

*La composition de Mars*

*Activités autour de la SuperCam du rover*  
*Perseverance*

*Fiche pédagogique d'animation*

*Planète Sciences Occitanie 2021*

Version : 0  
Date : 4 octobre 2021  
Rédactrice : Isabelle M. Santos



Age : 15-18	Durée :	Nombre minimum : 5
Encadrement : Enseignant		Nombre maximum : 30
Notions abordées : — Lumière et spectres — Diffraction —	Pré-requis public : — Lumière et couleurs — —	Pré-requis enseignant : — — —
Résumé : Acquérir des notions de spectroscopie en mettant en œuvre des expériences ayant pour thématique la SuperCam à bord du rover Perseverance.		
Objectifs techniques : — Notion de spectrographie — Qu'est-ce que la lumière ? — Reconnaissance de minéraux à partir d'un spectre		
Format : Ateliers et démonstrations	Formation associée à cette animation : N/A	

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Activités</b>	<b>4</b>
2.1	Introduction . . . . .	5
2.2	Décomposition de la lumière . . . . .	5
2.3	Les raies spectrales pour reconnaître les éléments . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Préparation</b>	<b>7</b>
3.1	Matériel pédagogique . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Ressources documentaires</b>	<b>8</b>
4.1	Livres . . . . .	8
4.2	Magazines . . . . .	8
4.3	Sites internet . . . . .	9
4.4	Vidéos . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Crédit images</b>	<b>9</b>

# 1 Introduction

## Perseverance

Perseverance est un rover (ou *astromobile*) envoyé par la NASA en juillet 2020 et qui a atterri sur Mars en février 2021 dans le cratère Jezero. Son objectif principal est la recherche de traces de vie passée à la surface martienne. Les missions précédentes telles que Curiosity ont établi que Mars a été partiellement recouverte d'eau il y a 3 milliards d'années. Or on pense que l'eau liquide en surface est une condition nécessaire à l'apparition de la vie. Maintenant, Perseverance doit examiner une région qui a connu de l'eau liquide stable en surface pendant suffisamment longtemps pour essayer de trouver des molécules organiques et d'autres traces d'une éventuelle vie passée.

Les principaux objectifs de Perseverance sont les suivants :

1. Déterminer si la vie a existé sur Mars. Les missions précédentes, telles que Curiosity, ont établi que Mars a pu être habitable dans le passé. Même si Mars est aujourd'hui inhospitalière, on sait grâce à 50 années d'exploration martienne que la planète rouge a connu dans le passé des conditions bien plus favorables à l'apparition de la vie.

Avec Perseverance, on cherche des traces de vie bactériologique passée.

2. Caractériser le climat martien tel qu'il est aujourd'hui et tel qu'il était dans le passé.
3. Étudier la géologie martienne et révéler les processus qui ont créé et modifié la croute martienne au fil du temps.
4. Préparer l'exploration habitée, en étudiant comment utiliser les ressources naturelles sur place et comment mieux protéger de futurs explorateurs humains.

