

## Effet de serre et rayonnement infrarouge

### Objectif et phénomène illustré

Cette manipulation permet de comprendre les propriétés radiatives et d’expliquer les équilibres en jeu dans l’effet de serre.

### Mise en œuvre

#### Matériel

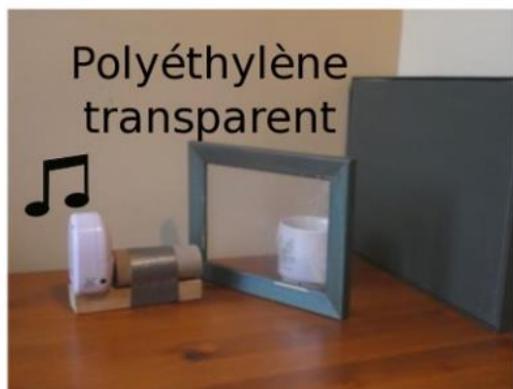
- Détecteur de présence basé sur la mesure du rayonnement infrarouge (« carillon » à l’entrée des commerces, que l’on peut trouver dans les magasins de bricolage)
- Tube en carton pour limiter le champ de détection de l’appareil
- Carton (fond) à température ambiante (le détecteur ne sonne pas lorsqu’il est face à lui)
- Bois, verre, polyéthylène transparent (sac de congélation), polyéthylène noir (sac poubelle). Les matériaux souples peuvent être tendus dans un cadre.
- Tasse remplie d’eau chaude (émet de rayons IR, fait donc sonner le détecteur)
- Sèche-cheveux pour faire chauffer les matériaux

#### Montage

On place le détecteur face à un fond en carton, à température ambiante. On place un matériau (verre, bois, polyéthylène) entre le détecteur et le fond. On fait passer une tasse remplie d’eau chaude.

Si le détecteur ne réagit pas au passage de la tasse, c’est que l’écran ne laisse pas passer le rayonnement infrarouge émis par la tasse, il lui est opaque, il l’absorbe. Au contraire, si le détecteur réagit c’est que l’écran est transparent au rayonnement infrarouge émis par la tasse.

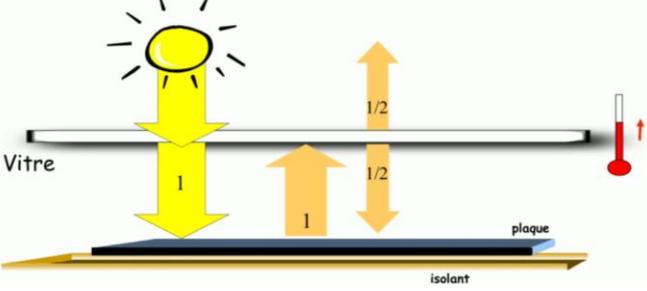
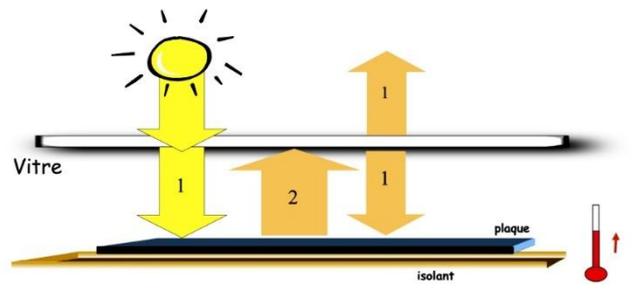
#### Déroulement de la manipulation



Matériau	Rayonnement visible	Rayonnement infrarouge
Bois	Opaque	Opaque
Verre	Transparent	Opaque
Polyéthylène transparent (sac de congélation)	Transparent	Transparent
Polyéthylène noir (sac poubelle)	Opaque	Transparent

1. Plaçons une plaque de bois (noire) au Soleil : parce qu’elle est noire, elle absorbe le

2. La plaque gagne de l’énergie donc sa température augmente ; l’énergie perdue par

<p>rayonnement solaire. Elle va gagner de l'énergie.</p>	<p>émission de rayonnement augmente. La plaque finit par atteindre sa température d'équilibre.</p>
 <p>3. L'absorption par la vitre du rayonnement infrarouge émis par la plaque lui fait gagner de l'énergie. Elle émet autant de rayonnement vers le haut que vers le bas.</p>	 <p>4. En faisant un bilan d'énergie pour la vitre et pour la surface, on vérifie que chacune d'elle est à l'équilibre. La température de la plaque est plus élevée avec la vitre que sans. Cet accroissement de température est le résultat de ce qu'on appelle l'« effet de serre ».</p>

Source : <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/principes-effet-serre.xml>

### Comment présenter la manipulation ? et comment l'utiliser ?

1. Présenter la différence entre rayonnement visible et infrarouge, ainsi que les comportements des matériaux
2. Présenter ensuite les équilibres (de manière théorique ?) sans le verre puis avec le verre (atmosphère) pour expliquer l'effet de serre.

