



Avec Perseverance...

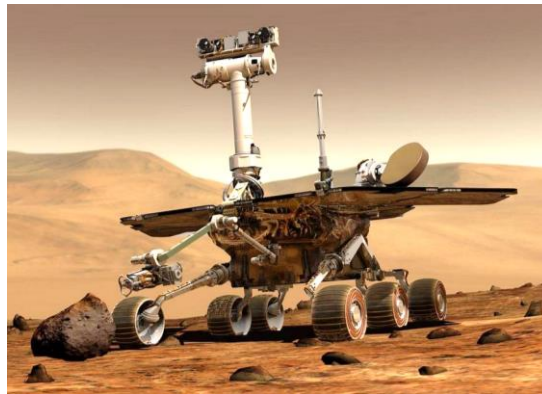
■ Physique :

- Radioactivité
- Stockages et transferts d'énergie
- Energie mécanique

■ Chimie :

- réactions d'oxydoréduction
- piles et accumulateurs

Le Rover Perseverance de la NASA explore la surface de la planète Mars depuis le 18 février 2021. Il est le résultat de la mission « Mars 2020 », dont le but est d'étudier le sol martien. Il est prévu, en 2031, que les échantillons prélevés par Perseverance reviennent sur terre pour y être analysés.



Perseverance à la surface de Mars – Crédit photo : NASA – Licence CC0 (domaine public)

Perseverance est équipé d'un nombre considérable d'instruments de mesure pour mener à bien ses missions d'exploration de Mars. Ce problème propose d'étudier la source d'énergie qui l'alimente, le fonctionnement des batteries qu'il embarque, avant de revenir sur les conditions de son « atterrissage » sur Mars en 2021.

PARTIE 1 : la source d'énergie de Perseverance, le MMRTG

Perseverance est alimenté par un générateur thermoélectrique à radioisotope multi-mission (en anglais : MMRTG). Un tel dispositif convertit le transfert thermique dû à la désintégration radioactive du plutonium 238 en travail électrique.

DONNÉES et relations utiles

■ Données sur le MMRTG en 2021 :

- Masse de plutonium 238 embarquée : 3,478 kg
- Activité radioactive initiale du plutonium embarqué : environ 60000 Ci (Ci est le symbole du Curie, ancienne unité de l'activité radioactive égale à $3,7 \times 10^{10}$ Bq)
- Puissance électrique délivrée : 120 W

■ Données générales :

- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- Constante de radioactivité du plutonium 238 : $\lambda = 2,50 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$
- Numéros atomiques de quelques éléments de la famille des actinides :

