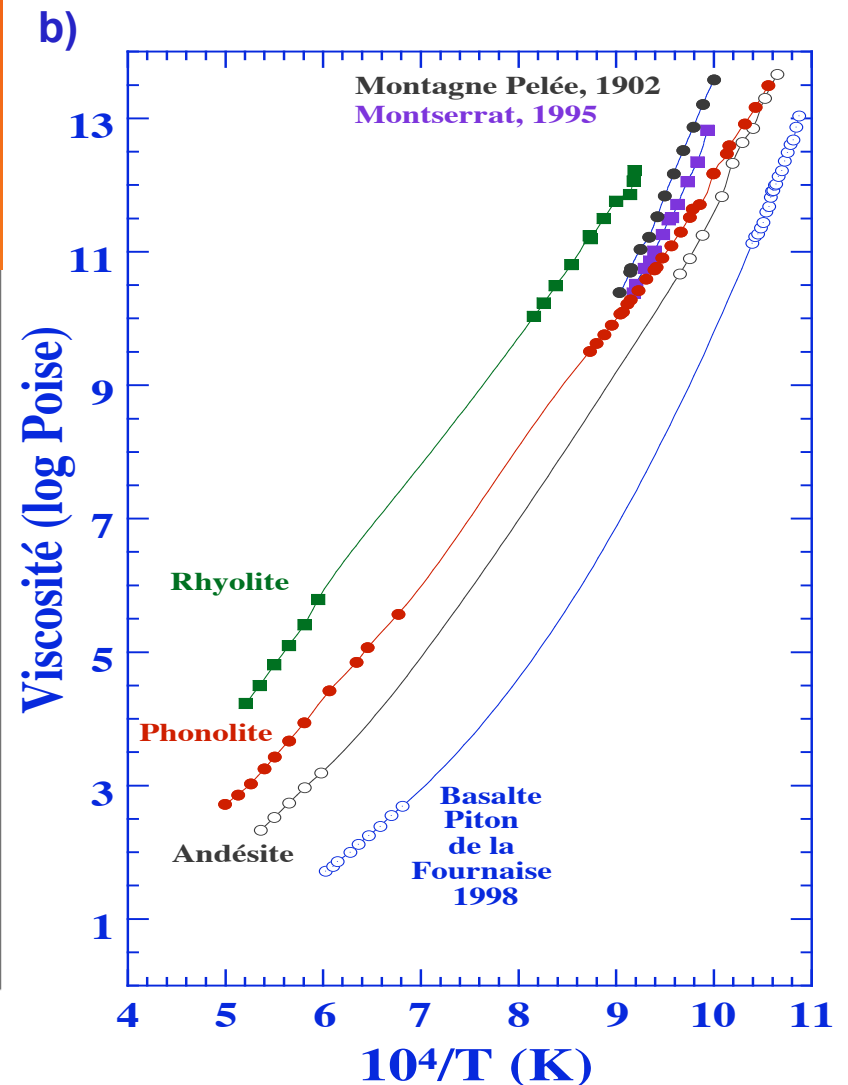
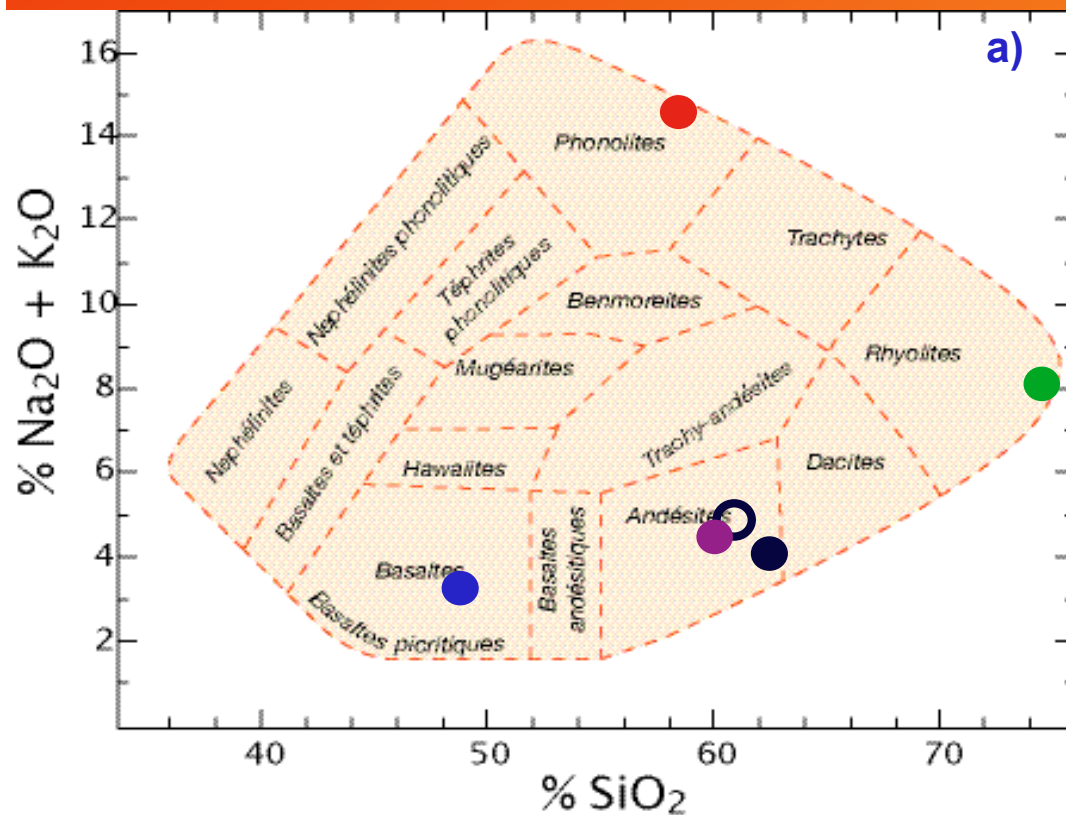


