CADETS DE L'AVIATION ROYALE DU CANADA

NIVEAU DE QUALIFICATION QUATRE

GUIDE PÉDAGOGIQUE

SECTION 1

OCOM M440.01 – IDENTIFIER LES MATÉRIAUX AÉROSPATIAUX

Durée totale : 30 min

PRÉPARATION

INSTRUCTIONS PRÉALABLES À LA LEÇON

Les ressources nécessaires à l'enseignement de cette leçon sont énumérées dans la description de leçon qui se trouve dans la publication A-CR-CCP-804/PG-002, *Norme de qualification et plan du niveau quatre*, chapitre 4. Les utilisations particulières de ces ressources sont indiquées tout au long du guide pédagogique, notamment au PE pour lequel elles sont requises.

Réviser le contenu de la leçon pour se familiariser avec la matière avant de l'enseigner.

Créer des transparents à partir des figures qui se trouvent aux annexes A et B.

DEVOIR PRÉALABLE À LA LEÇON

S.O.

APPROCHE

L’exposé interactif a été choisi pour cette leçon pour initier les cadets aux matériaux aérospatiaux et stimuler leur intérêt sur le sujet.

INTRODUCTION

RÉVISION

S.O.

OBJECTIFS

À la fin de la présente leçon, les cadets doivent être en mesure d’identifier les matériaux utilisés pour la construction aérospatiale.

IMPORTANCE

Il est important que les cadets étudient les matériaux utilisés pour la construction aérospatiale, car cela leur permettra de mieux comprendre les matériaux utilisés pour construire des engins spatiaux et la raison pour laquelle ils sont choisis.

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf.
Verify against the official publication.

Point d'enseignement 1 **Discuter des métaux utilisés pour la construction aérospatiale**

Durée : 15 min Méthode : Exposé interactif

MÉTAUX UTILISÉS POUR LA CONSTRUCTION AÉROSPATIALE



Pendant ce PE, faire circuler des échantillons de petits morceaux de composants fabriqués en aluminium, en magnésium, en titane et en acier inoxydable.

ALUMINIUM

L'aluminium pur n'est pas suffisamment résistant pour être utilisé pour la construction aérospatiale. Cependant, sa résistance augmente considérablement lorsqu'il est allié, ou combiné, à d'autres métaux compatibles. Lorsque l'aluminium est mélangé à du cuivre ou à du zinc, par exemple, l'alliage qui en résulte est aussi résistant que l'acier, mais ne pèse que le tiers. De plus, la résistance importante à la corrosion de l'aluminium se transmet à l'alliage nouvellement formé. L'aluminium est le métal utilisé le plus souvent pour la structure des engins spatiaux.

MAGNÉSIUM

Le magnésium est l'un des métaux les plus légers ayant la résistance et les caractéristiques fonctionnelles requises pour être utilisé dans les structures aérospatiales. C'est-à-dire que, dans sa forme pure, il lui manque de la résistance, mais, comme aluminium, le mélange à d'autres métaux pour créer un alliage produit des caractéristiques de résistance qui rendent le magnésium utile.

TITANE

Le titane et ses alliages constituent des métaux légers dont la résistance est très élevée. Le poids du titane à l'état pur n'est que la moitié de celui de l'acier inoxydable, et il est doux et ductile. Les alliages de titane possèdent une excellente résistance aux éléments corrosifs, particulièrement à l'eau salée.

Acier inoxydable

Le terme « acier inoxydable » est la classification des aciers résistants à la corrosion qui contiennent d'importantes quantités de chrome et de nickel. Il se prête bien aux applications à haute température comme les pare-feu et les composantes des systèmes d'échappement.

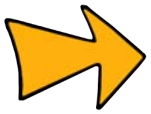
ESSAIS DES MATÉRIAUX

L'étude des matériaux utilisés en construction aérospatiale est imposante et connaît une croissance rapide à mesure que les scientifiques et les ingénieurs acquièrent de l'expérience dans l'emploi de matériaux nouveaux et anciens pour les nouvelles frontières en matière d'applications et d'environnements. Tous les matériaux représentent une possibilité, mais doivent être utilisés à bon escient. L'espace comprend de nombreux environnements, chacun d'eux représentant différents défis tel celui de l'orbite basse terrestre (LEO) rencontré par la Station spatiale internationale (SSI) et les missions de la navette spatiale. Les matériaux sont choisis pour une utilisation propre à certaines applications après une étude attentive en laboratoire, y compris dans des laboratoires en orbite comme la batterie d'exposition prolongée (LDEF).

