



Topic II

Environnement des planètes rocheuses

Effet du
bruit
atmosphérique
sur le sol

Des
instruments
pour mesurer la
vitesse du vent
martien

Aérosol
primaire et
impact
climatique sur
Terre

Etude des
variations
journalières
sur Mars

SEIS, un
sismomètre
bien
emballé

Aérosol
primaire et
impact
climatique sur
Mars



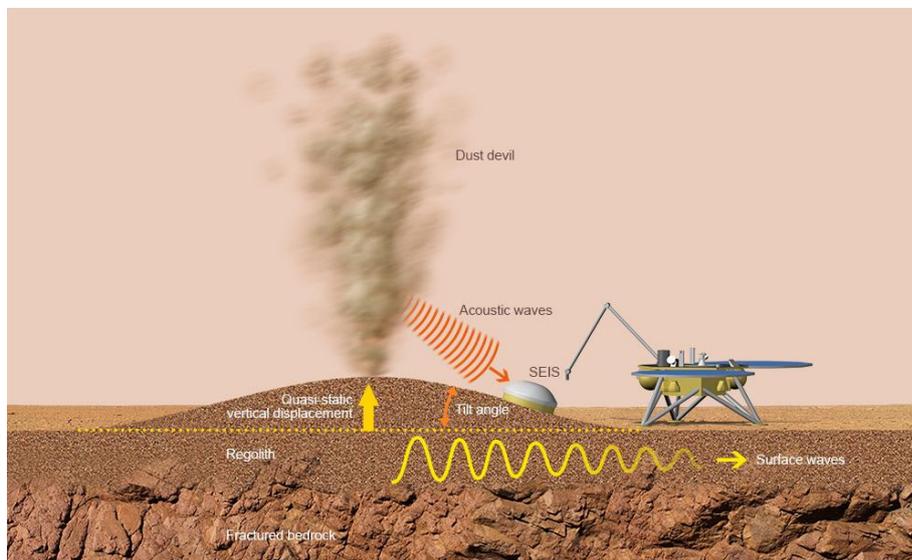
Effet du bruit sismique atmosphérique sur le sol

1. Introduction & Pb

La deuxième source atmosphérique de bruit microsismique est locale : le site d'atterrissage est affecté par des rafales de vent ou l'arrivée d'un tourbillon de poussière près de la sonde. Dans les deux cas, l'air martien exerce une force sur le sol : vers le haut dans le cas d'une dépression, vers le bas dans le cas d'une surpression.

Un tourbillon de poussière de 10 m de large réduit ainsi la pression sur le sol d'une quantité égale à celle d'une petite voiture enlevée de la surface.

La déformation statique de la surface affectera le sismomètre, et plus particulièrement les pendules qui mesurent le mouvement horizontal et vertical. Bien que le sol se déplace également de haut en bas, l'effet du mouvement latéral est dominant, et les capteurs de l'instrument SEIS le détectent.



Simulation of ground deformation around the InSight lander (© IPGP/David Ducros)

2. Age des étudiants 14 -17 ans

3. Objectif

Voyons si une simple dépression peut causer une déformation du sol détectable par un accéléromètre alors que cette déformation n'est pas visible à l'œil nu.

4. Disciplines principales

Physique – Sciences de la Terre.

5. Disciplines complémentaires

Mathématiques : Codage Arduino

6. Temps requis_2h

7. Mots-clés

Accéléromètre – Sismogramme – Ondes de propagation – Mouvements atmosphériques.

8. Connaissances requises

L'air martien, en se déplaçant sans cesse autour du globe martien, est capable d'exciter la planète, et de la faire vibrer comme une cloche, à des fréquences bien précises.

Les géophysiciens appellent ce phénomène le "hum" de la planète, une sorte de bourdonnement persistant, que seul des sismomètres sensibles aux longues périodes comme SEIS peuvent entendre.

Malgré le fait que ce murmure lancinant puisse être considéré comme un bruit de fond parasite, il intéresse particulièrement les géophysiciens. Grâce à lui, il sera en effet possible de sonder les couches superficielles du sol martien, sur des profondeurs de plusieurs dizaines de mètres à quelques centaines de kilomètres (accès au manteau), et ce même en l'absence de séismes.

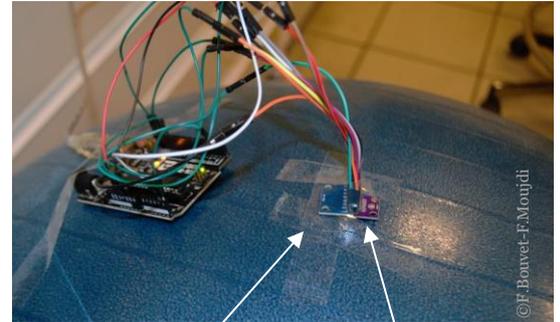
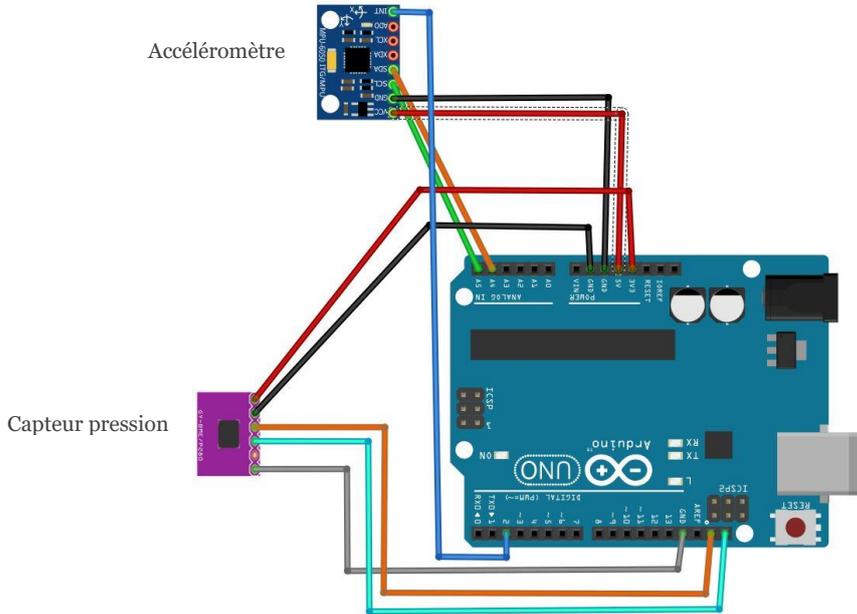
9. Matériel

- Un ballon type ballon de Pilates périmètre 250 cm
- Une Arduino type UNO
- Un accéléromètre MPU5060, un capteur pression BME280, reliés à une UNO préalablement programmée
- Un PC avec le fichier PLX-DAQ-v2.11
- Un sèche – cheveux 1600W

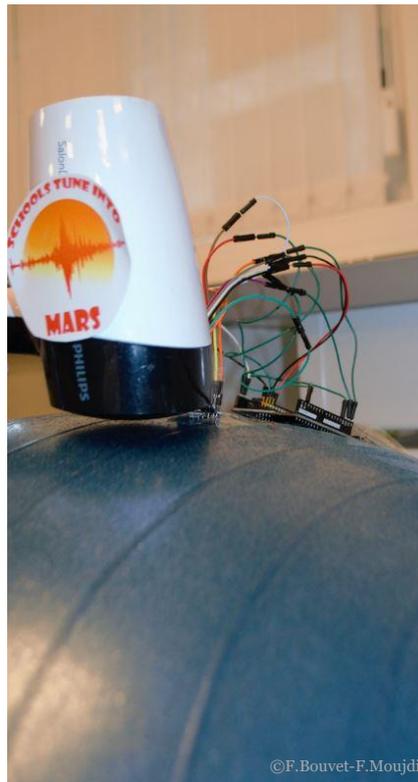
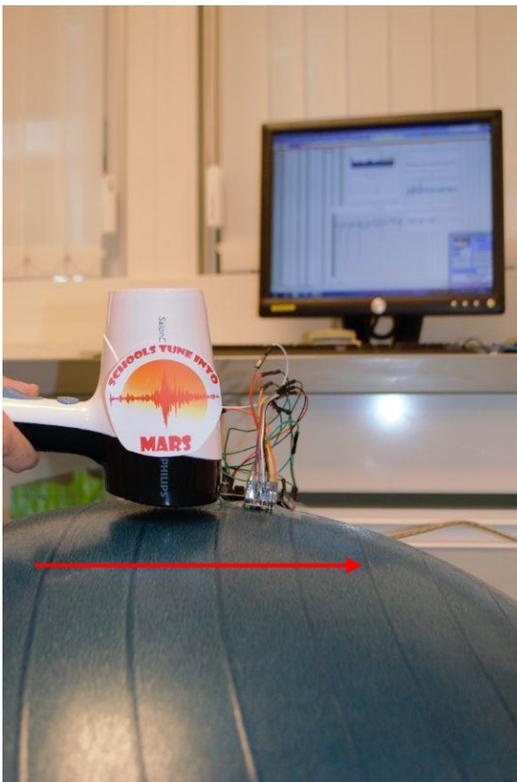
10. Protocole

- Disposer le ballon sur les barres de polystyrène pour éviter tout contact avec le sol
- Scotcher solidement l'accéléromètre et le capteur pression sur le ballon
- Maintenir le sèche-cheveux a la verticale coté aspiration vers le ballon et soufflant vers le haut au plus proche du ballon sans le toucher.

Détail du dispositif

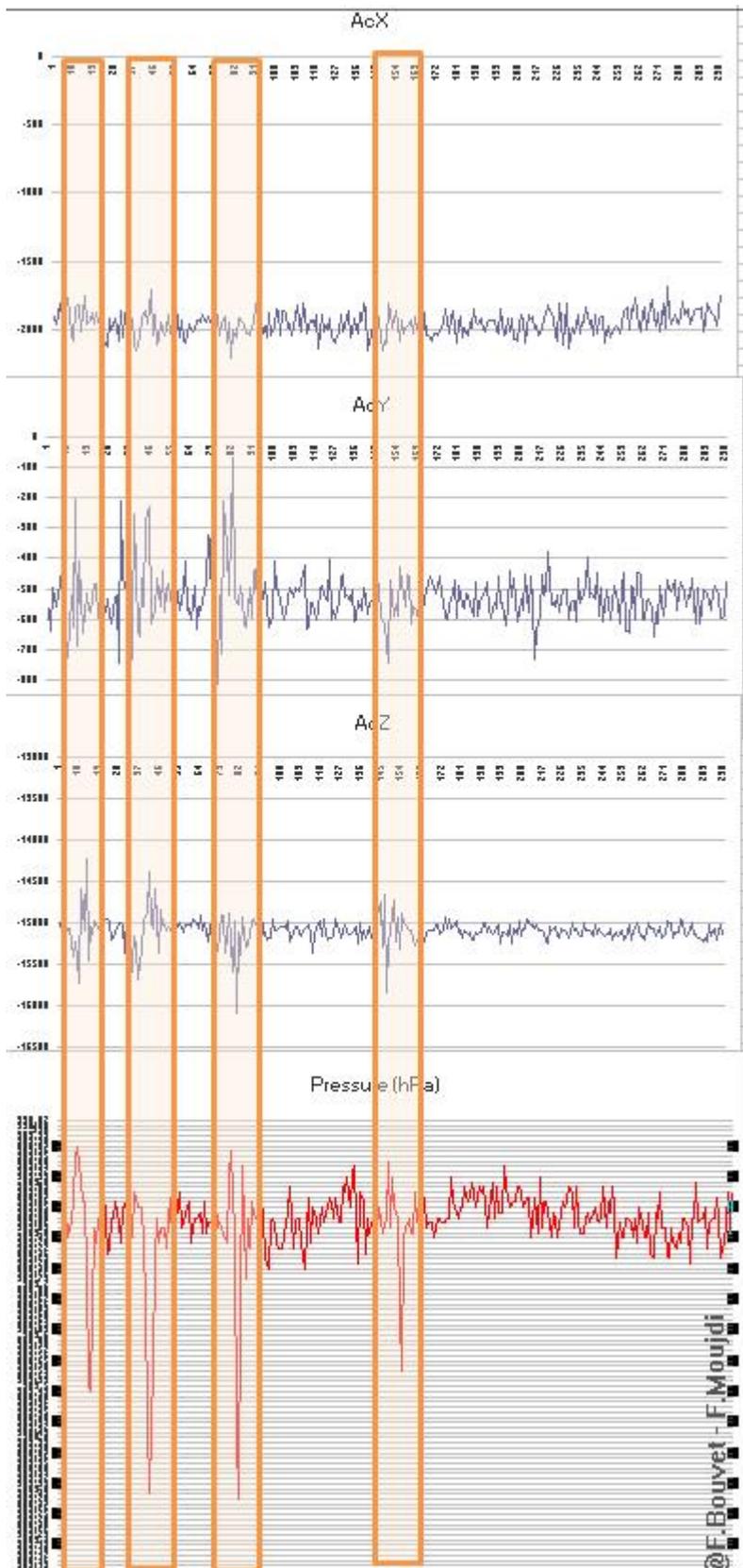


accéléromètre Capteur pression



Déplacer le sèche-cheveux sans toucher le ballon mais proche de celui-ci tout en le maintenant à une distance constante.

Résultats obtenus



En encadré les enregistrements des passages successifs du sèche-cheveux au-dessus des capteurs.

On observe un mouvement de la surface lors du passage de la dépression.

Aérosol primaire et impact climatique sur Terre

1. Introduction & Pb



En mars 2018 un étrange phénomène arrive en Russie et sur l'ensemble de l'Europe de l'est : de la neige Orange recouvre les pistes de ski.

On retrouve fréquemment dans les Alpes françaises des strates colorées de neige en hiver et les pluies dites de boue font le bonheur des laveurs de voitures.



A Marseille, la chaussée, les voitures et les bus sont recouverts de sable –Maxppp

<https://www.francebleu.fr/infos/climat-environnement/la-provence-touchee-par-des->

Une skieuse à Sochi, en Russie

<https://www.parismatch.com/Actu/Environnement/Pourquoi-il-est-tombe-de-la-neige-orange-en-Russie-1486670>

Cherchons à expliquer ce phénomène.

