

Activités pédagogiques autour de la mission Mars 2020



Thomas Appéré (Physique-Chimie, Informatique)
Lycée Saint-Paul, Vannes (Morbihan)



MARS 2020
PERSEVERANCE

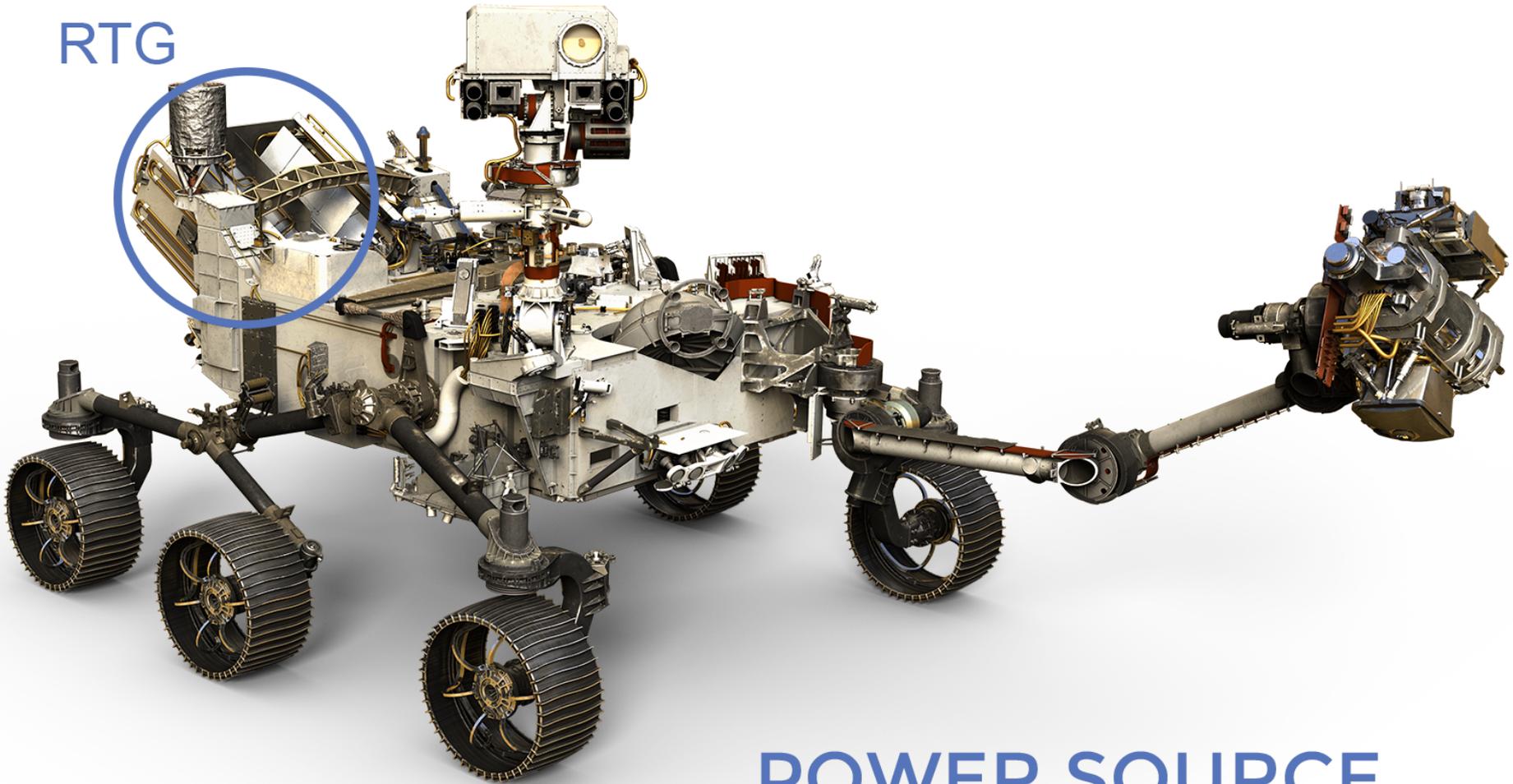
Workshop « Mars arrive en février » - 10 février 2021

