

Terre et Verres

Yan Lavallée



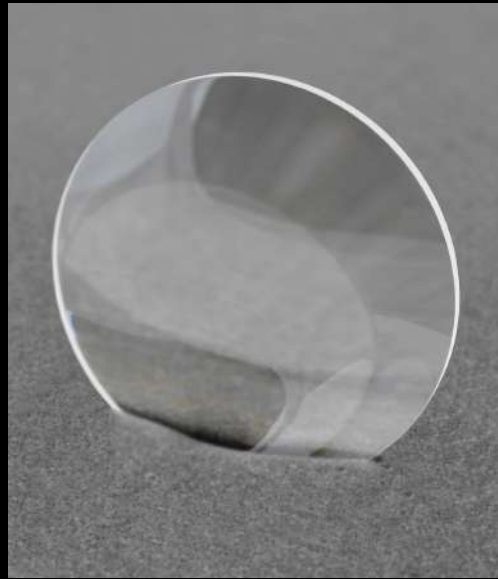
Le verre : un matériau amorphe

Le verre est un matériau non cristallin (amorphe) obéissant à la transition vitreuse. Il est généralement produit par le refroidissement rapide d'un liquide (magma). Cette structure amorphe lui donne des propriétés exceptionnelles.

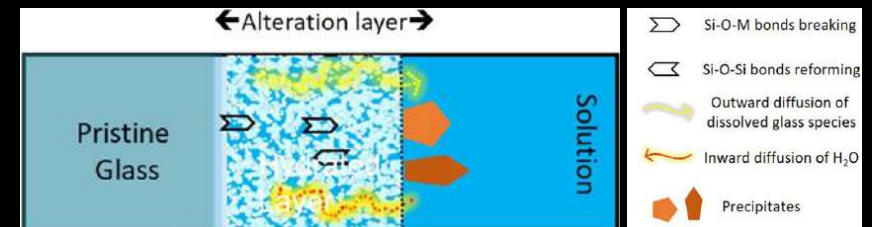
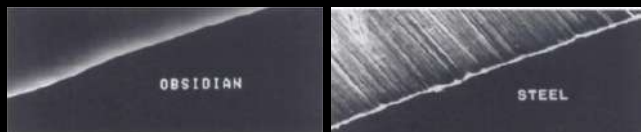
Un outil pratique



Un transparence (quasi-)parfaite



Un excellent bioreactor



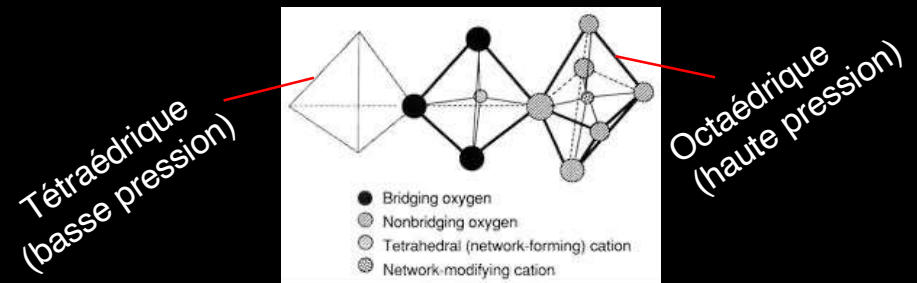
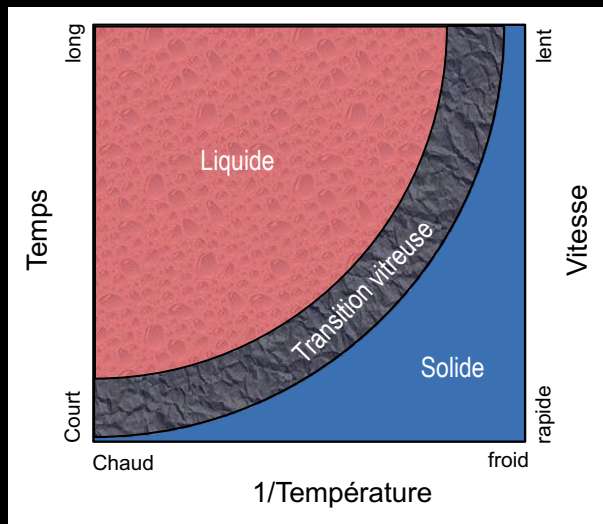
Vitrification volcanique : la transition vitreuse

En 1867, James Clerk Maxwell propose que :

les liquides se déforment de manière visqueuse à grandes échelles de temps, mais qu'à à courtes échelles de temps, ils se déforment de manière élastique.

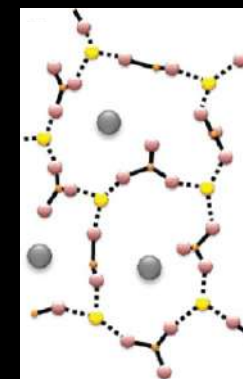
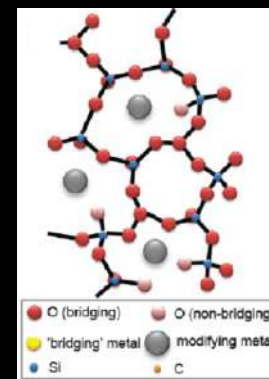
La transition vitreuse dépend de la structure du liquide, elle-même contrôlée par la composition et la pression ambiante.