2. Age des étudiants 15 – 17 ans

3. Objectifs

A partir d'un fait concret et l'étude d'un échantillon, découvrir ce qu'est un aérosol primaire et étudier son impact sur le climat que ce soit lors de sa mise en suspension dans l'atmosphère ou lors de sa retombée au sol.

Dans un premier temps nous allons donc essayer de déterminer la taille des particules présentes dans l'échantillon prélevé grâce à un photomètre dans le but d'en déterminer la nature et de ce fait son influence sur le climat.

Puis nous verrons si de fortes retombées peuvent avoir des influences sur le climat

4. Disciplines principales

Physique – Sciences de la Terre - technologie

5. Disciplines complémentaires

Mathématiques : Codage Arduino

6. Temps requis_2h

7. Mots-clés

Aérosols, albedo, absorbance.

8. Matériel

- Étape 1

- Un échantillon de retombée humide d'aérosol ici particules en suspension présente dans de la neige orange prélevée dans les Alpes du sud.
- Un Calitoo
- Deux récipient transparent
- Une lampe 12 V disposée dans un manchon
- Un PC équipé du logiciel Calitoo

- Étape 2

- Un échantillon de retombée humide d'aérosol ici particules en suspension présente dans de la neige orange prélevée dans les Alpes du sud.
- Un luxmètre
- Deux récipient transparent
- Une lampe 12 V disposée dans un manchon

9. Connaissances requises

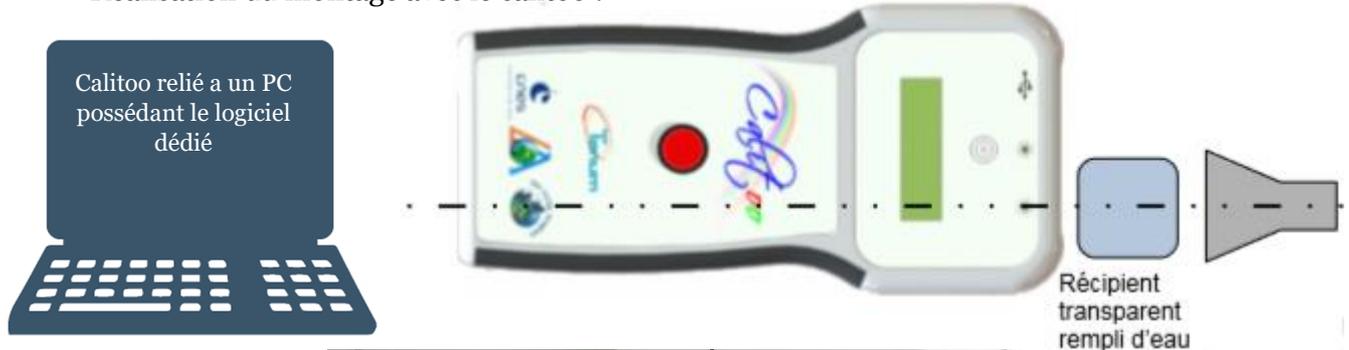
Le Calitoo est un photomètre qui permet de déterminer le taux d'aérosols présents dans l'atmosphère et de caractériser leur répartition en taille (fumées, gaz polluant, cristaux de glace, poussières). Pour cela, il mesure l'épaisseur optique de l'atmosphère à différentes longueurs d'onde : en bleu(465nm), vert(540nm) et rouge(615nm).

Les particules en suspension dans l'air sont constituées de substances solides et/ou liquides. Minérales ou organiques, composées de matières vivantes (pollens...) ou non, grosses ou fines, les particules en suspension constituent un ensemble extrêmement hétérogène de polluants dont la taille varie de quelques dixièmes de nanomètres à une centaine de micromètres.

L'albédo du système Terre-atmosphère est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchiée vers l'espace. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé. Les éléments qui contribuent le plus à l'albédo de la Terre sont les nuages, les surfaces de neige et de glace et les aérosols. Par exemple, l'albédo de la neige fraîche est de 0,87, ce qui signifie que 87 % de l'énergie est réfléchiée par ce type de neige.

10. Protocole

- Réalisation du montage avec le calitoo :



- Initialisation des mesures

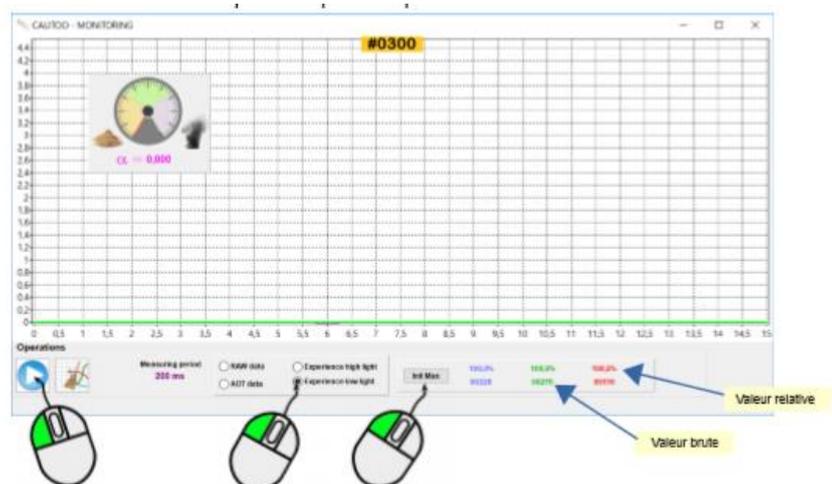
La première étape de la simulation consiste à mesurer le niveau de référence. C'est à dire l'équivalent d'une atmosphère sans aérosol et donc mesurer le flux lumineux à travers un récipient rempli d'eau pure.

Avec le module monitoring, sélectionner

- Expérience low light

puis pour démarrer les mesures, cliquer sur le bouton rond bleu à gauche. Placer le récipient d'eau pure et allumer la lumière.

Cliquer sur le bouton [Init Max] pour initialiser et obtenir le niveau de référence.



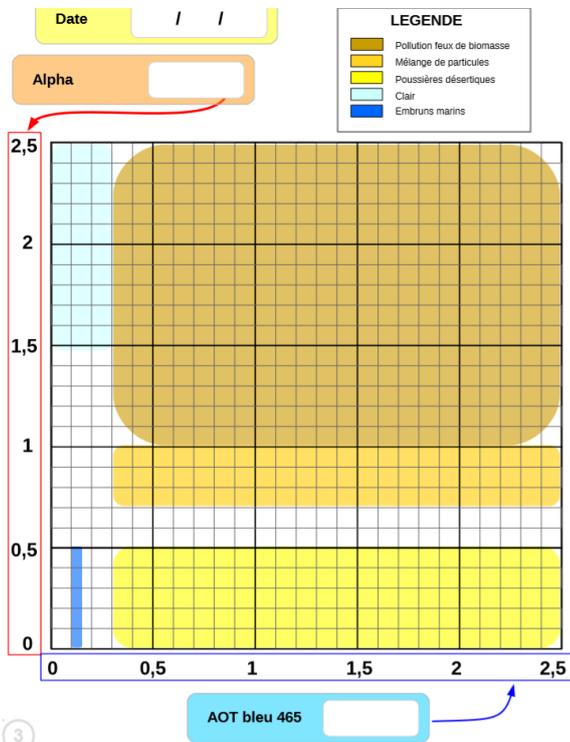
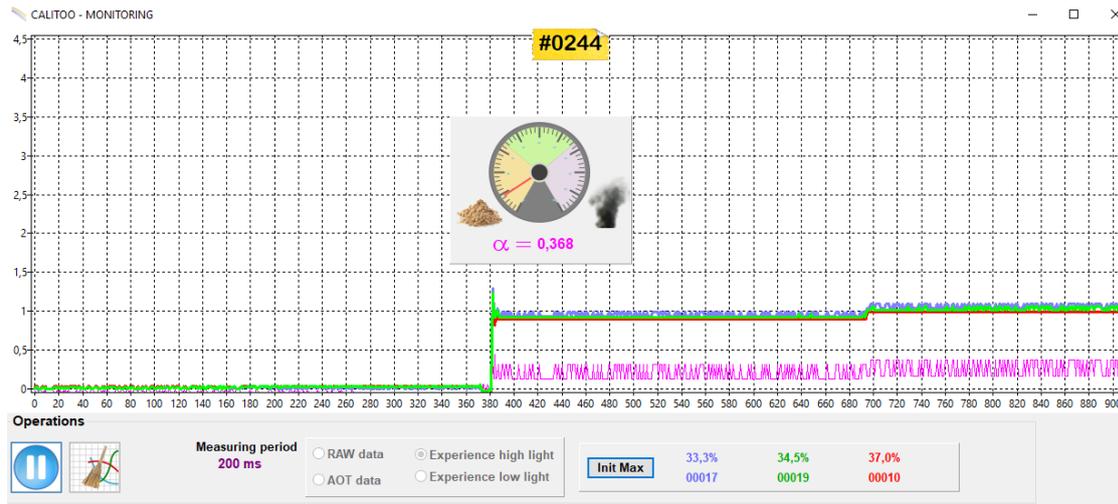
- Expérience avec notre échantillon de particules prélevées dans la neige

Remplacer le récipient rempli d'eau pure par un récipient contenant les particules en suspension.

Résultats obtenus :

Visuellement, les courbes bleue, verte et rouge sont serrées.

- L'aiguille de la jauge de particules est bien vers le tas de sable ce qui indique la détection de grosses particules.
- Le coefficient d'Angström (Alpha) est faible, ce qui est le signe de présence majoritaire de grosses particules.



Nous supposons donc que ses particules sont des particules de sable mais cette hypothèse doit être vérifiée par des données météo.

http://www.calitoo.fr/uploads/documents/fr/usermanual_fr.pdf

Une étude de carte météorologique ainsi que des images satellites du 26 et 27/08/2018 correspondant aux chutes de neige de Sochi confirme cette hypothèse.

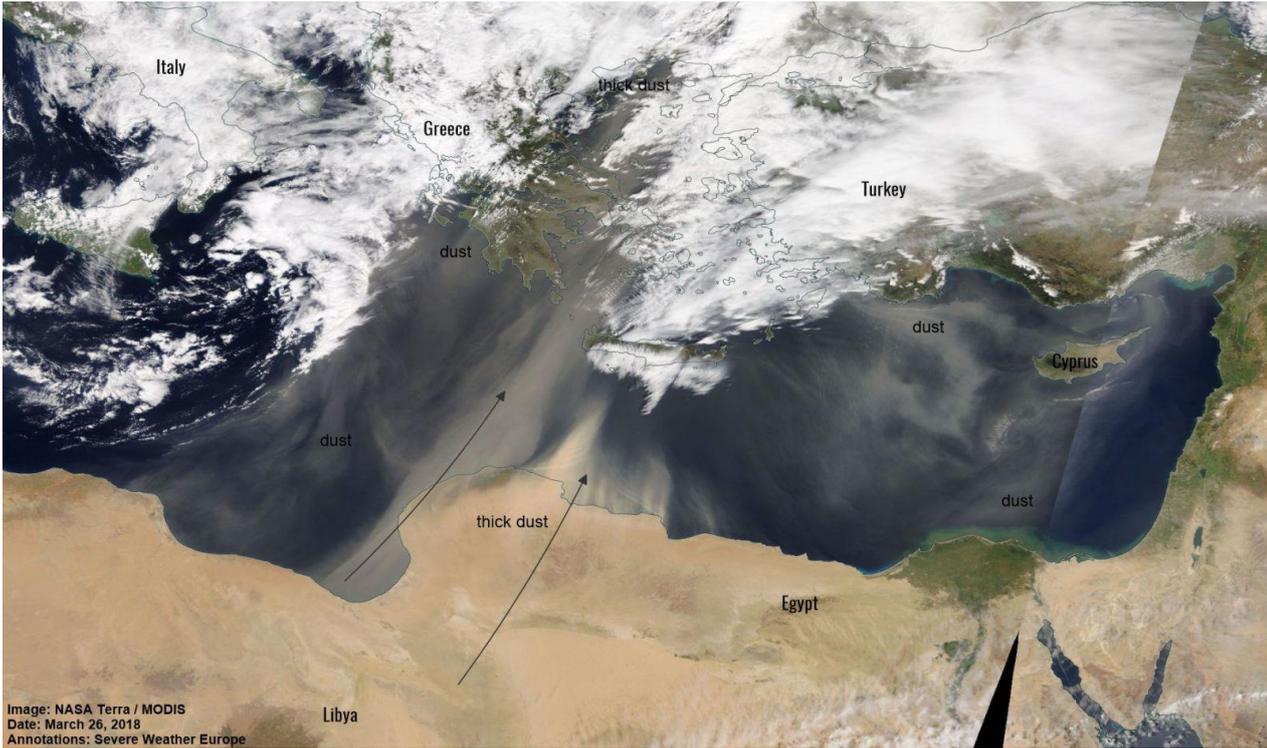
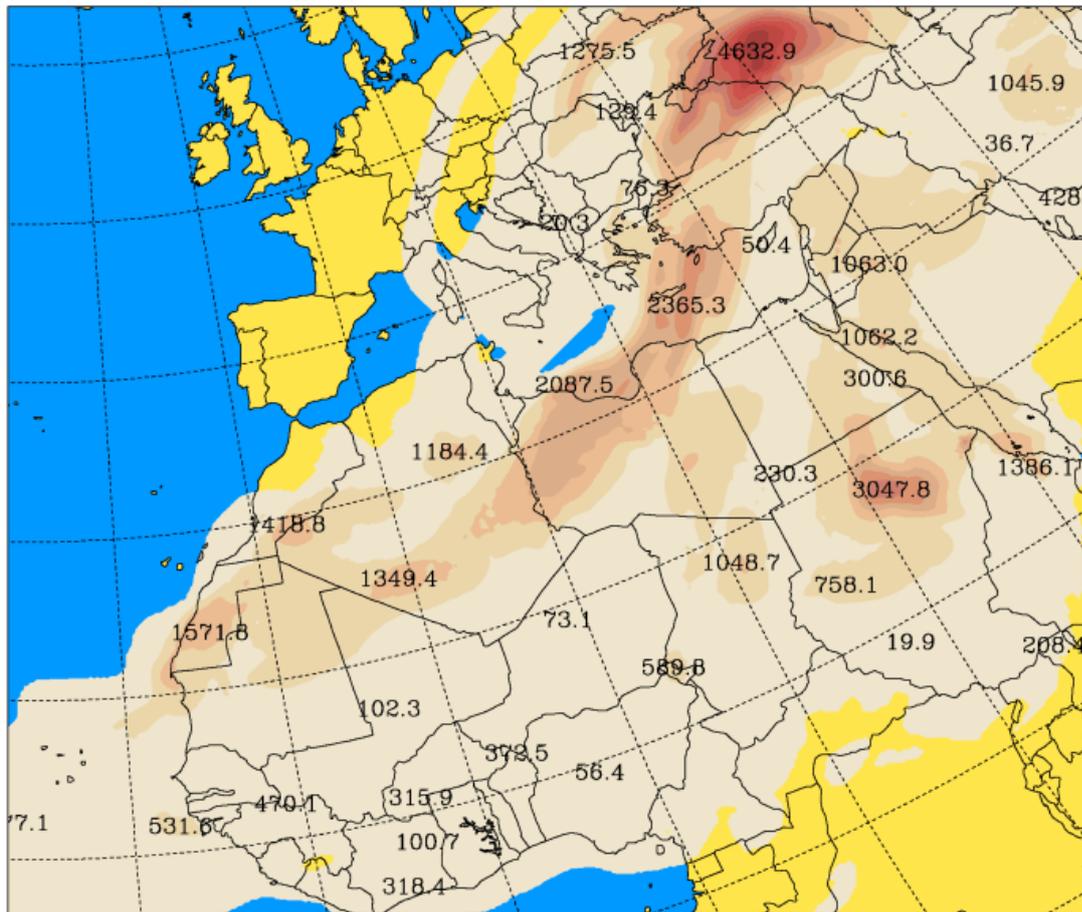


Image: NASA Terra / MODIS
Date: March 26, 2018
Annotations: Severe Weather Europe

Nasa Terra / MODIS satellite image of the Mediterranean, March 26. Credit: Severe-weather.eu.