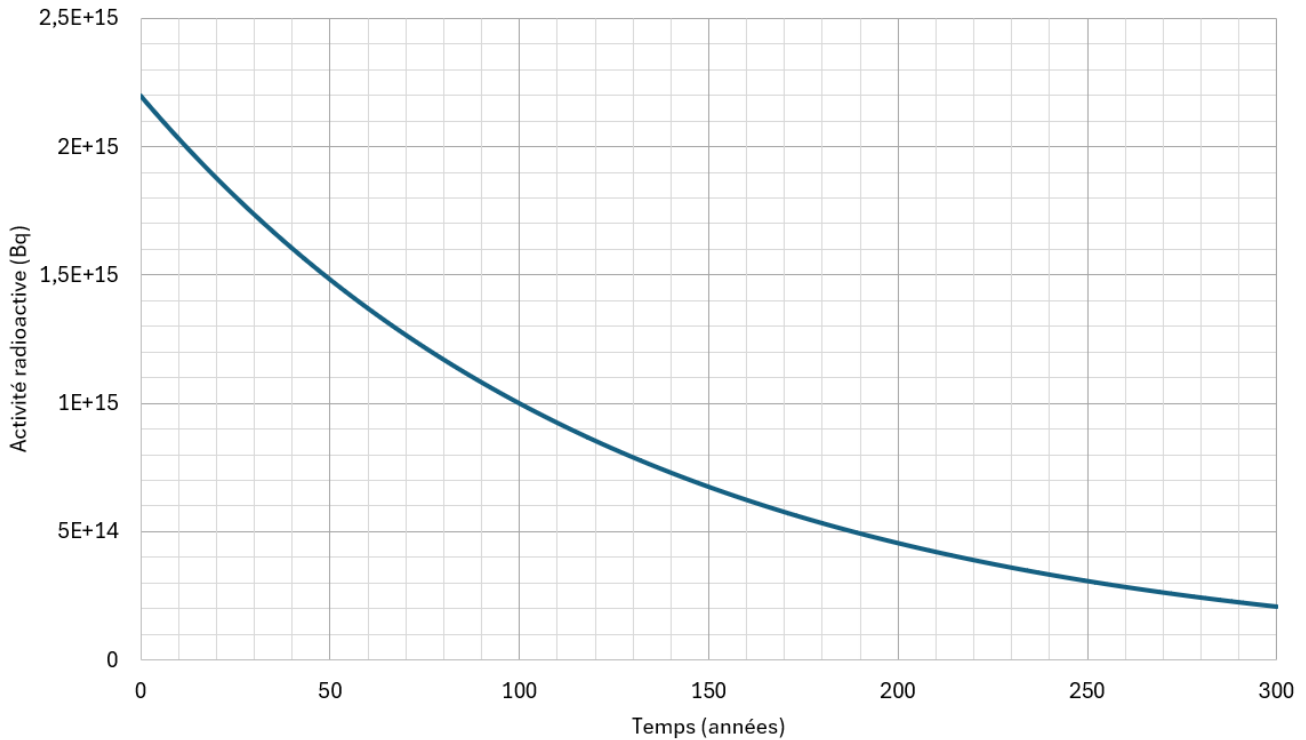
Thorium	Protactinium	Uranium	Neptunium	Plutonium	Américium	Curium
${}_{90}\text{Th}$	${}_{91}\text{Pa}$	${}_{92}\text{U}$	${}_{93}\text{Np}$	${}_{94}\text{Pu}$	${}_{95}\text{Am}$	${}_{96}\text{Cm}$

- Loi de décroissance radioactive : $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$



1. Le plutonium 238 est radioactif α . Écrire l'équation de sa désintégration en précisant les lois utilisées.

Le graphique suivant donne l'évolution de l'activité radioactive de l'échantillon de plutonium 238 embarqué à bord de Perseverance :



2. Calculer le nombre N_0 de noyaux de plutonium 238 embarqués par Perseverance.
3. Exprimer en fonction de N_0 l'activité radioactive initiale A_0 de l'échantillon puis la calculer numériquement. Vérifier que le résultat est à la fois cohérent avec le graphique ci-dessus et avec la donnée encadrée au début de l'énoncé.
4. Définir le temps de demi-vie du plutonium 238 et le déterminer grâce à la courbe ci-dessus.
5. Exploiter la loi de décroissance radioactive pour exprimer l'activité radioactive de l'échantillon $A(t)$ en fonction de A_0 , λ et t .
6. Établir la relation entre la demi-vie $t_{1/2}$ et la constante radioactive λ et vérifier que cette relation permet de retrouver la valeur précédente de $t_{1/2}$.

On admet que la puissance électrique délivrée par le MMRTG est à tout instant proportionnelle à l'activité radioactive du plutonium 238 qu'il contient.

7. Montrer que la perte de puissance par année est inférieure à 1%.
8. La NASA, pour certains autres projets, utilise des générateurs basés sur le même principe que le MMRTG mais utilisant le polonium 210 et non pas le plutonium 238. La demi-vie du polonium 210 vaut 138 jours. Quel avantage et quel inconvénient le choix du polonium présente-t-il par rapport à celui du plutonium ?

