Etude des variations journalières sur Mars

1. Introduction & Pb

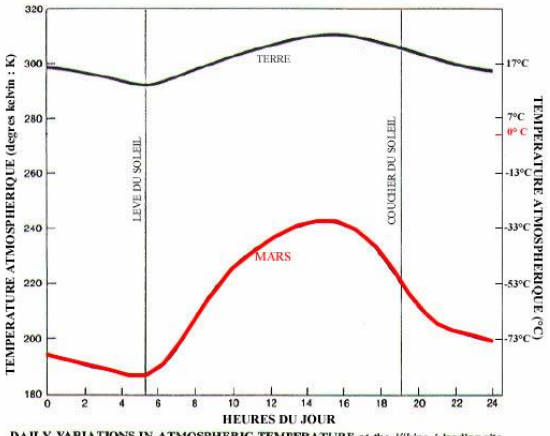
Sur Mars, on peut trouver à la surface des conditions estivales : 20 °C, la brise des alizés… Mais dès la nuit suivante, la température chute par dizaines de degrés et des conditions glaciales, jusqu'à – 100 °C, régneront jusqu'au lendemain matin. En fait, le sol martien, sec et granuleux, ne peut emmagasiner 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) :



DAILY VARIATIONS IN ATMOSPHERIC TEMPERATURE at the *Viking 1* landing site (*color*) are qualitatively similar to those at China Lake, Calif., a desert site (*black*). In both cases the temperature touches a minimum around sunrise and reaches a peak about 10 hours later. The daily range, however, is about three times greater on Mars than it is on the earth. At Viking site range is 55 degrees, from about 187 to 242 degrees Kelvin (−86 to −31 degrees Celsius). At China Lake range is 18 degrees, from 292 to 310 degrees K. (19 to 37 degrees C.).

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

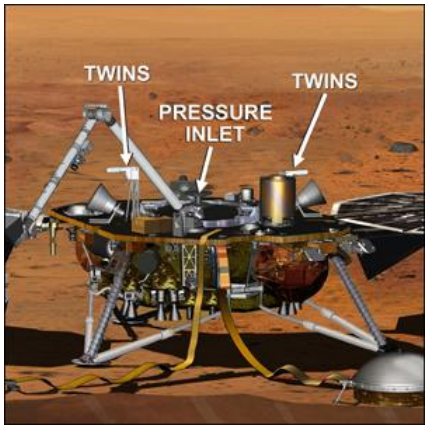
La sonde InSight est équipée d'une station météorologique complète (APSS, Auxiliary Payload Sensor Suite).

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.

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

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 ultra-sensible, 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 permettre 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

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

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 Pyhton.**

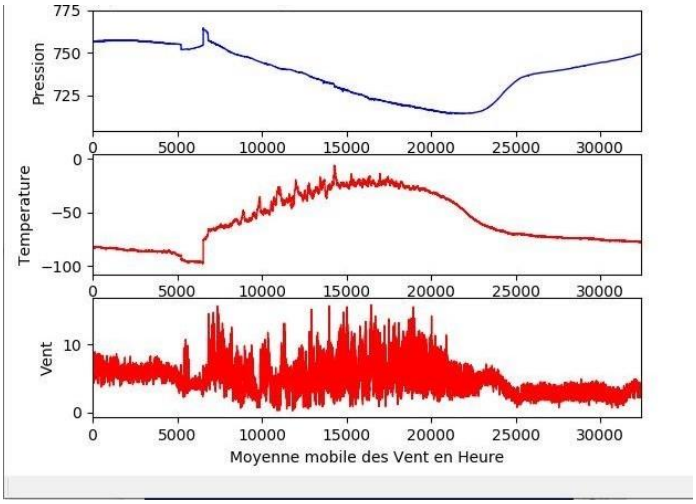
- Sur Mars :