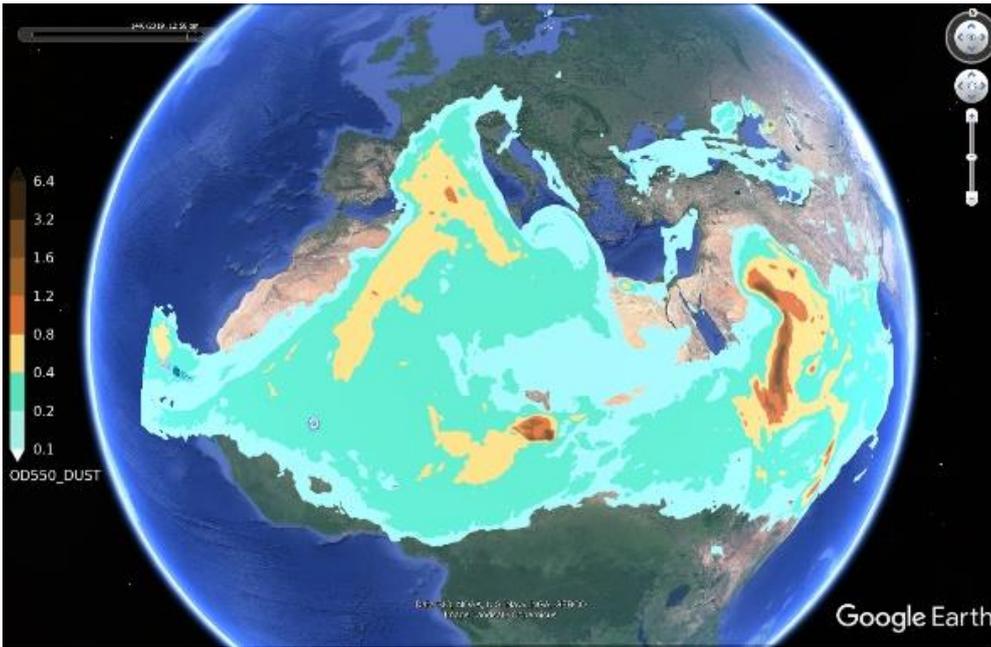
University of Athens (AM&WFG)
Total Dust Load (mgr/m²)

SKIRON Forecast
Tue 27.03.18 at 00 UTC



University of Athens SKIRON model forecast for March 27





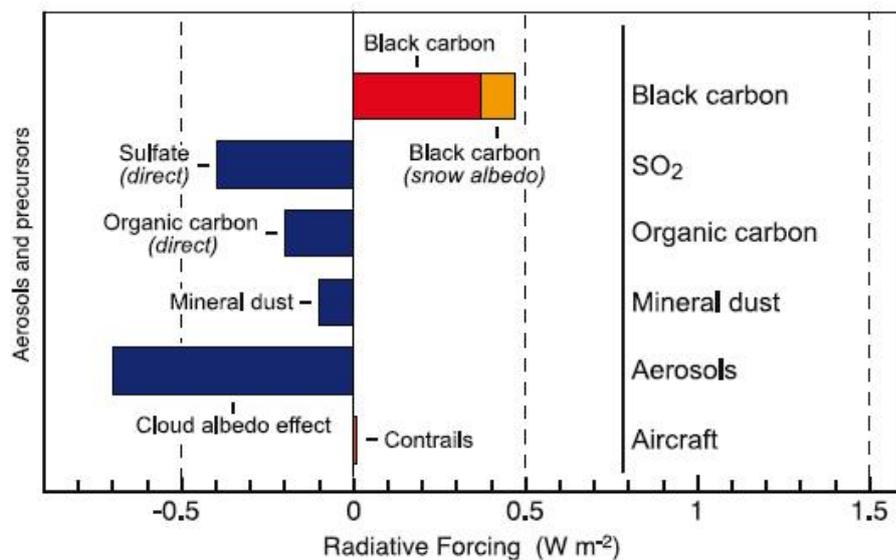
On peut également observer que le sud de la France est souvent soumis à des poussières désertiques

<https://dust.aemet.es/forecast>

- Quel sont les effets de ces particules minérales sur le climat ?

Quand elles sont sous forme d'aérosol

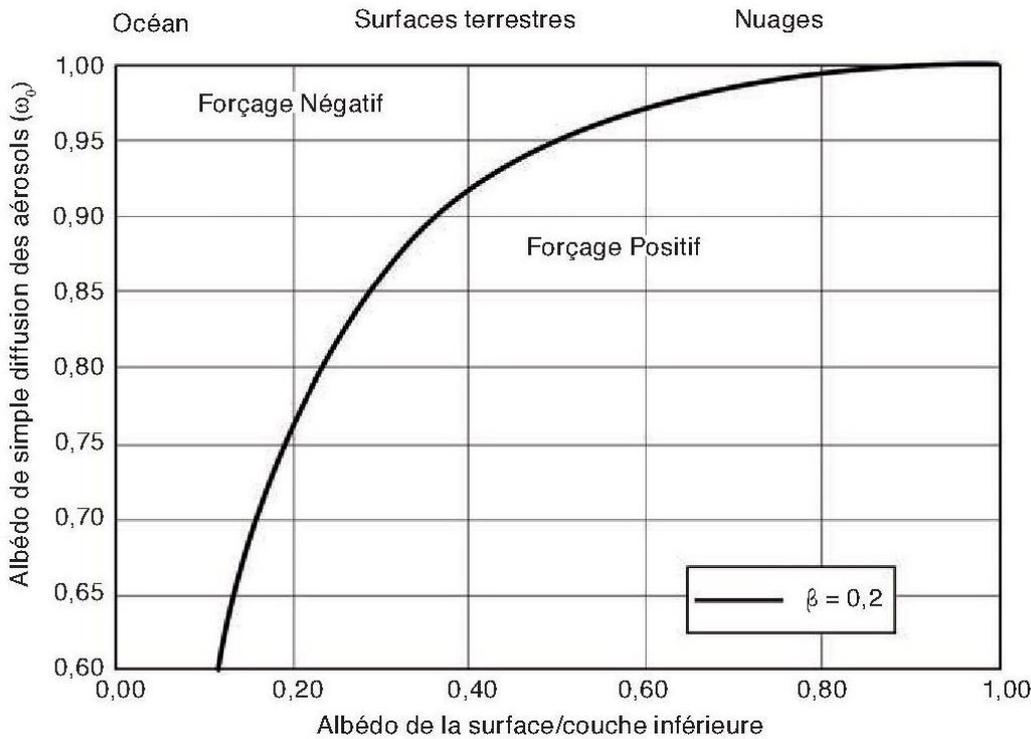
L'évaluation de l'impact global des aérosols est plus facile et donne des valeurs plus solides que lorsqu'on considère les aérosols individuellement. Les chercheurs tentent néanmoins de quantifier le forçage radiatif des différents types d'aérosols. Par exemple, on a les estimations suivantes pour le forçage radiatif moyen de différents aérosols :



Forçage radiatif des différents aérosols (source : GIEC, 4ième rapport, chp. 2, 2007).

En effet il est très difficile d'établir un impact radiatif des poussières minérales car il a été démontré que de nombreux facteurs vont jouer tel que le couverture nuageuse et l'altitude à laquelle elle se trouve ainsi que la hauteur de la couche de poussière, la taille des particules de poussière et leur profondeur optique. *Radiative forcing by mineral dust aerosols: Sensitivity to key variables H. Liao J. H. Seinfeld*

De plus l'impact radiatif d'un aérosol dépendra de la nature de la surface sous-jacente par exemple « au-dessus de surfaces sombres comme l'océan, l'aérosol, même absorbant, entraînera toujours une augmentation de l'albédo et donc un forçage négatif (refroidissement). Pour des surfaces plus réfléchissantes comme les surfaces désertiques ($\rho_s = 0,5$), l'effet de l'aérosol sera très sensible à sa capacité d'absorption : un albédo ω_0 inférieur à 0,95 suffira pour entraîner un réchauffement. »

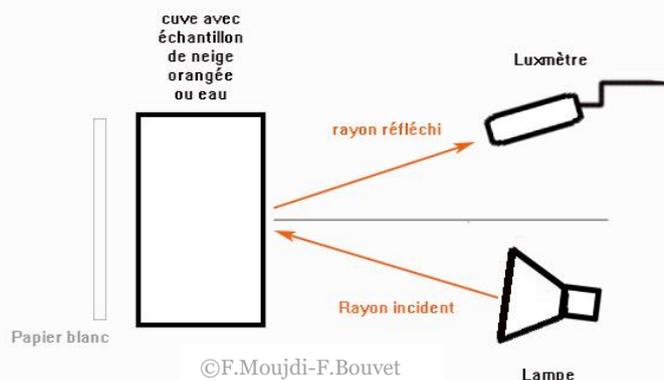


Didier Tanré, Physicien,
 Directeur de Recherche au
 CNRS, LOA, Villeneuve d'Ascq.
<https://books.openedition.org/editionscnrs/11354>

- Cherchons à savoir si nos particules désertiques retrouvées dans la neige peuvent localement modifier l'albédo de la surface.

L'albédo du système Terre-atmosphère est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchi vers l'espace.

Nous allons donc mesurer à l'aide d'un luxmètre l'énergie lumineuse réfléchi par une surface blanche puis l'énergie lumineuse réfléchi par une surface blanche sur laquelle se trouve des particules de sable.





Résultats obtenus :

Attention : En guise de luxmètre nous avons ici utilisé une photorésistance montée sur une carte Arduino, la valeur mesurée n'a pas d'unité ! C'est une valeur purement indicative.

Sans particules de sable : 10:51:13.092 -> Valeur luminosité = 916

Avec particules de sable : 10:52:41.037 -> Valeur luminosité = 897

La quantité de lumière réfléchié diminue avec les poussières désertiques

La coloration de la neige diminue donc son albedo et favorise donc temporairement une augmentation de la température au sol et accélérant la fonte des neiges.

Aérosol primaire et impact climatique sur Mars

1. Introduction & Pb

Nous savons que les aérosols même naturels peuvent avoir un impact sur le climat.

Sur Mars comme sur Terre des particules minérale sont mises en suspension comme le témoignent les selfies d'insight.



Selfie d'Insight fait Dec. 6, 2018 Selfie d'Insight fait May. 6, 2019

NASA/JPL-Caltech

On peut voir sur ces selfies d'insight que de la poussière minérale s'est déposée sur le Lander. Celle -ci peut aussi être remise en mouvement par des turbulences atmosphériques tel que des Dust Devil comme le témoignent les variations soudaines de rendement des panneaux solaire.

De plus des images satellites confirment qu'il existe sur mars des phénomènes de mise en suspension de particules minérales dans l'atmosphère à grande échelle.

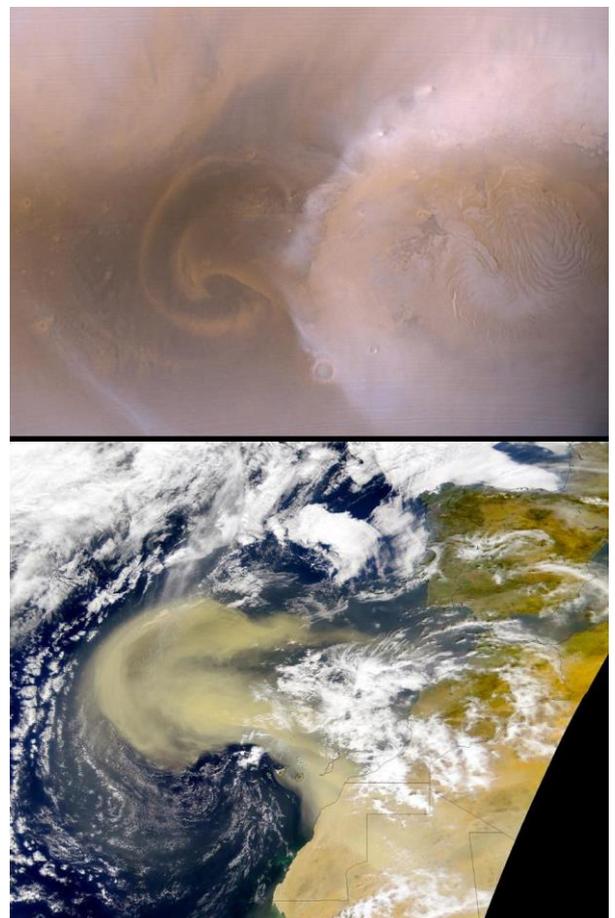
Pb : Comment le transport d'aérosols peut-il impacter le climat d'une planète ?