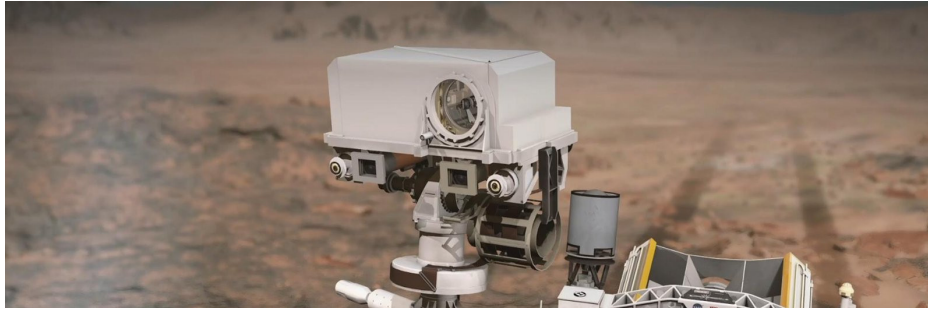


Le cratère Jezero a été choisi comme lieu d'atterrissage car il a jadis contenu un lac. En outre, un cours d'eau se jetait dans le lac et a formé un delta, or les deltas sont des lieux que l'on pense propices à la formation de la vie. De plus, on sait que l'eau a été présente pendant longtemps dans ce cratère, puisqu'un canal de sortie s'est creusé sur un côté du cratère. Enfin, ce delta dans un cratère fournit des paysages très variés sur une petite région, permettant ainsi à Perseverance d'étudier différents contextes géologiques.

## SuperCam

La SuperCam est un instrument à bord du rover Perseverance qui examine le sol et les roches avec une caméra, des lasers et des spectromètres afin de trouver des composés organiques qui pourraient être liés à la présence de vie passée sur Mars. Elle peut aussi évaluer la dangerosité de la poussière martienne pour d'éventuels explorateurs humains.

La SuperCam peut identifier la chimie et la minéralogie d'une roche jusqu'à 7 mètres de distance, ce qui lui permet d'étudier des roches qui ne seraient pas forcément accessibles au bras robotisé du rover. Examiner des roches plus éloignées du rover permet aussi aux scientifiques de décider de la direction dans laquelle ils enverront le rover par la suite.



C'est une version améliorée de la ChemCam qui est à bord du rover Curiosity (à la surface de Mars depuis 2012) : non seulement la SuperCam prend des photos couleur (contre des photos noir & blanc pour la ChemCam), mais en plus elle permet de reconnaître un plus grand nombre de minéraux différents.

La ChemCam et la SuperCam utilisent toutes les deux la technologie LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, ou Spectrométrie d'émission atomique de plasma induit par laser). Elles envoient un pulse laser sur une roche pour en vaporiser la surface et créer un plasma. Un télescope relié à un spectromètre analyse la lumière de ce plasma pour en déduire la composition chimique de la roche. La SuperCam utilise en plus la spectroscopie Raman : elle peut émettre un laser vert vers une roche et analyse la lumière réfléchi par la roche. Elle peut aussi analyser la lumière du Soleil réfléchi par les roches dans l'infrarouge.

Le laser balaye également la poussière à la surface des roches et crée des petits trous dans la roche, ce qui permet aux scientifiques d'examiner ce qui se trouve juste en dessous de la surface.

## La spectroscopie ou spectrométrie

Le spectre d'une lumière monochromatique, comme celui d'un laser utilisé dans les salles de TP de lycée, ne comporte qu'une seule raie. En revanche, le spectre d'une lumière polychromatique comporte plusieurs raies. La fréquence à laquelle ces raies apparaissent dépend de l'élément qui émet la lumière.

La spectroscopie consiste à étudier la décomposition de la lumière selon une échelle de fréquence (ou de longueur d'onde, ou d'énergie, de façon équivalente).

Cette technique a de nombreuses applications spatiales :

- détecter les exoplanètes avec l'effet Doppler ;
- déterminer la composition chimique de la couronne solaire, de roches à la surface des planètes telluriques, de nébuleuses,...
- connaître la température des étoiles ;
- etc...

## 2 Activités

Les activités suivantes peuvent être effectuées indépendamment les unes des autres selon la volonté du ou des enseignant-e-s.

## 2.1 Introduction

Recueillir les idées que peuvent avoir les élèves sur Mars, voir s'ils suivent l'actualité (Perseverance, Zhurong, Tianwen, Curiosity, Maven, Insight,...). Rappeler que Mars est la quatrième planète du système solaire, la dernière planète tellurique (qui a un sol sur lequel on peut marcher, comme la Terre).

