



# Thème I

## Caractéristiques des planètes rocheuses

Le  
Champ  
Magnétique

Etude du  
mode de  
refroidissement  
des planètes  
rocheuses

De  
quelle  
taille est  
notre système  
solaire ?

Mesure du  
flux de  
chaleur

Mouvements  
de convection  
du manteau



# Etude du mode de refroidissement des planètes rocheuses

## 1. Introduction & Problème

La chaleur interne d'une planète rocheuse provient d'abord de l'énergie accumulée pendant la phase d'accrétion, puis de la formation du noyau de fer et enfin de la radioactivité de l'uranium, du thorium et du potassium présents dans le manteau.

Lorsque toute l'énergie de la phase de formation a été convertie en chaleur, la planète commence à se refroidir. Comment la chaleur issue de la phase de formation d'une planète rocheuse peut-elle se dissiper ?

## 2. Age des étudiants 15 -17 ans

## 3. Objectif

Montrez comment la planète peut se refroidir en dissipant sa chaleur interne jusqu'en surface et à travers celle-ci.

Modélisation expérimentale et exploitation mathématique des résultats.

## 4. Disciplines principales

Mathématiques – Physique – Sciences de la Terre.

## 5. Disciplines complémentaires

Géographie – Informatique

## 6. Temps requis\_2h

## 7. Mots-clés

Gradient Géothermique – Flux de chaleur – Dissipation thermique.

## 8. Connaissances requises

Using the Excel spreadsheet – Python

## 9. Matériel

- Boule de pétanque
- Casserole d'eau bouillante
- Ballon en mousse
- 4 capteurs de température
- Ordinateur avec Logiciel Arduino
- Excell

## 10. Protocole

### - **Modélisation du flux de chaleur :**

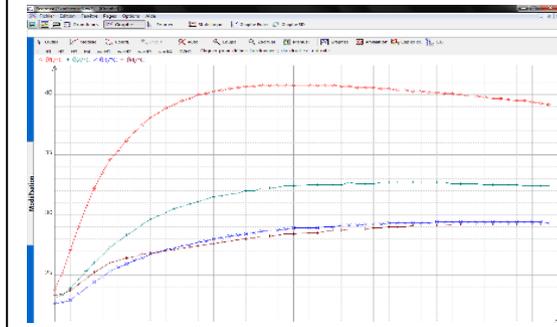
L'une des missions d'Insight est de déterminer la quantité de chaleur qui continue de s'échapper de la surface (flux thermique) de la planète Mars.

- Placez 4 sondes de température dans le ballon en mousse et assurez-vous de les disposer à des profondeurs différentes c'est-à-dire : 1 cm, 2 cm, 3 cm and 4 cm.
- Plongez la boule de pétanque dans l'eau bouillante puis la placez à l'intérieur du ballon en mousse.
- Fermez hermétiquement le ballon en mousse (pour limiter les pertes de chaleur).
- Notez les températures affichées à l'écran toutes les minutes pendant une heure.

#### Modélisation:



#### Profil de changement de température en fonction de la profondeur à partir d'un Tableur Grapheur :



### - **Exploitation des données mesurées du flux de chaleur**

Nous nous proposons de chercher une relation pouvant éventuellement exister :

- entre les instants  $t$  et les températures relevées  $T$  dans une première étude
- entre les instants  $t$  et les différences de températures entre deux sondes dans un seconde étude

Lorsque la relation recherchée est affine, c'est-à-dire  $T = a + bt$ , on parle de **régression linéaire**.

Mais même si une telle relation est effectivement présente, les données mesurées ne vérifient pas en général cette relation exactement.

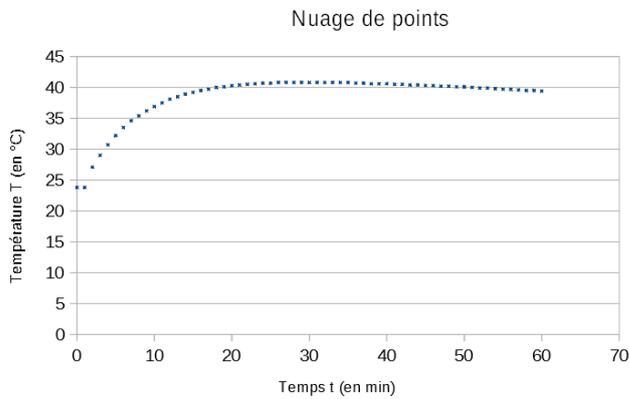
#### **Première Etude: Utilisation d'un tableur pour déterminer une relation entre les instants $t$ et les températures relevées $T$**

Nous allons travailler avec les données de la sonde pour une profondeur donnée.

Dans cet exemple la sonde est à une profondeur de 5 cm.

- 1) **Ouvrir** le fichier **Insight\_Mars\_Hp3.ods** ou **Insight\_Mars\_Hp3.xlsx** contenant les données mesurées.

2) Recopier les données **temps t** et les **températures T** correspondantes dans une feuille de calcul. Et les représenter à l'aide d'un nuage de points.

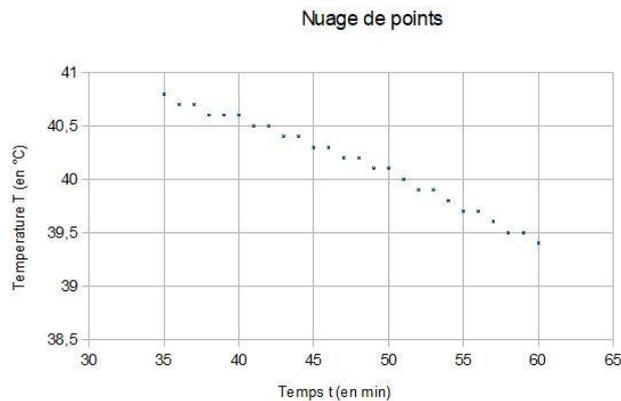


|    | A      | B         | C |
|----|--------|-----------|---|
| 1  | temps  | Prof 5 cm |   |
| 2  | En min | en °C     |   |
| 3  |        |           |   |
| 4  | 0      | 23,8      |   |
| 5  | 1      | 23,8      |   |
| 6  | 2      | 27,1      |   |
| 7  | 3      | 29        |   |
| 8  | 4      | 30,7      |   |
| 9  | 5      | 32,2      |   |
| 10 | 6      | 33,5      |   |
| 11 | 7      | 34,6      |   |
| 12 | 8      | 35,4      |   |
| 13 | 9      | 36,2      |   |
| 14 | 10     | 36,9      |   |
| 15 | 11     | 37,5      |   |
| 16 | 12     | 38,1      |   |
| 17 | 13     | 38,5      |   |
| 18 | 14     | 38,9      |   |
| 19 | 15     | 39,2      |   |
| 20 | 16     | 39,5      |   |
| 21 | 17     | 39,7      |   |
| 22 | 18     | 40        |   |
| 23 | 19     | 40,1      |   |
| 24 | 20     | 40,3      |   |
| 25 | 21     | 40,4      |   |
| 26 | 22     | 40,5      |   |

**La 2<sup>ème</sup> partie de la courbe où on observe un refroidissement (comme c'est le cas sur Terre et Mars) semble avoir une allure de droite. Nous nous bornerons alors à déterminer l'existence d'une telle droite.**

3) Dans cet exemple, l'étude commencera à partir de l'instant  $t=35'$ .