Dans cette figure, nous comparons une récente tempête de poussière sur Mars avec une tempête survenue plus tôt cette année sur Terre.

L'image du haut montre une tempête de poussière du pôle nord martien observée le 29 août 2000. La tempête se déplace comme un front, vers l'extérieur à partir d'un "jet" central, et des "tourbillons" marginaux peuvent être observés. Sur cette image, elle s'étend à environ 900 km de la calotte glaciaire saisonnière du pôle Nord. La région sur le côté droit de l'image de Mars comprend le pôle nord.

L'image du bas montre une tempête de poussière terrestre, le 26 février 2000. Cette tempête s'étend à environ 1800 km au large des côtes du nord-ouest de l'Afrique, près de l'équateur terrestre.

Les deux images sont affichées à la même échelle ; 4 km par pixel.



<https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA02807>

2. Age des étudiants 15 – 17 ans

3. Objectifs

Déterminer si le transport de poussière minérale martienne a une influence sur le climat

4. Disciplines principales

Physics – Earth Science

5. Disciplines complémentaires

6. Temps requis 2h

7. Mots-clés

Aérosols, albedo.

8. Matériel

- Mesurim
- Un luxmètre
- Deux recipients transparents du polystyrene
- Une lampe 12 V disposée dans un manchon

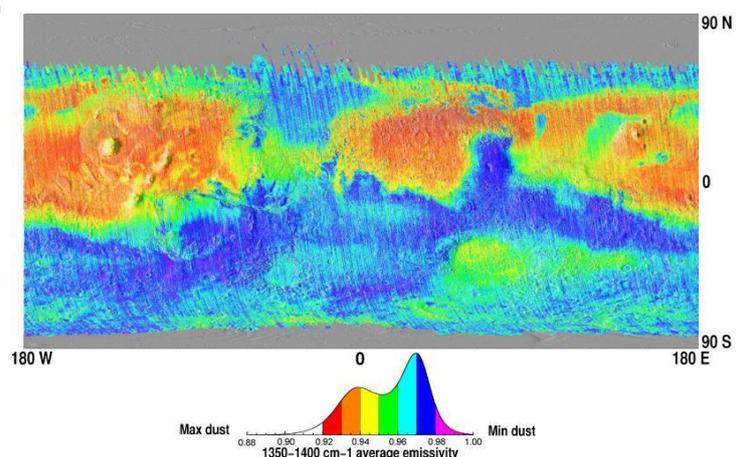
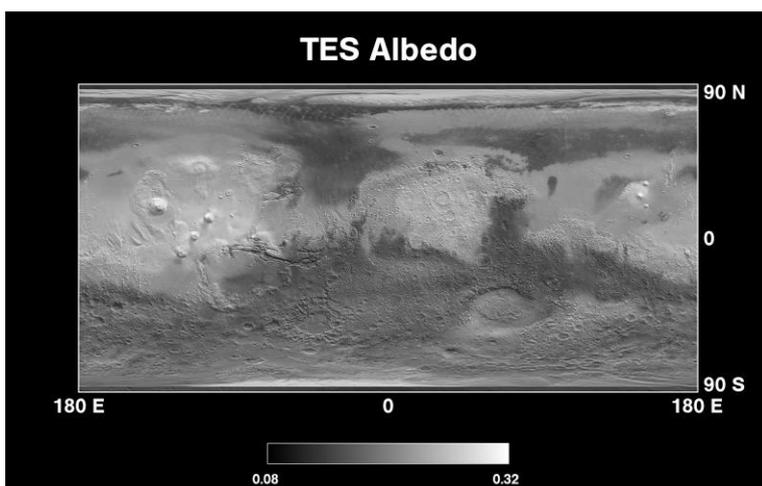
9. Connaissances requises

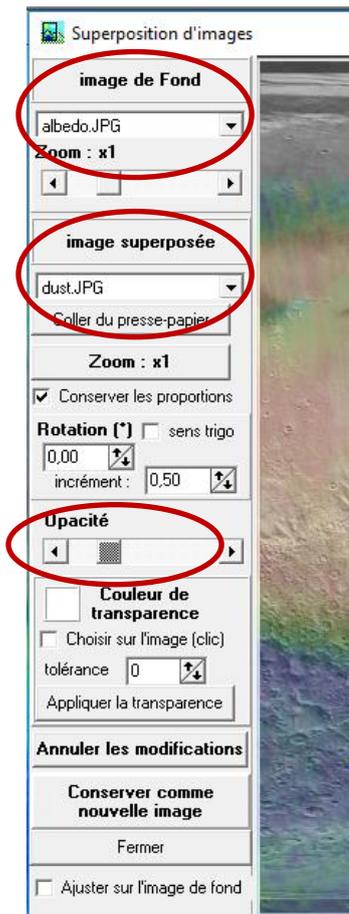
Les particules en suspension dans l'air sont constituées de substances solides et/ou liquides. Minérales ou organiques, composées de matières vivantes (pollens...) ou non, grosses ou fines, les particules en suspension constituent un ensemble extrêmement hétérogène de polluants dont la taille varie de quelques dixièmes de nanomètres à une centaine de micromètres. L'impact radiatif d'un aérosol dépendra de la nature de la surface sous-jacente.

10. Protocole

- Nous allons dans un premier temps essayer de savoir si les différences d'albedo peuvent s'expliquer par une différence de composition du sol martien.

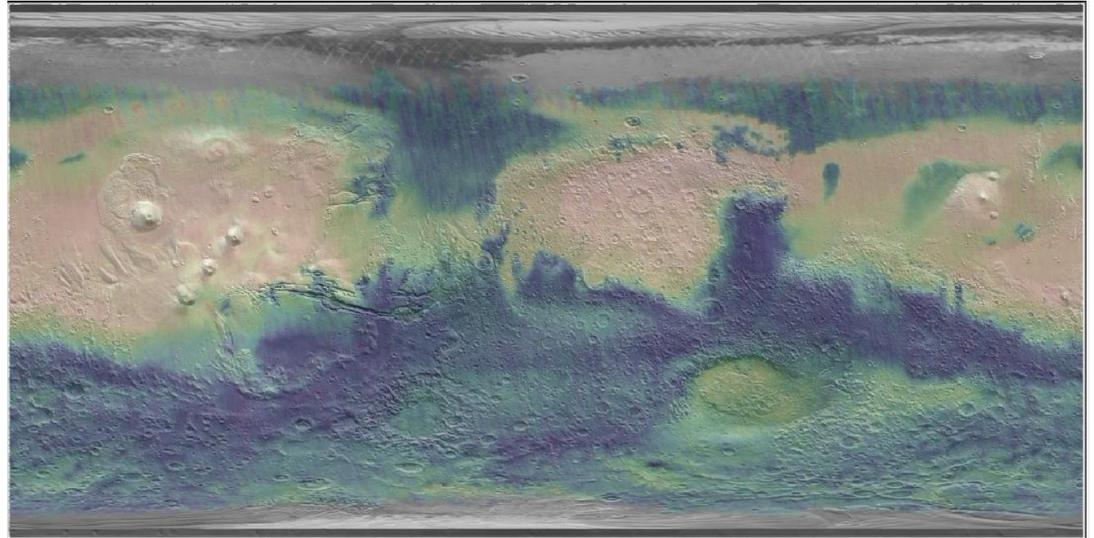
Nous allons comparer une carte de l'albedo global de mars et de la répartition du sable. Pour cela nous allons utiliser mesure et la fonction superposer les images.





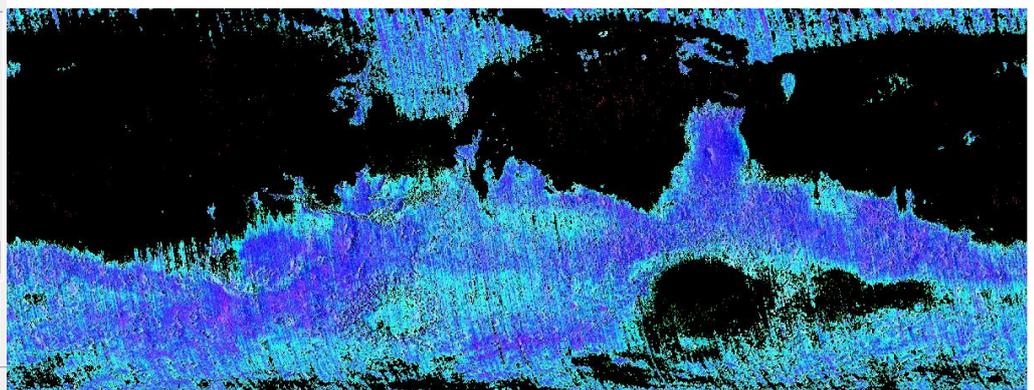
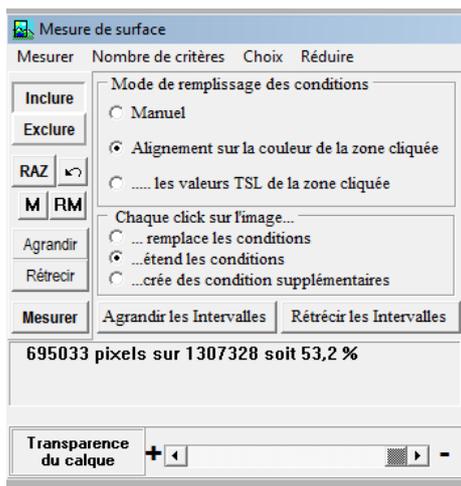
Ouvrir « albedo.jpeg » et « dust.jpeg » dans mesurim.
Puis dans Image choisir superposer image comme indiqué ci-contre
Régler l'opacité pour faciliter la lecture.

Résultats obtenus :



On voit immédiatement une corrélation entre l'albedo et la présence de sable.

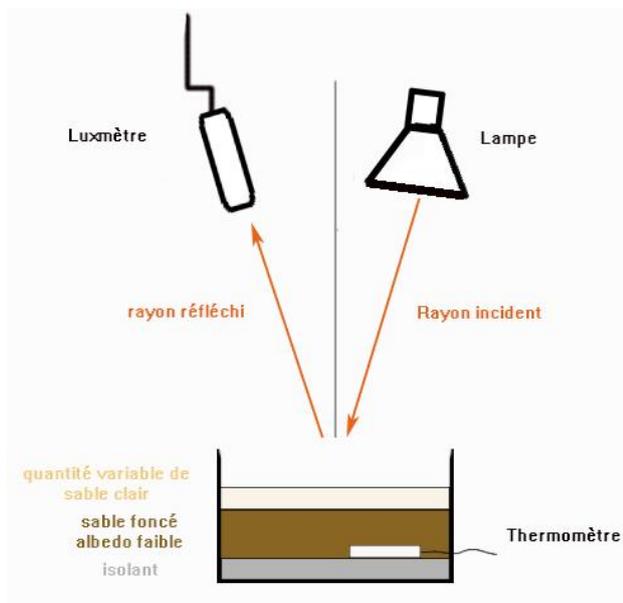
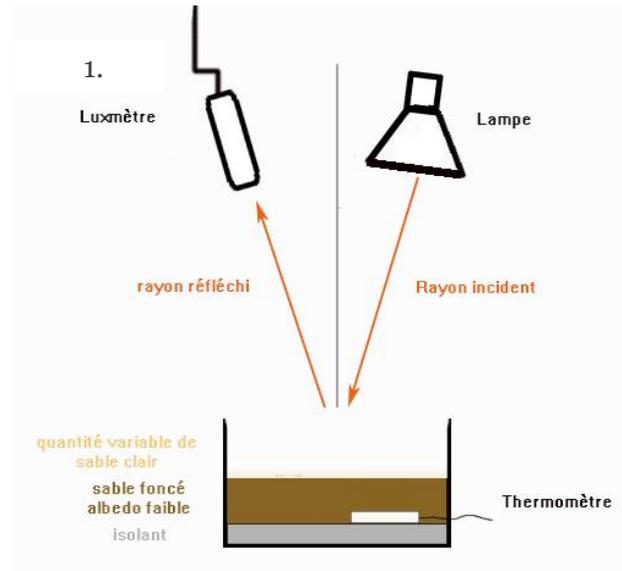
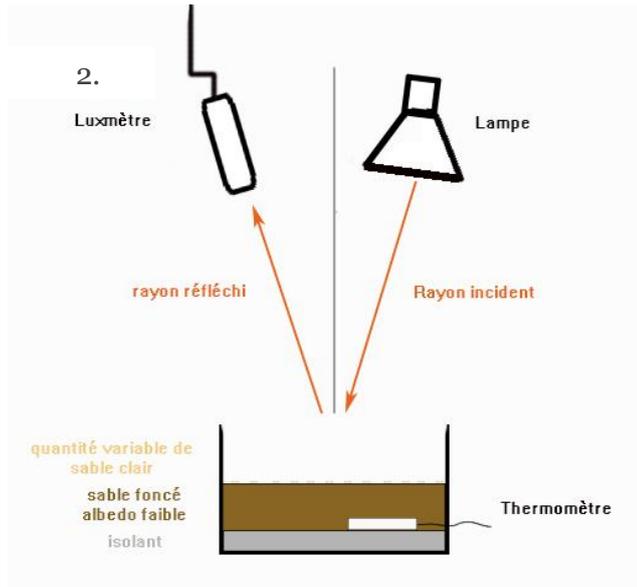
Si on évalue, avec Mesurim la surface du sol recouverte par du sable sur le planisphère martien on peut voir que celle-ci occupe environ 50% de la surface totale pour laquelle nous avons des données.



Le transport de sable pourrait donc avoir une répercussion sur l'inertie thermique de zone ayant un albedo plus faible qui représente une surface importante de la planète.

- Essayons de modéliser le recouvrement par dépôt de particules minérales ayant un albedo élevé d'un sol à albedo plus faible.