Les verres sont habituellement formés par refroidissement de silicates fondus. Les silicates liquides constituent également les laitiers de l'industrie métallurgique ainsi que les magmas dont la formation et la cristallisation ont joué un rôle important dans l'histoire géologique. Il n'est donc pas surprenant que les propriétés des silicates fondus soient un thème de recherche important de disciplines aussi diverses que la chimie, la physique, les sciences des matériaux et les sciences de l'univers.



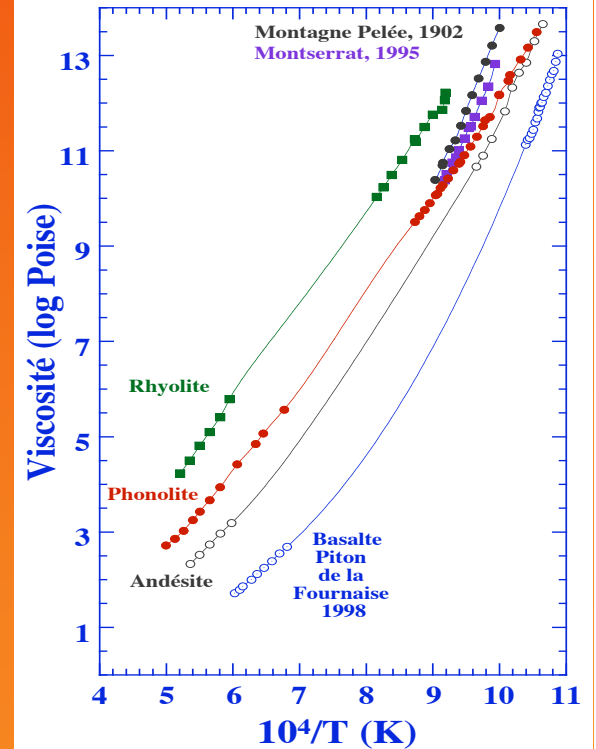
Les géologues utilisent le diagramme $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ en fonction de SiO_2 afin de représenter schématiquement les laves volcaniques. Dans ce diagramme, on peut visualiser rapidement quelques grandes familles de laves en fonction de la teneur en silice : rhyolite, phonolite, andésite et basalte (figure a). On peut également voir comment varie la viscosité de ces laves sur la figure b. Par ailleurs, on peut aussi visualiser que une faible variation de composition chimique (cas des andésites) va provoquer des différences significatives de viscosité.

Si on veut pouvoir prédire les viscosités, il va falloir comprendre comment varie la viscosité en fonction de la composition chimique de la lave.



Les différentes éruptions

Les basaltes donnent des éruptions relativement paisible de type hawaiien, la lave fluide s'écoule alors que les autres types de laves, plus riche en silice et donc plus visqueuses, vont donner des éruptions catastrophiques pouvant aller de péléen à strombolien. On voit donc que la composition chimique et la température, va contraindre la viscosité et donc le type d'éruption.



