

# AVEC NOS ÉLÈVES

## Conception d'une mission spatiale à destination de la planète Mars

**Thomas Appéré**, enseignant agrégé de Physique-Chimie au lycée St Paul (Vannes) et docteur en planétologie

*Comment intéresser les élèves à la physique au lycée ? L'activité proposée ici pourrait répondre à la question. Tous les ingrédients y sont : une situation-problème réelle liée à l'actualité astronomique, de vraies solutions à découvrir, le plaisir de découvrir par soi-même ou en équipe...*

### InSight Education

Le 26 novembre 2018, nous suivions l'atterrissage réussi de la sonde InSight à la surface de Mars, dans la plaine désertique d'Elysium. Quelques mois plus tard, la sonde déployait le sismomètre français SEIS qui enregistra son premier séisme martien le 6 avril 2019, inaugurant l'étude de la structure interne de Mars. Cette mission est une occasion idéale pour sensibiliser nos élèves aux sciences planétaires. L'équipe d'éducation et de sensibilisation (Education & OutReach Team) du laboratoire GéoAzur (Université Côte d'Azur) a été choisie pour réaliser le volet éducatif du projet InSight, baptisé InSight Education. L'un de ses objectifs est de donner aux élèves l'accès aux données qui seront envoyées depuis Mars, notamment les sismogrammes enregistrés par SEIS, tout en proposant des ressources à la communauté éducative pour exploiter ces données avec les élèves. Actuellement, une cinquantaine d'enseignants sont associés à cette initiative.

Dans le cadre du programme InSight Education, j'ai élaboré six activités autour de la conception d'une mission spatiale à destination de la planète Mars :

1. Conception de la sonde spatiale ;
2. Choix du site d'atterrissage ;
3. Détermination de la densité de rochers en surface au laboratoire ;
4. Détermination de la densité de rochers en surface, application à Mars ;
5. Simuler l'atterrissage de la sonde InSight sur Mars ;
6. L'alimentation électrique du rover Curiosity et de l'atterrisseur InSight.

Je présente dans cet article ces différentes activités. Elles ont été menées par un groupe de seize élèves de Première S. Les quatre premières activités peuvent être proposées aux autres niveaux du lycée voire au collège. L'activité 5 est un programme informatique à compléter par les élèves, on pourra la mener

en classe de Première en spécialité Numérique et Sciences Informatiques (NSI). L'activité 6 traite de la désintégration radioactive et de l'énergie solaire, on pourra l'aborder en classe de Première en Enseignement Scientifique.

Ces activités (comprenant les objectifs, préparatifs, déroulement, document-élève) sont à télécharger sur le site Internet du programme InSight Education :

<https://insight.oca.eu>

### Activité 1 - Conception de la sonde spatiale

Dans cette première activité, les élèves conçoivent une sonde spatiale (rover ou atterrisseur) à destination de la planète Mars. La mission de cette sonde sera de répondre à l'une des questions scientifiques majeures qu'on se pose sur Mars. Les élèves disposent pour cela d'un jeu de 41 cartes de la NASA écrites en anglais (voir figure 1).



Fig.1. Exemple de carte «Instrument».

Pour introduire le sujet, la séance débute par le visionnage d'une vidéo présentant la planète Mars et les questions que se posent les scientifiques à son sujet. J'ai retenu la vidéo «Mars InSight : écouter battre le cœur de Mars» de la chaîne YouTube «Besoin d'Espace». Les deux premières minutes de cette vidéo résument très bien le sujet.

Les élèves listent les problématiques qu'ils ont retenues, par exemple : « La planète Mars a-t-elle été habitable ? », « La vie est-elle apparue sur Mars ? », « Quelle est la structure interne de Mars ? ». On met les problématiques en commun puis les élèves, par groupe de quatre, en choisissent une.