Représenter les données  $\{(t_i, T_i), i = 35, \dots, 60\}$  à l'aide de l'outil Diagramme du tableur.



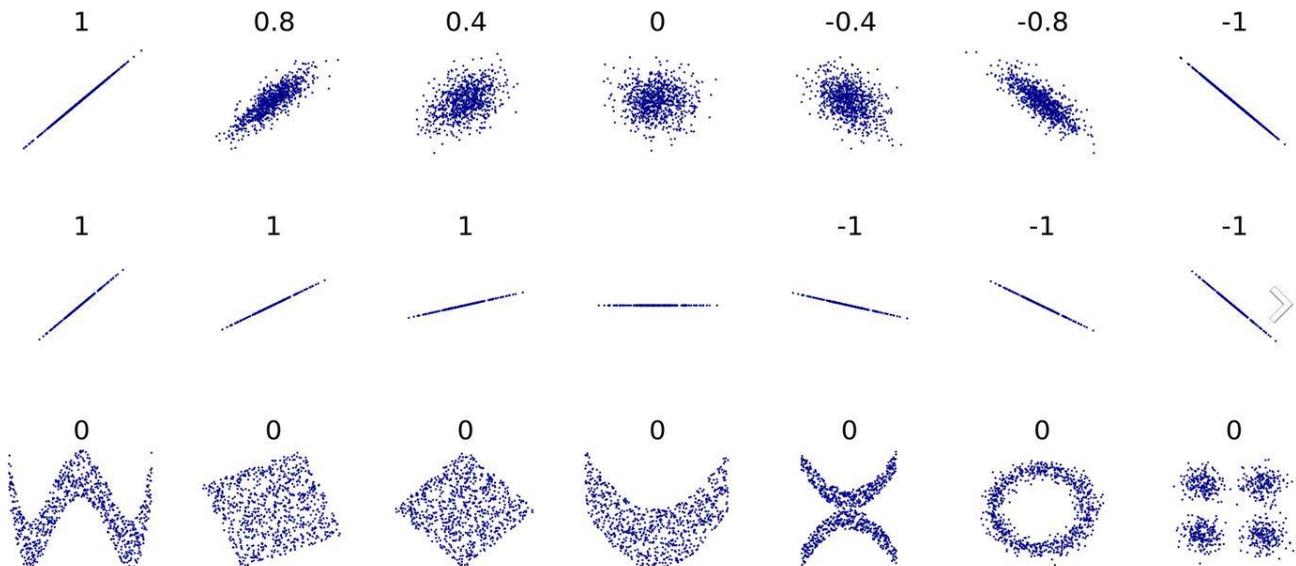
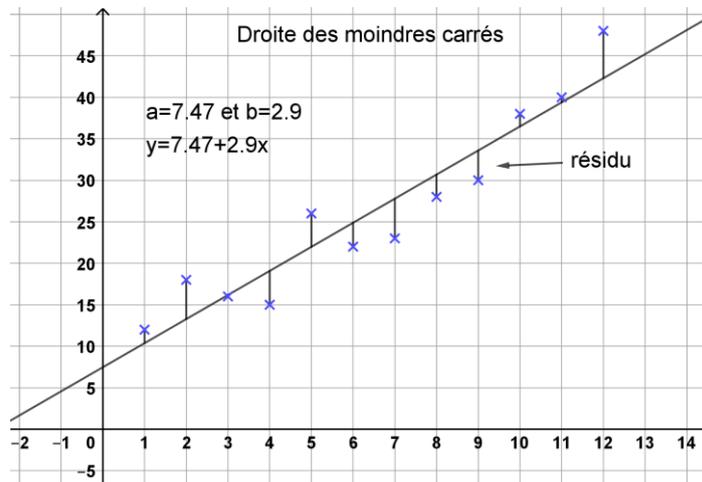
Rechercher une relation affine entre les variables **t** et **T** revient à rechercher une droite qui s'ajuste le mieux possible à ce nuage de points.

La méthode des moindres carrés propose d'ajuster le nuage de points par une droite d'équation  $y=a+bt$  avec  $a$  et  $b$  qui rendent minimale la somme des carrés :

$$\sum_{i=1}^n (y_i - (a + bt_i))^2.$$

Cette droite, que l'on suppose unique, est appelée **droite des moindres carrés**.

L'idée de cette méthode est de déterminer une droite qui minimise une mesure totale des écarts entre les points du nuage et les points de mêmes abscisses se trouvant sur la droite. Ainsi, plus cette mesure est petite, plus la droite sera proche de tous les points du nuage, et meilleur est l'ajustement.



Source : [https://en.wikipedia.org/wiki/Pearson\\_product-moment\\_correlation\\_coefficient](https://en.wikipedia.org/wiki/Pearson_product-moment_correlation_coefficient)

**L'étude de la minimisation de cet écart n'est pas l'objet de cette activité.**

On appelle coefficient de corrélation linéaire, le réel  $r$  défini par :  $r = \frac{\sigma_{t,y}}{\sigma_t \sigma_y}$

avec  $\sigma_{t,y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y})$  ,  $\sigma_t = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2\right)}$

$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right)}$

$\bar{t}$  et  $\bar{y}$  représentent les moyennes des  $t_i$  et des  $y_i$  ,  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$  et  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$

Ce coefficient va nous permettre de savoir si l'ajustement est pertinent ou non et donner des informations sur le nuage de points suivant la valeur de  $r$  :

On utilisera les critères numériques suivants en utilisant  $r^2$  :

- si  $0,75 \leq r^2 \leq 1$  alors il existe une bonne corrélation linéaire entre Y et t
- si  $0,25 \leq r^2 \leq 0,75$  alors il existe une faible corrélation linéaire entre Y et t
- si  $0 \leq r^2 \leq 0,25$  alors il existe une mauvaise corrélation linéaire entre Y et t

4) Calculer le coefficient  $r$  avec les données de la température à la profondeur de 5cm.

**(Attention les coordonnées Y correspondent aux températures valeurs T)**

Nous allons voir si une telle ligne droite existe pendant le processus de refroidissement, qui dans notre cas a duré entre 35 et 60 minutes.

Remplissez la feuille de calcul afin de déterminer la valeur de  $r$  et  $r^2$  :

|   | C   | D | E             | F             | G                 | H                 | I                            | J              | K           | L           | M                              | N               |
|---|---|---|---------------|---------------|-------------------|-------------------|------------------------------|----------------|-------------|-------------|--------------------------------|-----------------|
| 1 |   |   | $t - \bar{t}$ | $T - \bar{T}$ | $(t - \bar{t})^2$ | $(T - \bar{T})^2$ | $(t - \bar{t})(T - \bar{T})$ | $\sigma(t, T)$ | $\sigma(t)$ | $\sigma(T)$ | Coefficient de corrélation $r$ | Valeur de $r^2$ |
| 2 | Calcul de la moyenne $\bar{t}$ des temps t        |   |               |               |                   |                   |                              |                |             |             |                                |                 |
| 3 |   |   |               |               |                   |                   |                              |                |             |             |                                |                 |
| 4 |   |   |               |               |                   |                   |                              |                |             |             |                                |                 |
| 5 | Calcul de la moyenne $\bar{T}$ des températures T |   |               |               |                   |                   |                              |                |             |             |                                |                 |
| 6 |   |   |               |               |                   |                   |                              |                |             |             |                                |                 |

5) Si l'ajustement est pertinent, la droite de régression linéaire  $y = a + bt$  peut être obtenue en calculant les nombres  $a$  et  $b$  en utilisant les formules suivantes :

$$b = \frac{\sigma_{t,y}}{\sigma_t^2} \quad \text{et} \quad a = \bar{y} - b\bar{t}$$

Calculer alors les nombres  $a$  et  $b$  et donner l'équation de la droite de régression linéaire ajustant ce nuage de point.