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

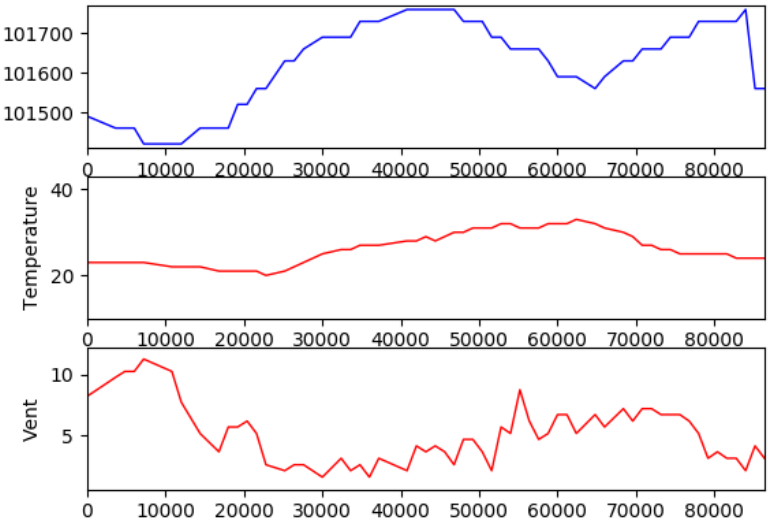
2. **Vous allez représenter les graphiques des paramètres que vous avez à disposition à l'aide du langage Python.**

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 pourrons 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 représentater 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

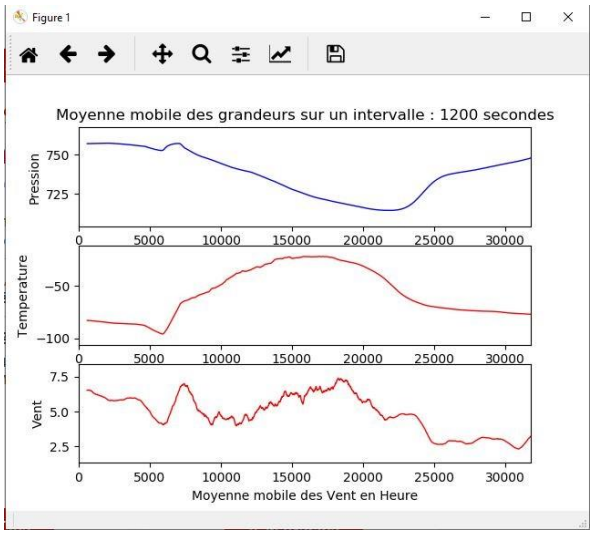
« The European Commission is not responsible for any uploaded or submitted content. Such content expresses the views of its author(s) only »

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 :

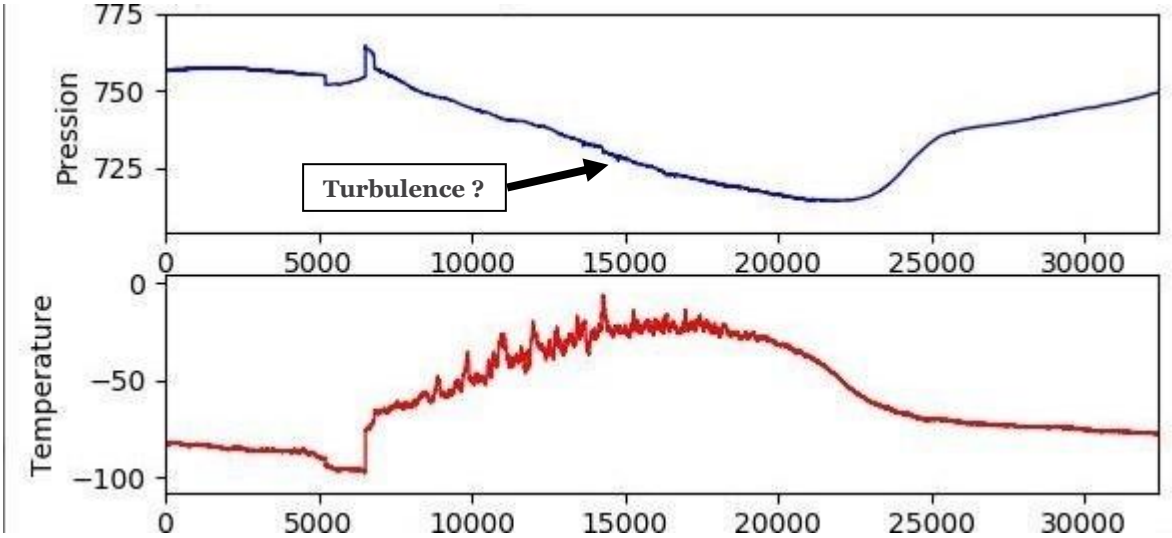


Nous observons sur le graphique des pressions sur Mars, des ondes à grande échelle appelées « ondes de marées thermiques ».