Comparer sur un temps équivalent l'évolution de la température des trois montages suivants :
Attention la quantité totale de sable doit être équivalente pour chaque expérience

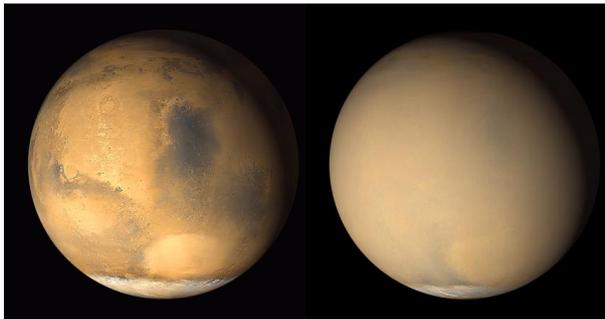


11. Discussion autour des résultats et conclusions

On note une diminution de la chaleur absorbée par le sol mais uniquement si la quantité de sable clair recouvre entièrement le sol foncé et sur une épaisseur importante (schéma 3.) un simple sous poudrage (schéma 2.) n'étant pas suffisant pour avoir un effet sur la température même si on note une augmentation de la lumière réfléchie.

Donc seule une accumulation d'une grosse quantité de matières minérale pourrait avoir une influence sur l'albedo et donc l'inertie de la planète.

<http://www.mars.asu.edu/~ruff/DCI/2001JE001580.pdf>



Or il a été observé, que des tempêtes Globale de sable pouvaient avoir lieu sur Mars suite auxquelles peuvent être observé des variations d'albedo et ce durant un an suivant cette tempête.

Deux images prises en 2001 par la caméra de l'orbiteur Mars Global Surveyor de la NASA montrent un changement spectaculaire dans l'apparence de la planète lorsque le nuage de poussière soulevé par la tempête dans le sud s'est répandu dans le monde. Les images ont été prises à environ un mois d'intervalle.

https://www.researchgate.net/publication/263856153_Mars_surface_albedo_and_changes

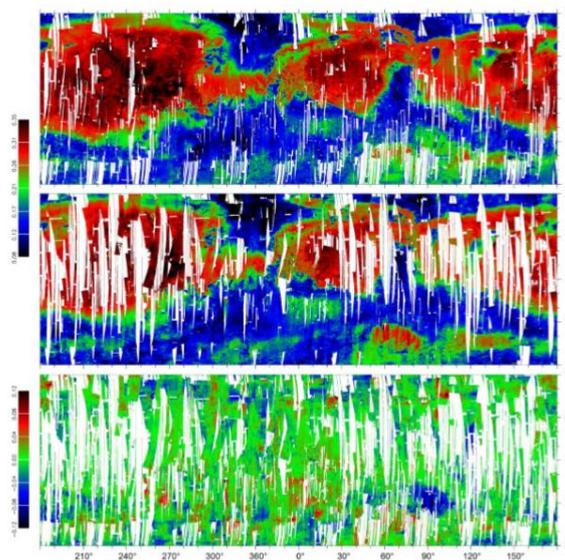


Figure 9: (top) albedo map prior to the MY28 GDS (orbits ≤ 4463 ; data from MY26 L₅ 330° to MY 28 L₁ 265°; 86% coverage). (middle) albedo map after the MY GDS (orbits ≥ 4758 ; data from MY 28 L₁ 315° to MY 30 L₁ 135°; 74% coverage). (bottom) difference albedo map (middle – top; 63% coverage). Quality level # 1 (Table 1) is used. Bright areas or brightening ≥ 0.04 are in red, dark areas or darkening ≤ -0.04 are in blue. Intermediate albedo and stable areas are in green.

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

- https://www.researchgate.net/publication/263856153_Mars_surface_albedo_and_changes

- Arduino

SEIS, un sismomètre bien emballé

1. Introduction & Pb

En 2018, la NASA a envoyé un nouvel atterrisseur sur Mars qui va explorer pour la première fois « les entrailles » de la planète. Pour mener à bien cette mission qui consiste à enregistrer les séismes, les impacts des météorites et ainsi déterminer la structure interne de la planète : le robot est équipé d'un sismomètre à la fois sensible et résistant SEIS élaboré par le CNES (Centre national d'études spatiales de Toulouse) en partenariat avec l'IPG (Institut de Physiques du Globe de Paris).



Pour protéger les sismomètres de l'environnement, les sismologues les placent dans des caves sur Terre.

Mais pour protéger SEIS de l'environnement martien, les scientifiques ont conçu une double protection : le bouclier de protection éolien et thermique WTS. Pour vérifier son comportement thermique, l'appareil a été porté à des températures élevées dans des étuves (jusqu'à 60 °C), avant d'être placé dans des enceintes où régnaient des températures glaciales pouvant descendre jusqu'à -75°C.

Philippe Laudet, chef de projet de SEIS au CNES

Mars et la Terre sont des planètes rocheuses très similaires. Certains mêmes parlent de planètes « jumelles ».

Pb : Mais alors pourquoi les scientifiques ont tenu à recouvrir le sismomètre martien sous une coque de protection ?

2. Age des étudiants 14 – 16 ans

3. Objectifs

L'objectif de cette activité est de déterminer en quoi l'atmosphère et l'environnement de Mars diffèrent de celles de la Terre et nécessitent de concevoir des instruments très résistants tester de nombreuses fois dans des conditions extrêmes sur Terre.

4. Disciplines principales

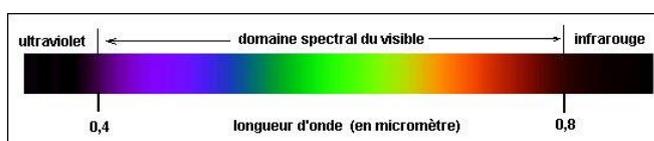
Chimie – Science de la Terre

5. Disciplines complémentaires

6. Temps requis 1h30

7. Mots-clés

Atmosphère – Gaz - Cycle du carbone – Bilan radiatif – Rayonnement solaire – Infrarouge.



8. Matériel

Composition des atmosphères des planètes du système solaire	Modélisation du Bilan radiatif d'une planète	Modélisation des variations du rayonnement solaire reçu par une planète	Modélisation du déplacement des masses d'air
- Logiciel « Le système solaire » : https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/systeme-solaire/	- Plaque - Isolant - Thermomètre - Vitre	- Lampe - Planisphère - Plaque percée de trous	- Cône d'encens - Plaque froide - Support - Feuille noire

9. Connaissances requises

Le rayonnement solaire comprend des rayonnements ultraviolets de longueur d'onde inférieure à 0,4 mm et infrarouges, de grande longueur d'onde supérieure à 0,8 mm.

Les gaz à effet de serre (vapeur d'eau, gaz carbonique, méthane...) sont pratiquement transparents au rayonnement solaire (longueur d'onde du visible) et opaques au rayonnement infrarouge émis par la Terre. La chaleur est piégée.

10. Protocole

Vous allez rédiger un article scientifique contenant les spécificités de Mars et de la Terre. Vous intégrerez les raisons évoquées par les scientifiques pour expliquer les processus responsables de la perte d'une grande partie de l'atmosphère de Mars et qui expliquerait en partie son environnement hostile.

Enfin vous en déduirez les raisons pour lesquelles les scientifiques responsables de la mission Insight Mars ont dû élaborer des instruments de mesure très résistants pour faire face à l'environnement de Mars.

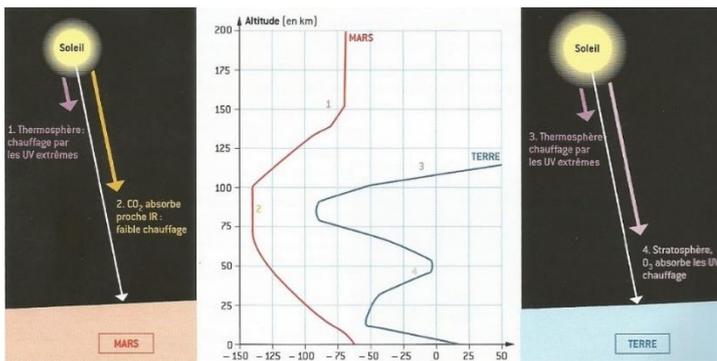
Disposer la classe en plusieurs ateliers et donner à chacun une partie de l'activité à réaliser. Les résultats de chaque groupe permettront de construire la conclusion finale.

I. L'atmosphère des planètes rocheuses du système solaire :

1. Compléter le tableau suivant à l'aide du logiciel « Le système solaire ».

	Epaisseur	Principaux composants de l'atmosphère	Etats de l'eau	Présence Ozone
Terre				
Mars				

Le profil moyen des températures sur Terre et sur Mars :



Sur les deux planètes, l'essentiel de la masse de l'atmosphère est confiné dans les premiers kilomètres au-dessus de la surface. La structure thermique de l'atmosphère est caractérisée, sur Terre, par une épaisse couche d'ozone réchauffée par l'absorption des rayons ultraviolets.

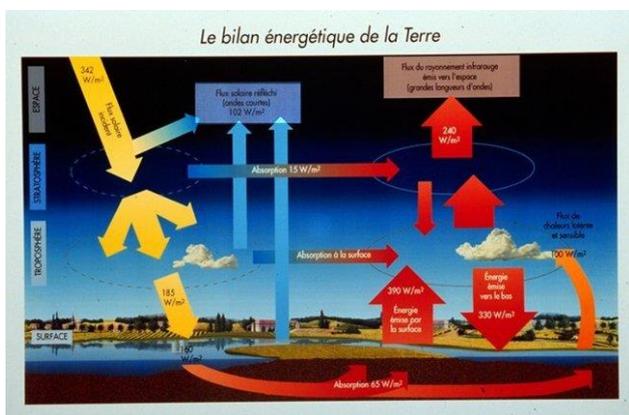
Rien de tel sur Mars, où la couche d'ozone est négligeable.

La planète Mars, Belin – Pour la Science – Forger, Costard et Lognonné

Bilan radiatif et effet de serre :

Terre

Mars



Mars reçoit deux fois moins d'insolation que la Terre. La composition de l'atmosphère (95% CO₂) la rend transparente dans les longueurs d'onde visible. L'atmosphère est donc réchauffée par absorption du rayonnement incident visible et se refroidit par émission thermique infra-rouge. Le flux radiatif émis par la surface dans l'infra-rouge est en partie absorbé par l'atmosphère. L'effet de serre est d'une amplitude très modeste sur Mars : 5K en raison des faibles pressions et de l'étroitesse de la bande d'absorption/émission du CO₂.

Source de l'image : (CNES, site scarab) : <http://scarab.cnes.fr:8020/>

2. Modélisation du Bilan radiatif d'une planète avec et sans effet de serre :

Température sans effet de serre	Température avec effet de serre
<p style="text-align: center;">$T^{\circ} =$</p>	<p style="text-align: center;">$T^{\circ} =$</p>

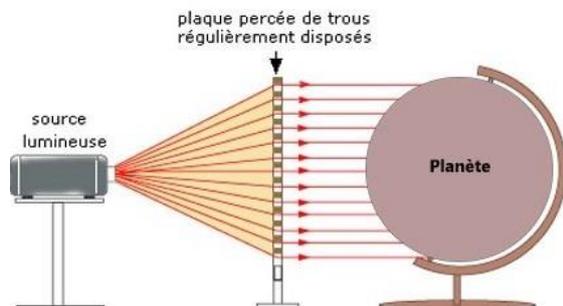
La plaque exposée au soleil se réchauffe. Elle reçoit donc de l'énergie, sa T° augmente. Elle va émettre plus de rayonnement et perdre plus d'énergie.
 La vitre laisse passer tout le rayonnement solaire et absorbe tout le rayonnement infrarouge. La vitre absorbe donc le rayonnement infrarouge émis par la plaque et se réchauffe. Comme elle se réchauffe, elle émet elle-même plus de rayonnement infrarouge et sa température va augmenter jusqu'à ce qu'elle perde autant d'énergie qu'elle en reçoit.
 Le rayonnement émis par la vitre vers le haut est perdu et celui émis vers le bas est absorbé par la plaque. La plaque reçoit maintenant plus d'énergie qu'elle n'en perd, donc sa température va augmenter jusqu'à ce qu'elle perde autant d'énergie qu'elle en reçoit.
 Un équilibre est atteint, dans lequel la température de la plaque est plus élevée que dans le montage sans vitre : c'est l'effet de serre.

II. Les vents sur Terre et sur Mars :

La circulation atmosphérique est régie par les mêmes lois sur Terre et sur Mars.
 Les contrastes thermiques se traduisent dans l'atmosphère par une différence de pression en altitude. Les masses d'air des hautes pressions (régions chaudes) sont poussées vers les basses pressions (régions froides).
 Elles se mettent en mouvement et engendrent des vents. Nous allons modéliser les facteurs responsables de la formation des vents.

1. Les contrastes thermiques :

Le rayonnement solaire génère les mouvements atmosphériques en créant des contrastes de température. Pour une même pression à la surface on trouvera plus d'air en altitude car l'air chaud occupe plus de volume.

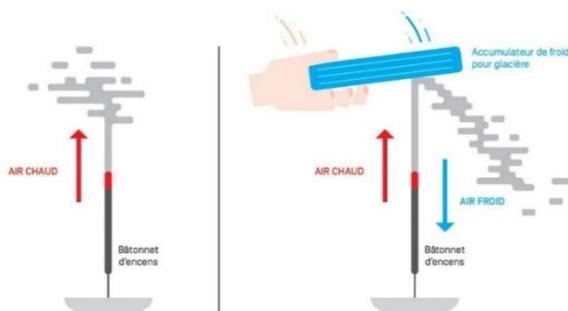


Les régions tropicales reçoivent davantage d'énergie solaire par unité de surface que les régions polaires

Sur Terre, l'écart moyen entre les deux zones reste constant au cours du temps, il existe donc un transfert d'énergie de l'équateur vers les pôles. Ce transfert est assuré par les circulations qui animent les deux systèmes fluides de la planète, l'atmosphère et les océans.
 Le contraste thermique sur Terre est donc localisé surtout au niveau de la basse atmosphère plus chaude sous les tropiques qu'aux pôles.