La LDEF a été déployée le 7 avril 1984 par la navette Challenger. L'orbite quasi circulaire se trouvait à une altitude de 275 miles marins. La LDEF est demeurée dans l'espace pendant presque 5.7 ans et a accompli 32 422 orbites terrestres. Elle a été exposée à un demi-cycle solaire puisqu'elle a été déployée lorsque le cycle

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf.
Verify against the official publication.

solaire était à son minimum et a été récupérée lorsque le cycle solaire était à son maximum. La LDEF a été récupérée le 11 janvier 1990 par la navette Columbia. Au moment de la récupération de la LDEF, son orbite avait été réduite à 175 milles marins et se trouvait à un peu plus d'un mois de son retour dans l'atmosphère.



Le système d'archivage de la batterie d'exposition prolongée (LDEF) géré par le Langley Research Center de la NASA a été mis au point pour offrir aux concepteurs d'engins spatiaux et aux chercheurs de l'environnement spatial un seul point d'accès à toutes les ressources disponibles en provenance de la LDEF. Il se trouve au site Web http://setas-www.larc.nasa.gov/LDEF/index.html

ENVIRONNEMENT ORBITAL

Les caractéristiques d'une orbite d'engin spatial sont déterminées par sa mission. Parce qu'ils se déplacent entre plusieurs mondes, certains engins spatiaux doivent être capables de fonctionner dans une variété de conditions. La plupart d'entre eux sont toutefois utilisés dans le cadre d'une application qui les confine à des environnements spatiaux restreints. L'impact relatif des effets qu'a l'environnement spatial sur les matériaux dépend du type de mission que l'engin spatial doit effectuer (p. ex., communications, défense, observation de la Terre), et plus important encore, des orbites dans lesquelles l'engin spatial est placé.



Présenter aux cadets le transparent de la figure A-1 qui se trouve à l'annexe A.

La figure A-1 présente les variations de l'environnement spatial dans le contexte fonctionnel de l'altitude orbitale. L'orbite basse terrestre s'étend sur 1 000 km. L'orbite moyenne terrestre se situe au-delà de 1 000 km jusqu'à 35 000 km. L'orbite géosynchrone se situe à 35 000 km et plus.



Présenter aux cadets le transparent des figures A-2 et A-3 de l'annexe A.

Les principaux risques environnementaux dans la LEO incluent l'oxygène atomique, les rayons ultraviolets, les cycles fréquents de températures chaudes et froides, les micrométéorites, les débris et la contamination.



L'oxygène atomique est une forme élémentaire de l'oxygène qui n'existe pas dans l'atmosphère de la Terre. Dans l'espace par contre, elle est commune dans la zone de la LEO où les satellites orbitent autour de la Terre. Elle réagit là-bas très facilement avec d'autres matériaux et exposent les satellites et les engins spatiaux à une corrosion destructrice. Les chercheurs du Glenn Research Center de la NASA étudient ces effets destructeurs en vue de trouver des matériaux et des méthodes qui peuvent prolonger la durée de vie des satellites de communication, des navettes spatiales et de la SSI.



Présenter aux cadets le transparent de la figure A-4 qui se trouve à l'annexe A.

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf.
Verify against the official publication.

Des revêtements protecteurs sont appliqués aux surfaces métalliques afin de les protéger contre les risques d'endommagement.

Le flux de l'oxygène atomique et les rayonnements ultraviolets ont une action réciproque destructrice sur les matériaux en argent et en Téflon.

Les cadets peuvent vérifier le climat spatial sur la page Web « Space Weather: Impact of the Orbital Environment on the MOST microsatellite mission » à l'adresse http://www.astro.ubc.ca/MOST/posters/WS-Kristy-poster.jpg

Les débris orbitaux représentent un autre risque pour les matériaux dans la LEO. Il est ici question de particules fabriquées par l'homme en orbite autour de Terre. Il est estimé que 3 000 000 kg d'objets artificiels sont en orbite à environ 2 000 km au-dessus de la surface de la Terre. Ces objets se trouvent dans des orbites qui sont pour la plupart à haute inclinaison, et se frôlent à une vitesse moyenne de 10 km par seconde. Ces particules sont le produit d'opérations normales de lancement et d'engins spatiaux, de même que de la désintégration des fusées et des satellites. Les opérations normales de lancement et d'engins spatiaux mettent à la fois en orbite des grosses particules (p. ex., supérieures à 1 cm de diamètre comme les coiffes de satellite, les couvercles de lentille et les outils échappés des mains) et des petites particules (p. ex., échappement solide de fusée d'environ 10 microns de diamètre).