Recueillir les idées que peuvent avoir les élèves au sujet de la lumière, des couleurs et du fonctionnement de l'œil. Rappeler que la lumière est une onde, ainsi que le lien entre couleur et longueur d'onde. Rappeler que la lumière blanche est composée d'une infinité de longueurs d'ondes différentes.

À chaque fois, on peut se servir d'un tableau pour collecter les choses que les élèves savent avant de commencer l'activité, ainsi que les questions que les élèves peuvent avoir sur ces sujets.

Pour introduire l'instrument SuperCam, on peut présenter aux élèves le poster réalisé par le CNES au sujet de la SuperCam : <https://lejournal.cnrs.fr/infographies/supercam-les-chiffres-cles-dun-instrument-hors-norme>

## 2.2 Décomposition de la lumière

Il s'agit dans cet atelier de constater que la lumière se décompose lors de sa traversée d'un prisme, et qu'il y a des couleurs qui ne sont pas perceptibles par l'œil humain.

Rappeler aux élèves qu'un prisme dévie différemment chacune des ondes monochromatiques qui composent la lumière blanche. Puisque la déviation dépend de la longueur d'onde, le prisme permet de les séparer. On peut montrer aux élèves la décomposition de la lumière blanche (par exemple avec la lumière du Soleil) par un prisme. Puis distribuer un prisme à chaque groupe d'élèves afin qu'ils essayent de recréer le phénomène.

### La lumière visible, un type d'onde électromagnétique parmi d'autres

On cherche ensuite à mettre en exergue l'existence de « couleurs » qui sont invisibles à l'œil nu. Les élèves sont amenés à reproduire l'expérience initialement pensée par William Herschel.

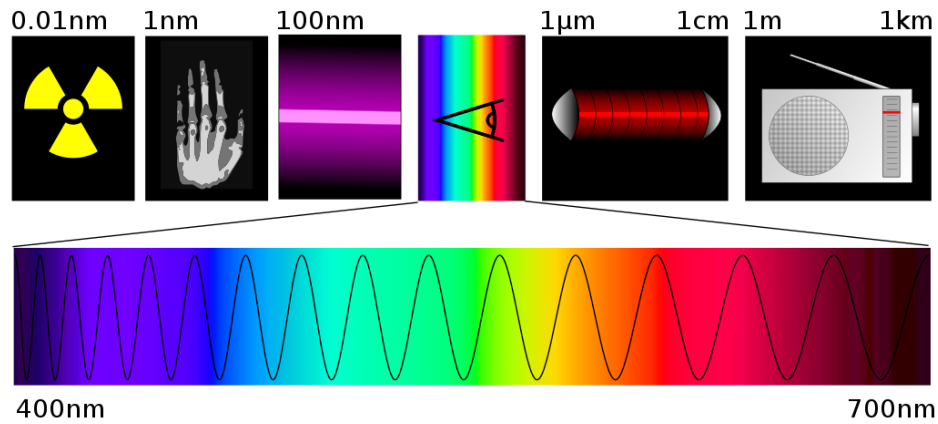
- Faire passer une lumière blanche par un prisme.
- À la sortie du prisme, placez au moins un thermomètre à côté du rouge. Il est possible de placer plusieurs thermomètres à différents endroits en sortie du prisme. Veillez à ce que les différents thermomètres soient tous à la même distance de la source de lumière, afin de ne faire varier qu'un seul paramètre de l'expérience à la fois.
- Au bout de quelques minutes, relevez les températures indiquées par chaque thermomètre.
- Enlevez le prisme et attendez quelques minutes. Puis relevez les températures indiquées par chaque thermomètre afin d'avoir des valeurs témoins auxquelles comparer les mesures précédentes.
- Les élèves peuvent ainsi constater que le thermomètre qui était à côté du rouge en sortie du prisme s'est échauffé, mettant ainsi en évidence l'existence des infrarouges.

Si on n'a pas assez de thermomètres, on peut aussi placer le thermomètre successivement dans chaque couleur en sortie du prisme.