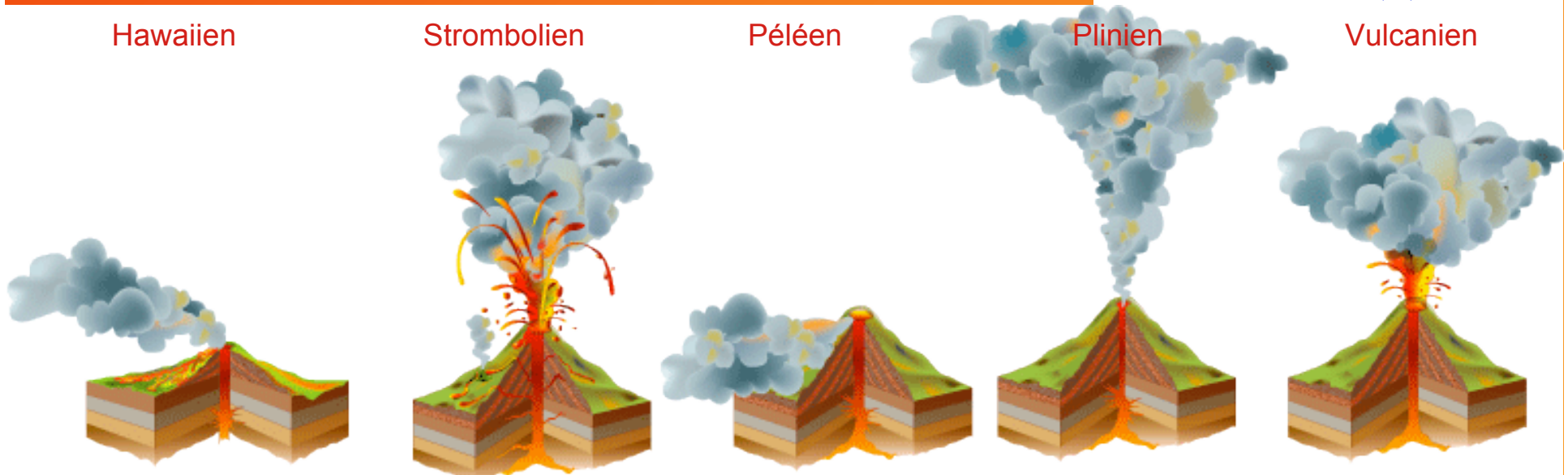
Hawaiien

Strombolien

Péléen

Plinien

Vulcanien

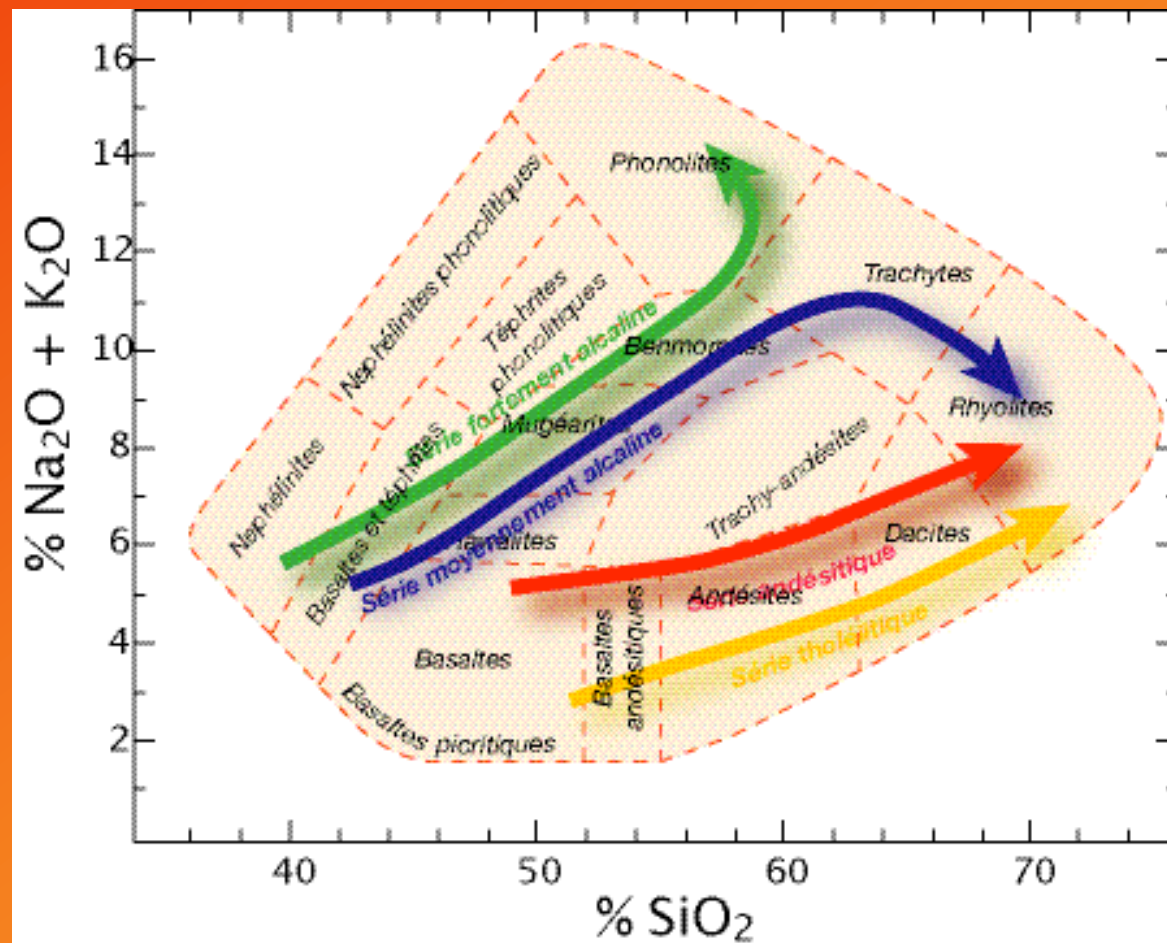


Basalte

Rhyolite - Phonolite - Andésite

Au cours de l'éruption, la composition chimique du liquide magmatique va évoluer et générer la présence de cristaux, de volatils, de bulles, qui vont modifier la composition chimique de la lave restante et donc la viscosité de la lave peut varier au cours de l'éruption.

La figure ci-dessous montre quelques un des chemins possibles d'évolution, mais dans tout les cas, ces évolutions correspondent à une augmentation de la teneur en silice et donc à une augmentation de la viscosité.



La Viscosité