On distribue ensuite à chaque groupe le jeu de 41 cartes de la NASA. Parmi ces cartes, chaque groupe sélectionne son lanceur et les différents systèmes de la sonde : alimentation électrique, communication, instruments..., en respectant un budget de 400 millions de dollars. La masse totale de la sonde et donc le nombre d'instruments embarqués dépendront du lanceur choisi. Cependant, plus la charge utile à envoyer vers Mars sera importante, plus le coût du lanceur sera élevé. Il en est de même de l'alimentation électrique de la sonde. Par ailleurs, les instruments sélectionnés doivent permettre de répondre à la problématique scientifique choisie. Les élèves doivent donc faire preuve de stratégie pour concevoir leur rover ou leur atterrisseur martien.



Fig.2. Les élèves conçoivent leur sonde.

Afin de les aider à décomposer le budget, la masse et la puissance électrique restante, un tableau est proposé dans l'activité.

System	Spacecraft Component	Budget	Mass	Power	Science Return
1.Launch		400			
	Medium-Lift Rocket A	-100	+125	0	0
	Rocket Nose Cone	300	125	0	0
2.Power		-10	.7	0	0
	Medium-Power Solar Panel	290	118	0	0
	On-board Battery	-15	-15	+25	0
		275	103	25	0
		-5	-5	-5	0
		270	98	20	0

Fig.3. Tableau pour aider à concevoir sa sonde.

Le jeu ainsi que le tableau sont téléchargeables sur le site de InSight Education. J'ai également créé deux cartes supplémentaires pour les instruments ChemCam et SEIS. Je conseille d'imprimer ces cartes en recto-verso puis de les plastifier.

Il faut prévoir environ 1 h 30 pour mener cette activité. Pour terminer la séance, on pourra demander à chaque groupe de présenter au groupe-classe sa sonde en argumentant sur le choix des équipements. Les cartes «Instruments» disposent d'un certain nombre de points de «Retour Scientifique». On

pourra désigner le groupe vainqueur comme celui qui aura obtenu le meilleur score de retour scientifique.

On peut aussi envisager d'utiliser le jeu de cartes pour reproduire les sondes martiennes : Viking, InSight, les rovers MER ou MSL/Curiosity...

## Activité 2 - Choix du site d'atterrissage

Maintenant que leur sonde a décollé pour la planète Mars, les élèves choisissent le site d'atterrissage. Celui-ci devra répondre à plusieurs contraintes scientifiques et techniques. Les contraintes scientifiques dépendent de la problématique choisie par les élèves. Par exemple, si un groupe d'élèves veut déterminer si Mars a été habitable, il devra envoyer sa sonde à un endroit où la présence passée d'eau liquide est très probable. Les contraintes techniques sont les mêmes que celles imposées pour le choix du site d'atterrissage du rover Mars 2020 :

- **altitude < 500 m** pour que la sonde freine suffisamment dans l'atmosphère ;
- **latitude comprise entre 30° S et 30° N** pour que l'énergie solaire captée soit suffisante ;
- **terrain plat** car la pente peut être défavorable pour l'ensoleillement ;
- **terrain pas trop sablonneux** pour que la sonde ne s'enlise pas ;
- **terrain pas trop accidenté**, éviter les falaises ;
- **densité de rochers au sol < 7%** pour que la sonde ne se pose pas de façon bancale ou soit abîmée à l'atterrissage.



Fig.3. Recherche du site d'atterrissage.

La recherche du site d'atterrissage pourra se faire sur Google Mars, disponible sur le logiciel Google Earth. Google Mars permet de visiter le site d'atterrissage des rovers et atterrisseurs qui se sont déjà posés sur Mars. Cela peut donner des idées aux élèves. L'enseignant pourra aussi fournir la liste des sites d'atterrissage candidats pour les sondes Mars 2020, ExoMars, InSight, ... qu'on trouve sur les sites Wikipédia des différentes missions. Il faut prévoir 1 h pour cette séance.