Plan de la présentation

1. L'alimentation électrique de Perseverance
2. Le rôle du bouclier thermique
3. Simuler l'atterrissage sur Mars
4. Concevoir une mission martienne

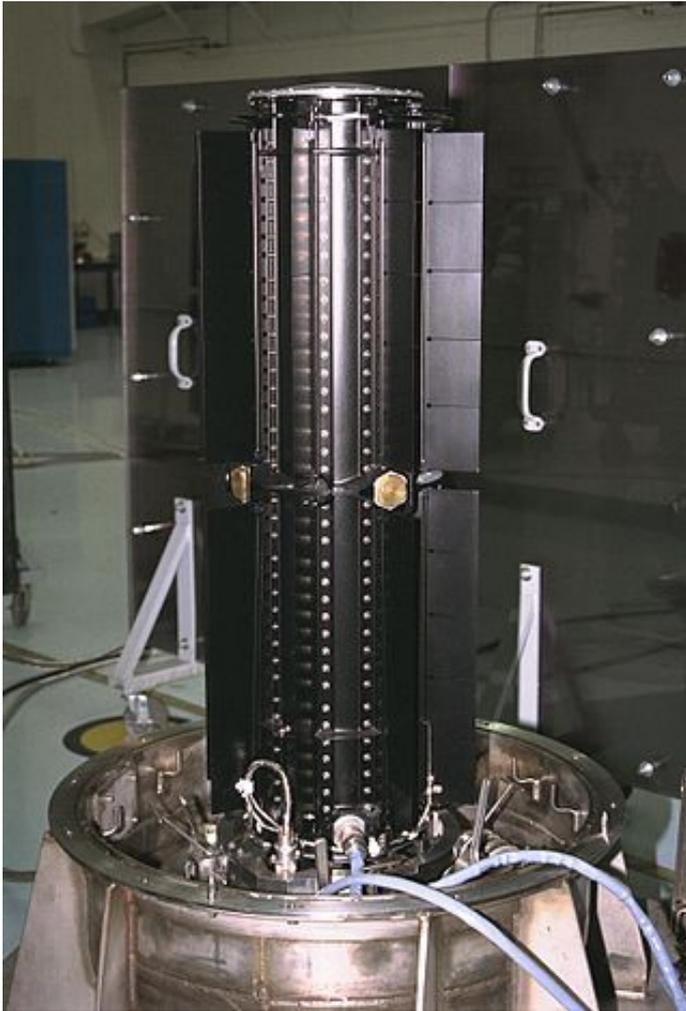
L'alimentation électrique de Perseverance

RTG

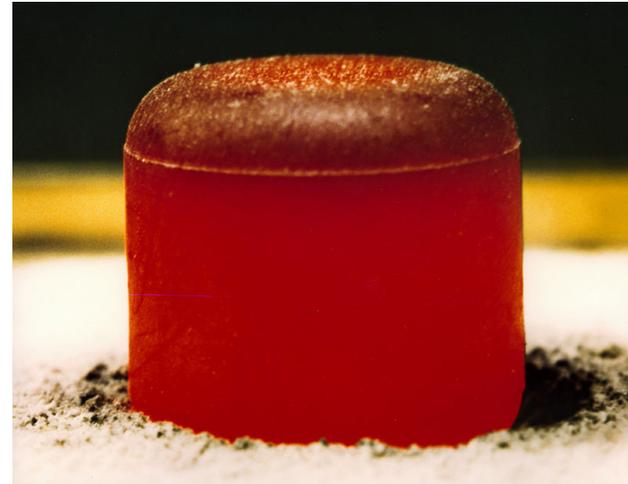


POWER SOURCE

L'alimentation électrique de Perseverance



Générateur thermoélectrique à radioisotope (RTG) de la sonde Cassini



Pastille d'oxyde de plutonium 238

Les panneaux solaires sont insuffisants pour produire de l'électricité lorsqu'on explore le Système solaire externe : RTG sur les sondes [Pioneer 10](#), [Pioneer 11](#), [Voyager 1](#), [Voyager 2](#), [Cassini](#), [New Horizons](#).