Ce modèle permet de montrer que l'effet de serre est dû aux propriétés radiatives du milieu au-dessus de la surface, ainsi qu'à la conservation de l'énergie.

### Limites

- Atmosphère à une seule couche
- Echanges par conduction et convection négligés
- On suppose que l'atmosphère est isotherme (ici : la vitre)

## De l'atmosphère réductrice à l'atmosphère oxydante

### Objectif et phénomène illustré

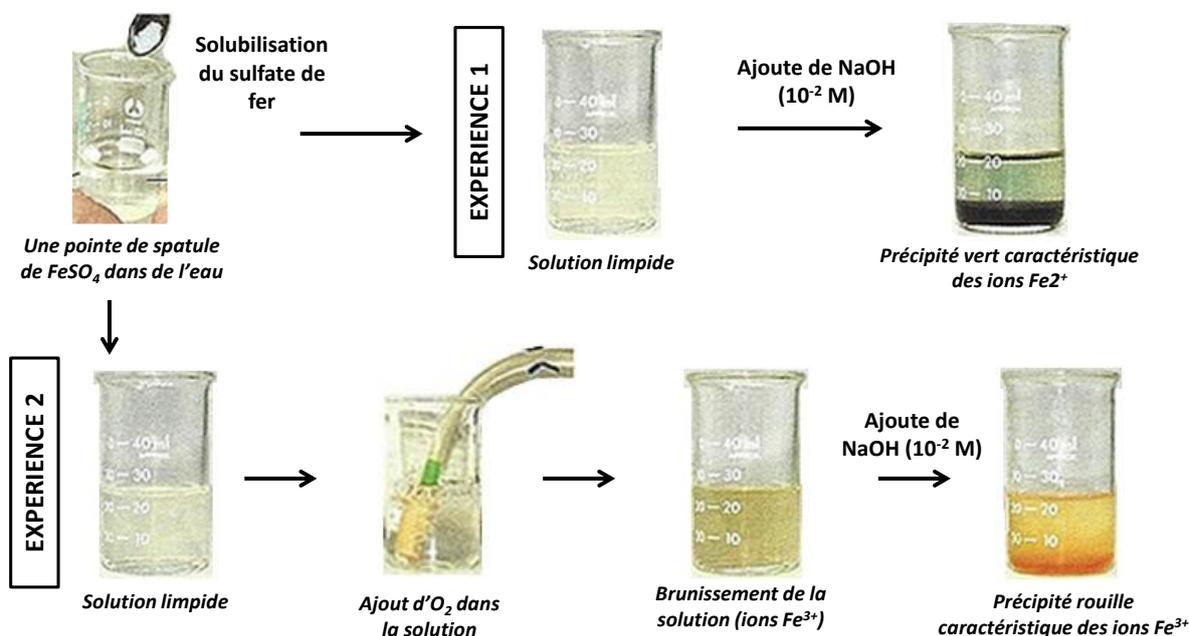
Faire le lien entre les importants dépôts de fer archéens et le passage d'une atmosphère réductrice à une atmosphère oxydante par oxygénation.

### Mise en œuvre

#### Matériel

- Bêchers
- Sulfate de fer ( $\text{FeSO}_4$ )
- Solution de  $\text{NaOH}$  ( $10^{-2}\text{M}$ )
- Bulleur à oxygène

#### Montage et déroulement de la manipulation



### Comment présenter la manipulation ? et comment l'utiliser ?

1. Le fer peut exister sous deux états d'oxydation :  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$
2. Dissolution de  $\text{FeSO}_4$  ( $\text{FeII}$ ) dans de l'eau → La solution est limpide = le fer est soluble
- 2a. Ajout de  $\text{NaOH}$  qui alcalinise la solution → Apparition d'un précipité vert = fer précipite sous forme  $\text{Fe}(\text{OH})_2$
- 2b. Bulleur à oxygène plongé dans la solution → Apparition d'une teinte rouge = fer insoluble ; couleur caractéristique d'ion  $\text{FeIII}$
- 2b'. Ajout de  $\text{NaOH}$  qui alcalinise la solution → Apparition d'un précipité rouille = fer précipite sous forme  $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Conclusion 1 : Relier ces expériences au diagramme potentiel-pH du fer

Conclusion 2 : Lorsque l'atmosphère s'enrichit en  $\text{O}_2$  (devient oxydante), l'oxygène dissous oxyde le fer qui précipite alors sous forme  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ; l'apport d'ions  $\text{OH}^-$  tire l'équilibre dans le sens de la précipitation.