Les impacts peuvent altérer l'état des métaux et exposer les métaux sous-jacents, ce qui permet aux environnements spatiaux (p. ex., l'oxygène atomique) d'amplifier la surface endommagée et de commencer à endommager celles qui n'étaient pas préalablement exposées. L'entaille par l'oxygène atomique des substrats de polymère sous les revêtements protecteurs est un phénomène qui peut être inquiétant pour les applications spatiales d'isolation multicouche.

CONFIRMATION DU POINT D'ENSEIGNEMENT 1

QUESTIONS :

Q1. Pourquoi l'aluminium pur n'est-il pas utile dans plusieurs applications de la construction aérospatiale?

Q2. Quelles trois caractéristiques font du titane un métal utile pour la fabrication des composantes aérospatiales?

Q3. Quels deux métaux sont mélangés à l'acier pour produire de l'acier inoxydable?

RÉPONSES ANTICIPÉES :

R1. L'aluminium pur manque de résistance pour être utilisé en construction aérospatiale.

R2. Les alliages de titane sont hautement résistants, légers et résistants à la corrosion.

R3. L'acier est mélangé au chrome et au nickel.

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf.
Verify against the official publication.

Point d'enseignement 2 **Discuter des matériaux composites utilisés pour la construction aérospatiale**

Durée : 10 min Méthode : Exposé interactif

CONSTRUCTION AVEC DES MATÉRIAUX COMPOSITES



On entend par « matériau composite » la combinaison de deux ou plusieurs matériaux de composition ou de forme différente. On utilise parfois le terme « matériau composite » pour désigner n'importe quel matériau de construction synthétique.

Les structures construites de matériaux composites se distinguent des structures en métal de plusieurs façons importantes : elles possèdent d'excellentes propriétés élastiques, une haute résistance combinée à la légèreté, ainsi qu'une capacité à s'adapter tant sur le plan de la résistance que de la rigidité. La nature fondamentale de beaucoup de matériaux composites est attribuable aux caractéristiques d'une étoffe en fibres résistante enduite de résine.



Faire circuler des échantillons d'étoffe en fibre de verre, en fibre aramide et en fibre de carbone distinctement marqués.

Fibre de verre

La fibre de verre est composée de brins de verre de silice qui sont filés ensemble puis tisser pour produire une étoffe. La fibre de verre est plus lourde et moins résistante que la plupart des autres fibres composites. Cependant, les matériaux de base améliorés (matériaux de matrice) permettent maintenant l'utilisation de la fibre de verre dans des applications de matériaux composites en construction aérospatiale.

Divers types de verre entrent dans la composition de la fibre de verre : le verre E, qui est très résistant au courant électrique, et le verre S, qui a une résistance à la traction plus élevée, ce qui signifie que les tissus qui en sont fabriqués sont résistants à la déchirure.

ARAMIDE

L'aramide est un polymère. Un polymère se compose d'une ou plusieurs grandes molécules qui sont formées à partir d'unités répétées de plus petites molécules.



Demander aux cadets de nommer toutes les applications du Kevlar® qu'ils connaissent.

La fibre aramide la mieux connue est le Kevlar®, qui a une résistance à la traction environ quatre fois supérieure au meilleur alliage d'aluminium. Ce matériel de production d'étoffe est utilisé dans des applications qui exigent une haute résistance : les canots, les gilets de protection balistique et les sustentateurs rotatifs (rotors) d'hélicoptère. L'aramide se prête idéalement à la fabrication de pièces d'aéronefs qui sont assujetties à des contraintes et des vibrations élevées. La flexibilité de l'aramide lui permet de se tordre et de se plier pendant le vol, ce qui permet d'absorber une grande partie des contraintes. En comparaison, une pièce en métal développerait des fissures de fatigue ou de contrainte plus rapidement dans les mêmes conditions.

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf.
Verify against the official publication.

Carbone / Graphite

Les termes « carbone » et « graphite » sont souvent utilisés de façon interchangeable. Toutefois, ils ne sont pas tout à fait le même matériau. Les fibres de carbone se forment à 1 315 degrés Celsius (2 400 degrés Fahrenheit), alors que les fibres de graphite ne se forment qu'à une température supérieure à 1 900 degrés Celsius (3 450 degrés Fahrenheit). Leur teneur réelle en carbone est également différente; toutefois, les matériels de fibre de carbone et de fibre de graphite ont tous deux une haute résistance à la compression et une grande rigidité.