RTG également sur les atterrisseurs [Viking 1 et 2](#) et sur le rover [Curiosity](#).

L'alimentation électrique de Perseverance

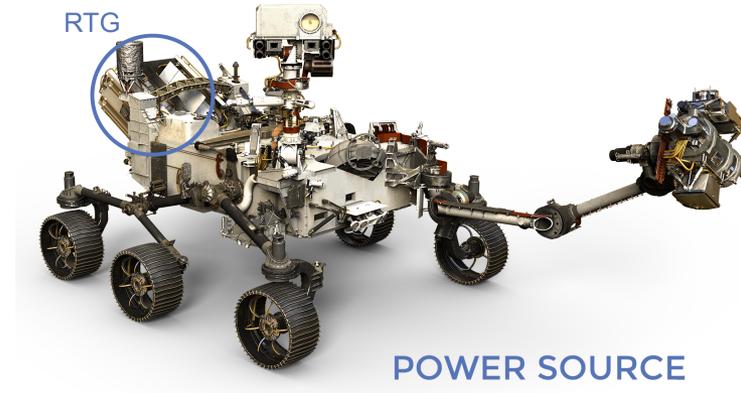
Activité pour la classe de Terminale Spécialité Physique-Chimie

Perseverance dispose d'un RTG contenant 4,8 kg de plutonium 238.

Activité : 633,2 GBq par gramme.

Temps de demi-vie : 87,75 ans.

La désintégration radioactive du Pu 238 émet des particules α d'énergie cinétique 5,538 MeV.



1. Ecrire la réaction de désintégration du plutonium 238.
2. Calculer la puissance électrique produite par le RTG de Perseverance.
3. Les ingénieurs de la NASA indiquent qu'au sol 4702, le RTG fournira encore 54 Watts. Vérifier leur affirmation.

Le rôle du bouclier thermique



Etage de croisière

Bouclier arrière

Rover Perseverance

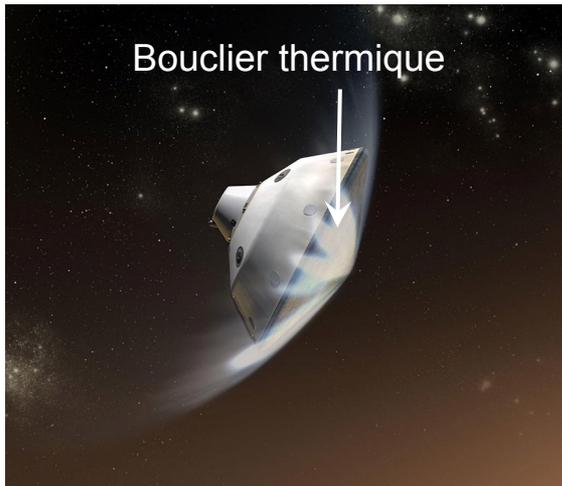
Bouclier avant

SI.A570003-501 57K 001
WT. 2650 LBS.

Le rôle du bouclier thermique



Le rôle du bouclier thermique



Entrée dans l'atmosphère à 20 000 km/h.

Freinage pendant 200 secondes jusqu'à atteindre une vitesse de 1600 km/h.

La température du bouclier atteindra 1300°C mais l'intérieur reste à ~10°C.

Puis le parachute se déploie pour continuer de ralentir le véhicule de rentrée.

Vérifier que le bouclier thermique permet de maintenir l'intérieur du véhicule de rentrée à une température de l'ordre de 10°C.