Dans les processus industriels ou naturels, la propriété qui gouverne les transferts de masse est la viscosité (η). Un exemple spectaculaire de l'importance de la viscosité est fourni par le contraste entre les paisibles éruptions volcaniques hawaïennes et une terrifiante éruption péléenne. Ce contraste est essentiellement dû à la différence de composition chimique des laves, pauvres en silice et très fluides à Hawaii, riches en silice et très visqueuses à la montagne Pelée.

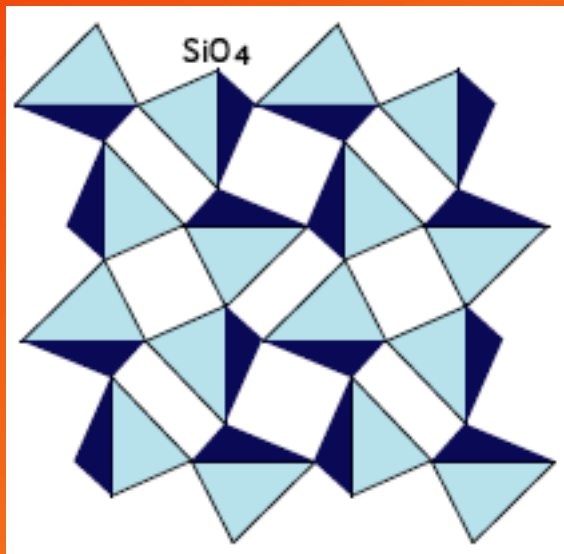
Pour optimiser les processus de fabrication et de formage du verre comme pour comprendre les phénomènes magmatiques il est ainsi impératif de connaître la manière dont la viscosité varie avec la température et de la composition chimique.



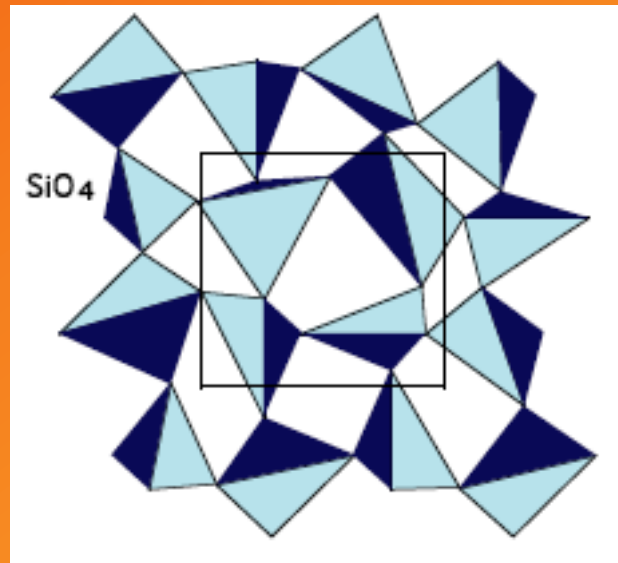
Un silicate fondu c'est quoi ?