L'existence de cette relation entre les instants  $t$  et la température  $T$  relevée à chaque instant traduit l'existence d'une conductivité thermique propre à un milieu, ici la mousse du ballon.

### **Prolongement :**

Mise en commun des résultats trouvés par chaque groupe responsable de l'étude sur une profondeur. Nous mettrons ainsi en évidence une relation entre les temps et l'échange de chaleur entre deux sondes.

## **Deuxième Etude: Utilisation de Python pour déterminer une relation entre les instants $t$ et les températures relevées $T$**

Nous allons travailler avec les données de la sonde à la profondeur de 5cm.

Nous nous proposons de chercher une relation pouvant éventuellement exister entre les instants  $t$  et les températures relevées  $T$  avec le logiciel Python et on se bornera à l'étude d'un ajustement linéaire.

1) **Lancer** le logiciel **Pyzo** et **copier** les deux fichiers **Temps.csv** et **Temperature.csv** dans le répertoire où sont sauvegardés les programmes de python édités.

2) Le code suivant permet de transformer les fichiers csv en liste sous Python:

```
1 import csv
2
3     # Les fichiers csv doivent être stockés dans le même repertoire que les fichiers python sauvegardés
4
5     # Code pour convertir le fichier Temps.csv en fichier utilisable par Python à fournir aux élèves
6
7 with open("Temps.csv") as f:
8     Temps = list(csv.reader(f))
9 var_list = []
10 list_tot = []
11 for i in range(0,len(Temps)):
12     var_list = Temps[i]
13     var_list = list(map(int,var_list))
14     list_tot = list_tot + var_list
15 Temps = list_tot
16
17     # Code pour convertir le fichier Temperature.csv en fichier utilisable par Python à fournir aux élèves
18
19 with open("Temperature.csv") as f:
20     Temperature = list(csv.reader(f))
21 var_list = []
22 list_tot = []
23 for i in range(0,len(Temperature)):
24     var_list = Temperature[i]
25     var_list = list(map(float, var_list))
26     list_tot = list_tot + var_list
27 Temperature = list_tot
28
29 from math import sqrt
30
```

Les données sur les temps sont stockées dans la liste « **Temps** ».

Les données sur les températures relevées sont stockées dans la liste « **Temperature.** »

On souhaite écrire un programme donnant le coefficient de corrélation  $r$  sur la plage de temps de 0 min à  $n$  min, les coefficients  $a$  et  $b$  de la droite de régression recherchée si l'ajustement est pertinent ( $n$  correspondra à l'instant à partir duquel on atteindra un régime stationnaire).

Pour ce faire, il va falloir déterminer tous les éléments nécessaires à ces calculs.

***(Les formules de calculs sont rappelées en dernière page)***

Après avoir recopié le code précédent dans le programme, poursuivez ainsi :

```
def equation_moindre_carre(n):
```

### 3) a) Compléter ce programme afin d'obtenir le calcul de la moyenne

- des temps  $\bar{t}$  noté moyenne\_t
- des températures  $\bar{T}$  noté moyenne T

b) Compléter ce programme afin d'obtenir une liste donnant les valeurs  $t_i - \bar{t}$  noté ecart t

c) Compléter ce programme afin d'obtenir une liste donnant les valeurs  $T_i - \bar{T}$  noté ecart T

d) Compléter ce programme afin d'obtenir une liste donnant les valeurs  $(t_i - \bar{t})^2$  noté carre\_ecart t

e) Compléter ce programme afin d'obtenir une liste donnant les valeurs  $(T_i - \bar{T})^2$  noté carre\_ecart T

f) Compléter ce programme afin de calculer  $\sigma_{t,T}$  noté Sigma\_t T

g) Compléter ce programme afin de calculer  $\sigma_t$  noté Sigma t

h) Compléter ce programme afin de calculer  $\sigma_T$  noté Sigma T

i) Compléter ce programme afin de calculer la valeur de r lorsque n=41.

L'ajustement linéaire est-il pertinent?

### 4) Détermination de l'équation de la droite des moindres carrés.

- Compléter ce programme afin de calculer la valeur de  $a$ .
- Compléter ce programme afin de calculer la valeur de  $b$ .
- Compléter votre programme pour qu'il affiche l'équation de cette droite.

### Formulaire :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad \sigma_t = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2\right)} \quad \sigma_y = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right)}$$

$$\sigma_{t,y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y}) \quad r = \frac{\sigma_{t,y}}{\sigma_t \sigma_y}$$

L'équation de la droite de régression linéaire est :  $y = a + bt$  avec :  $b = \frac{\sigma_{t,y}}{\sigma_t^2}$  et  $a = \bar{y} - b\bar{t}$

On utilisera les critères numériques suivants en utilisant  $r^2$  :

- si  $0,75 \leq r^2 \leq 1$  alors il existe une bonne corrélation linéaire entre Y et t
- si  $0,25 \leq r^2 \leq 0,75$  alors il existe une faible corrélation linéaire entre Y et t
- si  $0 \leq r^2 \leq 0,25$  alors il existe une mauvaise corrélation linéaire entre Y et t

---

## 11. Echange autour des résultats et conclusion

Nous venons de montrer que les planètes rocheuses dissipent leur chaleur interne jusqu'à et à travers la surface, ce qui conduit à leur refroidissement.

Les scientifiques ont proposé des modèles montrant comment la chaleur interne de la Terre peut être dissipée par convection, conduction thermique, volcanisme, tectonique des plaques, etc. Sur Mars, la dissipation de la chaleur est due en grande partie à un volcanisme important et probablement plus progressivement par "convection".

Nous explorerons ces processus dans les activités suivantes (2, 3 et 4).

## Mesure du flux de chaleur

**1. Problème** Quel est le mécanisme à l'origine de la dissipation de la chaleur interne de Mars et de la Terre ?

**Hypothèse :** On suppose que pour une planète solide et rigide, le transfert de chaleur vers la surface s'effectue par conduction thermique.

**2. Age des étudiants** 15 -17 ans

### 3. Objectif

Comprendre le phénomène de conduction thermique.

### 4. Disciplines principales

Mathematics – Physics – Earth Sciences.

### 5. Disciplines complémentaires

Informatique (Arduino)

### 6. Temps requis \_2h

### 7. Mots-clés

Gradient Géothermique – Flux de chaleur – Dissipation de chaleur – Conductivité.