### Activité 3 - Détermination de la densité de rochers en surface au laboratoire

L'une des contraintes techniques essentielles qui s'impose pour le choix du site d'atterrissage concerne la densité de rochers en surface ; elle doit être la plus faible possible. Par exemple, l'atterrisseur InSight a une garde au sol de 55 cm et a déployé deux panneaux solaires en éventail qui lui donnent une envergure de presque 6 m. Un bloc rocheux trop gros aurait pu détruire la sonde à l'atterrissage. Il a donc fallu viser une zone de Mars où la probabilité de se poser sur un rocher est quasi nulle.

La surface de la planète rouge a été photographiée à haute résolution par la caméra HiRise de la sonde américaine Mars Reconnaissance Orbiter. Cette caméra est capable de distinguer des détails de 30 cm ! Comme la couleur des rochers se confond généralement avec celle de la surface nue, il est plus facile de voir l'ombre des rochers que les rochers eux-mêmes. Sur les photographies HiRise, les ombres des rochers apparaissent comme des taches noires de quelques pixels de surface (voir figure 5).

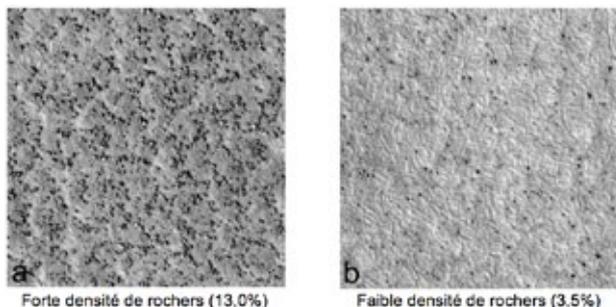


Fig.4. Surfaces martiennes de différentes densités de rochers photographiées par la caméra HiRise.

Matthew Golombek, chercheur au Jet Propulsion Laboratory de la NASA, a développé un traitement d'images pour mesurer la surface couverte par les ombres sur une photographie HiRise et en déduire ainsi la proportion de la surface couverte par des rochers. En première approximation, on considère que la surface des ombres correspond à la surface couverte par les rochers. Cette approximation n'est a priori valable que pour un éclairage incident de 45° et des rochers «cubiques». Elle s'avère globalement correcte dans les conditions d'éclairage pour lesquelles les photographies HiRise sont obtenues (Soleil à environ 55° au-dessus de l'horizon).

Dans cette activité, on procède à un traitement d'images identique, effectué grâce au logiciel ImageJ. Afin que les élèves comprennent la technique utilisée, on crée une surface martienne synthétique en disposant des pierres sur une feuille A3 blanche. Puis on éclaire cette surface latéralement avec un

rétroprojecteur et on éteint toute autre source de lumière. Un élève photographie à la verticale et en noir et blanc la surface martienne synthétique en faisant attention à avoir uniquement la feuille blanche avec les pierres dans le champ visuel et un éclairage homogène sur la feuille.



Fig.5. Surface martienne synthétique.

La photographie obtenue est partagée sur les postes de chaque groupe d'élèves qui traitent la photo en binômes sur ImageJ. Le traitement d'images consiste à isoler le contour des ombres pour calculer la surface couverte par chaque ombre, en pixels-carré. ImageJ fournit le résultat sous la forme d'un tableau csv qu'on pourra ouvrir sous Excel pour calculer la surface totale couverte par les ombres. Les élèves déterminent ensuite la surface de l'image (largeur et hauteur de l'image sont indiquées sur ImageJ). Ils obtiennent enfin le pourcentage de l'image couverte par les ombres.

Il faut prévoir 1 h pour cette activité. Une vérification de la densité réelle de rochers en surface peut être faite en entourant sur le logiciel Paint le contour de chaque pierre puis en remplissant de noir l'intérieur des surfaces obtenues. Les élèves suivent ensuite le protocole sur ImageJ. Ce sera l'occasion de discuter des erreurs induites par cette méthode et de son domaine de validité.