- un matériaux amorphe (désordonné à l'échelle atomique)
- un verre, un liquide, un magma ou une lave volcanique.

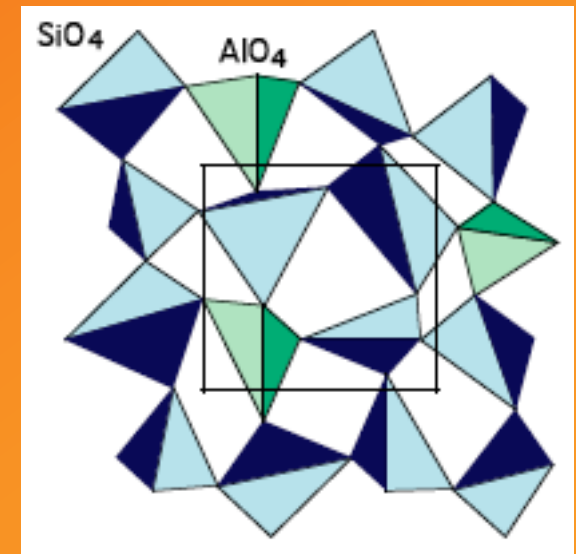
Cristal de cristobalite
agencement
périodique à grande
distance de tétraèdre
de SiO_4



Verre de silice
agencement de SiO_4
de façon désordonnée
sans ordre à grande
distance
=> Même structure que
celle d'un liquide de
silice



Verre
d'aluminosilicate,
substitution du
tétraèdre SiO_4 par
 AlO_4



Pourquoi les étudier ?

- comprendre les éruptions volcaniques
- les transferts de masse dans l'intérieur de la Terre
- formation de la terre, océan magmatique
- la formation du « verre »
- concevoir de nouveau verre



Verre volcanique Obsidienne
Pointe de flèche (Catal Hüyük, Turquie)