## Trajectoire des ondes sismiques et discontinuités profondes

### Objectif et phénomène illustré

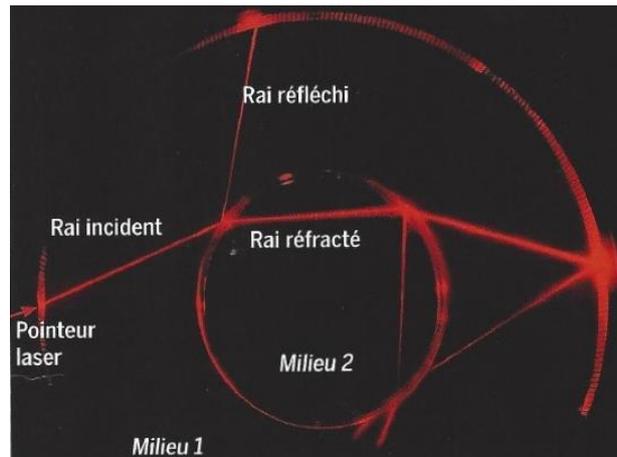
En première approximation, on peut considérer que les ondes sismiques se propagent dans les roches comme les ondes lumineuses dans les milieux transparents. Lorsqu'une onde sismique atteint une surface de discontinuité, c'est-à-dire une frontière entre deux milieux dans lesquels les vitesses de propagation des ondes ( $V_1$  et  $V_2$ ) sont différentes, elle se réfléchit et éventuellement se réfracte comme le ferait une onde lumineuse.

### Mise en œuvre

*Montage*

*Matériel*

- Deux cristallisoirs de diamètre différent
- Air enfumé (encens)
- Solution saturée en saccharose
- Un laser



*Déroulement de la manipulation*

Un cristallisoir est placé dans un autre cristallisoir plus grand. Les deux cristallisoirs contiennent les milieux suivants :

- Milieu 1 (grand cristallisoir) : air enfumé ;
- Milieu 2 (petit cristallisoir) : solution saturée de saccharose teintée à la fluorescéine.

Placer un pointeur laser de manière à ce que le rai incident arrive de manière oblique sur la paroi du cristallisoir intérieur. Faire varier cet angle en déplaçant le laser.

### Comment présenter la manipulation ? et comment l'utiliser ?

1. Faire le lien entre propagation des ondes sismiques et propagation des ondes lumineuses : réflexion, réfraction et loi de Descartes/Snell.
2. Comment utiliser cette propriété pour mettre en évidence des surfaces de discontinuité dans la Terre solide ?
3. Modèle analogique avec les cristallisoirs.
4. Mettre en évidence la zone d'ombre et extrapoler aux zones d'ombre sismiques.

### Limites

- Homogénéité imparfaite des couches terrestres en profondeur
- Surface = plutôt zones de discontinuité (non ponctuel)

## Modélisation de la convection et des points chauds

### Objectif et phénomène illustré

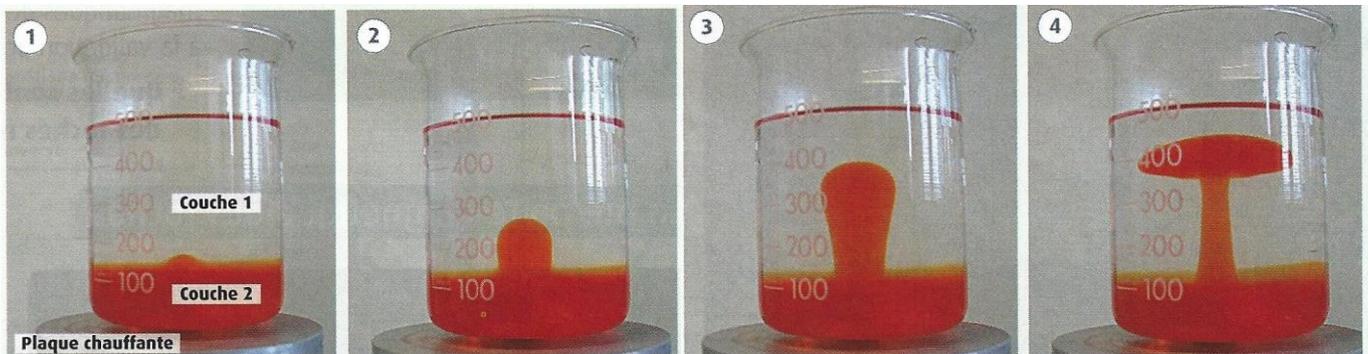
Modélisation des points chauds et des phénomènes convectifs.