Alors que sur Mars, le contraste thermique s'établit entre l'hémisphère printemps/été chaud et l'hémisphère automne/hiver froid. Sauf pendant l'équinoxe où les deux pôles Nord et Sud sont froids.

- La circulation méridienne :

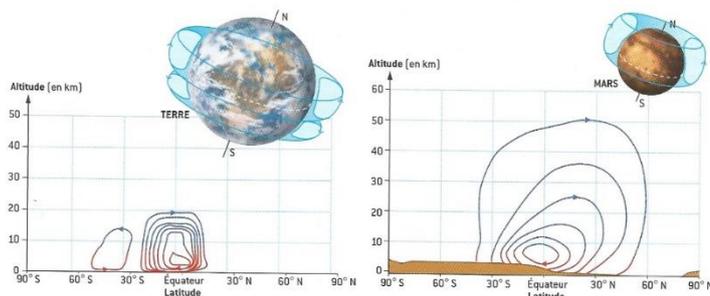


On observe une circulation de flux animée par les différences de température et donc de la densité de l'air (l'air chaud se dilate et monte). Des variations de pression atmosphérique résultent de cette circulation.

Ouvrage collectif "SVT, Cycle 4" Réseau Canopé, 2017

Ce flux transporte l'air chaud vers les pôles à haute altitude et l'air froid vers l'équateur à basse altitude sur Terre : on parle de cellules de Hadley du nom du physicien anglais (1735). Ce déplacement des masses d'air chauds et froides engendre les vents.

Sur Mars, il n'y a qu'une seule cellule de Hadley qui joint un hémisphère à l'autre en traversant l'équateur.



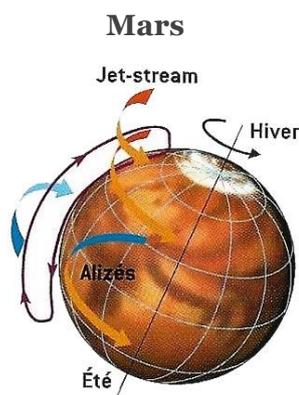
La planète Mars, Belin – Pour la Science – Forger, Costard et Lognonné

2. La rotation de la planète :

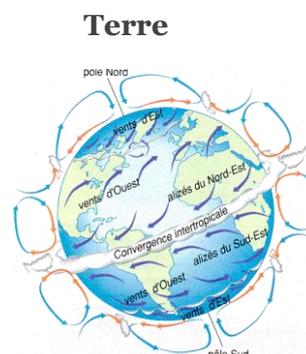
Les mouvements de l'air sont également affectés par la rotation planétaire.

Les vitesses de rotation de Mars et de la Terre ainsi que les variations saisonnières de l'ensoleillement sont quasi identiques d'où une météorologie comparable.

En effet, on retrouve « le jet stream » qui fait le tour de la planète d'ouest en est dans les moyennes latitudes du Sud et du Nord. ; les vents alizés entre les Tropiques ...



La planète Mars, Belin - Forger, Costard et Lognonné



Source : eduscol.education.fr

11. Echange autour des résultats et conclusion

L'atmosphère des planète Terre et Mars sont très différentes : la composition, l'épaisseur, le bilan radiatif ...

La Terre absorbe davantage d'énergie qu'elle n'en émet avec l'atmosphère, le système gagne de l'énergie. Or dans le cas de Mars, le bilan radiatif est négatif et la planète perd de l'énergie. Le contraste thermique est plus marqué sur Mars que sur Terre. Les conditions environnementales sur Mars : écart thermique important et vents violents

Les scientifiques ont dû concevoir le sismomètre SEIS à la fois ultrasensible mais surtout ultra résistant face à l'environnement hostile de Mars caractérisé par des écarts extrêmes de température mais aussi aux vents violents, les turbulences atmosphériques ...

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

- <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/td-cycle-du-carbone2.xml>
- “La planète Mars”, François Forget – François Costard – Philippe Lognonné, Edition Belin
- Article de Sciences et Avenir « Tempêtes solaires : pourquoi elles peuvent être catastrophiques pour la Terre », Par [Erwan Lecomte](#) le [25.07.2014](#)
- Ouvrage collectif « SVT, Cycle 4 » Canopé Edition Agir, 2017

Etude des variations journalières sur Mars

1. Introduction & Pb

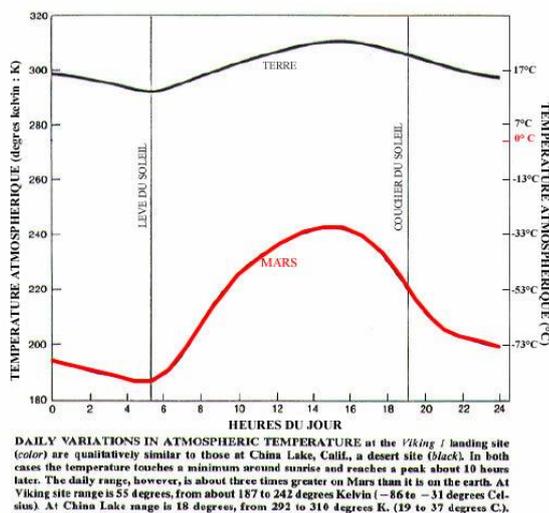
Sur Mars, on peut trouver à la surface des conditions estivales : 20 °C, la brise des alizés... Mais dès la nuit suivante, la température chute par dizaines de degrés et des conditions glaciales, jusqu'à - 100 °C, régneront jusqu'au lendemain matin. En fait, le sol martien, sec et granuleux, ne peut emmagasiner que peu de chaleur. Son inertie thermique est très faible comparée à celle de la Terre et de ses océans. L'atmosphère étant peu massive, les variations sont beaucoup plus marquées.

Sur Terre, les variations journalières sont moins marquées que sur Mars.

Tableau de températures jour- nuit des planètes telluriques :

Planète	T jour (°C)	T nuit (°C)
Mercure	430	-170
Vénus	460	450
Terre	15	5
Mars	-23	-93

Comparaison entre les variations journalières de la température atmosphérique sur le site de Viking 1 et celles d'un site désertique terrestre (China Lake, California) :



Dans les 2 cas la température est minimale au lever du soleil.

Les amplitudes thermiques journalières sont 3 fois plus importantes sur Mars que sur Terre.

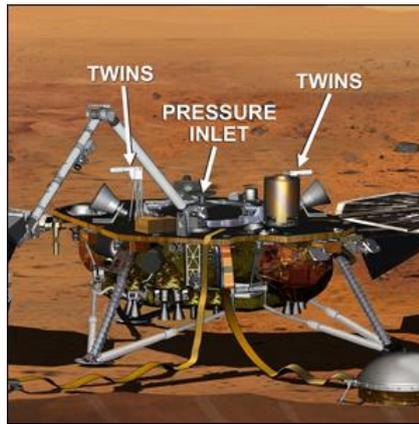
Source : Droits réservés - © 1979 D'après Ryan et Henry, JGR

La sonde InSight est équipée d'une station météorologique complète (APSS, Auxiliary Payload Sensor Suite).

Les différents capteurs de cette station (température, girouette, anémomètre, baromètre et magnétomètre) vont jouer un rôle crucial dans l'interprétation des données fournies par le sismomètre SEIS mais aussi dans l'amélioration des connaissances de la météorologie et du climat martien actuel. Ces connaissances nous aideront aussi à mieux appréhender les perturbations météorologiques sur la planète Terre.

La prise d'air du capteur de pression ultrasensible de la station météorologique APSS sur le pont de l'atterrisseur InSight (© NASA/JPL-Caltech/IPGP/Philippe Labrot).

Ce capteur de pression est ultrasensible, c'est-à-dire capable de réagir à des variations de pression de l'ordre de la dizaine de microPascal (soit 10^{-7} mbars). Il est monté sur le pont de l'atterrisseur, sous le bouclier éolien et thermique WTS.



NASA/JPL-Caltech -
http://photojournal.jpl.nasa.gov/figures/PIA17358_fig1.jpg

Les capteurs TWINS (Temperature and Wind Sensors for InSight) sont des anémomètres à fil chaud. Ils sont au nombre de deux sur le pont. Ils enregistrent maximum à 1 coup par seconde.

Deux fois par seconde, ils enregistreront la température de l'air, ainsi que la vitesse et la direction des vents, et ce durant la totalité de la durée de la mission, une année martienne soit deux années terrestres.

Les données que les scientifiques récupèrent régulièrement de cette station vous nous permettent de mieux comprendre les phénomènes liés à la météorologie sur Mars.

Pb : Comment l'analyse de données météorologiques peuvent nous aider à améliorer nos connaissances sur les perturbations météorologiques sur Mars comme sur Terre ?

2. Age des étudiants 15 – 17 ans

3. Objectif

Montrer à partir d'un traitement des données en Python les informations que l'on peut tirer des perturbations météorologiques tels que le cycle diurne, le passage d'un Dust.

4. Disciplines principales

Mathématiques – Physique – Sciences de la Terre

5. Disciplines complémentaires

Programmation en Python

6. Temps requis 3h

7. Mots clés

Gradient géothermique – Flux de chaleur – Dissipation de chaleur

8. Matériel

- Ordinateur
- Logiciel Excell – Python

9. Connaissances requises

L'inertie thermique du sol, la période de rotation et l'atmosphère sont les paramètres principaux qui contrôlent le contraste de température entre le jour et la nuit d'une planète.

La **moyenne mobile**, est un type de moyenne statistique utilisée pour analyser des séries ordonnées de données, le plus souvent des séries temporelles, en supprimant les fluctuations transitoires de façon à en souligner les tendances à plus long terme. Cette moyenne est dite *mobile* parce qu'elle est recalculée de façon continue, en utilisant à chaque calcul un sous-ensemble d'éléments dans lequel un nouvel élément remplace le plus ancien ou s'ajoute au sous-ensemble.

Ce type de moyenne est utilisé généralement comme méthode de lissage de valeurs.

10. Protocole

- Sur Terre :

Vous avez à votre disposition sous un format « csv » les données correspondantes au 9/7/2019 (cf tableau de données csv) relevés à partir du site météo « WillyWeather » sur le site de China Lake Acres (environnement similaire à un environnement Martien).

- 1. Vous allez représenter les graphiques de Température, Pression et Vitesse du Vent que vous avez à disposition à l'aide du langage Python.**

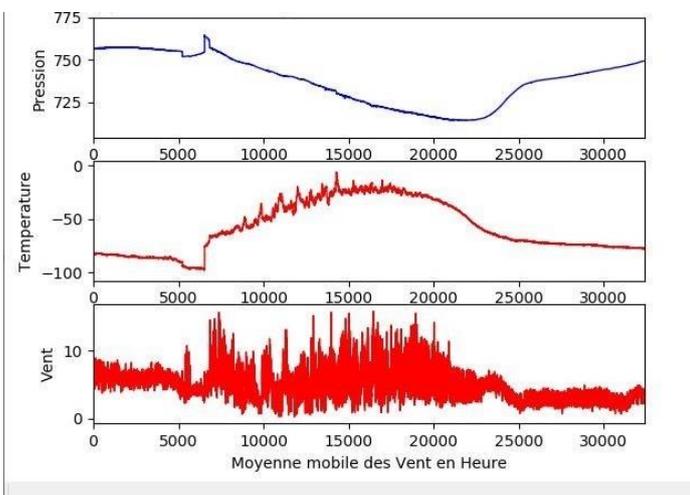
- Sur Mars :

Vous avez à votre disposition sous un format « csv » les données météorologiques correspondantes au 15^{ème} jour de la mission Insight (cf tableau de données csv).

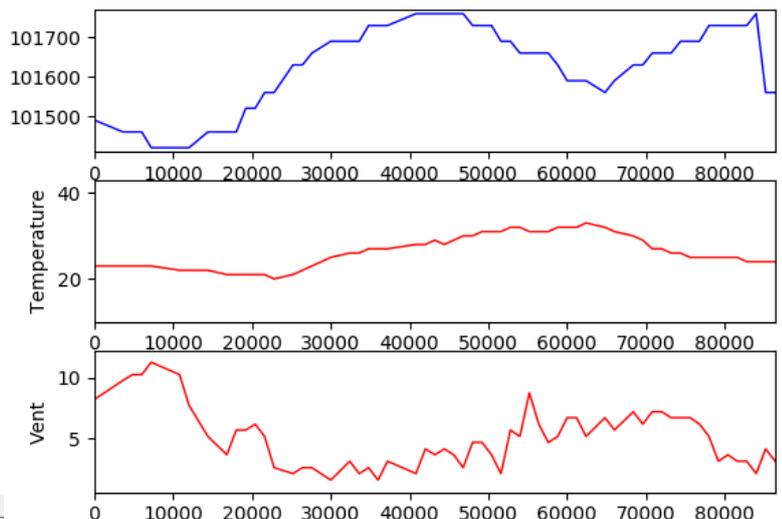
- 2. Vous allez représenter les graphiques des paramètres que vous avez à disposition à l'aide du langage Python.**

Résultats attendus :

Sur Mars



Sur Terre



Temps : seconde – Température : K – Vitesse du vent : m/s – Pression : Pa

« The European Commission is not responsible for any uploaded or submitted content. Such content expresses the views of its author(s) only »

3. Comparer les résultats obtenus sur Terre et sur Mars et interprétez les.

On peut distinguer des variations très importantes de la température sur Mars, allant de -83°C (la nuit) à 13°C (le jour) qui correspondent au cycle diurne sur Mars. En revanche sur Terre, les variations de température sont moins importantes entre le jour et la nuit (de 23°C à 32°C). De même pour la pression.

Pour mener une étude plus fine de ces données, les scientifiques ont besoin d'avoir des mesures qui ne soient pas « polluées » par des valeurs irrégulières qui témoignent de ces phénomènes exceptionnels tels que des dust devils ou autres.

Nous allons donc utiliser des moyennes statistiques particulières qui permettent de lisser les valeurs afin d'en exclure des valeurs dites *aberrantes* (distantes des autres observations effectuées sur le même phénomène).

Ces moyennes statistiques sont les « **Moyennes Mobiles** ou **glissantes** ».

Moyennes mobiles simples sur 3 valeurs, pour une série de 9 mesures.