PARTIE 2 : les batteries Lithium-Ion de Persévérance

Persévérance est équipé de deux systèmes de batteries rechargeables Lithium-ion qui permettent de l'alimenter quand l'énergie produite par le MMRTG n'est pas suffisante.

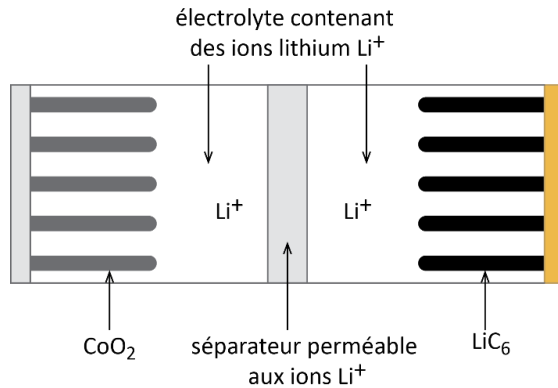
On se propose, dans cette deuxième partie, d'étudier ces batteries.



DOCUMENT 1 : principe d'un accumulateur Lithium – ion

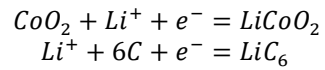
Constitution d'un accumulateur Lithium – ion :

La figure suivante illustre la constitution d'un accumulateur Lithium – ion lorsqu'il est neuf (ou alors totalement rechargé) :



Demi-équations modélisant la décharge :

Lorsqu'il alimente un récepteur électrique, l'accumulateur est le siège d'une réaction d'oxydoréduction, résultat des réactions aux électrodes de demi-équations (donnés ici dans le sens de la réduction) :



DOCUMENT 2 : données sur les batteries embarquées par Perseverance

Une batterie contient un ensemble d'accumulateurs tels que celui décrit dans le document 1.

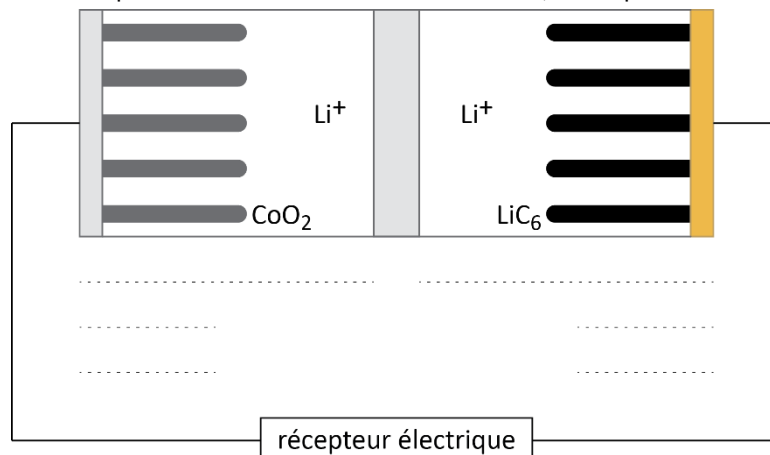
- Données sur les accumulateurs
 - Tension nominale : 3,65 V
 - Capacité : 44,8 Ah
- Données sur les batteries :

Perseverance est équipé de deux batteries identiques ayant les propriétés suivantes :

 - Tension nominale : 29,2 V
 - Capacité : 44,8 Ah ;
 - Cycles « de vie » : 2200

Lorsqu'il est chargé et alimente électriquement le rover Perseverance, un accumulateur se comporte comme une pile. Nous n'étudions pas ici sa « charge ».

9. Le figure ci-dessous illustre un accumulateur alimentant un récepteur électrique. la compléter de la manière suivante :
- écrire sous chaque électrode la demi-équation qui modélise son évolution (dans le sens où elle a spontanément lieu) ;
 - préciser s'il s'agit d'une oxydation ou une réduction ;
 - indiquer la nature de chaque électrode (anode ou cathode) ;
 - indiquer la polarité de la pile ;
 - indiquer le sens de déplacement des ions Li^+ dans l'électrolyte ;
 - indiquer le sens de déplacement des électrons dans les fils, ainsi que le sens du courant.