### Mise en œuvre

#### Matériel

- Deux couches d'huile (ou glycérine) de couleur différente (l'une peut être colorée avec de la craie).  
*OU Eau + Quelques mini grains de permanganate de potassium*
- Bécher
- Bougie chauffe-plat (pour les points chauds) OU plaque chauffante (pour la convection)

#### Montage



#### Déroulement de la manipulation

Deux couches de glycérine de couleur différente sont placées **délicatement** dans un bécher chauffé à sa base.

### Comment présenter la manipulation ? et comment l'utiliser ?

1. La couche de glycérine rouge peut représenter le matériel mantellique profond, au contact du noyau. La couche de glycérine incolore peut représenter le reste de l'asthénosphère. La lithosphère n'est pas représentée ici.
2. Le chauffage par-dessous peut être présenté comme la chaleur provenant du noyau. Ici, la radioactivité n'est pas représentée, alors qu'elle est une part importante du chauffage interne de la Terre.

### Limites

- Le « chauffage » de l'asthénosphère se fait dans la masse, par radioactivité. Le chauffage par le noyau n'est pas le phénomène le plus important. De plus, de nombreux modèles existent aujourd'hui, basés sur des hypothèses non encore vérifiées. Pour certains auteurs, les remontées asthénosphériques liées au chauffage par la base ne seraient que les points chauds.
- L'existence de grandes cellules de convection dans l'asthénosphère ne semble pas être une réalité, bien qu'il y ait des mouvements de matière. Le mouvement principal reste le plongement des plaques lithosphériques au niveau des zones de subduction.  
→ A présenter car c'est un classique mais rester TRES prudent sur son extrapolation au système Terre.
- La lithosphère n'est pas représentée

## La conduction thermique

### Objectif et phénomène illustré

Montrer que la conduction thermique est permise par une propagation de proche en proche de l'énergie sans transport de matière et qu'elle est dépendante des propriétés physiques et de la composition des matériaux.

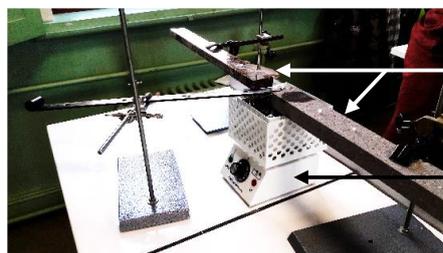
### Mise en œuvre

#### Matériel

- Différents blocs de roches
- Chauffe-plat ou réchaud
- Bougie ou pastilles de paraffine
- Potence + pince
- Chronomètre
- Thermomètre (facultatif)

#### Montage

Gouttes de bougie à intervalles réguliers



Blocs de roches de composition différente

Réchaud

#### Déroulement de la manipulation

1. Fixer la ou les roche(s) sur la potence.
2. Disposer des pastilles de paraffine (de 3 à 5 selon la longueur de l'échantillon de roche) sur la roche en les espaçant d'environ 1,5 cm.
3. Allumer la bougie et la placer sous l'extrémité libre de la roche.

Remarque : Pour que les résultats soient observables assez rapidement il faut régler la hauteur de la roche de sorte que l'extrémité de la flamme soit à environ 0,5 cm de la roche

### Comment présenter la manipulation ? et comment l'utiliser ?

1. Lancer la manipulation en même temps pour plusieurs types de roches et déclencher le chronomètre.
2. Suivre l'état des pastilles de paraffine au cours du temps et estimer la vitesse de propagation de l'énergie thermique : en déduire la conductivité thermique des matériaux utilisés (de manière qualitative).
3. Comparer avec un système convectif



Variante : clous ou trombones « collés » avec de la paraffine sur une bande métallique.  
→ Décollement des clous au fur à mesure du temps, du plus proche de la bougie, au plus loin.

### Limites

- Chauffage ponctuel par une source de chaleur

## Modélisation de la subduction par ombroscopie

### Objectif et phénomène illustré

Observer la convection thermique dans un fluide par ombroscopie afin de modéliser la mise en place d'une subduction ou d'un point chaud. L'exemple présenté ici est celui de la subduction.