La structure des liquides naturels



Liquides : Silicaté

Carbonaté

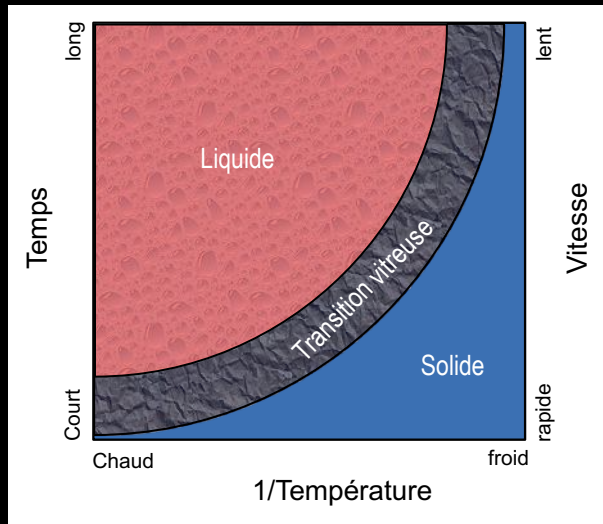


Le verre : structure amorphe

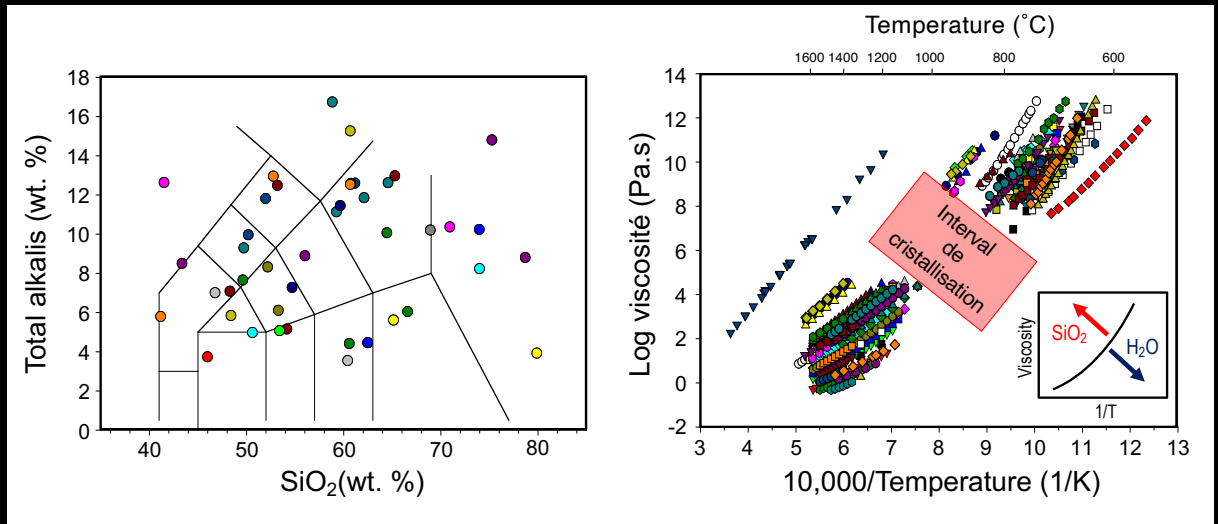
En 1867, James Clerk Maxwell propose que :

Le temps de relaxation maximal d'un liquide est égal au rapport entre la viscosité (résistance à l'écoulement) et le module élastique :

$$t_{\text{relaxation}} = \frac{\text{viscosité}}{\text{module élastique}}$$



Viscosité des liquides silicatés pour un spectre de compositions chimiques naturelles



Mesures obtenues près de la transition vitreuse (à basse température) et à des températures excédant la cristallisation.

L'origine des verres naturels sur Terre

PROCESSUS

Impact



Éclair



Faillle



Volcanisme



Tectite et Impactite/ Suevite



Fulgurite



Pseudotachylyte



Obsidienne et Tachylyte

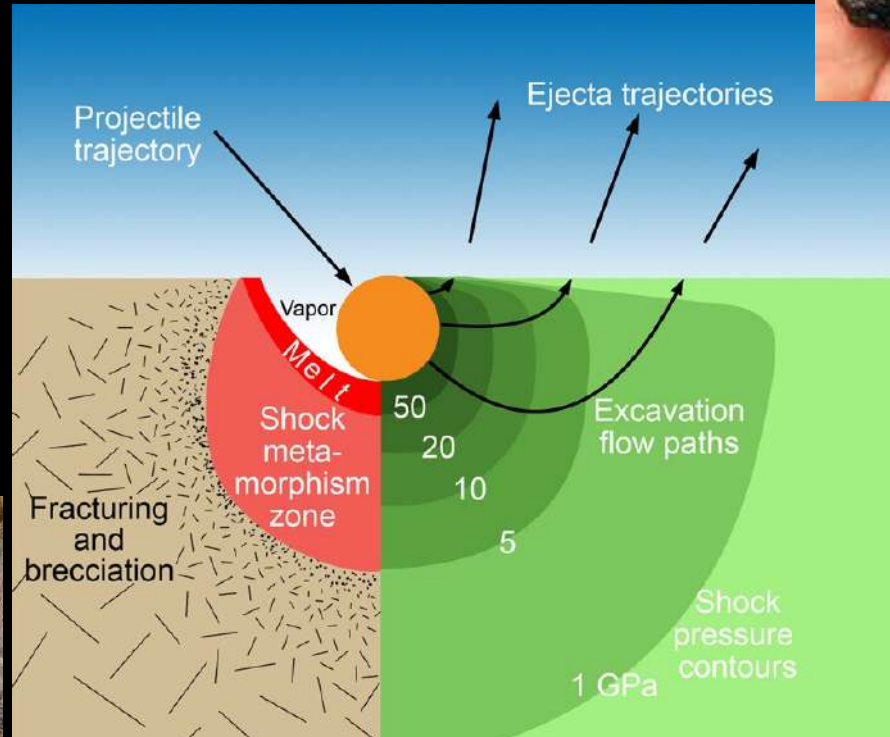


ROCHE

Verres d'impacts



Impactite/ suevite



Tectite

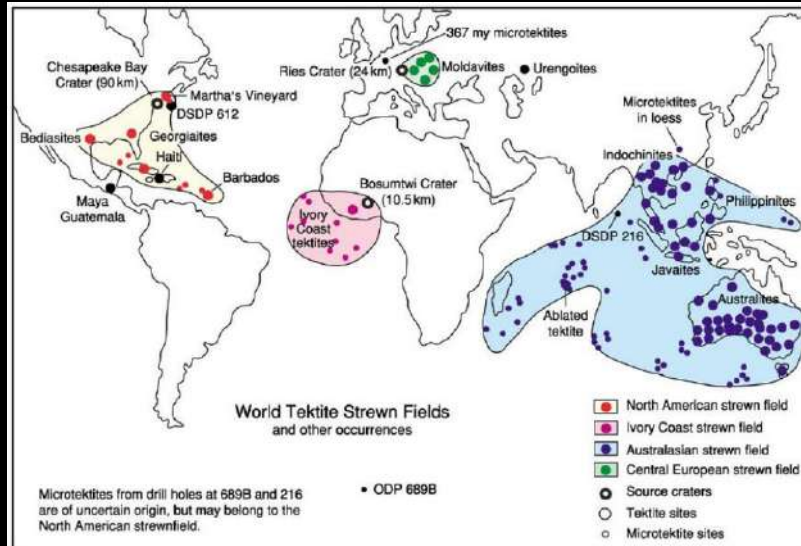


Verres d'impacts

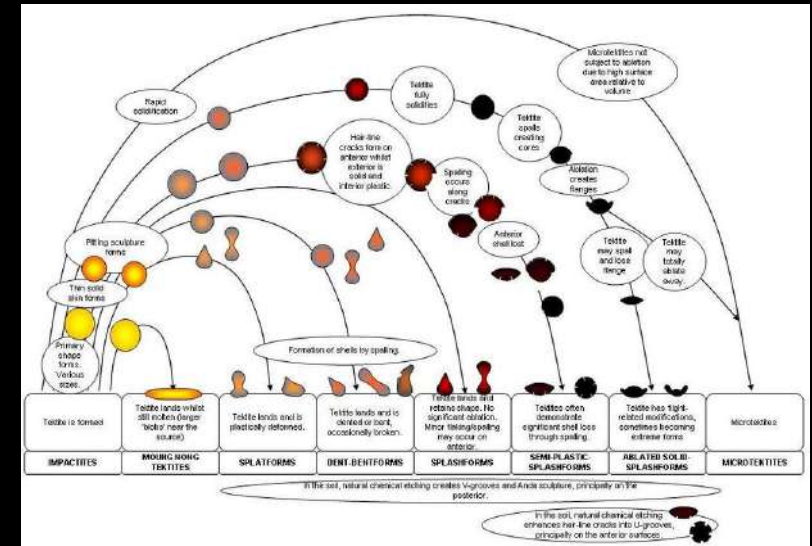


L'apparence des tectites dépend :

des roches présentes dans la région d'origine



du transport et du refroidissement



Perle cosmique dans un huitre



Moldavite



Géorgite



Philippinite (médial)



Australite (distale)