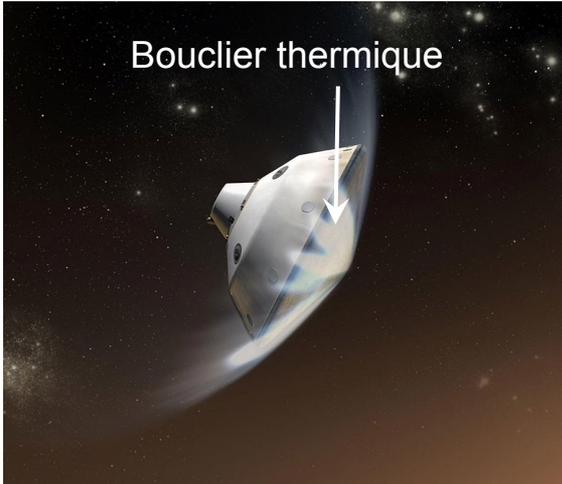
Masse totale du véhicule de rentrée : 3650 kg

Caractéristique du bouclier thermique :

- Surface : 20 m²
- Epaisseur : environ 10 cm
- Composition : PICA (Phenolic Impregnated Carbon Ablator), fibres de carbone imprégnées de résine phénolique
- Conductivité thermique : 0,108 W.m⁻¹.K⁻¹

Le rôle du bouclier thermique

Bouclier thermique



Entrée dans l'atmosphère à 20 000 km/h.

Freinage pendant 200 secondes jusqu'à atteindre une vitesse de 1600 km/h.

La température du bouclier atteindra 1300°C mais l'intérieur reste à ~10°C.

Puis le parachute se déploie pour continuer de ralentir le véhicule de rentrée.

Vérifier que le bouclier thermique permet de maintenir l'intérieur du véhicule de rentrée à une température de l'ordre de 10°C.

Théorème de l'énergie cinétique :

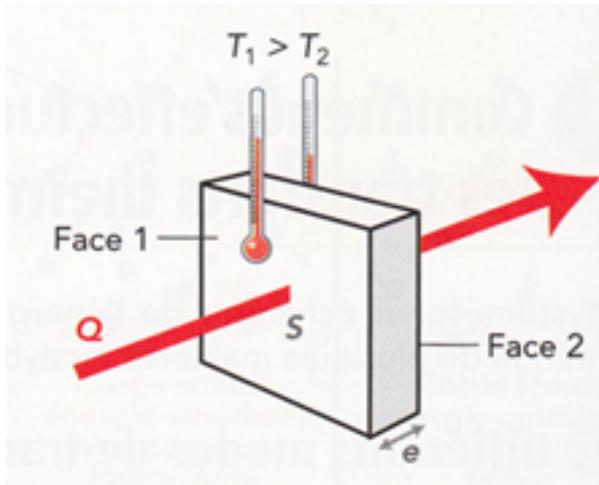
$$\Delta E_{C_{AB}} = E_{C_B} - E_{C_A} = \sum W_{AB}(\vec{F}_{ext}) = W_{AB}(\vec{P}) + W_{AB}(\vec{f})$$

Travail du poids négligeable devant le travail des forces de frottement : $\Delta E_{C_{AB}} = W_{AB}(\vec{f})$

Transfert thermique à travers la paroi du bouclier thermique : $Q = 0,010\% \times |\Delta E_{C_{AB}}|$

Le rôle du bouclier thermique

Notions de résistance thermique et flux thermique
vues en classe de Terminale Spécialité Physique-Chimie