Mesures	2	3	5	8	8	7	8	5	2
Moyenne glissante	néant	$(2 + 3 + 5)/3$ 3,3333	$(3 + 5 + 8)/3$ 5,3333	$(5 + 8 + 8)/3$ 7	$(8 + 8 + 7)/3$ 7,6666	$(8 + 7 + 8)/3$ 7,6666	$(7 + 8 + 5)/3$ 6,6666	$(8 + 5 + 2)/3$ 5	néant

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Moyenne_mobile

Dans notre cas, les valeurs étant en relation avec le domaine atmosphérique, nous utiliserons une « moyenne glissante sur 6 heures, 8 heures et 12 heures » des Températures et des Pressions, soit calculer les moyennes de 0h00 à 8h00, de 1h00 à 9h00, de 2h à 10h00, etc ...

Nos relevés se présentant sur 3 jours, nous pourrions ainsi mesurer la valeur maximale et minimale de la moyenne glissante pour obtenir une idée de l'amplitude thermique sur une journée martienne, etc ..

L'intérêt d'une moyenne glissante est de lisser les éventuels écarts accidentels (twist devil, ...).

Mode opératoire pour représenter des graphiques représentant des moyennes glissantes :

- Listes et opérations sur les listes
- Affichage de courbes

1) a) Écrire la fonction **moyenne(Liste_de_nbre)** permettant de calculer la moyenne d'une liste de nombre.

Bonus) Écrire la fonction **moyenne_modifiee(Liste_de_nbre)** permettant de calculer la moyenne sans utiliser la fonction **sum** de Python.

2) Écrire la fonction **List_extract(p, n, Liste_de_nbre)** permettant d'extraire une liste une liste de taille donnée **n** commençant à un rang donné **p**.

3) a) Écrire la fonction **Calcul_Moyenne_Mobile(n, Liste)** permettant d'obtenir la liste des moyennes mobiles sur un intervalle de valeurs **n** d'une liste donnée

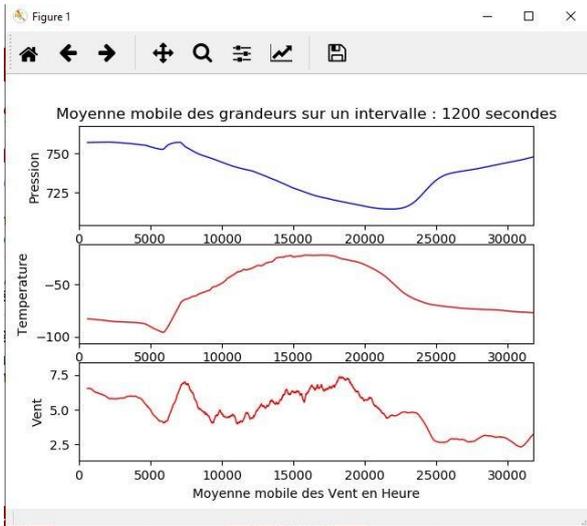
b) Donner la liste des moyennes mobiles sur une plage de 8 valeurs sur le relevé :

- i) des temps
- ii) des temperatures
- iii) des pressions
- iv) des vents

- 4) a) Écrire la fonction **Moyenne_Mobile(n, Liste1, Liste2, Liste3, Liste4)** permettant d'afficher les températures, les pressions et les vitesses de vent moyennées, en fonction du temps moyennée sur une plage de 8 valeurs de temps.
 (On tiendra compte de la correspondance Liste1=Temps Liste2=Temperature Liste3=Pression Liste4=Vent)
- b) Modifier le code de la fonction **equation_moindre_carre(n)** pour évaluer la corrélation possible entre les deux grandeurs Température et Pression moyennée.

Le code d’affichage des graphes n’est pas demandé et sera fournie dans le fichier élève

Graphique obtenu avec une moyenne glissante sur 20’ des données Martiennes :

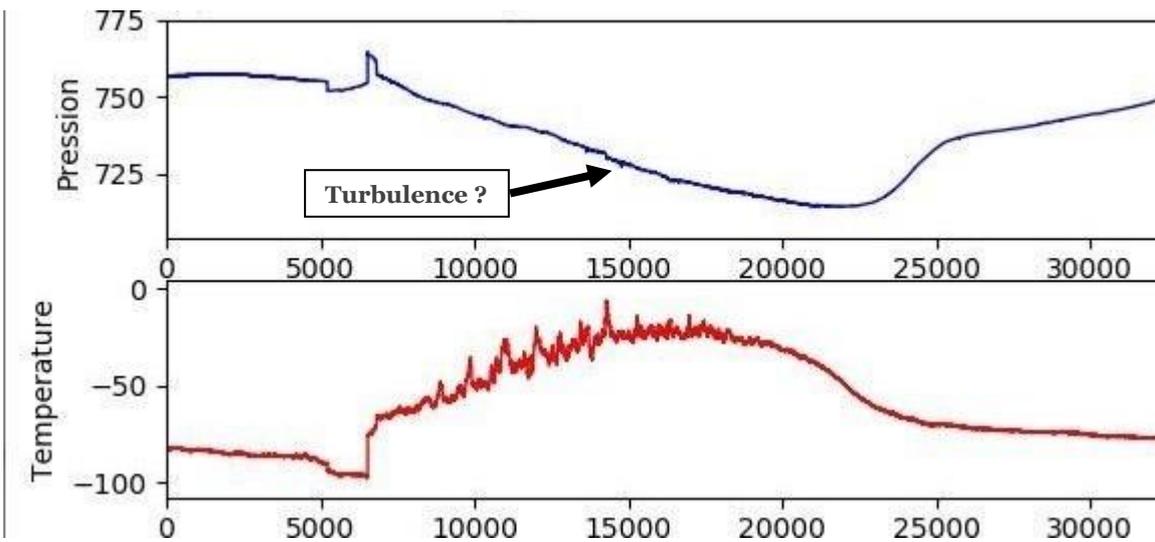


Nous observons sur le graphique des pressions sur Mars, des ondes à grande échelle appelées « ondes de marées thermiques ».

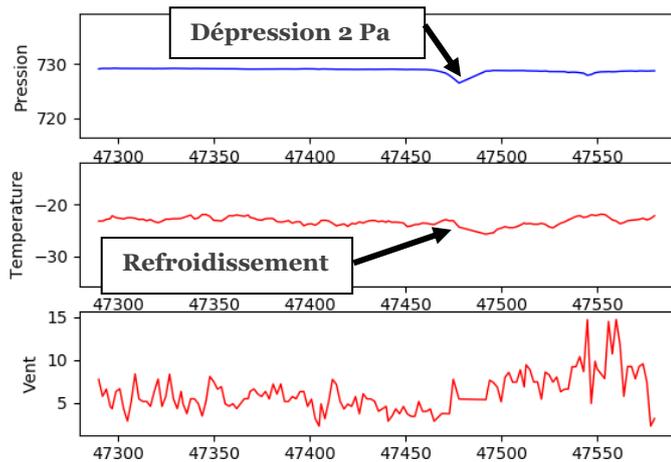
En effet, les ondes de marées thermiques sont des ondes d’échelle planétaire excitées par des variations de l’insolation du sol dues au cycle jour-nuit. Ces ondes se manifestent sur le champ de pression et sur les composants du vent et elles évoluent avec le temps solaire local.

On observe un cycle diurne très marqué et des vents intenses jusqu’au lever du jour dus au refroidissement de la T° près du sol la nuit.

On observe sur le graphique des données Martiennes (voir ci-dessous) deux perturbations qui pourraient être des tourbillons locaux du type « dust devil » mais il faudra réaliser un échantillonnage plus précis pour s’en assurer :



Echantillonnage sur 250 secondes à partir des données Martiennes autour des données du Dust observé sur les graphiques précédents :

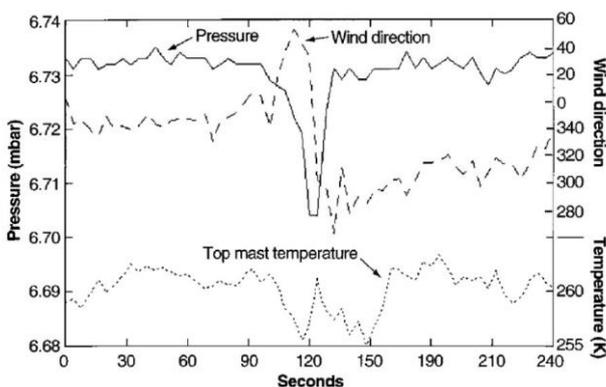


Les ondes de marée thermique dans l'atmosphère de Mars ont une amplitude beaucoup plus élevée que sur Terre car le forçage thermique sur Mars est très fort à cause de l'absorption dans le proche infra-rouge du CO_2 atmosphérique, l'absorption du rayonnement infra-rouge émis par la surface, la présence de la poussière dans l'atmosphère et le fait que l'atmosphère y soit plus ténue.

L'effet des marées thermiques sur la circulation zonale et méridienne moyenne est donc très important dans l'atmosphère martienne.

Comparaison des résultats obtenus aux résultats obtenus sur le site Pathfinder caractérisant un Dust sur Mars :

Mesures de pression (hPa), de vent (m/s) et de température (K) au site Pathfinder :



L'échantillonnage temporel des données est de 4 s. Le passage d'un dust-devil à l'équilibre cyclostrophique au-dessus de sonde se traduit par une dépression de 2,5 Pa et un refroidissement d'environ 5 K. La rotation caractéristique du vent a également été capturée par les anémomètres de Pathfinder, mais les problèmes de calibration de ces capteurs n'ont pas permis de mesurer l'amplitude du vent avec une précision suffisante. Image extraite de Schofield et al. [1997].

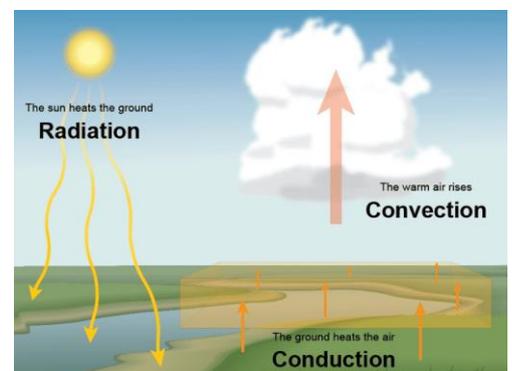
Source : Thèse de M. Aymeric Spiga « Dynamique méso-échelle de l'atmosphère martienne : développement d'un modèle météorologique et analyse des observations OMEGA/Mars Express »

Modélisation des phénomènes physiques à l'origine de la formation d'un tourbillon local :

Dans une région aride, l'air se réchauffe différemment près de la surface du sol. Cette chaleur va se transmettre verticalement par radiation à une couche d'air sec plus froide et va donc subir une poussée d'Archimède vers le haut et entrer en convection.

L'arrivée d'un vent horizontalement va engendrer une rotation de l'air qui emprisonnera avec elle les poussières présentes.

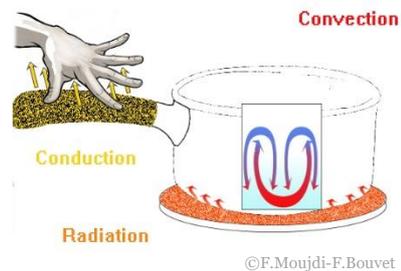
La hauteur et le diamètre du tourbillon dépendent de l'instabilité et de la sécheresse de l'air.



Source : <https://www.thoughtco.com/what-is-convection-4041318>

Concevoir trois expériences simples à réaliser afin de modéliser les trois modes de transfert de chaleur : Convection – Conduction – Radiation.

convection	Conduction	Radiation
the movement caused within a fluid by the tendency of hotter and therefore less dense material to rise, and colder, denser material to sink under the influence of gravity, which consequently results in transfer of heat.	the process by which heat or electricity is directly transmitted through a substance when there is a difference of temperature or of electrical potential between adjoining regions, without movement of the material.	the emission of energy as electromagnetic waves or as moving subatomic particles, especially high-energy particles that cause ionization.



11. Echange des résultats et conclusion

La météorologie Martienne ressemble à celle de la Terre a bien des égards. En effet, elle est riche en tempêtes, tornades, dust ...

Et pourtant Mars se distingue de la planète Terre. En effet, l'atmosphère Martienne est peu massive, le phénomène d'oscillation diurne des vents, peu important sur Terre, est renforcé par de très grands contrastes de température entre le jour et la nuit.

L'analyse des données météorologiques nous ont permis de découvrir des signaux lents de grande échelle spatiale (les marées thermiques) et des signaux rapides d'échelle locale (les tourbillons et turbulence convective).

En effet, les oscillations diurnes de la température et du vent à la surface excitent indirectement toutes les autres couches de l'atmosphère. Ce qui entraîne la vibration de la couche atmosphérique martienne ou plus exactement propage des ondes de de fréquence diurne (une oscillation par jour) appelée « onde de marée thermique ». Ces oscillations diurnes vont interagir avec les autres vents et influencer la circulation atmosphérique qui sera enregistrée inévitablement par le sismomètre SEIS.

Les météorologues de la mission devront une fois les données collectées en continue les décorrélérer des informations fournies par le sismomètre SEIS.

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

- “La planète Mars” : Edition Belin – François Forget, François Costard – Philippe Lognonné
- Thèse de M. Aymeric Spiga « Dynamique méso-échelle de l'atmosphère martienne : développement d'un modèle météorologique et analyse des observations OMEG/Mars Express

Des instruments pour mesurer la vitesse du vent martien

1. Introduction & Pb

Sur Terre, les capteurs utilisés dans le réseau de Météo-France pour la mesure de la force et de la direction du vent sont deux types : les capteurs mécaniques avec un anémomètre à coupelle et une girouette, et les capteurs ultrasoniques.