Il peut être avantageux de bloquer les sources de lumière parasites, par exemple avec des rideaux noirs.

La lumière visible n'est qu'une petite partie du spectre du rayonnement électromagnétique. Les rayonnements électromagnétiques que les humains sont capables de voir sont ceux avec une longueur d'onde comprise entre 400 et 800 nm. Aux longueurs d'ondes plus courtes (c'est-à-dire aux énergies

plus élevées), on trouve les ultraviolets, les rayons X et les rayons gamma. Aux longueurs d'onde plus longues (c'est-à-dire à plus faible énergie), on trouve les infrarouges, les micro-ondes et les ondes radio.



Perseverance utilise plusieurs parties du spectre électromagnétique pour étudier la planète Mars.

- Les rayons X : l'instrument PIXL est un spectromètre de fluorescence des rayons X. Il envoie des rayons X vers le sol. Les atomes dans le sol sont excités à des niveaux d'énergie plus élevés, puis réémettent de l'énergie selon le principe de la fluorescence. PIXL analyse le spectre du rayonnement électromagnétique renvoyé par le sol afin de chercher des bio-signatures.
- Les ultraviolets : l'instrument SHERLOC utilise un laser ultraviolet pour réaliser de la spectrométrie Raman. Il envoie des pulses d'un laser ultraviolet et collecte la lumière réfléchie pour observer la structure minéralogique à petite échelle.
- La lumière visible : la Mastcam, la NavCam et la SuperCam collectent des images dans le domaine visible. Les images de la Mastcam et la NavCam permettent de comprendre le contexte dans lequel s'inscrivent les mesures relevées par les autres instruments. Ces images ainsi que celles des Hazcams servent aussi à piloter le rover.
- Les infrarouges : l'instrument LIBS contenu dans la SuperCam réalise de la spectroscopie dans le visible et l'infrarouge.
- Les ondes radio : l'instrument RIMFAX est un radar dont les ondes peuvent pénétrer le sol jusqu'à 10 m de profondeur. Il peut détecter la présence de glace ou d'eau salée, et permet de connaître la structure du sous-sol.

### 2.3 Les raies spectrales pour reconnaître les éléments

Dans cette activité, il s'agit d'observer le spectre de plusieurs sources lumineuses et de comparer les raies spectrales.

On peut fournir aux élèves une grille avec les raies d'émission de plusieurs éléments. Distribuer un spectromètre à chaque groupe d'élèves. Les élèves doivent observer plusieurs sources lumineuses (bougies, lampe au sodium, néon,...) et déterminer les éléments qui composent la source lumineuse. On peut également examiner le spectre d'une source de lumière colorée qui a été faite avec une lumière blanche et un filtre de couleur.

Il peut être intéressant d'utiliser des bougies avec des flammes de différentes couleurs. En effet, les flammes sont des plasmas, ce qui permet de faire le lien avec la SuperCam qui analyse les plasmas créés par le laser lorsqu'il frappe une roche.

## Et la SuperCam ?

Présenter aux élèves des spectres mesurés par la SuperCam ainsi que des spectres de calibration. Les élèves doivent reconnaître dans le spectre d'un minéral étudié par la SuperCam les éléments qui le composent.

### Pour aller plus loin

On peut faire fabriquer des spectromètres aux élèves avec un réseau de diffraction, une fente et un tube en carton. Dans ce cas, présenter les réseaux de diffraction aux élèves et leur demander ce qu'ils constatent en regardant au travers. Ils devraient voir des « arcs-en-ciel », des images dédoublées de plusieurs couleurs différentes,...

Il y a de la lumière qui arrive depuis toutes les directions vers le réseau de diffraction et vers leur œil. Demander aux élèves comment être sûr qu'on observe le le spectre d'une source lumineuse plutôt qu'une autre. Avec la fente on rend la source ponctuelle et avec le tube en carton, on évite les sources parasites. Que se passe-t-il lorsque l'on fait tourner le réseau et la fente l'un par rapport à l'autre ?