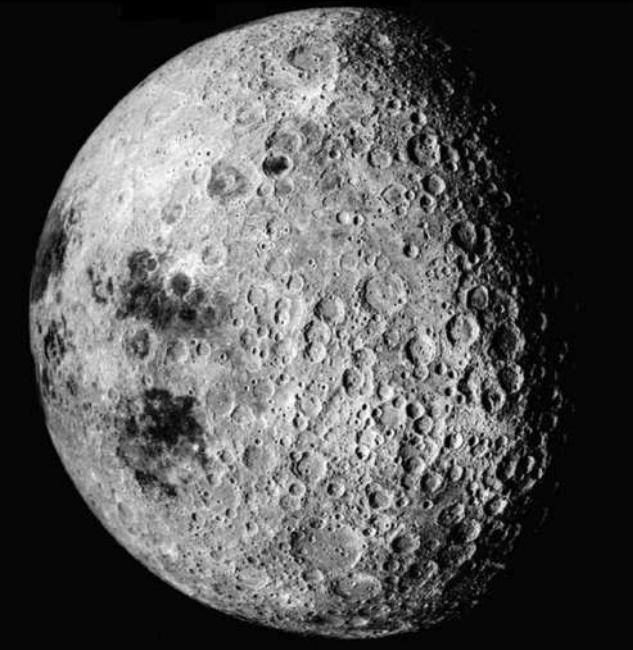
Tectites provenant d'un impact en Indochine :

Verres d'impacts

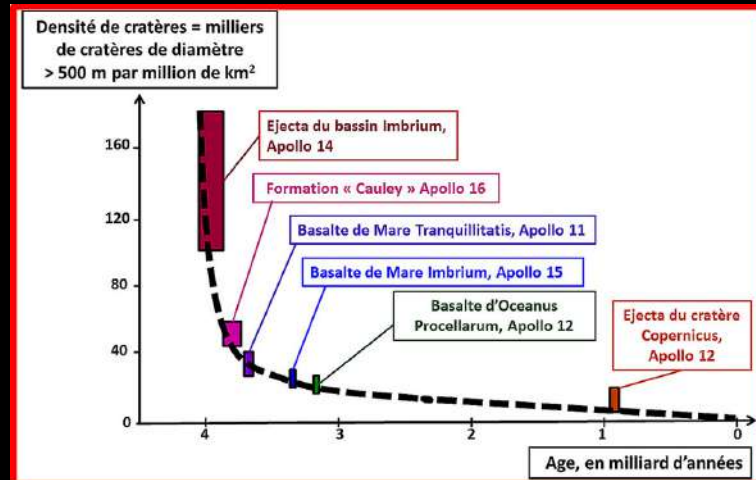
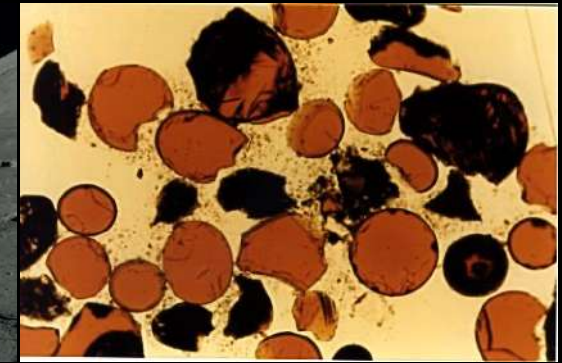
Les impacts météoritiques sont fondamentaux à la formation des planètes.

Sur Terre, le produit de ces impacts (les roches et les cratères) sont progressivement effacés par les processus géologiques.

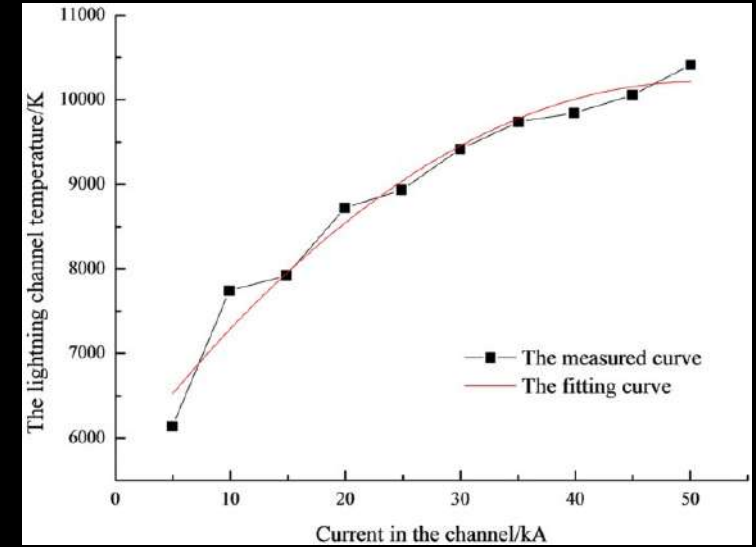
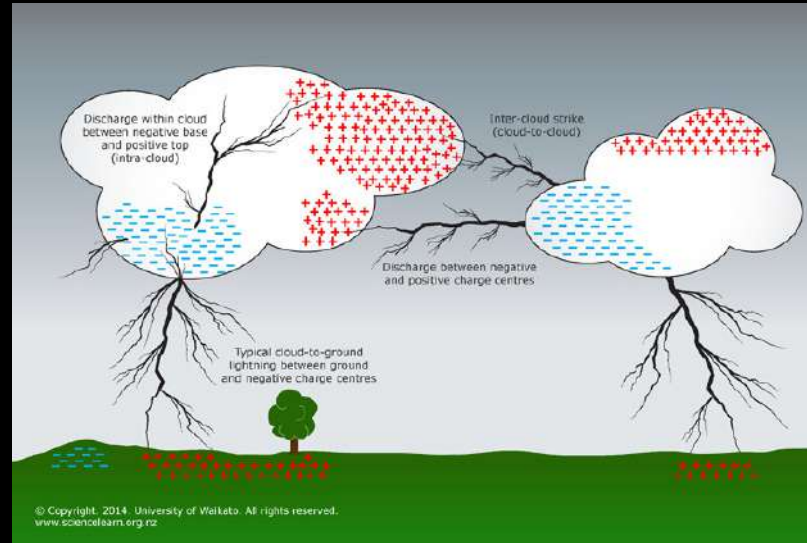
Ils sont évidents sur la lune (qui est géologiquement inactive).