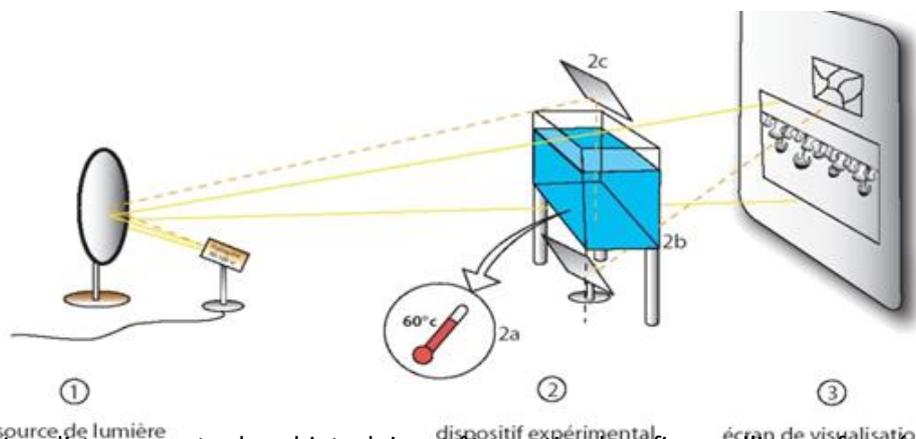
### Mise en œuvre

#### Matériel

- Projecteur de diapositives (attention, certains projecteurs ne fonctionnent que s'il y a une diapositive à l'intérieur. Demander alors une diapositive « vide ».
- Support de projecteur (pour régler la distance entre projecteur et aquarium)
- Aquarium aux parois très propres, translucides
- Valet pour surélever l'aquarium
- Eau tiède (à l'intérieur de l'aquarium)
- Gros glaçon
- Ecran à moins d'un mètre de l'aquarium si possible

#### Montage

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/modelisation-par-ombroscopie.xml>

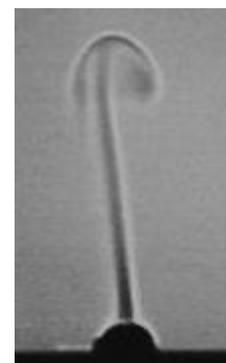


#### Déroulement de la manipulation

- Réaliser le montage ci-dessus. Les distances entre les objets doivent être optimales afin que l'image formée soit nette et visible.
- L'ajout des gros glaçons ou pains de glace déclenche le phénomène.
- L'observer tout de suite car il s'estompe rapidement avec l'homogénéisation des masses thermiques

### Comment présenter la manipulation ? et comment l'utiliser ?

L'échauffement ou le refroidissement différentiel des masses d'eau dans un aquarium permet la genèse de phénomènes de convection. Les masses d'eau de différentes températures, et donc de différentes densités, ne sont pas visibles directement. Sachant que les différences de densités se traduisent par des différences d'indices de réfraction, l'éclairage de l'aquarium et la projection sur un écran de son ombre permet de visualiser les différentes masses d'eau. C'est le principe de l'ombroscopie que l'on va utiliser pour visualiser la modélisation des phénomènes de convection.



#### Variantes

Le chauffage par-dessous permet d'illustrer le phénomène de point chaud. Utilisation d'une mine de crayon dans laquelle un courant de 5V est envoyé pour générer un petit point chaud.

#### Limites

Dans le système Terre, les mouvements de convection sont complexes car la rhéologie est particulière, la viscosité des matériaux dépend de la température et de la pression, des changements de phase se produisent, de la fusion partielle se produit localement, etc. De plus, un chauffage interne est présent dans l'asthénosphère (radioactivité), ce qui est difficile à mettre en place ici.

## Rhéologie du manteau et réajustement isostatique

### Objectif et phénomène illustré

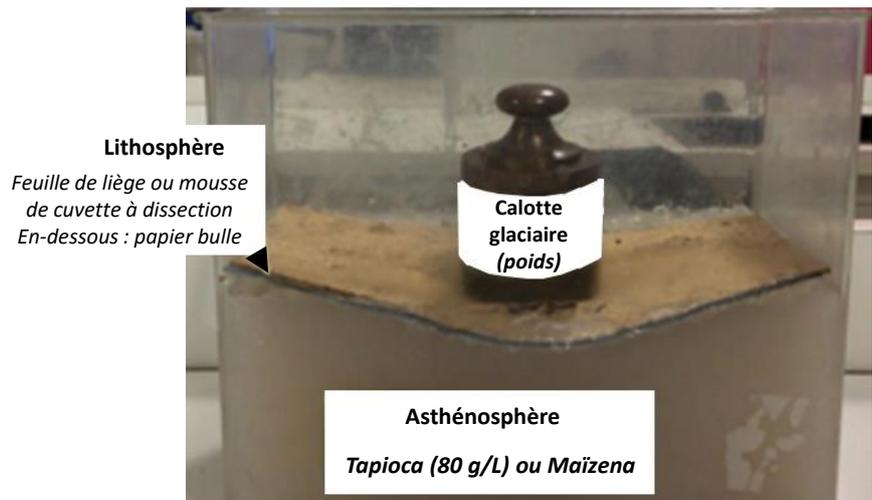
Illustrer les phénomènes d'isostasie et l'importance de la viscosité du manteau dans ce phénomène.