$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

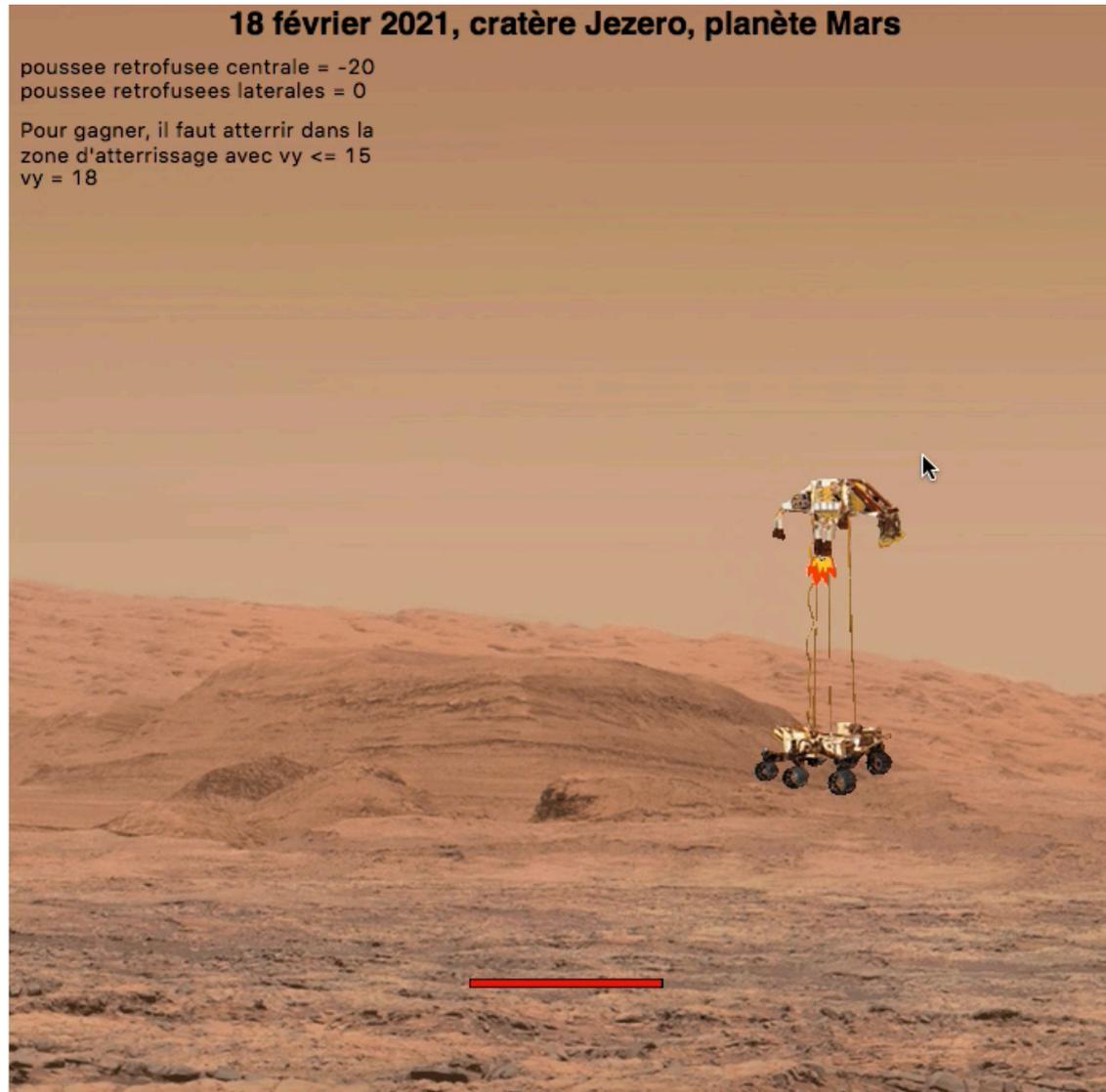
$$\Phi = \frac{T_{ext} - T}{R_{th}}$$

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$$

On obtient une température à l'intérieur du véhicule de rentrée de 12°C.

Simuler l'atterrissage sur Mars

Activité pour la classe de Terminale Spécialité Numérique et Sciences Informatiques