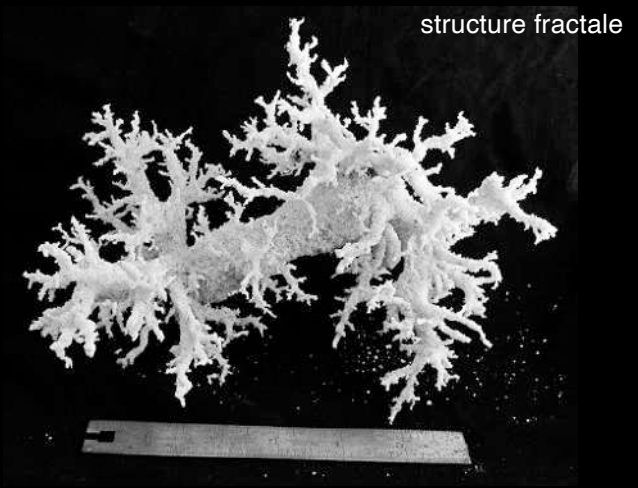
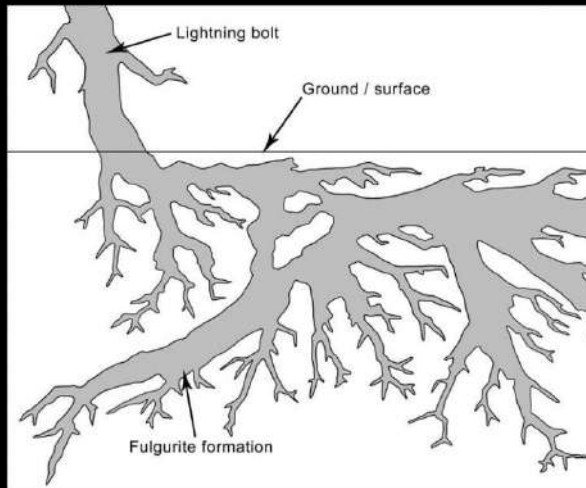
Régolite lunaire



Verres produits par électrification



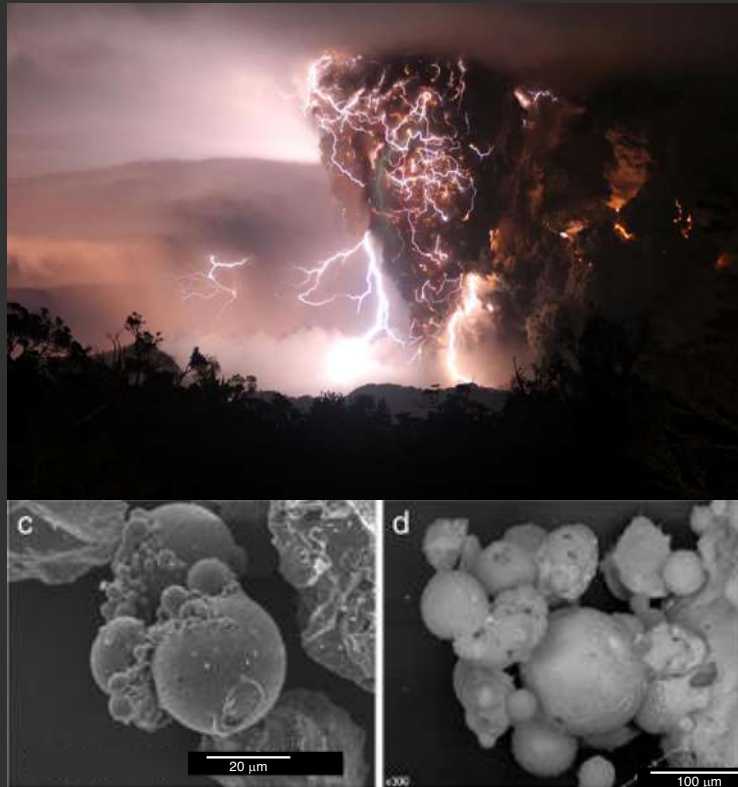
Fulgurite



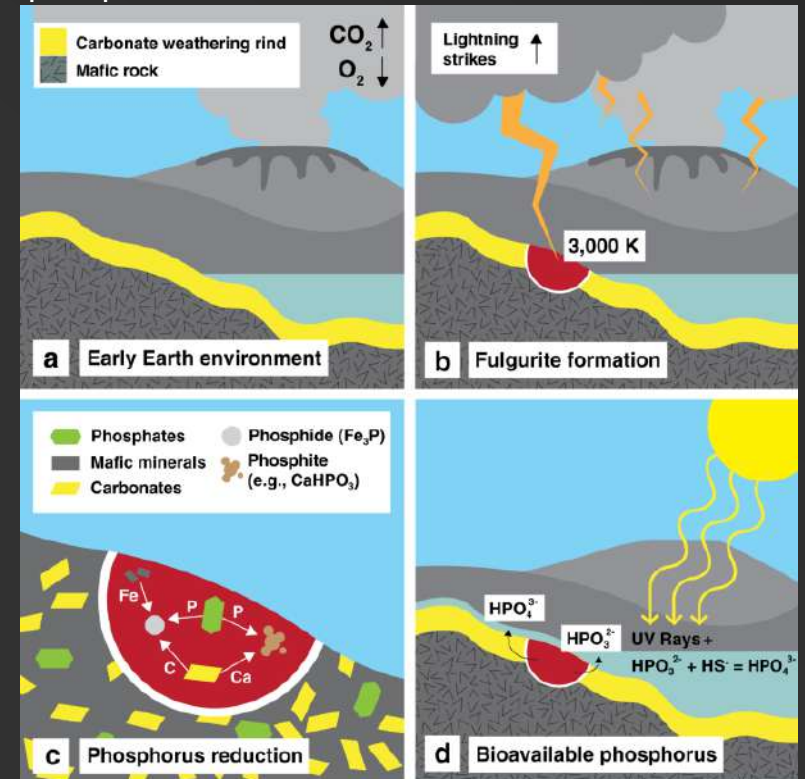
Verres produits par électrification



Les éclairs dans les panaches volcaniques refondent les cendres



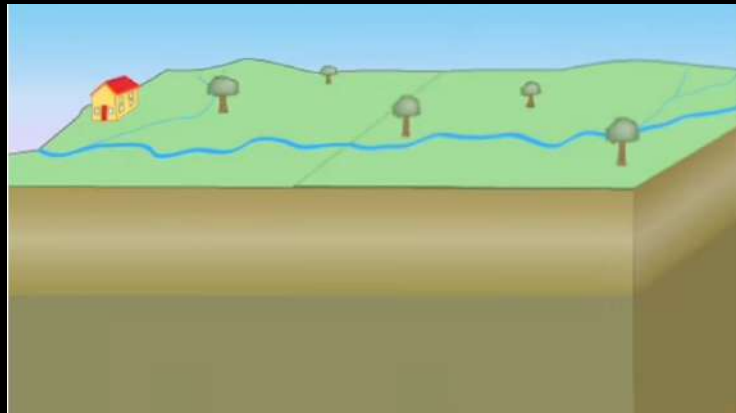
Les éclairs et la génération de fulgurite pourraient être responsable de la réduction prébiotique du phosphore nécessaire à créer la vie



Pseudotachylyte : évidence géologique des tremblements de terre



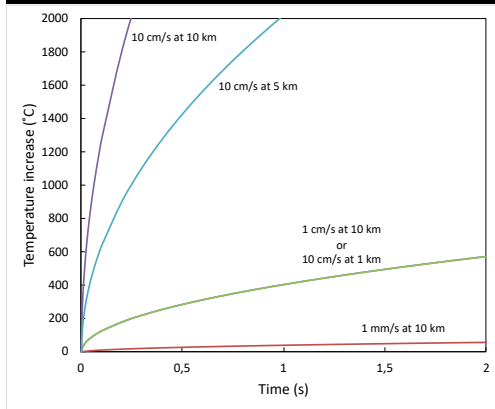
Faïlle tectonique



Faïlle magmatique



Les frottements réchauffent et fondent les roches



Pseudotachylyte : évidence géologique des tremblements de terre



Ces expériences contraignent la fusion des roches et la résistance aux frottements le long des failles tectoniques / volcaniques.