### Mise en œuvre

#### Matériel

- Tapioca ou Maïzena ou shampoing
- Tupperware (ou aquarium de petite taille)
- Feuille de liège ou mousse de cuvette à dissection ou tapis de sol de camping
- Papier bulle
- Poids de petite masse

#### Montage



#### Déroulement de la manipulation

- Placer la préparation de tapioca dans le bac puis déposer une couche de papier bulle au-dessus (protège le liège), ainsi qu'une couche de liège
- OU Placer le shampoing dans le bac puis déposer délicatement le tapis de sol sur le shampoing (il « flotte »)
- Déposer délicatement les petits poids sur le tapis, il s'enfonce progressivement (ne pas mettre trop de poids, le tapis ne doit pas « couler »)
- Retirer les poids, le tapis « remonte ».

### Comment présenter la manipulation ? et comment l'utiliser ?

1. Présenter le phénomène d'isostasie.
2. En temps normal, l'ajout ou la disparition de matière crustale est lente le réajustement isostatique se réalise quasiment à l'équilibre.
3. Si l'ajout ou la disparition de matière « crustale » est rapide par rapport au réajustement, le système est alors hors équilibre.
4. Présenter le modèle analogique ci-dessus.
5. Faire le lien avec le rebond isostatique post-glaciaire scandinave.
6. Faire le lien avec la viscosité du manteau.

### Limites

Les masses et la viscosité du fluide utilisé ici sont très différentes de la réalité. Elles sont ajustées de manière à permettre l'observation du phénomène dans des temps compatibles avec l'expérimentation.

## Champ magnétique

### Objectif et phénomène illustré

La manipulation proposée permet de visualiser le champ magnétique d'un aimant, ce qui peut être appliqué au champ magnétique terrestre.

### Mise en œuvre

#### Matériel

- Feuille transparente (transparent pour rétroprojecteur, ou pochette...)
- Limaille de fer
- Aimant rectangulaire polarisé Nord-Sud

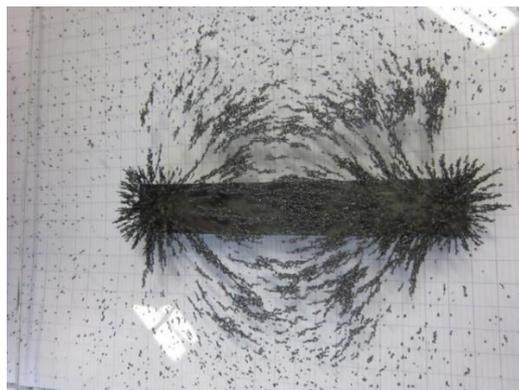
#### Montage



1. Placer l'aimant sur le rétroprojecteur allumé.
2. Placer le film transparent sur l'aimant (conseil : relever les bords du film avec des petites cales, afin qu'il soit bien plat et horizontal)
3. Saupoudrer la limaille de fer.

*Variante : on peut remplacer le rétroprojecteur par une feuille blanche, mais l'auditoire doit alors se lever pour voir la manipulation.*

#### Déroulement de la manipulation



### Comment présenter la manipulation ? et comment l'utiliser ?

L'aimant représente l'aimantation générée par le noyau. Le champ magnétique représente le champ magnétique terrestre.

#### Limites

- Observation en 2 dimensions
- Le sens n'est pas donné par la limaille de fer (Nord ? Sud ?)

## La déformation des roches

### Objectif et phénomène illustré

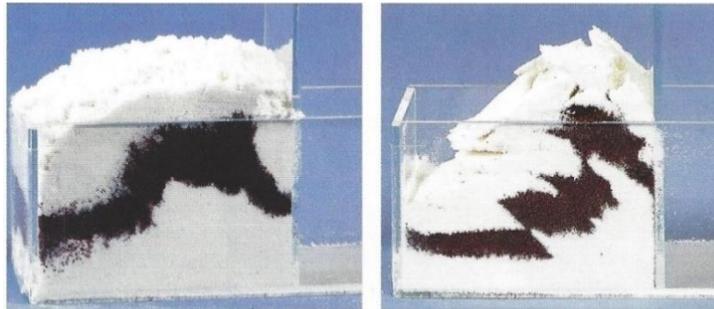
L'objectif est ici de présenter la différence de comportement rhéologique des roches face à une contrainte (extensive ou compressive).