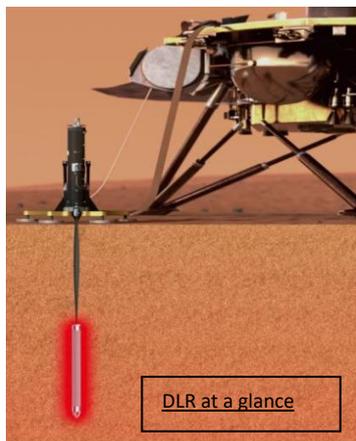
### 8. Connaissances requises

Sur Terre, le gradient de température est obtenu en mesurant directement la température à différentes profondeurs dans des forages ou des puits de mine. C'est ce que fera la mission InSight sur Mars avec l'instrument HP3.

Une fois ce gradient connu et la conductivité thermique des roches sous-jacentes déterminée, les scientifiques peuvent déduire le flux de chaleur en un point de la surface.

Pour déterminer la conductivité thermique des roches, on les échantillonne dans des puits et on les mesure en laboratoire.

#### Mesure réalisée par HP3:



Tous les 50 centimètres, la sonde émet une impulsion de chaleur et ses capteurs surveillent l'évolution de l'impulsion thermique dans le temps. Si le matériau de la croûte est un bon conducteur de chaleur, comme le métal, l'impulsion se désintègrera rapidement. Si c'est un mauvais conducteur, comme le verre, le puits va décroître lentement. Cela indique aux scientifiques à quelle vitesse la température augmente avec la profondeur et

La vague de chaleur émanant de la gaine chauffante de la taupe va se propager dans le sol martien, les scientifiques pourront déterminer ainsi la conductivité thermique du régolite. Les mesures devraient pouvoir s'effectuer avec une bonne précision, et cela même si la conductivité du sol s'avère très faible. L'atténuation quotidienne de la vague de température diurne fournira à HP3 une autre façon de caractériser la conductivité thermique du sol.

## 9. Matériel

| <b><u>Modélisation de la conductivité thermique dans une roche :</u></b>   | <b><u>Modélisation à l'aide de capteurs de température similaire à HP3:</u></b>  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Echantillon de roche de Basalte</li> <li>- Morceau de paraffine</li> <li>- Chauffe-plat.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 barres de Roche différentes (basalte - granite)</li> <li>- Tea heater candle</li> <li>- T° Sensors</li> <li>- Arduino and PC</li> </ul> |

## 10. Protocole

### **Modélisation de la conductivité thermique d'une roche :**



- Fixer une roche sur la potence (basalte, granite ...)
- 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
- Allumer la bougie et ajuster la hauteur pour que l'extrémité libre de la roche soit sous la flamme.
- Observer.

### **Résultat :**

La pastille située juste au-dessus de la bougie fond en premier puis les autres pastilles fondent successivement.

### **Modélisation de la conductivité d'une roche avec des capteurs semblables**

#### **l'instrument HP3:**

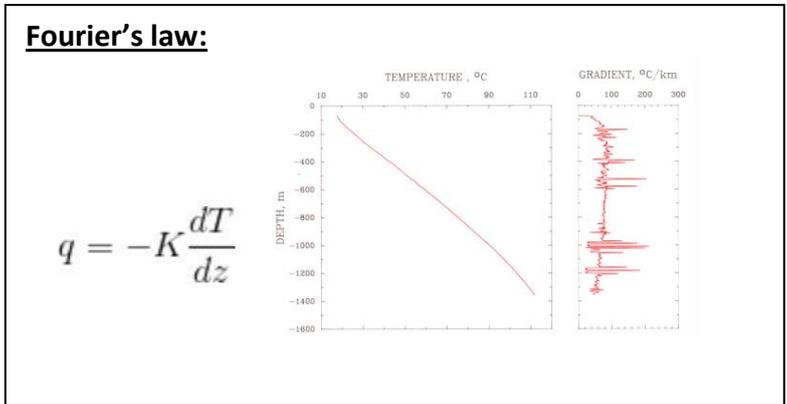
Cette modélisation permet une observation plus fine du transfert de chaleur de proche en proche dans une roche (basalte, granite).



Sur l'écran, on peut suivre l'augmentation de la température pour chaque capteur et voir ainsi se propager la chaleur de proche en proche au sein de la roche sans déplacement de matière.

Les roches, à la différence des métaux, sont de mauvais conducteurs thermiques (ou des isolants relativement efficaces), elles freinent donc les transferts d'énergie interne et permettent ainsi une forme de stockage de chaleur à l'intérieur du globe. La Terre, à la différence de la planète Mars, perd sa chaleur très lentement.

| Type of material | Thermal conductivity (W/m/K) |
|------------------|------------------------------|
| Basalt           | 2.5                          |
| Granite          | 2.7                          |
| Peridotite       | 4.2 to 5.8                   |
| Limestone        | 1.7 to 3.3                   |
| Silver           | 420                          |
| Water            | 6                            |



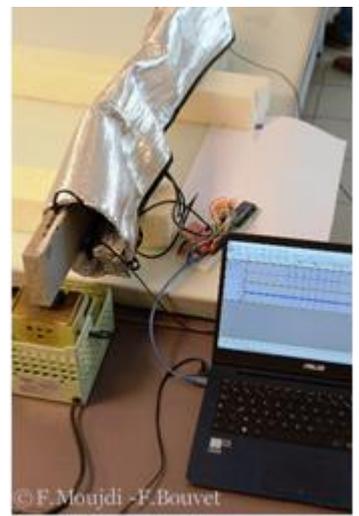
Nous connaissons la conductivité des roches étudiées en laboratoire. Une fois le gradient thermique mesuré sur Mars connu, les géophysiciens pourront en déduire le flux thermique, c'est-à-dire la quantité d'énergie (thermique) qui traverse une unité de surface par unité de temps (unité = J/s/m<sup>2</sup> ou W/m<sup>2</sup>). La loi de Fourier explique que le flux de chaleur est l'opposé du produit de la conductivité thermique des roches par le gradient de température.