Les volcans et leurs verres volcaniques



Les volcans

Une source d'énergie et de feu

Une source de matériau essentiel: le verre

Un attrait aux humains:

- Le plus vieux fossile de pied humain: Tanzanie, 3.7 Ma
- Le plus vieux fossile humain: Rift Est-Africain, 1.75 Ma
- Première utilisation du feu: Kenya, ~1.5 Ma



Les verres volcaniques



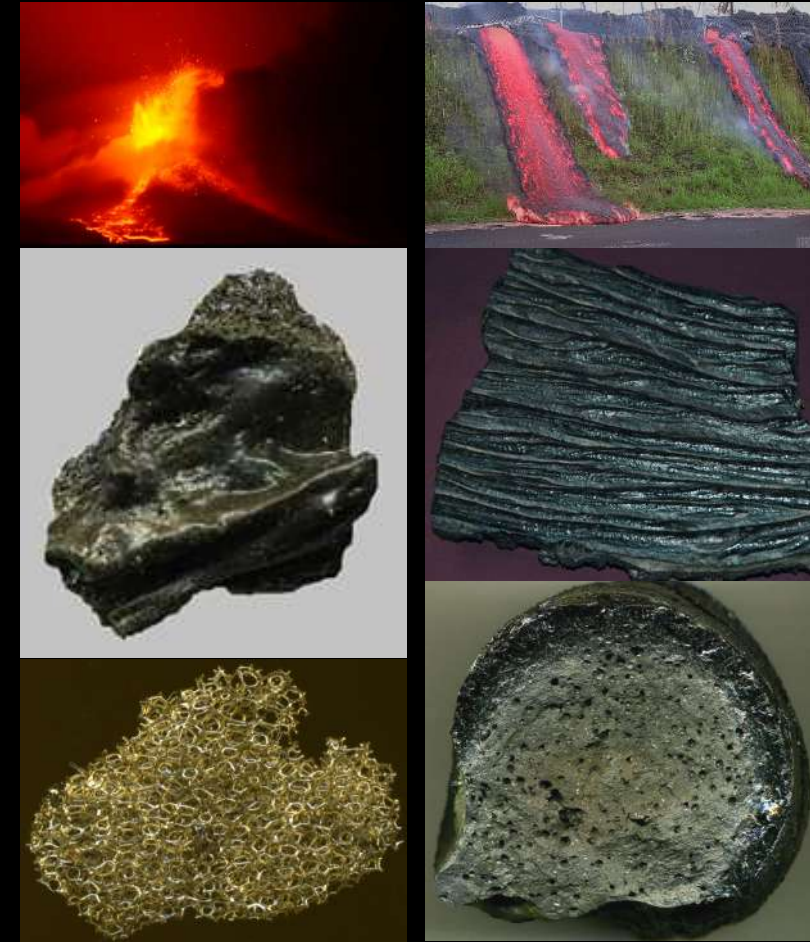
Obsidienne : verre riche en SiO_2

Produits explosifs et effusifs



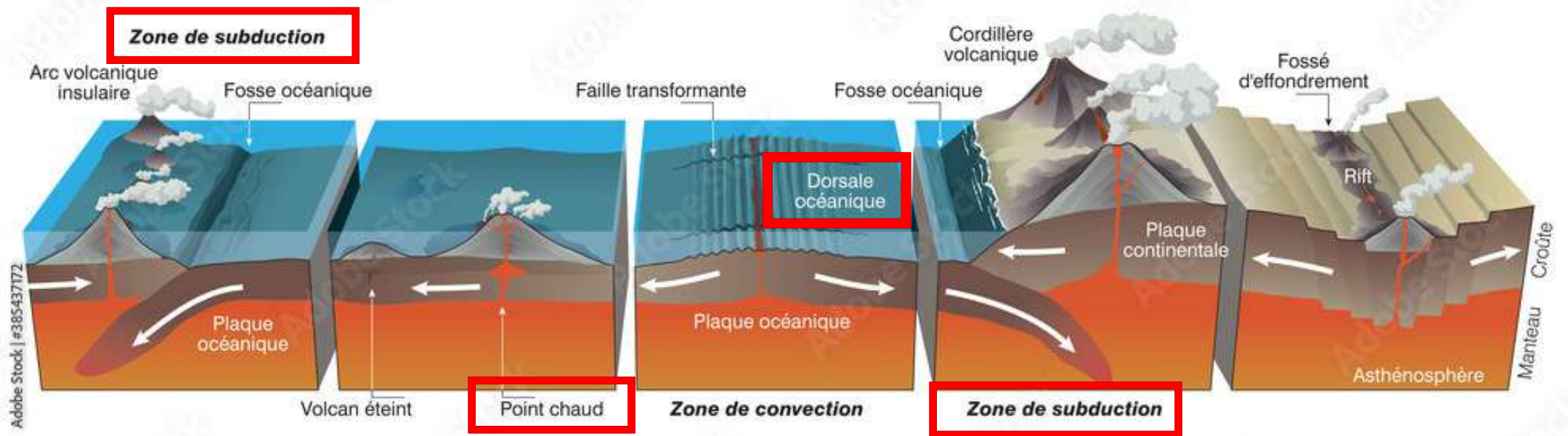
Tachylyte (sidéromélane) : verre pauvre en SiO_2

Produits explosifs et effusifs



Le volcanisme et la tectonique terrestre

Il y a trois zones principales de volcanismes:



90 % des magmas restent sous terre; seulement 10 % atteignent la surface (éruption).

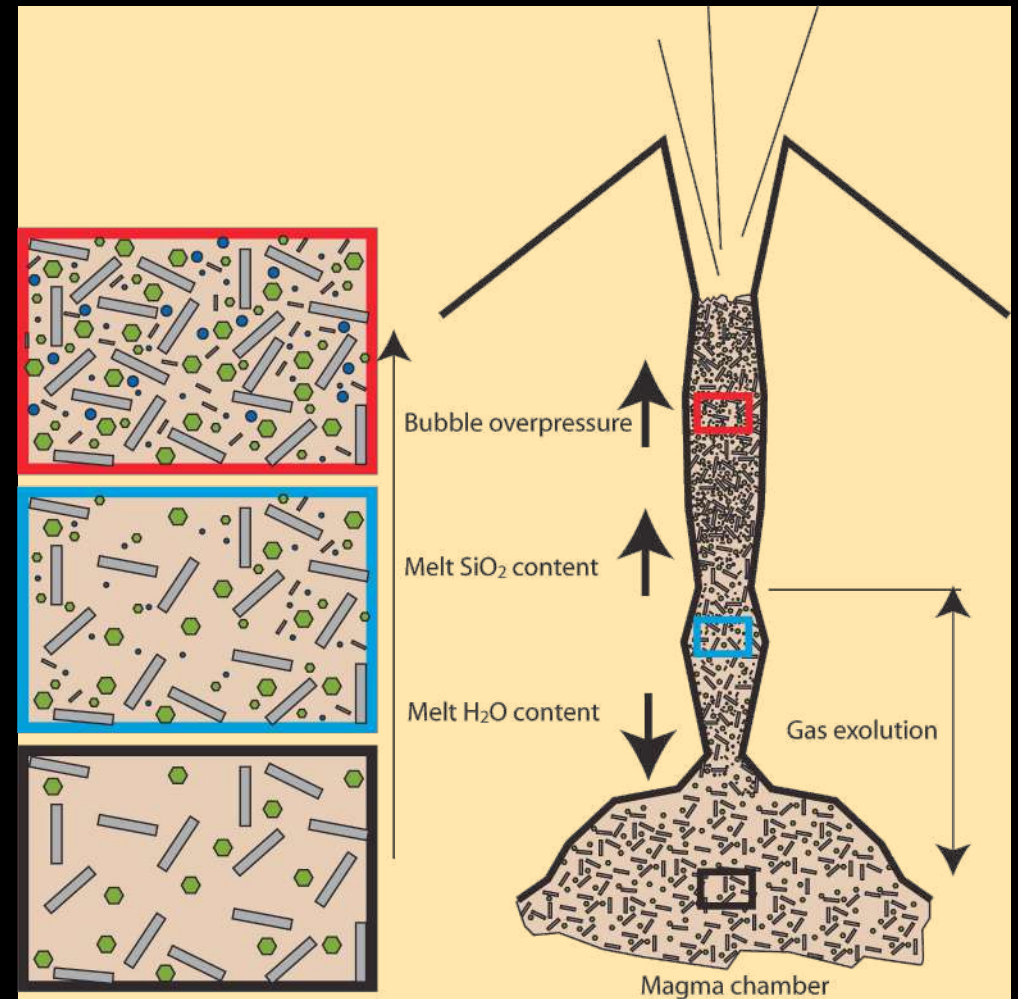
95 % du volcanisme terrestre est sous-marin.