### Activité 4 - Détermination de la densité de rochers en surface, application à Mars

Dans l'activité précédente, les élèves se sont appropriés le protocole pour déterminer la surface couverte par les ombres sur une photographie donnée. Ils appliquent maintenant ce protocole à une photographie haute résolution de la surface de Mars. Pour cela, ils téléchargent via Google Mars une photographie HiRise couvrant leur site d'atterrissage candidat. La version à la plus haute résolution de ces photographies est au format .jp2 et fait généralement plusieurs centaines de méga-octets : il faut être patient pendant le téléchargement ! On pourra prévoir une photographie HiRise téléchargée en amont de la

séance pour que les élèves l'analysent en attendant d'avoir la photographie de leur site d'atterrissage. L'image au format .jp2 sera ouverte à l'aide du logiciel HiView. Les élèves zooment sur cette très grande photographie et la parcourent jusqu'à trouver une zone appropriée pour l'atterrissage de leur sonde. Ils enregistrent une capture de l'écran et l'analysent sur ImageJ.

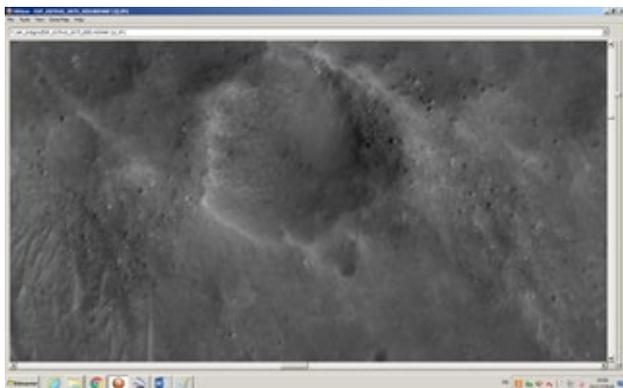


Fig.6. Capture d'écran du logiciel HiView.

Cette séance dure environ 1 h. Il peut être nécessaire d'analyser plusieurs portions de la grande image HiRise pour trouver une zone où les rochers couvrent moins de 7 % de la surface, critère retenu pour la mission Mars 2020. On pourra conclure la séance en demandant à chaque groupe de présenter au groupe-classe le site d'atterrissage retenu, en argumentant son choix.

### Activité 5 - Simuler l'atterrissage de la sonde InSight sur Mars

Le site d'atterrissage étant choisi, il reste une étape critique : l'atterrissage de la sonde !

Cette activité s'inscrit dans l'enseignement de spécialité NSI de Première. Elle peut être menée indépendamment des autres activités. Denis Lesouëf, enseignant de Mathématiques et d'Informatique au lycée St Paul et moi-même avons élaboré et testé cette activité cette année avec nos élèves de Première S option Informatique et Création Numérique (ICN).

L'objectif de cette activité est de compléter un programme informatique simulant l'atterrissage de la sonde InSight sur Mars. Le programme est écrit en langage Java mais peut être traduit en Python. Le programme ouvre une fenêtre affichant un paysage martien ainsi que l'atterrisseur InSight en haut de l'écran.

À l'aide du clavier, on contrôle la poussée des rétrofusées pour que InSight atteigne la surface avec une vitesse verticale inférieure à 10 m/s. Si la sonde s'écrase, on remplace l'image de InSight par des débris.