**Modélisation avec des capteurs de température et 2 cellules piézoélectriques :**

Plaque chauffante

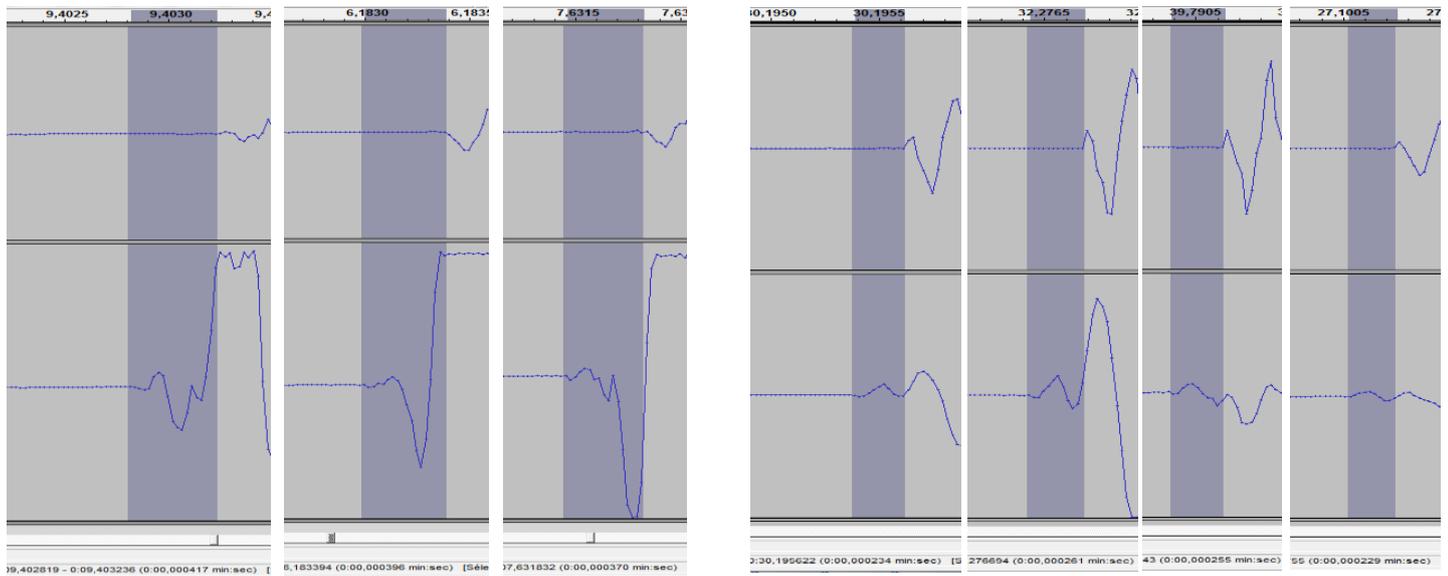


2 cellules Piezoélectriques



**Température au sein de la roche : 18,5°C**

**T1= 63,13 °C, T2 = 22.81°C, et T3=20,38°C**



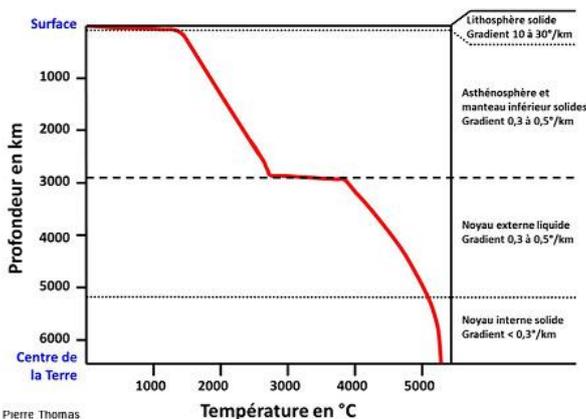
La vitesse de propagation des ondes sismiques peut être calculée dans ces deux montages. L'influence de la température sur la propagation des ondes et les caractéristiques de la roche traversée pourront être déterminées.

**11. Echange autour des résultats et conclusion**

Sur Terre, la chaleur interne est évacuée par conduction près de la surface. Mais en profondeur, un autre processus connu sous le nom de convection explique le transfert de chaleur.

À l'aide de données sismologiques, combinées aux contributions d'études en laboratoire sur les caractéristiques physiques des minéraux terrestres soumis à des pressions élevées et à des températures élevées (études des cellules de l'enclume de diamant), les scientifiques ont modélisé l'évolution de la température par rapport à la profondeur.

**Evolution de la température interne de la Terre en fonction de la profondeurs :**



Droits réservés - © 2014 Pierre Thomas

C'est ce que les scientifiques de la mission InSight tentent de faire.

## 12. Pour aller plus loin

Noter les données de température de l'instrument HP3, puis les comparer aux données terrestres pour déterminer le type de roche constituant les profondeurs de Mars.

## 13. Pour en savoir plus (Ressources pour les enseignants)

- [https://www.seis-insight.eu/fr/?option=com\\_content&view=article&id=175:les-autres-instruments&catid=54:la-mission-insight&lang=fr-FR](https://www.seis-insight.eu/fr/?option=com_content&view=article&id=175:les-autres-instruments&catid=54:la-mission-insight&lang=fr-FR)

- <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/chaleur-Terre-geothermie.xml>

- La planète rouge: "*Histoire d'un autre monde*" Belin – François Forget, François Costard, Philippe Lognonné

# Le Champ Magnétique

**1. Problème** Quel est le mécanisme à l'origine de la rapide dissipation de la chaleur interne de Mars par rapport à la Terre ?

**Hypothèse :** la disparition du champ magnétique de Mars pourrait expliquer sa perte de chaleur beaucoup plus rapide que celle de la planète Terre.

**2. Age des étudiants** 15 -17 ans

## 3. Objectif

Montrer comment un champ électrique peut créer un champ magnétique et l'alimenter. et Montrer le rôle du champ magnétique d'une planète rocheuse (bouclier terrestre).

## 4. Disciplines principales

Mathématiques – Physique – Sciences de la Terre.

## 5. Disciplines complémentaires

Informatique : traitement d'images satellites avec le logiciel gratuit QGis

**6. Temps requis** 2h

## 7. Mots-clés

Champ Magnétique – Champ électrique.

## 8. Connaissances requises

Le champ magnétique d'une planète tellurique est créé par les mouvements de son noyau de fer, qui est à la fois fluide et un bon conducteur d'électricité. Les scientifiques émettent l'hypothèse que la convection à l'intérieur du noyau liquide génère un courant électrique qui, à son tour, produit un champ magnétique : c'est ce qu'on appelle l'effet "dynamo".

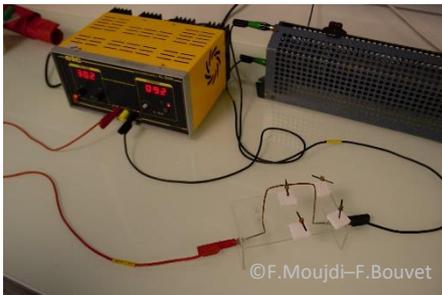
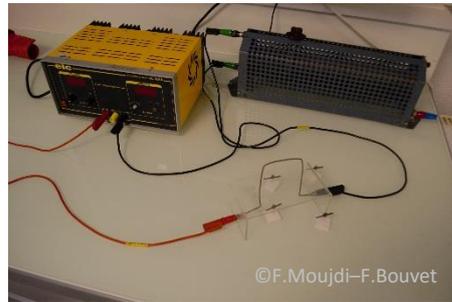
## 9. Matériel

| <b>Modélisation du champ magnétique :</b>   | <b>Modélisation du champ magnétique rémanent :</b>  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- A power supply</li><li>- Copper wire</li><li>- A piece of plexiglass (about 10 cm × 10 cm)</li><li>- 4 small compasses</li><li>- Iron filings</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Basalt sample</li><li>- Compass</li><li>- 1 small compass</li></ul> |

## 10. Protocole

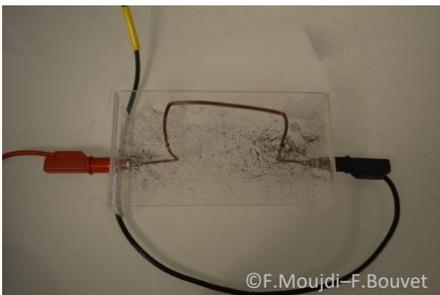
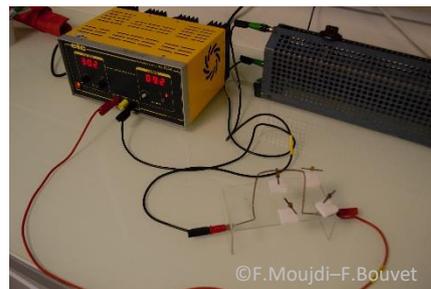
### Modélisation du champ magnétique :

Pas de courant électrique ; les aiguilles de la boussole sont alignées avec le champ magnétique terrestre.