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.

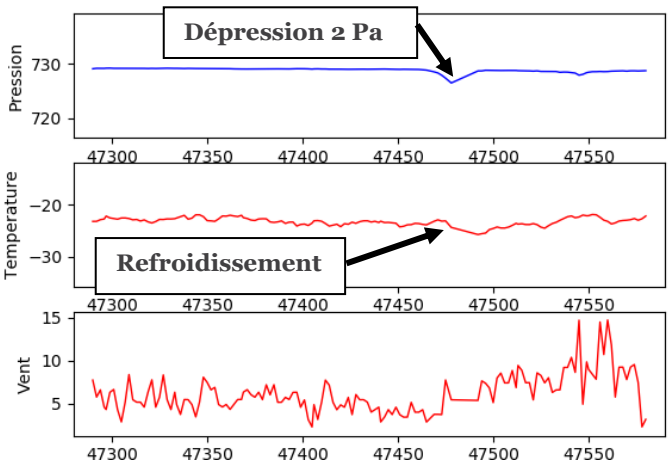
On observe un cycle diurne très marqué et des vents intenses jusqu'au lever du jour dus au refroidissement de la T° près du sol la nuit.

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 :



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

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

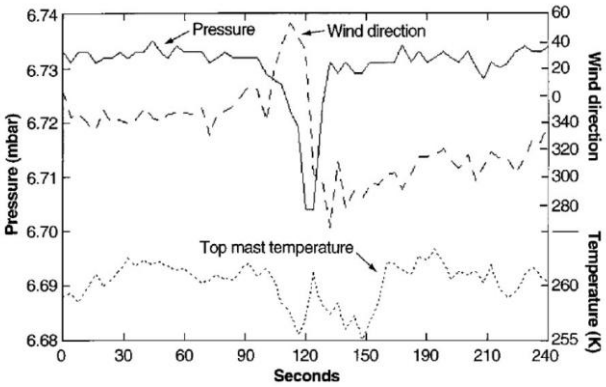


Les ondes de marée thermique dans l'atmosphère de Mars ont une amplitude beaucoup plus élevée que sur Terre car le forçage thermique sur Mars est très fort à cause de l'absorption dans le proche infra-rouge du Co2 atmosphérique, l'absorption du rayonnement infra-rouge émis par la surface, la présence 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 était 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].

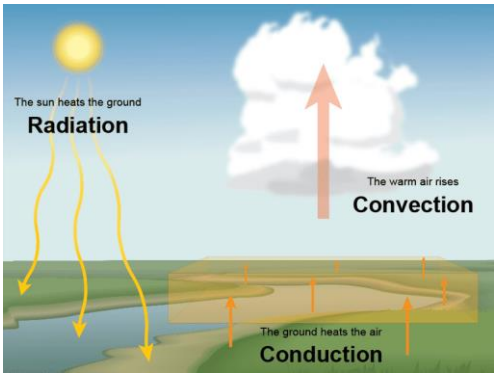
Source : Thèse de M. Aymeric Spiga « Dynamique méso-échelle de l'atmosphère martienne : développement d'un modèle météorologique et analyse des observations OMEG/Mars Express

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 présentent.

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

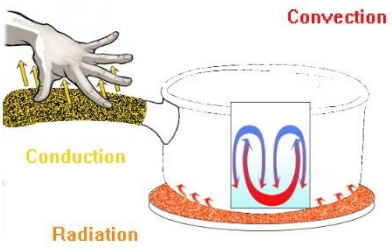


Source : https://www.thoughtco.com/what-is-convection-4041318

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

<u>Concevoir trois expériences simples à réaliser afin de modéliser les trois modes de transfert de chaleur :</u> 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.



©F.Moujdi-F.Bouvet

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 décorréler 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

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