Les molécules de carbone forment de long fils qui sont extrêmement résistants (c'est ce qui rend les diamants si durs). Ces brins de carbone minuscules qui ressemblent à des cheveux (un élément très commun et peu coûteux) sont, par unité de mesure de poids, plusieurs fois plus résistants que l'acier. Les fibres de carbone individuelles sont flexibles plutôt que rigides et se plient facilement en dépit de leur haute résistance à la traction. Afin de donner du raide aux fibres, des couches en sens travers sont immergées dans une matrice telle que le plastique époxydique. Par matrice, on entend tout matériel qui permet de les lier.



Le terme « résine époxyde » (époxy) se rapporte à une substance dérivée d'un époxyde. Un époxyde est un composé du carbone qui contient un atome d'oxygène lié en disposition triangulaire à deux atomes de carbone. Ainsi, une matrice d'époxyde est elle-même à base de carbone, comme le sont les fibres qu'elle lie.

CÉRAMIQUE

La fibre en céramique est une forme de fibre de verre utilisée dans des applications à haute température. Elle peut résister à des températures qui avoisinent 1 650 degrés Celsius (3 000 degrés Fahrenheit), ce qui la rend efficace pour l'utilisation autour de moteurs et de systèmes d'échappement.



Montrer aux cadets le transparent de la figure B-1 qui se trouve à l'annexe B.

Parmi les désavantages de la céramique, il y a son poids et son coût, mais il arrive qu'aucun autre matériau connu ne fasse l'affaire. Une des applications les plus connues de la céramique est le système de protection thermique utilisé sur la navette spatiale. Une des propriétés de l'aluminium exige que la température maximale de la structure de la navette reste inférieure à 175 degrés Celsius (350 degrés Fahrenheit) pendant les opérations. Le réchauffement pendant la rentrée dans l'atmosphère (autrement dit, le réchauffement causé par la friction avec l'air) crée des températures de loin supérieures à ce niveau et, à beaucoup d'endroits, se situera bien au-delà du point de fusion de l'aluminium (660 degrés Celsius ou 1 220 degrés Fahrenheit).



Sous sa couche protectrice de tuiles et d'autres matériaux, la navette a une construction en aluminium ordinaire qui ressemble à celle de beaucoup de gros aéronefs.



Montrer aux cadets le transparent de la figure B-2 qui se trouve à l'annexe B.

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf.
Verify against the official publication.

Le système de protection thermique d'une navette spatiale est très complexe et comprend des matériaux hautement sophistiqués. Des milliers de tuiles de diverses dimensions et formes couvrent une forte proportion de la surface extérieure de la navette spatiale. Il existe deux types de tuiles de céramique et de silice utilisées sur la navette spatiale :

- **L'isolation de surface réutilisable à basse température (LRSI)** Les tuiles LRSI couvrent les surfaces à température relativement basse d'une des navettes, Columbia, où la température de surface maximale se situe entre 370 et 650 degrés Celsius (700 et 1 200 degrés Fahrenheit), principalement sur la surface supérieure du fuselage autour du poste de pilotage. Ces tuiles ont un revêtement en céramique blanc qui réfléchit le rayonnement solaire pendant le séjour en espace, permettant ainsi de maintenir la navette Columbia au frais.



Montrer aux cadets le transparent de la figure B-3 qui se trouve à l'annexe B.

- **L'isolation de surface réutilisable à haute température (HRSI)** Les tuiles HRSI couvrent les surfaces où la température de surface maximale se situe entre 650 et 1 260 degrés Celsius (1 200 et 2 300 degrés Fahrenheit). Ils ont un revêtement en céramique noir qui leur permet de rayonner la chaleur pendant la rentrée dans l'atmosphère.

Les tuiles LRSI et HRSI sont toutes deux fabriquées à partir du même matériau et leur principale différence est le revêtement.

Un matériau différent et encore plus sophistiqué, le carbone-carbone renforcé, est utilisé dans la fabrication de la pointe avant et des bords d'attaque de la navette spatiale. Il s'agit d'un matériau composé d'un renforcement en fibres de carbone dans une matrice de graphite souvent muni d'un revêtement en carbure de silicium pour prévenir l'oxydation.