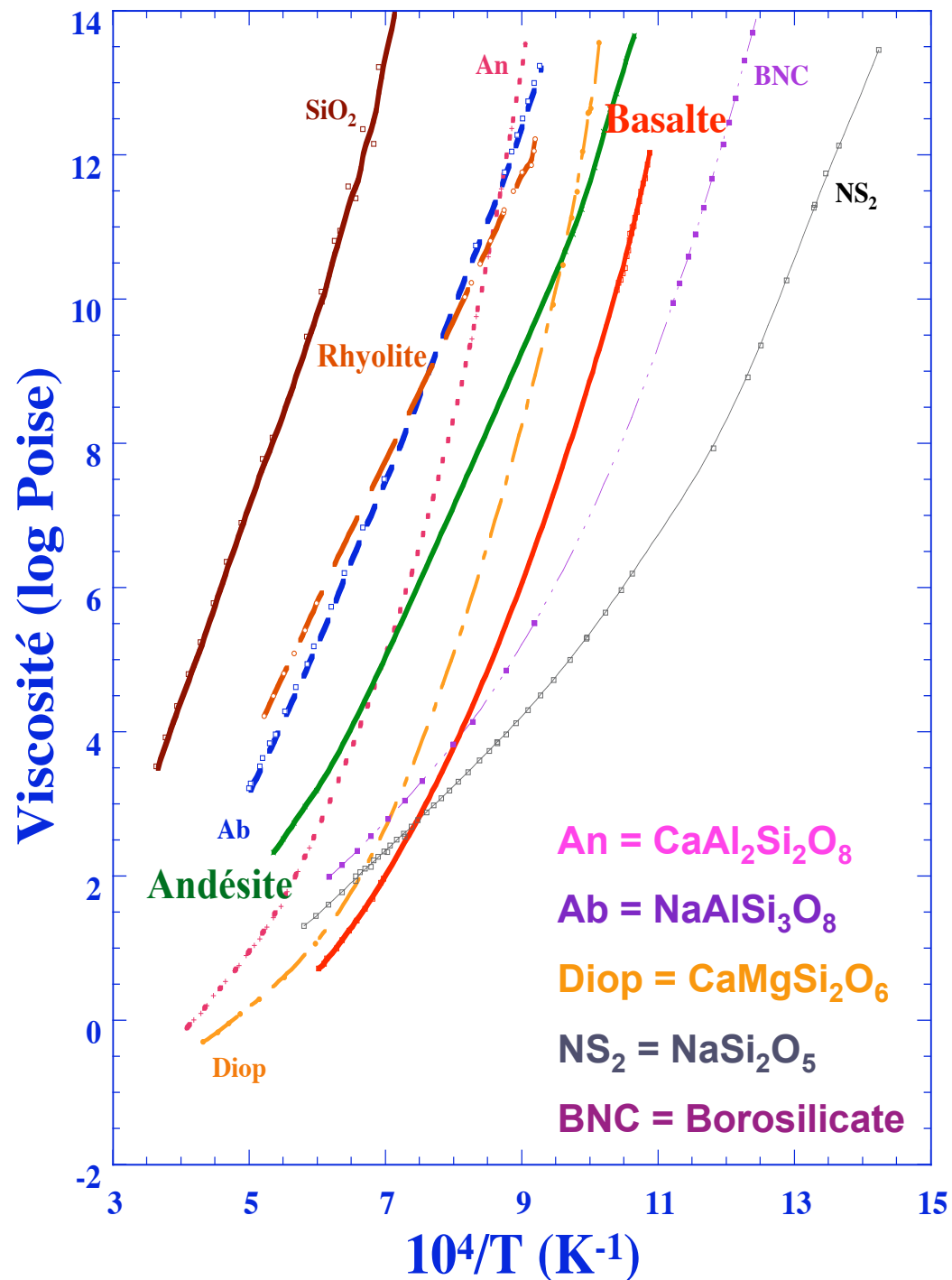
Fibre-bio
Fibre optique



Verre thermochrome



R7T7 verre de stockage
de déchets



Comment les étudier ?

- les propriétés
 - dilatation
 - chaleur spécifique
 - **viscosité**
- étudier la structure par
 - spectroscopie Raman
 - RMN
 - absorption de rayon X
 - diffraction de rayon X
 -

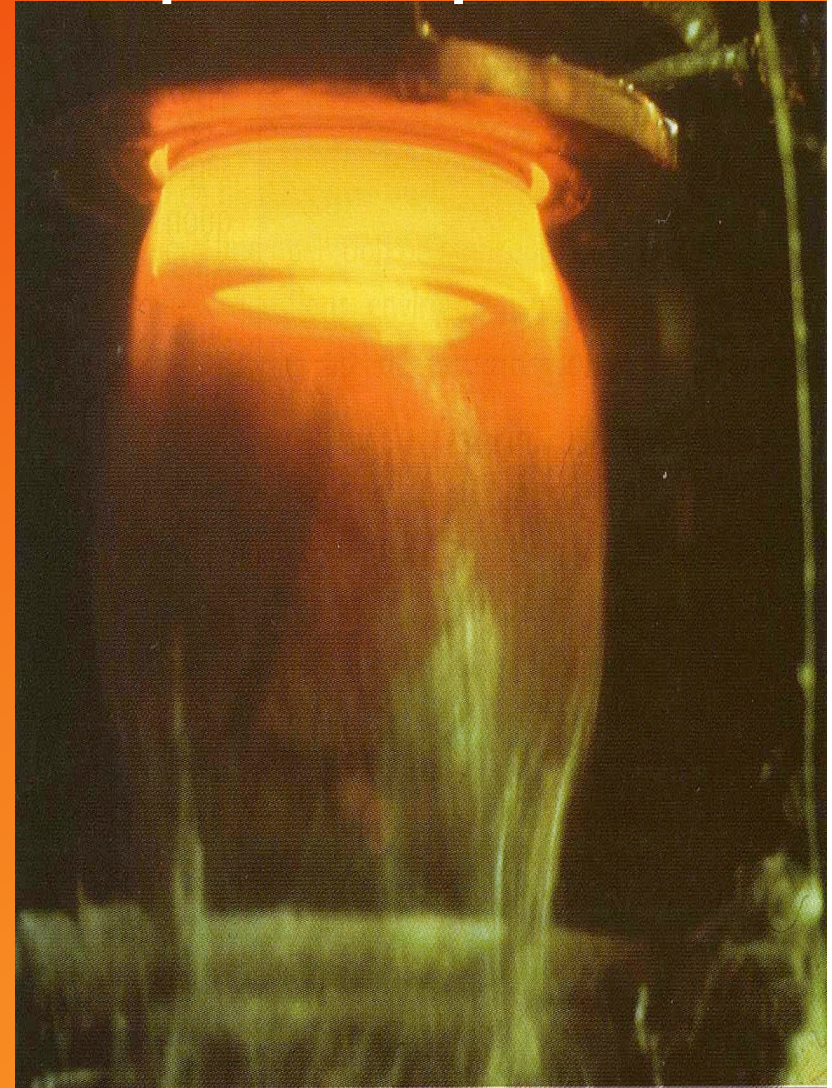
La viscosité est une propriété qui varie considérablement en fonction de la composition chimique et de la température. Elle contrôle les transferts de masse...