Le courant électrique crée un champ magnétique autour du fil.

Lorsque le sens du courant est inversé, le champ magnétique change de direction.



Lorsque l'opération est répétée avec les limailles de fer, elles forment un motif de cercles concentriques autour du fil.

Sur Mars, juste après la phase d'accrétion (il y a 4,45 milliards d'années), la planète avait un noyau liquide suffisamment chaud pour que les mouvements de convection produisent un champ magnétique comme sur Terre.

Mars Global Surveyor a ainsi détecté les vestiges d'un ancien champ magnétique. En effet Mars comme la Terre possède une croûte aimantée produisant de fortes anomalies magnétiques.

| <b>Terre</b>  | <b>Mars</b>   |
|---|---|
| <p>L'intensité du champ magnétique varie entre 20 <math>\mu</math>T au niveau de l'équateur magnétique à 70 <math>\mu</math>T aux pôles magnétiques (Langlais et al. [2010]).</p> <p>Ce champ magnétique est présent depuis 4.5 Ma. Il est variable dans le temps et l'on sait qu'il a subi des inversions de polarité.</p> <div data-bbox="145 689 724 900" data-label="Image"> </div> <p>Sur Terre, des laves aimantées dans un sens opposé à celui du champ magnétique actuel ont été découvertes, indiquant que le champ magnétique terrestre a déjà subi plusieurs inversions de polarité dans le passé.</p> | <p>La sonde spatiale MGS a repéré des traces d'aimantations rémanentes à la surface et jusqu'à 400 km au-dessus, un champ équatorial de surface allant de 20 à 65 nT (Langlais et al. [2010]) et a permis de produire la première carte complète du champ magnétique crustal global de Mars.</p> <div data-bbox="815 600 1401 860" data-label="Figure"> </div> <p>FIGURE 1.11 – Composante radiale du champ magnétique crustal de Mars (Langlais et al. [2004]).</p> <p>Ces traces d'aimantations témoignent de la présence d'un champ magnétique. De plus, l'orientation de ces aimantations montrent que le champ magnétique a perduré suffisamment longtemps pour avoir subi une inversion des pôles magnétiques.</p> <p>Les régions les plus magnétisées se concentrent dans les anciens hauts plateaux du Sud, ce qui indique que le champ magnétique était présent pendant les premiers 500 millions d'années environ (Stevenson [2001]).</p> |

## 11. Echange autour des résultats et conclusion

Ces résultats nous permettent de comprendre la genèse du champ magnétique d'une planète tellurique. Les scientifiques supposent que les mouvements de convection à l'intérieur du noyau liquide (la chaleur du noyau de fer monte jusqu'à la limite avec le manteau, se refroidit au contact, retombe dans le noyau et se réchauffe, etc.) génèrent un courant électrique qui produit à son tour un champ magnétique : c'est l'effet dynamo.

Des micro-champs magnétiques accidentellement créés dans l'environnement produisent le courant électrique qui, à son tour, produit un champ magnétique global.

L'absence de champ magnétique entretenue par une dynamo interne qui ne fonctionne plus depuis longtemps et l'absence d'une atmosphère épaisse, ont fait de notre voisine un monde froid et aride dont la surface est soumise au bombardement délétère des rayons cosmiques.

## 12. Pour aller plus loin

La mission InSight a embarqué à bord un magnétomètre InSight Fluxgate (IFG), qui sera le premier magnétomètre à enregistrer des données magnétiques directement depuis la surface de Mars. Il est sensible à 0,1 nano-Tesla. Une fois les données reçues, nous pouvons observer les vestiges d'un ancien champ magnétique sur Mars et les comparer aux données d'autres missions.

## 13. Pour en savoir plus (Ressources pour les enseignants)

- *“Terre à cœur ouvert” Pour la Science* No. 67 April – June 2010
- Mars *“Histoire d'un autre monde”* Belin – François Forget, François Costard, Philippe Lognonné

# Mouvement de convection du manteau

1. **Problème** Quel est le mécanisme à l'origine de la dissipation de la chaleur interne de Mars et de la Terre ?

**Hypothèse :** On suppose que le transport et l'évacuation de la chaleur s'effectuent par des mouvements de convection.

1. **Age des étudiants** \_14 -17 Ans

2. **Objectif**

Expliquer les différents modes de convection qui seraient à l'origine de la dissipation de la chaleur d'une planète rocheuse.

3. **Disciplines principales**

Mathématiques – Physique – Sciences de la Terre.

4. **Disciplines complémentaires**

Informatique : utilisation de code Arduino

5. **Temps requis** \_2h

6. **Mots clés**

Convection

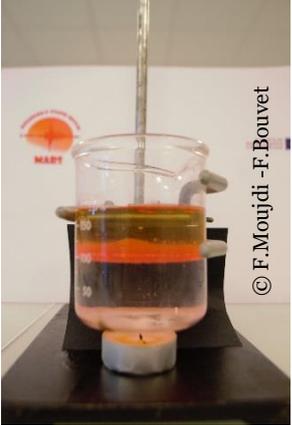
7. **Connaissances requises**

Si un corps est refroidi par le bas et chauffé par le haut, les zones denses seront en bas et les zones moins denses en haut. Il s'agit d'une situation stable qui ne générera aucun mouvement. Si, par contre, un corps est chauffé par le bas et refroidi par le haut, les zones denses seront en haut et les zones moins denses en bas. Le matériau froid en haut aura tendance à couler et le matériau chaud et légèrement moins dense en bas aura tendance à s'élever. Ce processus est connu sous le nom de convection thermique.

8. **Matériel**

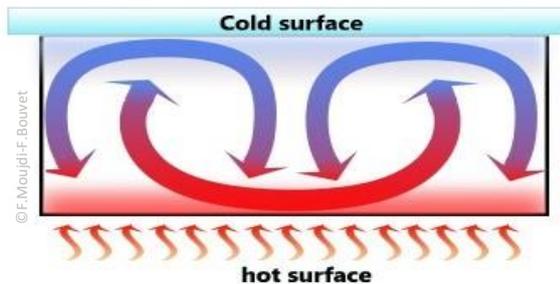
| Modélisation d'une couche de convection            | Modélisation de deux couches de convection |
|--|--|
| - Bécher<br>- Huile<br>- Craie<br>- Agent colorant | - Bécher<br>- Huile<br>- Eau colorée       |