CONFIRMATION DU POINT D'ENSEIGNEMENT 2

QUESTIONS :

Q1. Quel type de verre sert à produire les brins de fibre de verre?

Q2. Quel est le matériau en aramide le mieux connu?

Q3. Quelle est la méthode utilisée pour rigidifier les matériaux en fibres de carbone?

RÉPONSES ANTICIPÉES :

R1. Le verre de silice

R2. Le Kevlar®

R3. L'immersion de couches de fibres de carbone en sens travers dans un composé matriciel tel que le plastique époxyde.

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf.
Verify against the official publication.

CONFIRMATION DE FIN DE LEÇON

QUESTIONS :

Q1. Quelles sont les altitudes des orbites basses, moyennes et géosynchrones terrestres?

Q2. Quel est le gaz principal trouvé en orbite basse terrestre?

Q3. Quel métal est utilisé le plus souvent pour la structure des engins spatiaux?

RÉPONSES ANTICIPÉES :

R1. L'orbite basse terrestre s'étend sur 1 000 km. L'orbite moyenne terrestre se situe au-delà de 1 000 km jusqu'à 35 000 km. L'orbite géosynchrone se situe à 35 000 km et plus.

R2. Le gaz principal trouvé en orbite basse terrestre est l'oxygène atomique.

R3. L'aluminium est le métal utilisé le plus souvent pour la structure des engins spatiaux.

CONCLUSION

DEVOIR/LECTURE/PRATIQUE

S.O.

MÉTHODE D'ÉVALUATION

S.O.

OBSERVATIONS FINALES

L'étude des matériaux utilisés en construction aérospatiale est un domaine en croissance rapide qui offre d'immenses possibilités de développement. Les voyages dans l'espace exigent des utilisations de matériaux pertinentes et innovantes.

COMMENTAIRES/REMARQUES À L'INSTRUCTEUR

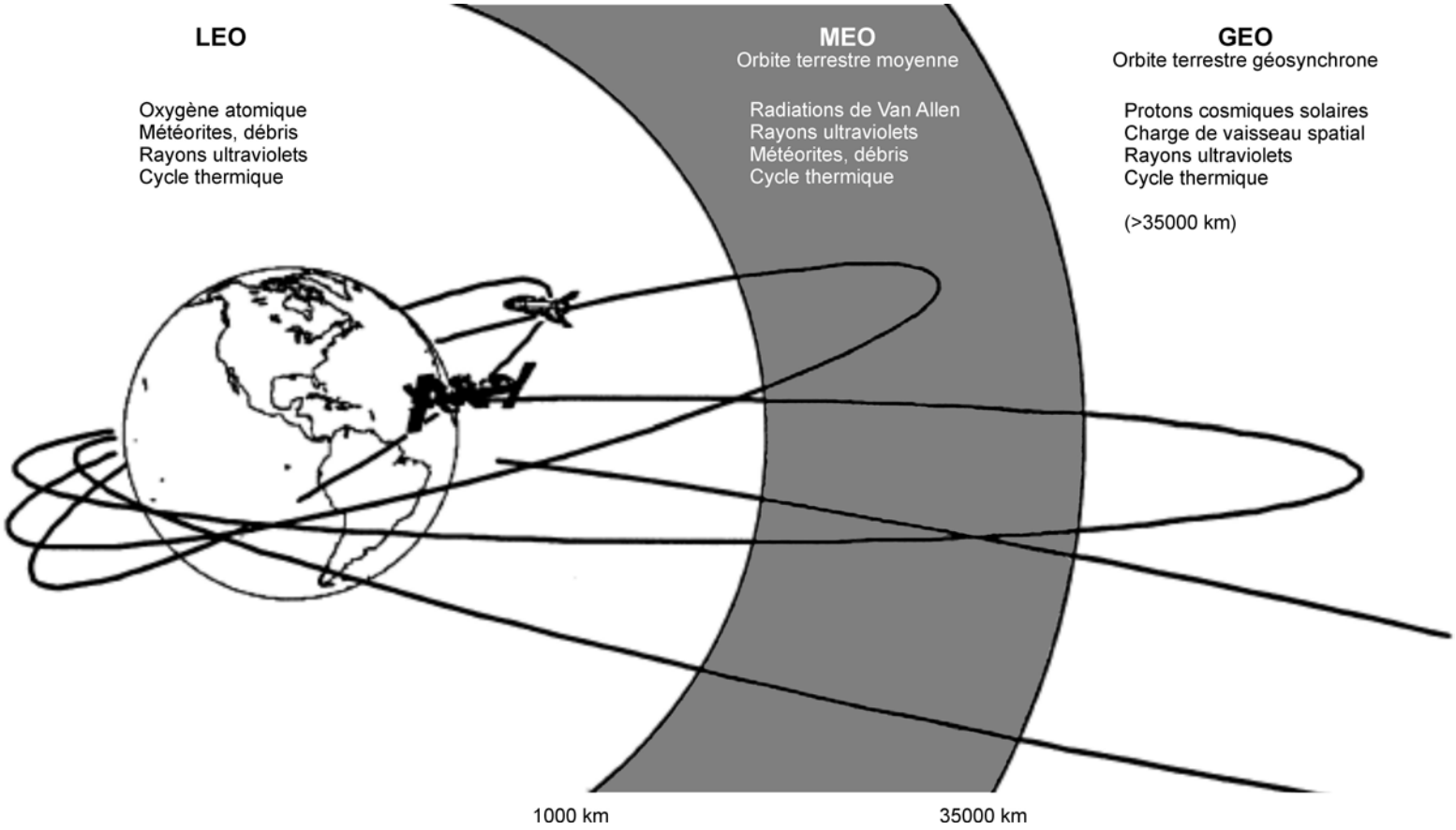
Les cadets qui ont la qualification en aérospatiale avancée peuvent aider pour cette leçon.