Simuler l'atterrissage sur Mars

```
aterrissage_perseverance.py (/l
aterrissage_perseverance.py
164         return
165         if perseverance.bas == True:
166             self.central_rocket_on = jeu.canevas.create_image(perseverance.x+22, pers
167
168     class Left_rocket:
169         #Classe pour créer l'image de la rétrofusée gauche
170         def __init__(self, jeu, perseverance):
171             self.canevas = jeu.canevas
172             self.image_left_rocket_on = PhotoImage(file = 'pousseelateraleGauche.gif')
173             self.left_rocket_on = jeu.canevas.create_image(perseverance.x-26, perseveranc
174         def deplacer(self):
175             self.left_rocket_on = jeu.canevas.delete(self.left_rocket_on)
176             if perseverance.y >= 420:
177                 return
178             if perseverance.gauche == True:
179                 self.left_rocket_on = jeu.canevas.create_image(perseverance.x-26, persev
180
181     class Right_rocket:
182         #Classe pour créer l'image de la rétrofusée droite
183         def __init__(self, jeu, perseverance):
184             self.canevas = jeu.canevas
185             self.image_right_rocket_on = PhotoImage(file = 'pousseelateraleDroite.gif')
186             self.right_rocket_on = jeu.canevas.create_image(perseverance.x+87, perseverar
187         def deplacer(self):
188             self.right_rocket_on = jeu.canevas.delete(self.right_rocket_on)
189             if perseverance.y >= 420:
190                 return
191             if perseverance.droite == True:
192                 self.right_rocket_on = jeu.canevas.create_image(perseverance.x+87, persev
193
194     class Debris:
195         #Classe pour créer les débris
196         def __init__(self, jeu, perseverance):
197             self.canevas = jeu.canevas
198             self.image_debris = PhotoImage(file = 'debris2.gif')
199         def deplacer(self):
200             if perseverance.y >=420 and perseverance.vy > 20:
201                 perseverance.image_lander = jeu.canevas.delete(perseverance.image_lander)
202                 self.debris = jeu.canevas.create_image(perseverance.x-90, perseverance.y+
203
204     class Sol:
205         #Classe pour créer le sol
206         def __init__(self, jeu):
```

Simuler l'atterrissage sur Mars

```

8
9 #Canevas (canvas en anglais) = zone de l'écran où
10
11 pesanteur_martienne = 3.8
12 #increment_pousse_retofusee_centrale = -0.5 #inc
13 #increment_pousse_retofusee_laterale = 0.5 #incr
14 pousse_retofusee_centrale_max = -20 #poussée max
15 pousse_retofusee_laterale_max = 3 #poussée maxim
16
17 class Game:
18     #Classe qui forme le contrôleur principal du p
19     def __init__(self):
20         self.fenetre = Tk() #fenêtre par défaut (Tk)
21         self.fenetre.title("Simulation de l'atterrissage de Perseverance sur Mars") #
22         self.fenetre.resizable(False, False) #redimensionnement de la fenêtre impossi
23         #self.tk.wm_attributes("-topmost", 1) #-topmost: met la fenêtre au-dessus des
24         self.canevas = Canvas(self.fenetre, width=700, height=700) #paramètres de la
25         self.canevas.pack() #pour que la zone de dessin se redimensionne aux dimensio
26         #self.canevas.focus_set()
27         self.fenetre.update()
28         self.hauteur_canevas = self.canevas.winfo_height()
29         self.largeur_canevas = self.canevas.winfo_width()
30         self.fond = PhotoImage(file = 'landing_site.gif')
31         self.canevas.create_image(0, 0, anchor=NW, image=self.fond)
32         self.titre = self.canevas.create_text(140,5, text='18 février 2021, cratère J
33         self.succes_texte = self.canevas.create_text(10,75, text='Pour gagner, il faut
34         anchor=NW)
35         self.lutins = []
36         self.enfonction = True
37
38     def boucle_principale(self):
39         while 1: #boucle qui ne s'arrête que lorsqu'on ferme la fenêtre de jeu
40             if self.enfonction == True:
41                 for lutin in self.lutins:
42                     lutin.deplacer()
43                 #self.fenetre.update_idletasks()
44                 self.fenetre.update()
45                 time.sleep(0.01)
46
47 class Lander:
48     #Classe pour créer le lander = rover muni de son module d'atterrissage
49     def __init__(self, jeu):

```

- ▶ Démarrer le script
- ▶ Démarrer le script principal
- ▶ Exécuter la sélection
- ▶ Exécuter la cellule
- ▶ Exécuter le contenu de l'onglet cour
- ▶ Exécuter le contenu de l'onglet prin
- ▶ Exécuter la sélection et avancer
- ▶ Exécuter la cellule et avancer
- ▶ Changer le répertoire courant lors de l'
- ▶ Aide sur l'exécution du code