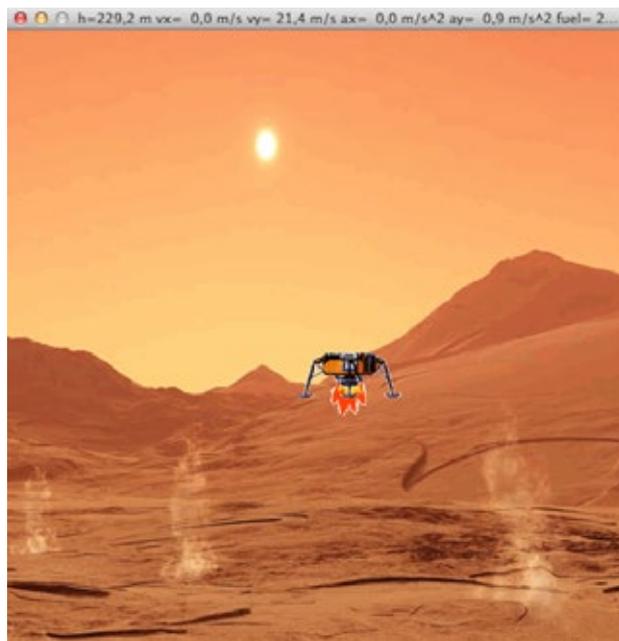


Fig.7. Capture d'écran de la simulation Java.

Suivant le niveau des élèves en informatique et le moment où cette activité est abordée dans l'année, on pourra demander aux élèves de compléter différents éléments du programme.

Par exemple, nous avons demandé aux élèves de chercher la valeur de l'intensité de pesanteur martienne, de coder les équations du mouvement de la sonde et de définir les conditions initiales de la descente. Ils ont également codé l'affichage des flammes sous la sonde et le calcul de l'accélération verticale en fonction du niveau de poussée.

On peut également imposer une quantité limitée de carburant ou ajouter des propulseurs latéraux pour augmenter la difficulté de la simulation.

Il a fallu aux élèves trois séances de 1 h pour mener ce projet.

### Activité 6 - L'alimentation électrique de Curiosity et InSight

Cette dernière activité propose deux exercices sur l'alimentation électrique du rover Curiosity et de l'atterrisseur InSight. Le rover Curiosity est alimenté par un générateur thermoélectrique à radioisotope (RTG) qui convertit en énergie électrique l'énergie thermique issue de la désintégration radioactive de 4,8 kg de plutonium 238. Par une série de questions guidant les élèves, le premier exercice a pour but de déterminer la puissance électrique du rover Curiosity au 4 702<sup>e</sup> jour martien de sa mission. Les élèves comparent la valeur obtenue à celle donnée par les ingénieurs de la NASA. On pourra aussi proposer cet exercice en résolution de problème.



*Fig.8. L'atterrisseur InSight, panneaux solaires déployés.*

L'atterrisseur InSight dispose de deux panneaux solaires d'une surface totale de  $4,2 \text{ m}^2$  (figure 9). Le but de l'exercice est de déterminer la puissance électrique fournie par ces panneaux solaires à midi connaissant la puissance lumineuse émise par le Soleil, la distance moyenne Soleil-Mars, l'angle solaire incident à midi et le rendement de conversion énergie solaire - énergie électrique.

Le retour des élèves sur ces activités a été très positif. Ils ont beaucoup apprécié le caractère ludique, le travail de groupe et le lien direct avec une mission spatiale en cours dont nous suivions l'avancée chaque semaine. Je continue actuellement de travailler avec mes élèves autour de la mission InSight. Ils s'initient à la sismologie lunaire et martienne grâce aux activités du programme InSight Education afin d'être prêt à étudier les premiers sismogrammes martiens lorsqu'ils seront mis à notre disposition.

N'hésitez pas à consulter le site Internet de InSight Education (lien en début d'article) pour découvrir toutes les activités à mener avec vos élèves. Si vous êtes intéressés soit pour recevoir la lettre d'information d'InSight Education, soit pour être mis en relation avec les enseignants du programme ou proposer vos propres activités, contactez Jean-Luc Bérenguer ([jean-luc.berenguer@ac-nice.fr](mailto:jean-luc.berenguer@ac-nice.fr)), enseignant de SVT au Lycée International de Valbonne, chargé de mission académique géoscience auprès de Géoazur et animateur du programme InSight Education. ■