## 10. Protocole

| Modélisation 1 couche de convection   | Modélisation 2 couches de convection  |
|---|---|
| <p>Le fond du récipient chauffé, est plus chaud que l'huile. Il lui cède de la chaleur, et cette matière se réchauffe progressivement.</p> <p>Dès qu'elle est un peu plus chaude et moins dense que celle de dessus, elle remonte, jusqu'en haut. En remontant, elle ne reçoit plus de chaleur, donc sa température reste <i>quasi constante</i>. En arrivant en haut, elle perd un peu de sa chaleur, et redescend sans se refroidir puisqu'elle n'en perd plus lors de sa descente.</p> | <p>Si on met deux fluides non miscibles dans un récipient (de l'eau en bas, et de l'huile au-dessus), et qu'on chauffe par dessous, l'eau entre en convection, chauffe l'huile par en dessous, qui entre en convection à son tour.</p> <p>On parle alors de "convection à deux étages".</p> |
|  <p style="text-align: right; font-size: small;">© F.Moujdi - F.Bouvet</p>   |  <p style="text-align: right; font-size: small;">© F.Moujdi - F.Bouvet</p>   |

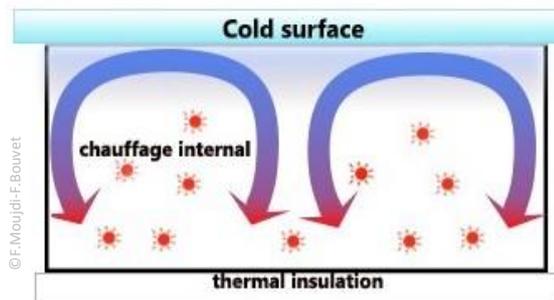
## 11. Echange autour des résultats et conclusion

**La convection peut se dérouler selon trois cas :**

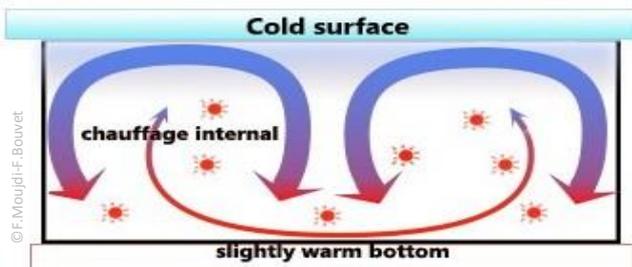


La couche dense et froide au sommet s'enfonce tandis que la couche plus chaude en bas s'élève. Entre les deux couches en mouvement, la matière bouge peu et garde une température constante.

Des points chauds rouges sont produits dans la masse. Seule la couche froide plonge parce qu'elle est plus dense.



Ce cas modélise le manteau où la surface est peu chauffée. Le noyau libère peu de chaleur par rapport à la radioactivité du manteau, qui elle libère plus de chaleur



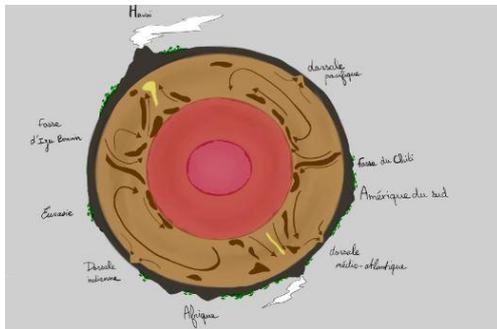
Pendant les deux premiers milliards d'années, il y a eu une convection majeure dans le manteau martien, comme en témoignent les volcans géants de la planète.

Progressivement, les éléments les plus radioactifs ont disparu du manteau, soit par désintégration, soit parce qu'ils sont remontés dans la croûte avec la lave.

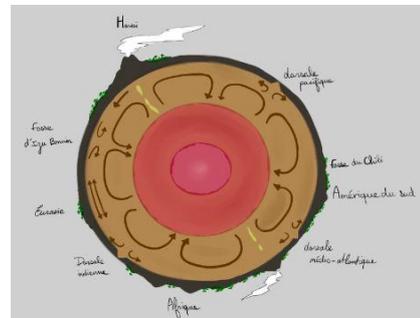
La convection ne s'est pas complètement arrêtée. La croûte qui a emprisonné les éléments radioactifs agit maintenant comme une couverture qui réchauffe le manteau. En s'entourant d'une coquille de plus en plus épaisse, Mars a confiné son manteau sous une couche de matériaux rigides et isolants appelée lithosphère. Mars a probablement encore un manteau très chaud et un noyau liquide. La mission InSight nous fournira plus d'informations sur la structure de Mars.

Sur Terre, près de 40 % de la production de chaleur a été concentrée dans la croûte continentale. Les scientifiques ont pour le moment proposé deux modèles de convection :

### Convection à une couche :



### Convection à deux couches :



Convection in the mantle (Silver, Carlson, Nicolas) La planète Terre Ophrys

## **12. Pour en savoir plus (Ressources pour les enseignants)**

- “Terre à cœur ouvert” *Pour la Science* No. 67 April – June 2010

- Mars “*Histoire d’un autre monde*” Belin – François Forget, François Costard, Philippe Lognonné

# De quelle taille est notre système solaire ?

## 1. Introduction & Pb

Les distances entre les différentes planètes de notre système solaire sont si grandes qu'il est souvent difficile pour beaucoup d'élèves de les appréhender par rapport aux distances quotidiennes auxquelles ils sont habitués. Cette activité vise à sensibiliser les élèves aux relations spatiales entre les différentes planètes de notre Système solaire, en particulier entre Mars et la Terre. Les élèves utiliseront des objets de la vie quotidienne, ce qui leur permettra de mettre en œuvre des calculs de proportionnalité. Avant de commencer l'activité, il peut être utile que les élèves aient déjà fait l'activité "Prenez un selfie avec Mars". Ainsi, ils pourront utiliser les planètes qu'ils ont créées eux-mêmes en fonction d'une échelle fixe.

## 2. Age des étudiants : 12 – 16 ans

## 3. Objectifs

Les étudiants peuvent :

- calculer les distances relatives entre les planètes du système solaire
- comprendre l'ampleur de ces distances
- calculer les distances par rapport à l'échelle des planètes
- développer des capacités de communication
- (facultatif) utiliser les TIC pour produire une méthode semi-automatique pour calculer les distances entre le modèle des planètes

## 4. Disciplines principales

Planétologie, Mathématiques

## 5. Disciplines secondaires

Physique

## 6. Temps requis

1 heure : 45 minutes et 15 minutes pour la préparation des modèles.

## 7. Mots clefs

Terre, Mars, Jupiter, distances séparant les planètes, mesures d'échelle

## 8. Matériel

- Ruban à mesurer (40 - 200m approx.)
- Ordinateur avec le logiciel Google Earth™ ou similaire qui permet de mesurer les distances
- Cartons ou ballons
- Ciseaux, règle, crayon
- ordinateur avec un logiciel de tableur

## 9. Connaissances requises

La modélisation est une méthode qui va permettre aux élèves d’appréhender les distances relatives et absolues entre les planètes. Le fait de travailler avec des objets du quotidien pour représenter le monde réel (les planètes) va faciliter le lien entre les différentes dimensions de grandeur.