Simuler l'atterrissage sur Mars

Activité pour la classe de Terminale Spécialité Numérique et Sciences Informatiques

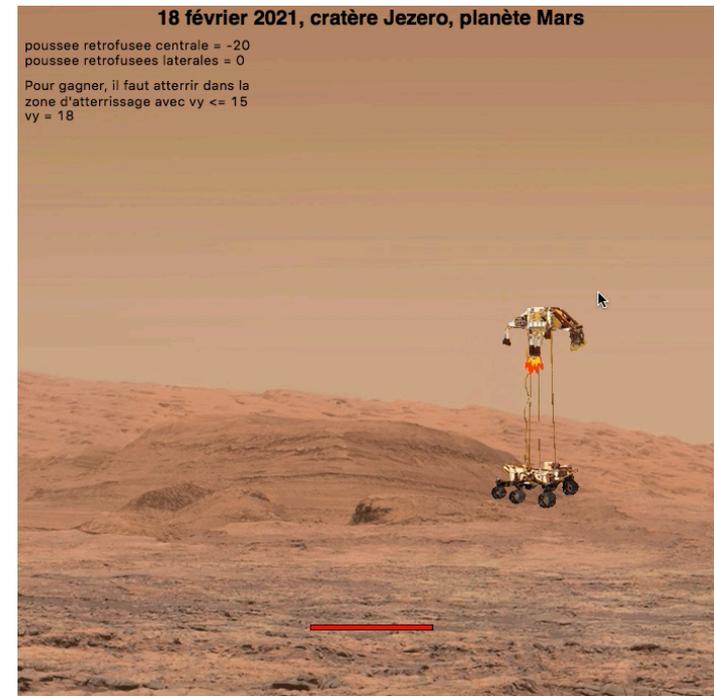
Programmation orientée objet :

- Classes : Jeu, Rover + Sky Crane, Rétrofusées, Débris, Sol
- Attributs
- Méthodes
- Objets : Perseverance, Rétrofusées gauche et droite, ...

Langage de programmation : Python

Librairies : tkinter, time, numpy, matplotlib

Cette activité peut être proposée comme projet.



Concevoir une mission martienne

Activité pour la classe d'Enseignement Scientifique de Première Projet expérimental et numérique

Un jeu de 43 cartes en anglais réparties en 8 catégories :

1. Lancement
2. Alimentation électrique
3. Ordinateur
4. Communications
5. Mobilité
6. Entrée, Descente dans l'atmosphère, Atterrissage
7. Instruments scientifiques
8. Dispositifs mécaniques



Low-Resolution Camera

\$ 10

1

1

1

Titre de la carte

Coût (en millions de dollars)

Masse

Consommation électrique

Retour scientifique

Description de l'instrument

Avantages

Inconvénients

Makes discoveries about the environment on Mars.

PROS:

- Sees a very wide area of Mars.
- Low cost, low mass.
- Does not use much power.

CONS:

- Can't see small details on Mars.

13

Light-Lift Rocket I



\$ 50

45

MASS LIMIT

This rocket can lift a mission that has up to 45 mass units.

PROS:

- Low cost.
- Low risk: works 5 times out of 6.

CONS:

- Lifts small, lightweight missions with few science tools.

Light-Lift Rocket II



\$ 75

90

MASS LIMIT

This rocket can lift a mission that has up to 90 mass units.

PROS:

- Lifts medium-size missions due to add-on thrusters.

CONS:

- Costs more than Light-Lift Rocket I due to additional thrusters.
- Medium risk: works 4 times out of 6.

Medium-Lift Rocket A



\$ 100

125

MASS LIMIT

This rocket can lift a mission that has up to 125 mass units.

PROS:

- Lifts large missions with more science tools.

CONS:

- Costs more than Light-Lift Rockets.
- Medium risk: works 4 times out of 6.

Medium-Lift Rocket B



\$ 120

125

MASS LIMIT

This rocket can lift a mission that has up to 125 mass units.

PROS:

- Able to lift large missions with more science tools.
- Low risk: works 5 times out of 6.