Capteur mécanique Déolia 96



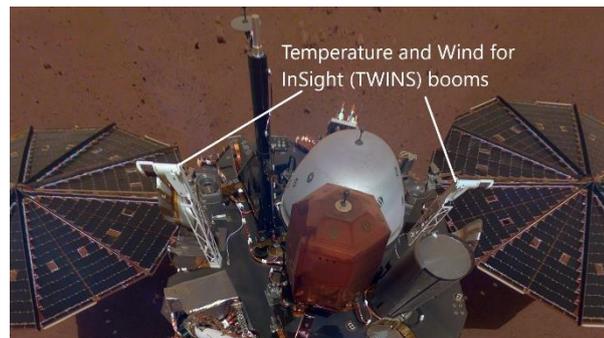
Capteur ultrasonique



Pour la sonde InSight, les ingénieurs ont choisi des capteurs TWINS (Temperature and Wind Sensors for InSight), très similaires aux capteurs REMS (Rover Environmental Monitoring Station) utilisées pour le rover Curiosity, qui roule depuis 2012 à l'intérieur du cratère d'impact Gale.



Les capteurs TWINS de la station météorologique de la sonde InSight (© NASA)



NASA/JPL-Caltech

Les deux capteurs sont montés sur le pont. Deux fois par seconde, ils enregistrent la température de l'air, ainsi que la vitesse et la direction des vents, et ce durant la totalité de la durée de la mission, une année martienne soit deux années terrestres.

Pb : Comment peut-on déterminer la vitesse du vent Martien malgré un environnement hostile ?

2. Age des étudiants 13-15 ans

3. Objectif

L'objectif est de déterminer comment fonctionne les capteurs Twins de la sonde Insight et pourquoi les scientifiques ont besoin de connaître précisément la direction du vent ainsi que la température en continue.

4. Disciplines principales

Sciences de la Terre – Physique - Informatique

5. Temps requis 2h

6. Mots clés

Anémomètre - Météorologie

7. Matériel

- Capteur anémomètre à fil chaud



La sortie analogique OUT du capteur donne une tension que l'on relie à la vitesse du vent ainsi :

$$Vent_{ms} = 0,44704 \times \left(\frac{(V_{OUT} - V_{sansVent})}{0,0087288} \right)^{3,009364} \times (3,038517 \times (temp_C)^{0,115157})$$

Dans le cas d'une pièce à 25 °C, le site propose une valeur de $V_{sansVent} = 1,3692$ V. Valeur que l'on peut comparer avec celle de notre montage

La sortie TEMP du capteur permet de mesurer la température ambiante.

$$T_{mp} = \frac{(V_{TEMP} - 0.400)}{0.0195}$$

V_{OUT} est la tension mesurée sur la sortie OUT du capteur en volt

$V_{sansVent}$ est la tension mesurée en volt par le capteur lorsqu'il est protégé du vent (par une cloche par exemple.

$Temp_C$ est la température de la salle en °C

$Vent_{ms}$ est la valeur du vent en m/s

V_{TEMP} est la tension mesurée sur la sortie TEMP du capteur

8. Connaissances requises

Montage d'un capteur et programmation simple Arduino.

9. Protocole

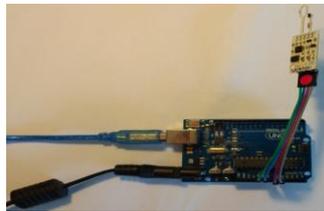
La sonde Insight est équipée d'anémomètres sans partie mécanique pour éviter notamment les problèmes d'usure (dus aux écarts de température en autre).

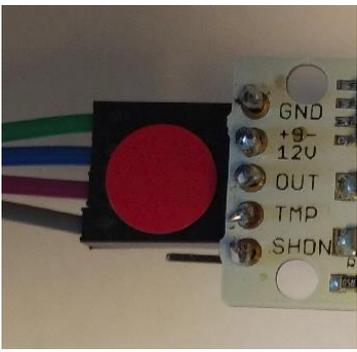
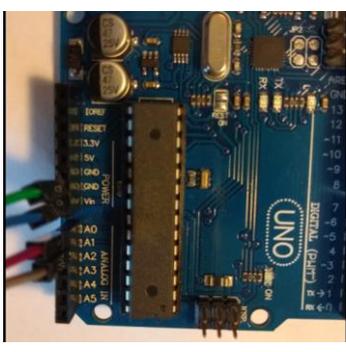
Nous allons utiliser des capteurs similaires permettant la mesure du vent et la mesure de la température. Il s'agit d'un anémomètre à fil chaud : une résistance est chauffée par une alimentation 12V, plus la température du fil augmente plus sa résistance électrique augmente. Le vent va refroidir la résistance c'est cette baisse de température qui permet de connaître la vitesse du vent.

Pour suivre l'évolution de la vitesse du vent et de la température nous allons connecter le capteur à un arduino.

1. Mise en place d'un capteur :

Le câblage est le suivant : ce qui donne pour un capteur seul le montage présenté en photo ici



	Capteur	Couleur du fil dans l'exemple	Arduino	
	GND		GND	
	+12 V		Vin	
	OUT		A0	
	TEMP		A1	

Voici le programme qui permet l'affichage de la vitesse du vent et de la température dans le moniteur série.

```

TP1
const int OutPin = A0; // La sortie OUT du capteur sur la sortie analogique A0
const int TempPin = A1; // La sortie TEMP du capteur sur la sortie analogique A1
const int VSV = 284; // Valeur de la tension OUT en absence de vent
int OUT1;
int TMP1;
int ventms1; // valeur du vent en m/s
int temp1; // valeur de la température en °C

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // lecture des variables issues du capteur
  OUT1 = analogRead(OutPin);
  TMP1 = analogRead(TempPin);

  //Utilisation des formules pour donner les mesures en m/s et °C
  ventms1 = int(pow((((float)OUT1 - VSV) / 85.6814), 3.36814) / 0.44704); //conversion de la valeur du capteur en m/s
  temp1 = int (((float)analogRead(TMP1) * 5.0) / 1024.0) - 0.400) / .0195);

  //affichage dans le moniteur des valeurs
  Serial.print(" Le vent est de ");
  Serial.print(ventms1);
  Serial.print(" m/s et la température est de ");
  Serial.print(temp1);
  Serial.println(" °C");
}

```

On obtient ainsi

```
19:18:29.042 -> Le vent est de 0 m/s et la température est de 25 °C
19:18:29.108 -> Le vent est de 0 m/s et la température est de 25 °C
19:18:29.174 -> Le vent est de 0 m/s et la température est de 25 °C
19:18:29.241 -> Le vent est de 0 m/s et la température est de 25 °C
19:18:29.307 -> Le vent est de 0 m/s et la température est de 25 °C
19:18:29.340 -> Le vent est de 0 m/s et la température est de 25 °C
```

2. Mise en place du deuxième capteur :

La mise en place du second capteur se fait de la même façon. Pour recevoir les informations du second capteur il est nécessaire de créer 2 nouvelles variables OUT2 et TMP2 qui seront intégrées de la même manière dans le programme précédent.

L'affichage dans le moniteur série est similaire au programme précédent :

```
//affichage dans le moniteur série des valeurs
Serial.print(" Vent mesuré par capteur 1 : ");
Serial.print(ventms1);
Serial.print(" m/s et Vent mesuré par capteur 2 : ");
Serial.print(ventms2);
Serial.println(" m/s");
delay(1000);//pause d'une seconde
Serial.print(" température du capteur 1 : ");
Serial.print(temp1);
Serial.print(" ° c et celle du capteur 2 : ");
Serial.print(temp2);
Serial.println(" °C");
delay(1000);//pause d'une seconde
```

En absence de vent on obtient dans le moniteur série :

```
18:09:19.514 -> température du capteur 1 : 24 ° c et celle du capteur 2 : 24 °C
18:09:20.507 -> Vent mesuré par capteur 1 : 0 m/s et Vent mesuré par capteur 2 : 0 m/s
18:09:21.534 -> température du capteur 1 : 24 ° c et celle du capteur 2 : 24 °C
18:09:22.527 -> Vent mesuré par capteur 1 : 0 m/s et Vent mesuré par capteur 2 : 0 m/s
18:09:23.554 -> température du capteur 1 : 24 ° c et celle du capteur 2 : 24 °C
18:09:24.548 -> Vent mesuré par capteur 1 : 0 m/s et Vent mesuré par capteur 2 : 0 m/s
```

3. Détermination du sens du vent

Maintenant que les 2 capteurs sont en place, il est intéressant de comparer les vitesses et de déterminer le sens du vent.

Pour cette expérience nous allons considérer que le capteur est situé sur la gauche de la station et le capteur 2 à sa droite.

Nous allons effectuer une simple comparaison entre la sortie du capteur 1 et celle du capteur 2
Voici la partie du programme effectuant cette comparaison et affichant la vitesse dominante.

```
// comparaison des sorties OUT des 2 capteurs
if (OUT2 > OUT1) {
  Serial.print("Le vent vient de la droite et il vaut : ");
  ventms2 = int(pow((((float)OUT2 - VSV) / 85.6814), 3.36814) / 0.44704); //conversion de la valeur du capteur en m/s
  Serial.print(ventms2);
  Serial.println(" m/s");
} else {
  Serial.print("Le vent vient de la gauche et il vaut : ");
  ventms1 = int(pow((((float)OUT2 - VSV) / 85.6814), 3.36814) / 0.44704); //conversion de la valeur du capteur en m/s
  Serial.print(ventms1);
  Serial.println(" m/s");
}
delay(1000); //pause d'une seconde
```

Nous allons à présent classer le vent mesuré en 3 catégories :

- Vent fort,
- Vent moyen
- Vent faible.

Pour cela nous allons mesurer le vent max qu'il est possible de générer avec notre matériel. Cette valeur sera stockée dans une variable vent Max et réaliser une comparaison.

Si le vent mesuré est inférieur à 33 % du vent max alors nous afficherons « *le vent est faible* »

Si le vent mesuré est inférieur à 66 % du vent max alors nous afficherons « *le vent est moyen* »

Si le vent mesuré est supérieur à 66 % du vent max alors nous afficherons « *le vent est fort* »

Voici ce que cela donne :

```
void loop() {
  // lecture des variables issues du capteur
  OUT1 = analogRead(OutPin1);
  OUT2 = analogRead(OutPin2);

  // comparaison des sorties OUT des 2 capteurs pour déterminer le vent dominant
  if (OUT2 > OUT1) {
    VentDom = OUT2;
    Serial.print("Le vent vient de la droite.");
  } else {
    VentDom = OUT1;
    Serial.print("Le vent vient de la gauche.");
  }

  // comparaison du vent dominant avec ventMax
  if (VentDom < 0.33 * ventMax) {
    Serial.print("Le vent est faible");
  } else if (VentDom < 0.66 * ventMax) {
    Serial.print("Le vent est moyen");
  } else {
    Serial.print("Le vent est fort");
  }
  delay(1000); //pause d'une seconde
}
```

10. Discussion autour des résultats and conclusion

La détermination de la vitesse du vent sur Terre comme sur Mars est un facteur déterminant en météorologie. Cette mesure peut se faire à l'aide de différents instruments selon la précision de la mesure, l'environnement ...

Les sismologues sur terre n'ont pas besoin d'équiper les stations sismiques de station météorologique car les sismomètres sont déposés dans des caves à l'abri des perturbations atmosphériques.

En revanche, l'interaction de l'atmosphère martienne avec le sol laisse sa marque sur les enregistrements sismiques.

C'est pour cela que les ingénieurs ont conçu et placés une station météorologique sur le lander Insight et placé le sismomètre SEIS sous un bouclier de protection éolien, le WTS, qui bloque efficacement la plupart des effets du vent, sans pouvoir toutefois les annuler totalement. Nous allons donc pouvoir enregistrer ces rafales de vent et en couplant les données de la station WTS et les enregistrements de SEIS apprendre davantage sur l'environnement Martien.

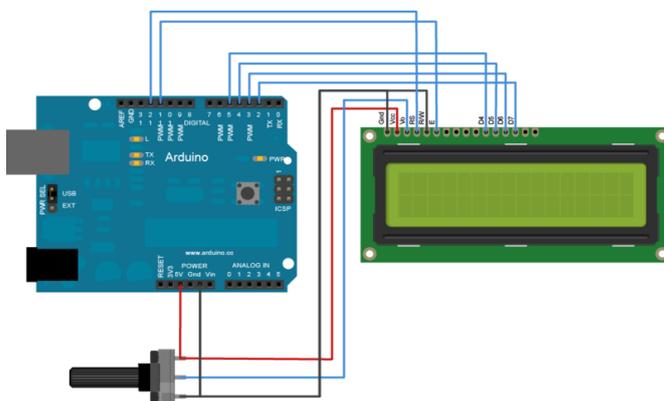
11. Pour aller plus loin

Utilisation d'un écran LCD

Afin de s'affranchir d'un ordinateur pour visualiser le sens du vent, il est possible d'afficher sur un écran LCD les messages plutôt que de le faire à l'aide du moniteur série présent dans l'environnement d'Arduino.

Cela se fait simplement comme le montre l'exemple fournit avec Environnement de développement d'Arduino. L'exemple est disponible en ouvrant le programme proposé dans les exemples Fichier> exemples> LiquidCrystal>Display.

Le montage associé au LCD est le suivant :



Après avoir affiché le « HelloWorld » de l'exemple nous pouvons utiliser cet affichage avec nos programme.

La différence se situe dans l'affichage, au lieu de `Serial.print ()` nous utiliserons `lcd.print()`

```
void loop() {
  // lecture des variables issues du capteur
  OUT1 = analogRead(OutPin1);
  OUT2 = analogRead(OutPin2);
  //On va d'abord effacer tout les caractères sur l'écran:
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0); //ici, on se positionne en haut à gauche de l'écran

  // comparaison des sorties OUT des 2 capteurs pour déterminer le vent dominant
  if (OUT2 > OUT1) {
    VentDom = OUT2;
    lcd.print("Vent de droite");
  } else {
    VentDom = OUT1;
    lcd.print("Vent de gauche");
  }

  lcd.setCursor(0, 1); //On se place sur la deuxième ligne
  // comparaison du vent dominant avec ventMax
  if (VentDom < 0.33 * ventMax) {
    lcd.print("vent faible");
  } else if (VentDom < 0.66 * ventMax) {
    lcd.print("vent moyen");
  } else {
    lcd.print("vent fort");
  }
  delay(1000); //pause d'une seconde
}
```

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

- Météo France : <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/moyens/les-stations-au-sol>
- Météo à l'école : <https://www.infoclimat.fr/pedagogie/>
- Site Arduino