Le volcanisme

Les magmas montent dans la croûte terrestre et font éruption à leur basses densités.

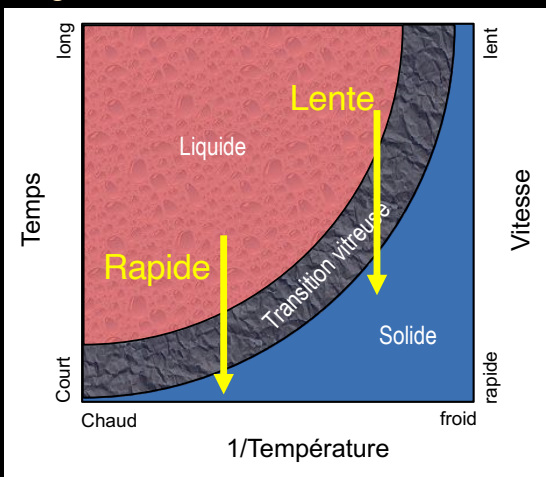
La décompression cause :
vesiculation de bulles + cristallisation = augmentation de la viscosité

Si la déformation du magma est trop rapide,
il engendre la transition vitreuse

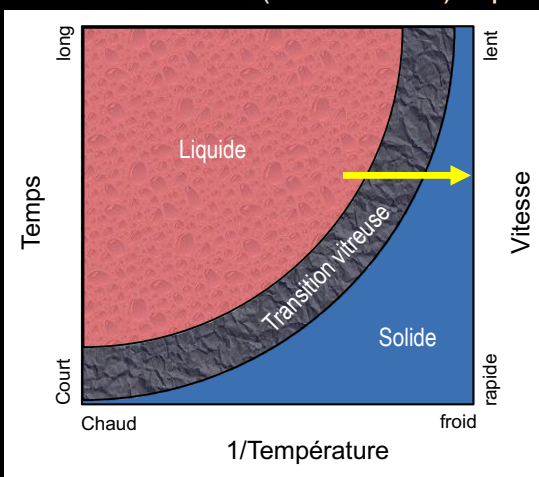


La transition vitreuse et les volcans

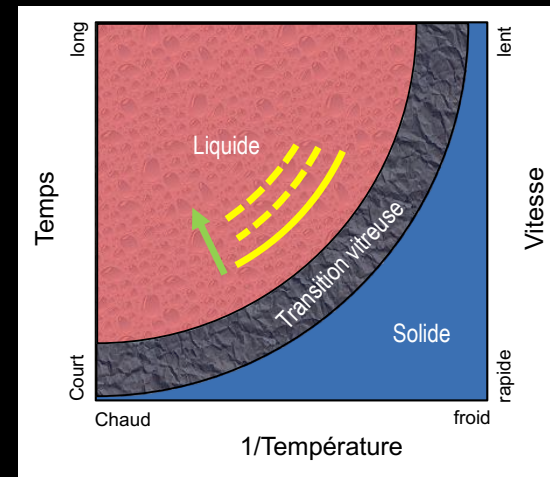
Augmentation du taux de déformation



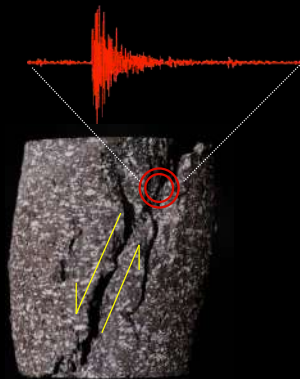
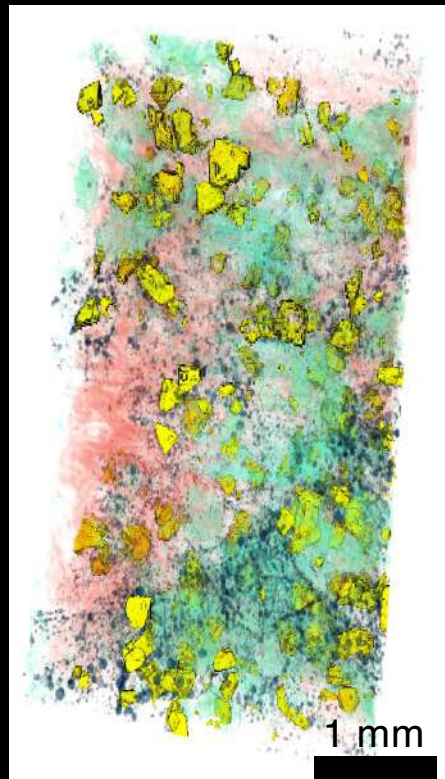
Refroidissement (relativement) rapide



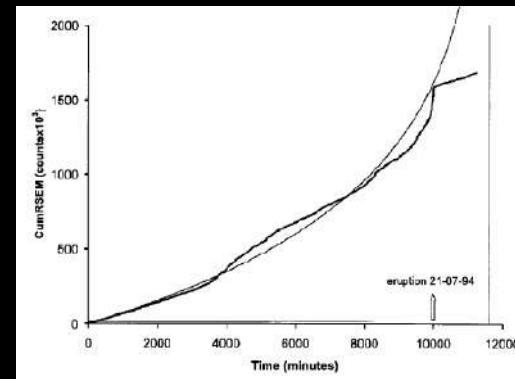
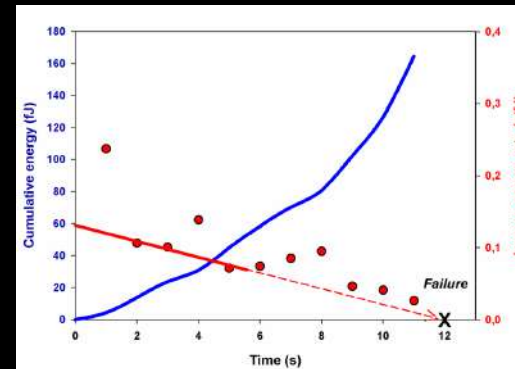
Dégazage



