

« après avoir résumé le principe et l'intérêt des systèmes de protection thermique des engins spatiaux »

Les engins spatiaux voyagent dans l'espace à grande vitesse et leur atterrissage sur une planète possédant une atmosphère les soumet à des forces de frottement importantes à l'origine d'une forte élévation de température.

Ainsi la sonde spatiale qui a déposé le Rover Curiosity sur la planète Mars est protégée par un bouclier thermique dont la température de surface peut atteindre 2000 °C.

Les équipements d'explorations véhiculés par le module spatial ne pouvant pas supporter sans dommage une température supérieure à 10 °C, ce bouclier thermique doit être particulièrement isolant.

« vous justifierez, le choix du projet MSL d'utiliser le PICA comme matériau pour son bouclier thermique »

Pour construire ce bouclier, la NASA a porté son choix sur un matériau composite alliant une résine phénolique et des fibres de carbone, le PICA. Ce matériau possède les qualités requises pour assurer la fonction d'un bouclier thermique efficace :

- sa conductivité thermique est faible ( $\lambda = 0,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ), il s'agit d'un bon isolant thermique ;
- il résiste suffisamment longtemps au flux thermique auquel il est soumis : des tests en laboratoire à une température de 1600°C (document 5) montrent qu'une épaisseur de 15 mm de ce bouclier lui permet de maintenir une température sur l'autre face d'environ 400 °C, même après 150 s ;
- il possède une émissivité égale à 0,9 ainsi il dissipe par rayonnement 90% de l'énergie reçue ;
- il est le siège d'un phénomène physico-chimique appelé « ablation » qui permet lui aussi de consommer une partie de l'énergie reçue ;
- il est peu dense ( $d = 0,35$ ), ce qui permet de limiter sa masse ;

« en estimant le flux de transfert thermique traversant un module muni d'un bouclier ainsi que le flux de transfert thermique théorique qui traverserait un module non muni d'un bouclier thermique. »

Pour juger de l'efficacité du bouclier, on peut évaluer le flux thermique qui traverserait le module s'il n'était pas muni de ce bouclier et le comparer avec le flux thermique traversant réellement le bouclier.

#### Flux thermique sans bouclier :

Le document 2 nous indique que ce flux thermique peut être estimé à 20 % de la variation d'énergie cinétique liée au freinage lors de la traversée de l'atmosphère.

La variation d'énergie cinétique est :  $\Delta E_C = E_{C2} - E_{C1} = 5,03 \times 10^{10} - 0,03 \times 10^{10} = 5,00 \times 10^{10} \text{ J}$

20% de cette énergie doit être évacuée par une surface de 20 m<sup>2</sup> pendant une durée

d'environ 200 s, soit un flux :  $\Phi_{\text{th}} = \frac{(E_{C2} - E_{C1}) \times \frac{20}{100}}{\Delta t \cdot S}$

$$\Phi_{\text{th}} = \frac{5,00 \times 10^{10} \times \frac{20}{100}}{200 \times 20} = \frac{10^{10} \times \frac{100}{100}}{4,0 \times 10^3} = \frac{1,00 \times 10^7}{4,0} = 2,5 \times 10^6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Flux thermique traversant réellement le bouclier :

D'après le document 3,  $\Phi_b = \frac{\Delta T \cdot \lambda}{e}$ .

La température intérieure est maintenue à 10 °C, alors que la température du bouclier atteint 2000 °C.

$$\Phi_b = \frac{(2000 - 10) \times 0,1}{10 \times 10^{-2}} = 1990 = 2 \times 10^3 \text{ W.m}^{-2}$$

Conclusion sur l'efficacité du bouclier :

Il n'y a que 0,08 % du flux thermique qui traverse le bouclier, en effet :

$$\frac{\Phi_b}{\Phi_{th}} = \frac{2 \cdot 10^3}{2,5 \cdot 10^6} = 8 \times 10^{-4} = 0,08 \%$$

Le choix de ce matériau est donc bien adapté pour réaliser le bouclier thermique du module de descente.

Évaluation par compétences	Compétences évaluées	Critère de réussite correspondant au niveau A	A	B	C	D
	<b>S'approprier</b>	<p>Les éléments suivants sont tirés des documents :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mars possède une atmosphère.</li> <li>- l'atmosphère de Mars freine la sonde, ce qui provoque un échauffement du bouclier thermique.</li> <li>- le bouclier thermique est isolant.</li> <li>- une partie du bouclier thermique est détruite par une réaction chimique et par sublimation lors de son échauffement (ablation) ces deux phénomènes consommant de l'énergie.</li> <li>- Le bouclier renvoie une partie de l'énergie reçue par rayonnement.</li> <li>- Le matériau proposé a une densité faible.</li> </ul>				
	<b>Analyser</b>	<p>Les informations extraites des documents sont bien choisies, organisées et exploitées pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- expliquer le rôle d'un bouclier thermique.</li> <li>- justifier le choix du PICA par ses propriétés.</li> <li>- montrer que le flux thermique à travers le bouclier est beaucoup plus faible que le flux thermique théorique traversant un module ne possédant pas de bouclier, ce qui suppose qu'une grande partie de l'énergie n'a pas pénétré à l'intérieur du bouclier.</li> </ul> <p>Les différents paramètres influençant les deux flux d'énergie thermique sont bien identifiés</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pour <math>\varphi_b</math> : températures extérieures et intérieure du bouclier, conductivité thermique, épaisseur du bouclier.</li> <li>- pour <math>\varphi_{th}</math> : durée de l'entrée dans l'atmosphère, variation d'énergie cinétique, surface du module ne possédant pas de bouclier et exposé aux frottements.</li> </ul>				
	<b>Réaliser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcul correct de <math>\varphi_b</math> et <math>\varphi_{th}</math>.</li> <li>- Calcul correct de l'épaisseur d'ablation.</li> <li>- Lecture correcte des graphiques donnant la température à l'intérieur du matériau ablatif.</li> </ul>				
	<b>Valider</b>	<p>Le choix du matériau PICA a été correctement justifié par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sa densité faible.</li> <li>- sa capacité à absorber (pyrolyse, sublimation du carbone) ou renvoyer (radiation) le flux d'énergie reçu.</li> <li>- sa faible ablation (4 mm seulement)</li> <li>- la variation rapide de température à l'intérieur de l'épaisseur de PICA.</li> </ul>				
	<b>Communiquer</b>	<p>Vocabulaire scientifique adapté.          Articulations logiques présentes.          Écrit cohérent et compréhensible.</p>				
		<b>Note (en point entier)</b>	<b>/ 5</b>			

Que des A ou des B : 5 à 4 points ; Majorité de A et de B : 4 à 3 points ;  
 Majorité de B et de C : 3 à 2 points ; Majorité de C et de D : 2 à 1 points ; Que des C ou des D : 1 à 0,5 point ; Que des D : 0 point.