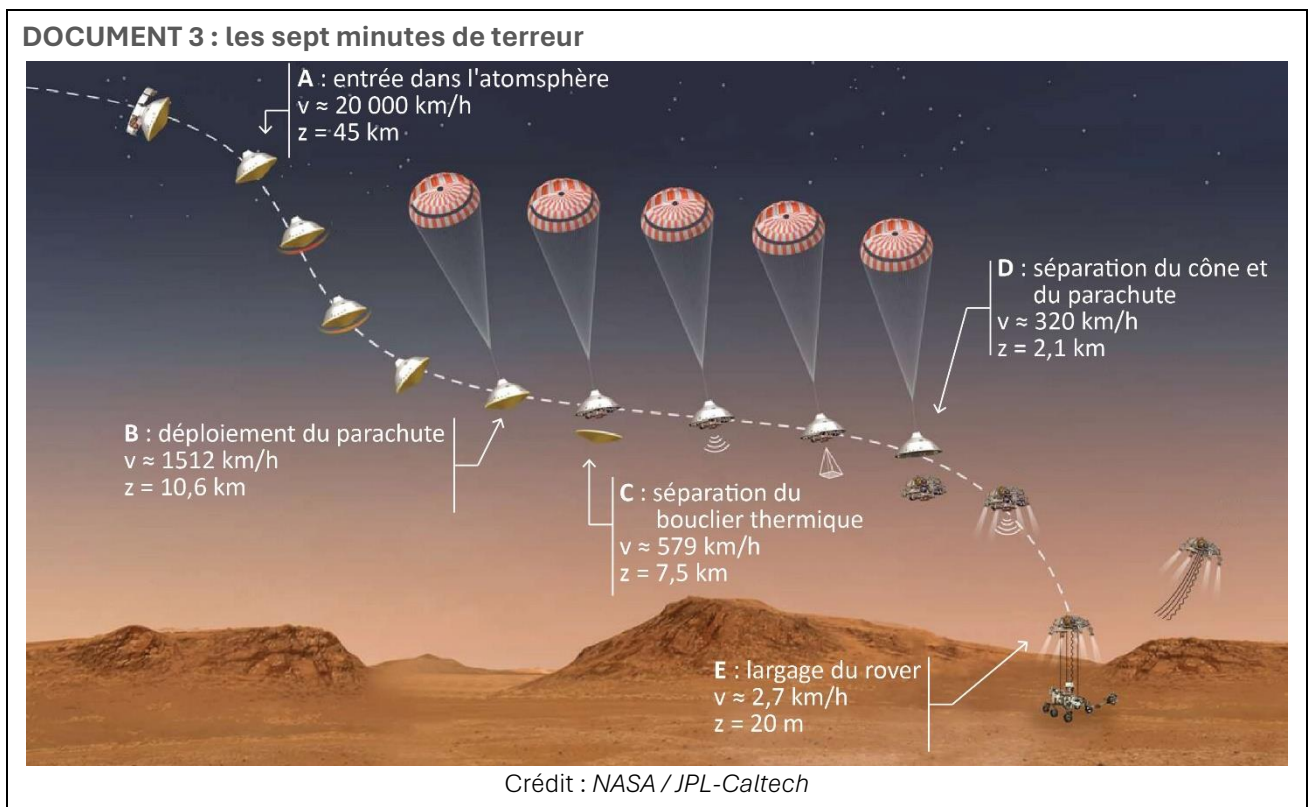




10. Écrire l'équation de la réaction chimique qui modélise la décharge de l'accumulateur.
11. Exploiter les données pour calculer le nombre d'accumulateurs que contient chaque batterie et préciser la manière dont ils sont branchés.
12. Les équipements de Perseverance nécessitent, au total, un courant électrique d'intensité 5,6 A. Calculer la durée totale l'autonomie du rover en considérant ses batteries comme sa seule source d'énergie.
13. Montrer que l'énergie stockée au total par les batteries de Perseverance est voisine de 3 kWh.