Déformation et rupture sismogénique des laves : un outil de prédiction

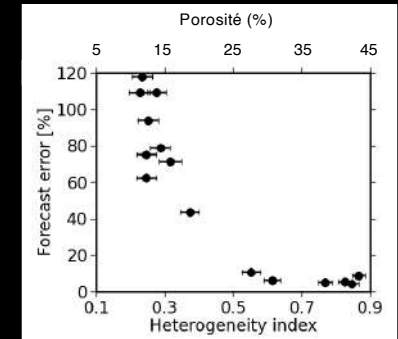


Sismicité avant la rupture d'une lave contenant des cristaux



Sismicité avant une explosion au Volcan de Colima, Mexique

Nos prédictions sont imprécises si le verre est pur



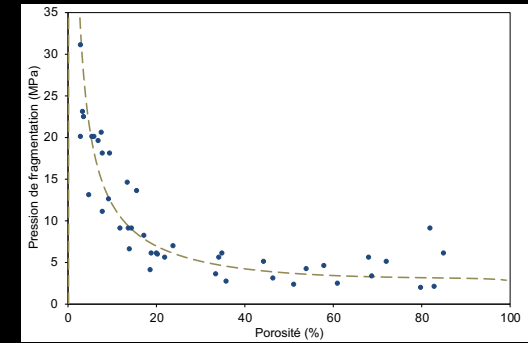
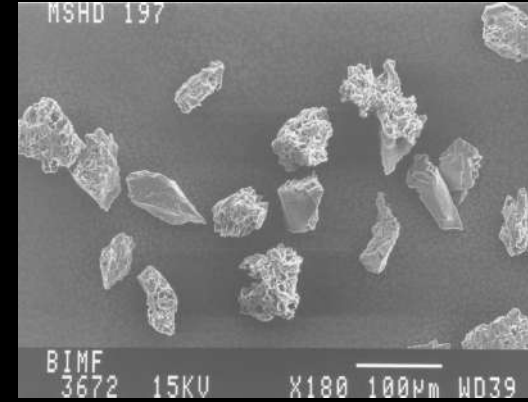
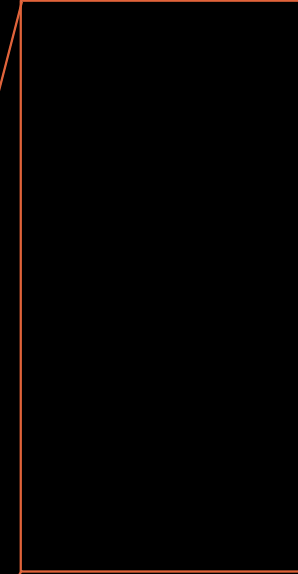
Fragmentation magmatique

L'expansion des gaz pressurisés dans les bulles fragmente le magma, générant les éruptions explosives