CONS:

- Costs more than Light-Lift I & II and Medium-Lift Rocket A.

Heavy-Lift Rocket



\$ 100

200

MASS LIMIT

This rocket can lift a mission that has up to 200 mass units.

PROS:

- The most powerful on Earth! Able to lift very large missions with the most science tools.

CONS:

- High risk: works 3 times out of 6.

Rocket Nose Cone



\$ 10

7

0

Protects your spacecraft during launch. **Required for all missions!**

PROS:

- Low cost.
- No power needed.

CONS:

- Medium mass.

Low-Power Solar Panel



\$ 10

7

10

POWER LIMIT

Gives your mission electricity.

PROS:

- Low cost, low mass.
- Lasts a few years.

CONS:

- Must have sunlight. Only works during daylight.
- Only works near the equator.
- Requires on-board battery (card #10)

Medium-Power Solar Panel



\$ 15

15

25

POWER LIMIT

Gives your mission electricity.

PROS:

- Low cost, medium mass.
- Lasts a few years.

CONS:

- Must have sunlight. Only works during daylight.
- Only works near the equator.
- Requires on-board battery (card #10)

High-Power Solar Panel



\$ 25

20

40

POWER LIMIT

Gives your mission electricity.

PROS:

- Medium cost, medium mass.
- Lasts a few years.

CONS:

- Must have sunlight. Only works during daylight.
- Only works near the equator.
- Requires on-board battery (card #10)

Concevoir une mission martienne

Activité pour la classe d'Enseignement Scientifique de Première Projet expérimental et numérique

Remplir un tableau avec les différents équipements choisis

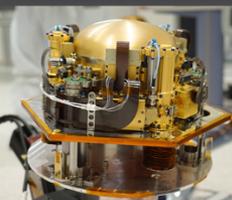
System	Spacecraft Component	Budget 400	Mass	Power	Science Return
1. Launch	Medium-Lift Rocket A	-100	+125	0	0
		300	125	0	0
	Rocket Nose Cose	-10	-7	0	0
2. Power	Medium-Power Solar Panel	-15	-15	+25	0
		275	103	25	0

Felix - Etienne - Conto

System	Spacecraft Component	Budget 400	Mass	Power	Science Return
1. Launch	Heavy Lift Rocket	-100	200	—	—
	Rocket Nose Cone	-10	-7	—	—
2. Power	Radiotelescope Power System	-75	-30	75	—
		215	163	75	—
3. Computer	Main Bus	-20	-5	-1	—
	Standard Microprocessor	195	158	74	—
4. Communications	High Gain Antenna	-10	-1	-5	+1
	Main Memory Card	-5	-1	-3	—
		175	149	66	—
5. Mobility	Wheels	-15	-10	-12	—
6. Entry, Descent & Landing	Heat shield	-5	-10	—	—
	Retro Rockets	-10	-8	—	—
	Hyperonic Parachute	-5	-8	—	—
7. Science Instruments	Sample Collection Devices	-5	-3	-1	+1
	Life science Laboratory	-60	-8	-25	+2
	Laser-induced Breakdown Spectrometer	-30	-4	-5	+1
	Color Resolution Camera	-20	-3	-2	+1
8. Mechanical	Atmosphere / Wind sensors	-5	-2	-2	+1
	Rotating Instrument Mount	-5	-3	-1	+1
	Redundant arm	-5	-8	-1	+1

2 cartes supplémentaires créées pour InSight et Perseverance :

Seismometer



\$ 40

8

⚡ 2

★ 2

17

Helps discover why Mars lost its water.

✓ **PROS:**

- Records information to determine the internal structure of Mars.

✗ **CONS:**

- High cost and high mass.

Laser-Induced Breakdown Spectrometer



\$ 30

4

⚡ 5

★ 1

17

Helps discover if Mars was ever a habitat for microbial life.

✓ **PROS:**

- Detects minerals in detail, including those that formed in water, which is essential to life.
- Low mass and low power usage.

✗ **CONS:**

- High cost.

Concevoir une mission martienne

Des élèves très acteurs et enthousiastes !