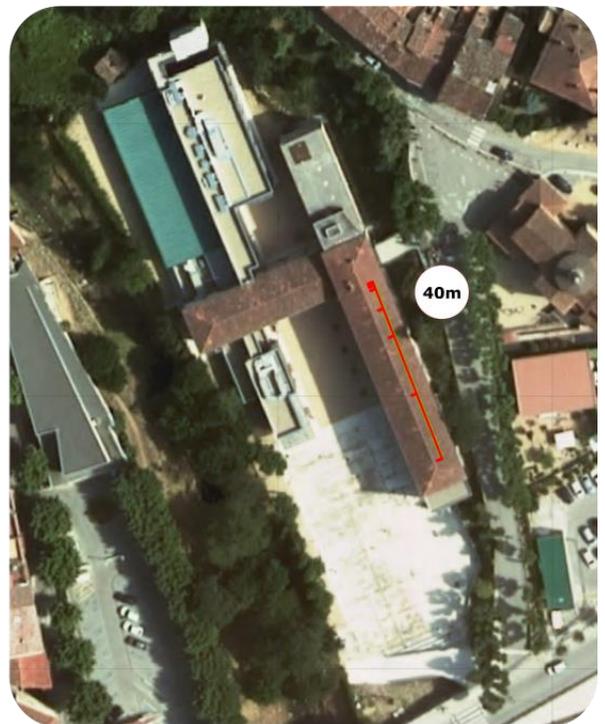
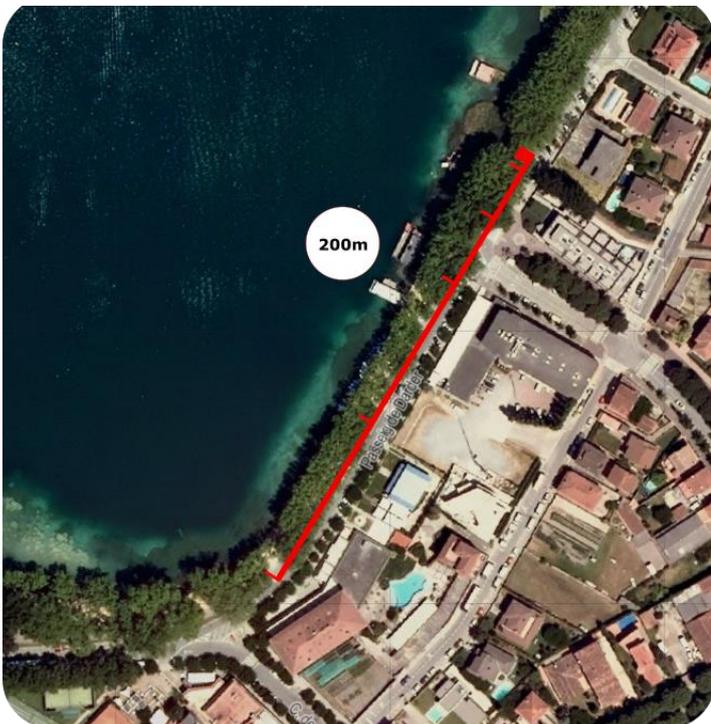
Le tableau ci-dessous montre les mesures à l’échelle dont les élèves peuvent avoir besoin pour réaliser l’activité :

|         | distance moyenne de l'orbite (km) | circonférence équatoriale (km) |
|---------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Mercury | 57909227                          | 15329                          |
| Venus   | 108209475                         | 38024                          |
| Terre   | 149598262                         | 40030,2                        |
| Mars    | 227943824                         | 21296,9                        |
| Jupiter | 778340821                         | 439263,8                       |
| Saturn  | 1426666422                        | 365882,4                       |
| Uranus  | 2870658186                        | 159354,1                       |
| Neptune | 4498396441                        | 154704,6                       |
| Sun     |                                   | 4370005,6                      |

*Données issues de <https://solarsystem.nasa.gov/>*

## 10. Protocole

NOTE : Les distances entre les planètes sont très grandes, tenez-en compte pour réaliser une maquette à l’échelle réelle.



### OPTION A:

Si les élèves ont deux planètes à l'échelle réelle. Laissez-leur calculer la distance réelle entre les deux planètes faites pendant l'activité "faire un selfie avec mars". Si vous disposez d'assez d'espaces dans l'école pour représenter les planètes précédentes à la distance réelle, faites-le.

C'est facile à faire si les élèves travaillent avec des planètes telluriques car les distances qui les séparent sont plus faibles que les planètes externes.

Par exemple : si les élèves ont une circonférence de 9 cm pour la planète Terre et de 5 cm de circonférence pour Mars, la distance sera de 170m.

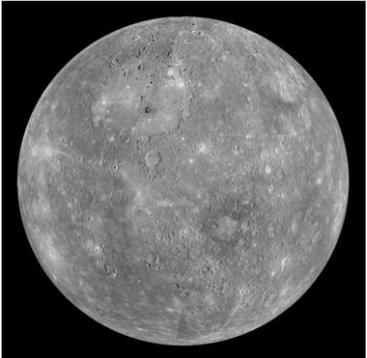
En revanche, s'ils utilisent des planètes externes de taille similaire, la distance entre elles serait plus grande.

Par exemple : Si Uranus fait 7cm de circonférence, et Neptune 6,8 cm de circonférence ces deux planètes seront à 700m l'une de l'autre.

### OPTION B:

Si l'on utilise une distance connue comme par exemple celle entre les allées de l'école ( 40 m), la taille des planètes sera extrêmement petite. Les élèves devront calculer manuellement ou à l'aide d'un tableur la taille de chaque planète suivant l'échelle choisie

Les élèves pourront alors faire les cartes d'identité de chaque planète avec leurs caractéristiques ainsi leur taille à l'échelle comme précédemment calculées. Les cartes pourront alors être affichées sur les murs de l'allée. Les élèves pourront travailler en groupe pour réaliser les cartes des planètes et expliquer leurs caractéristiques à leurs camarades.

| <b>Mercury</b>  |   |
|---|---|
| <b>Profil de la planète</b><br>Diamètre : 4 879 km<br>Masse $3,29 \times 10^{23}$ kg (0,06 Terre)<br>Lunes : Aucune<br>Distance de l'orbite :<br>57 909 227 km (0,39 UA)<br>Période d'orbite : 88 jours<br>T° de surface : -173 à 427°C<br>Première mention : XIVE siècle av. | <b>Caractéristiques de la planète</b><br>Mercure n'a pas de lunes ni d'anneaux.<br>Mercure est la plus petite planète.<br>Mercure est la planète la plus proche du Soleil.<br>Votre poids sur Mercure serait 38% de votre poids sur Terre.<br>Une journée à la surface de Mercure dure 176 jours terrestres.<br>Une année sur Mercure prend 88 jours terrestres.<br>On ne sait pas qui a découvert Mercure. |
|  <p><b>Source:</b> NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington</p>   | Taille de la planète à l'échelle réelle de ce système solaire :<br><br>Diamètre à l'échelle : X,XXmm  |

## **11. échange autour des résultats et conclusion :**

Les élèves se rendent compte des distances relatives des planètes dans le système solaire. Cela leur permet de mieux comprendre le système solaire dans son ensemble. La coopération et le travail d'équipe sont également encouragés.

## **12. Pour aller plus loin**

Pour réaliser l'option A, vous devrez faire l'activité "faire un selfie avec Mars" en amont. Néanmoins, ces activités sont indépendantes les unes des autres

## **13 . Pour en savoir plus (Ressources pour les enseignants)**

<https://solarsystem.nasa.gov/planets/overview/>

<https://space-facts.com/planets/>