### Mise en œuvre

#### Matériel

- Montage acheté chez un fournisseur (Equascience – Jeulin - Sordalab) ou lames de microscope + scotch
- Farine ou craie ou sable et argile très fins colorés à la craie
- Chocolat en poudre

#### Montage



Couches non tassées (= ductiles) Couches tassées (= cassantes)

#### Déroulement de la manipulation

- Placer une lame verticalement à une extrémité ;
- Saupoudrer alternativement de la farine et du chocolat en poudre pour former des strates (tasser chaque strate dans un mini-aquarium, ne pas tasser dans l'autre) ;
- Déplacer latéralement la lame verticale (pour simuler une compression ou une extension) et observer.

### Comment présenter la manipulation ? et comment l'utiliser ?

1. Constat : Sous l'action d'une contrainte, les roches peuvent avoir un comportement variable (cf. photos de terrain)
2. On modélise analogiquement ici le comportement de deux types de roches formant des couches : des roches « souples » et des roches « dures » soumises à une contrainte compressive. (Les contraintes sont représentées par les lames verticales tirées par l'opérateur.)
3. Les roches « souples » ont un comportement ductile et les roches « dures » ont un comportement cassant. Leur rhéologie (roches cassantes ou ductiles) est représentée par le fait de tasser ou non la farine.
4. Poursuivre l'explication en essayant de faire le lien entre « souple » / « dur » et les propriétés mécaniques des roches ou les conditions P, T dans lesquelles elles se trouvent.

### Limites

- Les réponses des roches liées à leur nature et aux structures héritées ne sont pas représentées.
- L'extension ne fonctionne pas très bien, la farine « cassant » de manière verticale pour accommoder le mouvement.
- On est ici à très petite échelle, avec des matériaux dont les propriétés mécaniques et les conditions P,T sont très éloignées de celles terrestres.

## La fusion partielle de la péridotite

### Objectif et phénomène illustré

Illustrer le phénomène de fusion partielle d'une roche (la péridotite) à partir d'un modèle analogique (mélange hétérogène de constituants à différents points de fusion) et ses conséquences.

### Mise en œuvre

#### Matériel

- Bain-marie à 80°C
- Modèle analogique de péridotite
- Tube à essai
- Thermomètre
- Chronomètre
- Spatule / Scalpel
- Lame/mortier
- Pince en bois
- Lunettes

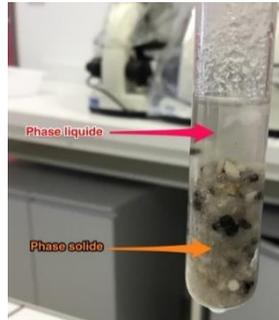
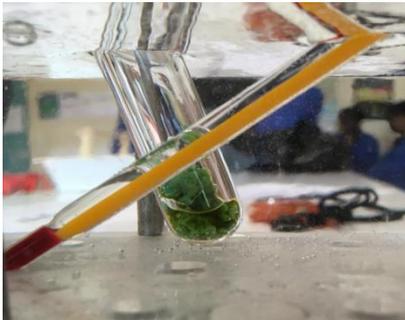


#### Roche analogique :

Mélange de sable grossier et fin / végétaline / Paraffine OU Sable / bougie noire / pâte à sucre verte

Fabrication de la « roche » : En mélangeant de la paraffine, du sable grossier et fin et de la végétaline au mortier pour obtenir un pàton.

#### Montage



- *Déroulement de la manipulation*
- Etape 1 : Faire fondre la roche dans un tube à essai au bain marie à 65 ° C pendant 5 à 10 min. Suivre en direct la fusion qui est assez rapide.
- Etape 2 : Prélever la phase liquide et la placer sur une lame. On observe un mélange de paraffine, de végétaline et de sable.
- Etape 3 : Laisser refroidir à température ambiante
- Etape 4 : Comparer les 2 « roches » obtenues avec la roche initiale

### Comment présenter la manipulation ? et comment l'utiliser ?

1. Constat : Les roches sont des solides hétérogènes : que se passe-t-il lors de leur fusion ?
2. On modélise analogiquement une péridotite avec différents constituants et on reproduit la fusion partielle par chauffage
3. Observation : Une phase liquide (magma) se retrouve au-dessus d'une phase solide (roche résiduelle).
4. Après refroidissement : on obtient 2 roches de composition différente de la roche source (péridotite).