PARTIE 3 : l'atterrissage de Perseverance ou les « sept minutes de terreur »

Perseverance s'est posé le 18 février 2021 sur la planète Mars. Le vaisseau qui l'embarquait a pénétré dans l'atmosphère martienne avec une vitesse de 20 000 km/h et, 7 minutes plus tard, le rover devait être déposé à la surface de Mars avec une très faible vitesse. Un enchaînement d'actions a permis ce succès spectaculaire, surnommé par la NASA les « sept minutes de terreur ».



Si le mouvement avait été une chute libre...

Pour bien comprendre l'enjeu de ces sept minutes d'atterrissage, on se propose dans cette partie d'envisager ce qu'il se serait passé dans l'hypothèse d'une chute libre entre la position A (entrée dans l'atmosphère) et l'arrivée au sol du vaisseau. Toute force de frottement est donc négligée.

Le système étudié est l'ensemble du matériel en mouvement, que nous appellerons « vaisseau ».

14. On envisage une position « F » du vaisseau, non représentée ci-dessus car, heureusement, irréaliste, modélisant son arrivée au sol après un mouvement de chute libre.

Énoncer, dans l'hypothèse de la chute libre, le théorème de l'énergie mécanique entre A et F.

15. Montrer que la vitesse à laquelle le vaisseau aurait atteint le sol en cas de chute libre s'exprime par :

$$v_F = \sqrt{v_A^2 + 2gz_A}$$

16. Le champ de pesanteur martien vaut $g = 3,70 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Calculer numériquement v_F et commenter la valeur obtenue.



Le rôle du bouclier thermique

On étudie à présent le trajet A → B du vaisseau : depuis son entrée dans l'atmosphère jusqu'au déploiement du parachute. On voit que durant cette phase, l'ensemble est protégé par un bouclier thermique (qui sera largué à la position C) : on cherche à en comprendre l'intérêt.

17. L'atmosphère martienne, bien que peu dense, exerce une force de frottement qui explique la diminution de la vitesse du vaisseau entre A et B. Comment évolue son énergie mécanique ? Justifier sans calcul.
18. Exprimer la variation d'énergie mécanique ΔE_m du vaisseau entre A et B, en fonction de sa masse m , v_A , v_B , z_A et z_B .
19. On admet que 5% de l'énergie mécanique perdue par le vaisseau est convertie en énergie interne thermique (le reste est cédé à l'atmosphère). Dans cette hypothèse on a la relation :

$$m c_{\text{acier}} \Delta T = -0,05 \times \Delta E_m$$

ΔT étant la variation de la température du système, m sa masse et $c_{\text{acier}} = 470 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ étant la capacité thermique massique de l'acier, supposé unique constituant du système (ce qui est une approximation).

Exploiter ces informations et la réponse 18 pour estimer la variation de la température du vaisseau durant son trajet A → B. En déduire le rôle joué par le bouclier thermique.

La descente finale

On étudie à présent la dernière phase de la descente, représentée par le trajet D → E. Comme la vitesse en D est encore de 320 km/h, l'atterrisseur est équipé de moteur exerçant une force \vec{F} orientée vers le haut. Le rendement de ces moteurs est estimé à 40%.

Le système étudié est la partie restante du système précédent (le bouclier thermique, le parachute et le cône ayant été largués), de masse $m = 2,0 \times 10^3 \text{ kg}$.



Crédit photo : NASA /JPL-Caltech – Domaine public

20. Estimer l'énergie dépensée par les moteurs durant la phase D → E. On la notera Q car c'est un transfert thermique dû à la combustion du carburant embarqué. Le raisonnement suivi sera clairement détaillé.