La viscosité un paramètre important pour comprendre :

Les dynamismes des éruptions volcaniques

Les transferts de matière et d'énergie

La migration des magmas à toutes les échelles



Mais aussi pour la fabrication et formage du verre Exemple : fabrication des fibres de verre

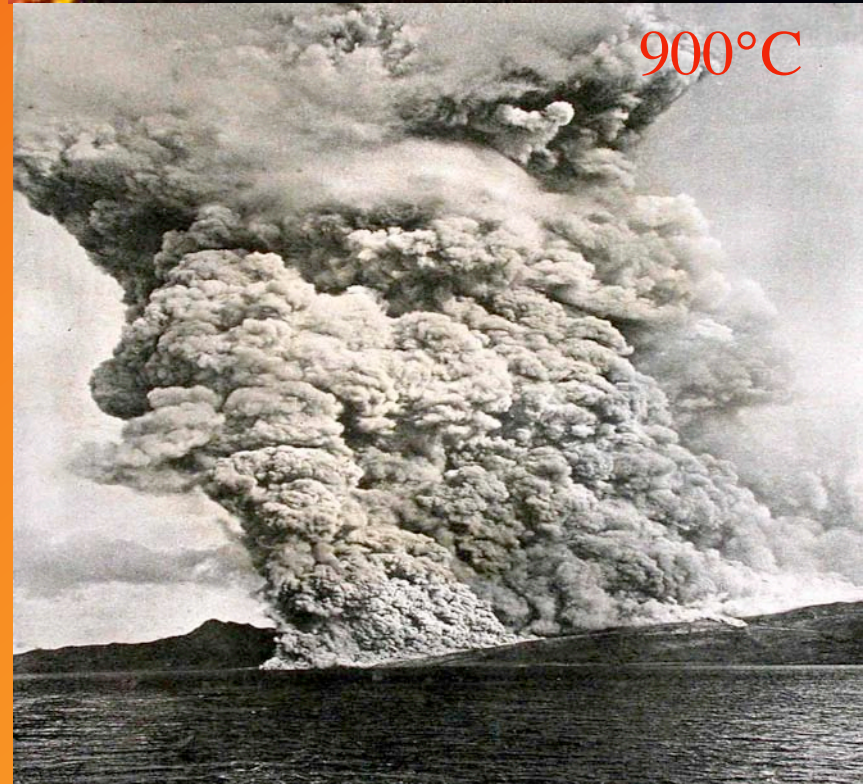
Pourquoi s'intéresser à la viscosité d'une lave volcanique ?

- Prédiction des dynamismes éruptifs
- Évolutions de la viscosité d'une lave en cours d'éruption et changement de dynamisme éruptif

•Exemple 1) une lave basaltique qui est très fluide coule lors de son éruption car la viscosité est faible (entre 2 et 3 log Poise*), les éléments volatils (gaz) peuvent partir (dégazage de la lave) pas de risques important lors de l'éruption (volcan d'Hawaii ou de la Réunion).

•Exemple 2) une lave andésitique plus visqueuse, ne coule pas, a des difficultés à remonter, plus elle remonte lentement et plus elle se refroidit et plus sa viscosité augmente. Les éléments volatils sont prisonniers de la lave : risque d'explosion ! (Montagne Pelée, Mont St Helens...)