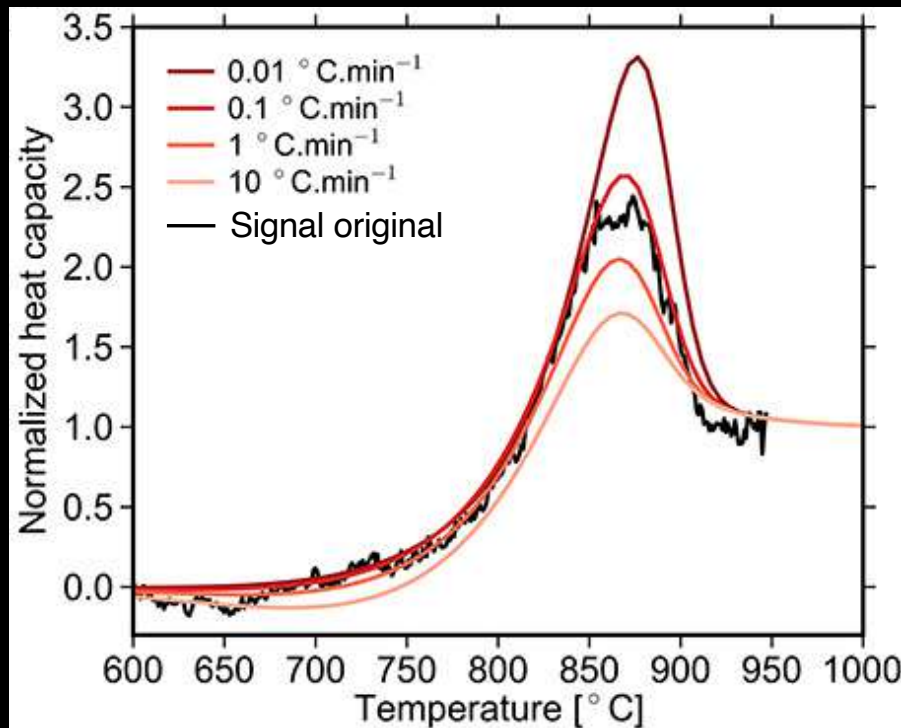
Conduit
pressurisé

Atmosphère

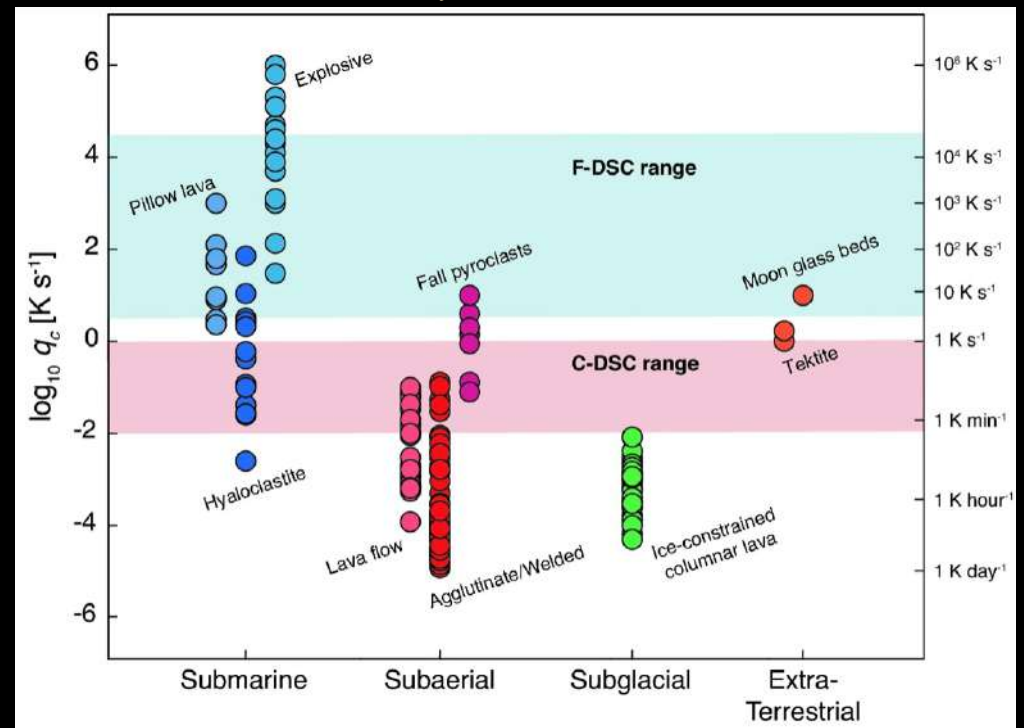


Verres volcaniques : Taux de refroidissement naturel

La transition vitreuse est une transformation endothermique

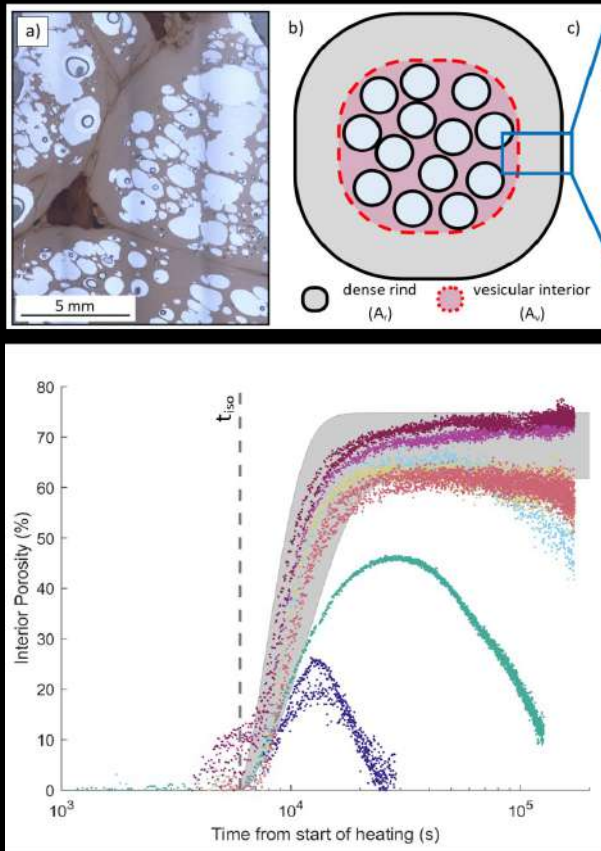


Taux de refroidissement des verres volcaniques:
1 °C/jour à 1M °C/s

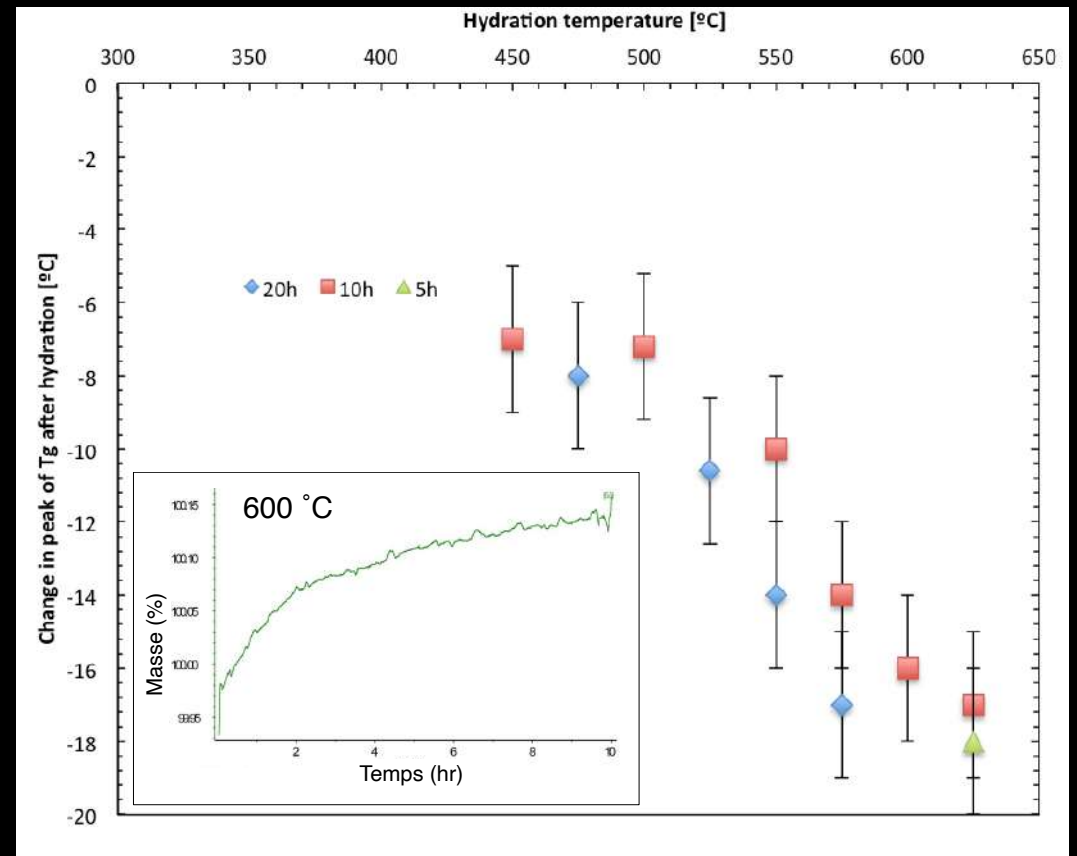


Déshydratation and hydratation du verre

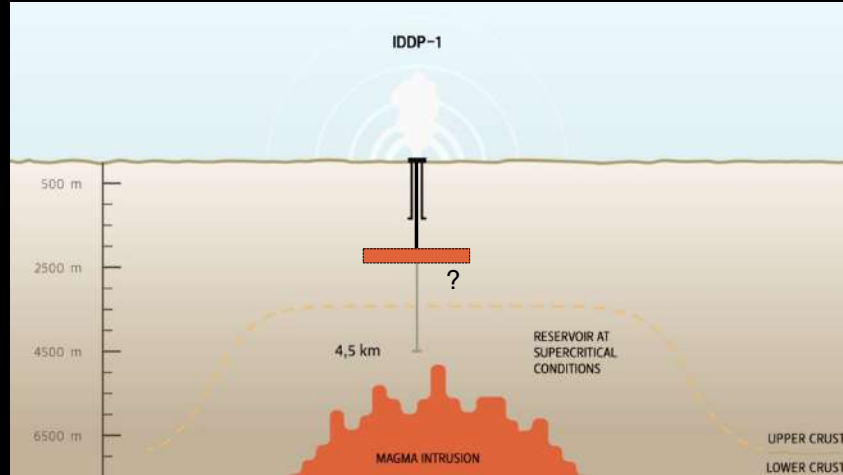
Déshydratation des liquides:
diffusion et vesiculation



L'hydratation des verres par la diffusion changes la structure verre



Vitrifier une chambre magmatique en Islande !



On détecte très mal les chambres magmatiques.

Le magma offre 5 à 10 fois plus d'énergie que la géothermie conventionnelle (en Islande).

Premiers échantillons de verre magmatique :



On sait précisément où est la chambre magmatique !

Les feux du Krafla fire (1975-1984)



Centrale électrique à Krafla : 60 MW

Moderniser la volcanologie par nos connaissances du verre

Première création d'un observatoire de magma : Krafla Magma Testbed (KMT)

Buts de l'observatoire :

- échantillonner les magmas
- instrumenter les chambres magmatiques
- valider nos modèles
- augmenter notre production d'énergie géothermique
- développer nos systèmes de prédiction
- améliorer notre sécurité et résilience