## 3 Préparation

### 3.1 Matériel pédagogique

Atelier	Outils	Consommables
Introduction	—	—
Décomposition de la lumière	<ul style="list-style-type: none"><li>— Prismes</li><li>— Thermomètres</li><li>— Lampe torche, ou autre source de lumière blanche</li><li>— En option : un laser</li></ul>	—

Les raies spectrales	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Un spectromètre par groupe d'élèves, par exemple <a href="https://www.equascience.com/spectroscopie/707-spectroscopie-plat-en-carton-avec-echelle-des-longueurs-donde.html">https://www.equascience.com/spectroscopie/707-spectroscopie-plat-en-carton-avec-echelle-des-longueurs-donde.html</a>. On peut aussi fabriquer un spectroscopie pour 1€ <a href="http://gappic.bagn.obs-mip.fr/le-spectroscopie-a-cd/">http://gappic.bagn.obs-mip.fr/le-spectroscopie-a-cd/</a></li> <li>— En option : différents types de lampes (au sodium,...)</li> <li>— En option : des réseaux et des fentes, par exemple <a href="https://www.pierron.fr/reseau-en-verre-5432.html">https://www.pierron.fr/reseau-en-verre-5432.html</a></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Des bougies à flamme multicolore, par exemple <a href="https://www.rayher.com/fr/bougies-de-fete-flamme-coloree-o5mm-31587000">https://www.rayher.com/fr/bougies-de-fete-flamme-coloree-o5mm-31587000</a></li> </ul>
	—	—

## 4 Ressources documentaires

### 4.1 Livres

- La planète Mars - Histoire d'un autre monde, François Forget, François Costard, et Philippe Lognonné, 2005, Belin. <https://www.insu.cnrs.fr/fr/la-planete-mars-histoire-dun-autre-monde-nouvelle-edition>

### 4.2 Magazines

- Ciel & Espace, Hors-Série n°39, avril 2021
- Ciel & Espace, n°574, n°Novembre 2020
- L'Astronomie, n° 146, février 2021
- L'Astronomie, n° 148, avril 2021
- L'Astronomie Édition Spéciale, <https://boutique.saf-astronomie.fr/produit/les-editions-speciales-de-lastronomie/>



### 4.3 Sites internet

- Le site officiel de Perseverance : [mars.nasa.gov/mars2020/](https://mars.nasa.gov/mars2020/)
- Toutes les images prises par Perseverance : <https://mars.nasa.gov/mars2020/multimedia/raw-images/>
- Toutes les données collectées par la SuperCam : <https://pds-geosciences.wustl.edu/missions/mars2020/supercam.htm>
- Où est Perseverance : <https://mars.nasa.gov/mars2020/mission/where-is-the-rover/>
- En savoir plus sur la mission : [nasa.gov/perseverance](https://nasa.gov/perseverance)
- Le CNES au sujet de la SuperCam : <https://supercam.cnes.fr/fr/mars-2020supercam>
- Le co-responsable de la SuperCam au sujet de l'exploration martienne <https://lejournald.cnrs.fr/billets/exploration-de-mars-lechec-nest-pas-une-option>
- Le site de la SuperCam : <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/instruments/supercam/>

### 4.4 Vidéos

- Une animation sur le fonctionnement de la SuperCam (en anglais) <https://photojournal.jpl.nasa.gov/archive/PIA24426.mp4>

## 5 Crédit images

- Le delta du cratère Jezero. NASA. <https://mars.nasa.gov/mars2020/mission/science/landing-site/>
- La SuperCam en haut du mat de Perseverance. NASA/JPL. <https://www.jpl.nasa.gov/images/animation-how-perseverances-supercam-works>
- Des rayonnements électromagnétiques à différentes longueurs d'onde et leurs applications. Tatoute and Phrood. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spectre.svg>