* Poise unité de mesure de la viscosité

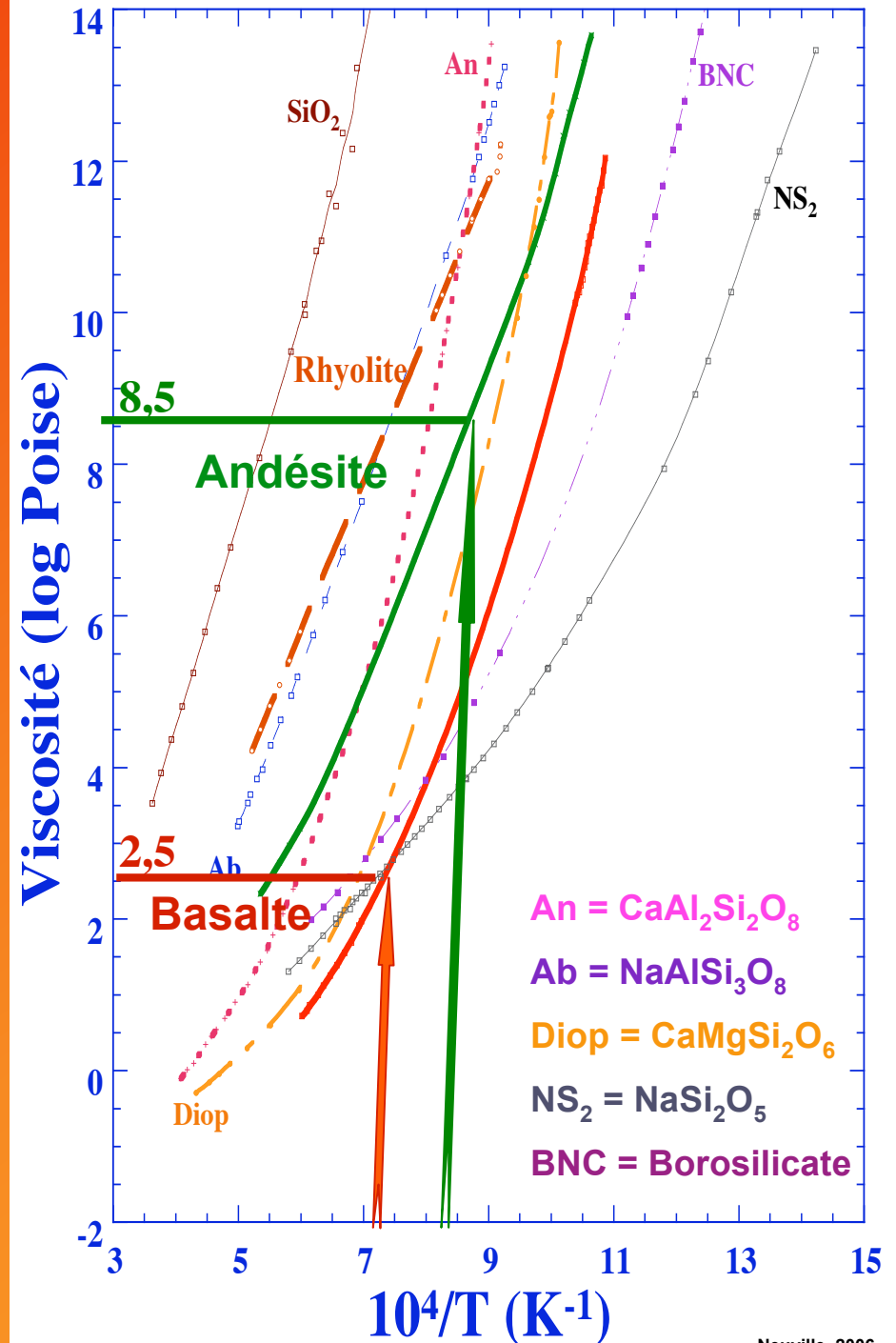


Viscosité d'une lave basaltique et andésitique ?

- basalte (lave pauvre en silice)
- andésite (lave riche en silice)

•Exemple 1) la lave basaltique a une viscosité faible dans le domaine de température éruptif, 2,5 Log Po à 1100°C, la lave coule (cf photo page précédente)

•Exemple 2) la lave andésitique a une viscosité très élevée lors de l'éruption, viscosité de 8.5 log Po à 900°C. La lave remonte très lentement et va perdre ses volatils (perte d'éléments fluidifiant la lave, H₂O, CO₂...). Plus la lave perd de volatils et plus sa viscosité augmentera. Ce mécanisme entraînera une éruption catastrophique, explosion, nuées ardentes...



Cratère de lave en fusion Erta Ale



Deux fours !

=> même principe !

température élevée et
silicate en fusion



Four à pot