### Limites

- La composition du liquide n'est pas connue ? Utilisation de couleur ?
- Le chauffage se fait par l'extérieur et non dans la masse, ce qui modifie beaucoup la dynamique de fusion et la composition
- Le mélange est moins complexe qu'une péridotite

## La texture des roches magmatiques

### Objectif et phénomène illustré

Proposer une illustration de l'influence de la vitesse de refroidissement sur la texture des roches magmatiques : texture microlitique ou grenue.

### Mise en œuvre

#### Matériel

- Bec bunsen ou chauffage électrique
- Vanilline
- Lames de verre
- Lamelles
- Pinces en bois
- Scalpel
- Boîtes de Pétri remplies de glace
- Microscopes

#### Montage



#### Déroulement de la manipulation

- Déposer sur une lame de verre quelques cristaux de vanilline à l'aide d'une pointe de scalpel
- A l'aide d'une pince en bois, faire délicatement chauffer la lame. En quelques secondes, les cristaux fondent.
- Retirer immédiatement la lame de la source de chaleur, puis la recouvrir d'une lamelle.
- Exercer une pression sur la lamelle afin que la couche de vanilline liquide soit la plus fine possible.
  - ⇒ Pour un refroidissement rapide, la lame sera immédiatement placée dans la boîte de Pétri.
  - ⇒ Pour un refroidissement lent, la lame sera placée à température ambiante. La cristallisation prendra 3 à 5 min pour apparaître.
- La lame est ensuite placée sur la platine du microscope (objectif x4). On peut suivre la cristallisation en direct.

### Comment présenter la manipulation ? et comment l'utiliser ?



Lors d'un refroidissement rapide, les cristaux sont extrêmement petits et même parfois difficiles à distinguer au microscope.

= ROCHES MAGMATIQUES VOLCANIQUES  
(texture microlitique)



Lors d'un refroidissement lent, les cristaux sont beaucoup plus gros.

= ROCHES MAGMATIQUES PLUTONIQUES  
(texture grenue)

### Limites

Température de fusion, nature de la vanilline (homogène, molécule organique) comparée à celle d'un magma (mélange hétérogène, mélange ionique)

## Les dynamismes éruptifs

### Objectif et phénomène illustré

Illustrer le lien entre viscosité du magma et type de dynamisme éruptif : effusif / explosif.

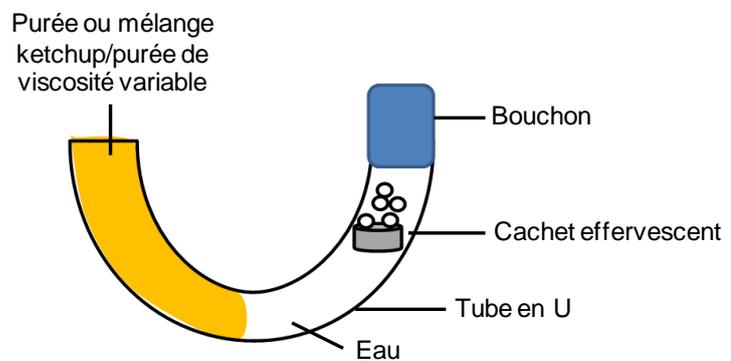
### Mise en œuvre

#### Matériel

- Tube en U ouvert aux 2 extrémités
- Cachet effervescence / vinaigre + bicarbonate
- Flocons de purée (ketchup)
- Eau
- Colorant rouge

#### Montage

- Préparer une purée ou un mélange ketchup-purée avec 2 viscosités différentes.



#### Déroulement de la manipulation

- Etape 1 : Mettre la purée dans le tube en U (sans tasser)
- Etape 2 : Mettre un peu d'eau et un cachet effervescent de l'autre côté
- Etape 3 : Mettre le bouchon et garder le doigt dessus.

Variante : Mélanger directement la purée au bicarbonate et ajouter du vinaigre (reproduit mieux le mélange gaz-magma)

### Comment présenter la manipulation ? et comment l'utiliser ?

1. Constat : La viscosité d'un magma est un paramètre variable qui dépend en partie de sa richesse en  $\text{SiO}_2$  et de sa température.
2. A l'aide d'une modélisation analogique, on teste son influence sur la dynamique éruptive.
3. Observations :
  - Avec un « magma » fluide, il s'écoule le long du tube : c'est une dynamique effusive
  - Avec un « magma » plus visqueux, il se forme un dôme/aiguille : c'est une dynamique « explosive »

### Limites

- La température, la richesse en gaz, ... ne sont pas prises en compte.
- La poussée n'est générée que par le dessous et non au sein même de la matière.
- Seulement deux dynamiques sont modélisées or la réalité montre une bien plus grande diversité de types éruptifs.
- Les matériaux rejetés (scories, bombes...) ne sont pas représentés