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

C3-136 ISBN 0-88487-207-6 Sanderson Training Systems (2001). *A&P technician airframe textbook*. Englewood, Colorado, Jeppesen Sanderson Inc.

C3-294 Silverman, E. M. (1995). *Space environmental effects on spacecraft: LEO materials selection guide*. Hampton, Virginie, NASA Langley Research Center. Extrait le 27 novembre 2008 du site http://see.msfc.nasa.gov/mp/NASA-95-cr4661pt1.pdf

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf.
Verify against the official publication.



Remarque. Tiré de Space Environmental Effects on Spacecraft : LEO Materials Selection Guide, par E. M. Silverman, 1995, Hampton, Virginie, NASA Langley Research Center. Extrait le 27 novembre 2008 du site http://see.msfc.nasa.gov/mp/NASA-95-cr4661pt1.pdf

Figure A-1 Variation des environnements spatiaux avec l’altitude

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf. Verify against the official publication.

IMPACT	SIGNIFICATION
10	Les effets produits vont anéantir la mission
9	Les effets produits peuvent anéantir la mission
8	Les effets produits vont raccourcir la mission
7	Les effets produits peuvent raccourcir la mission
6	Les effets produits vont réduire l'efficacité de la mission
5	Les effets produits peuvent réduire l'efficacité de la mission
4	Les effets produits vont exiger des modifications techniques
3	Les effets produits peuvent exiger des modifications techniques
2	Les effets produits vont être la cause de revers
1	Les effets produits peuvent être la cause de revers
0	Les effets produits peuvent être ignorés

Remarque. Tiré de Space Environmental Effects on Spacecraft : LEO Materials Selection Guide, par E. M. Silverman, 1995, Hampton, Virginie, NASA Langley Research Center. Extrait le 27 novembre 2008 du site http://see.msfc.nasa.gov/mp/NASA-95-cr4661pt1.pdf

Figure A-2 Classement relatif de l'impact de l'environnement spatial sur une mission

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf. Verify against the official publication.

Environnement spatial	LEO(1) basse incl.	LEO haute incl.	Orbite terrestre moyenne (2)	Orbite terrestre géosynchrone (3)	Station spatiale internationale à 500 km et 51.6° d'inclinaison	GPS à 20 000 km et 55° d'inclinaison
Rayons directs du soleil	4(4)	4	4	4	4	4
Champ gravitationnel	3	3	3	0	3	0
Champ magnétique	3	3	3	0	3	0
Ceintures de Van Allen	0-5	2-5	8-5	1	2-5	5
Particules cosmiques solaires	0	4	3	5	4	3
Rayonnements cosmiques galactiques	0	4	3	5	4	3
Débris Objets	7	7	3-0	3	7	0
Micrométéorites	3	3	3	3	3	3
Ionosphère	3	3	1	0	3	0
Plasma chaud	0	3	0	5	0	3
Gaz neutres	9-7	9-7	3-0	0	9-7	0

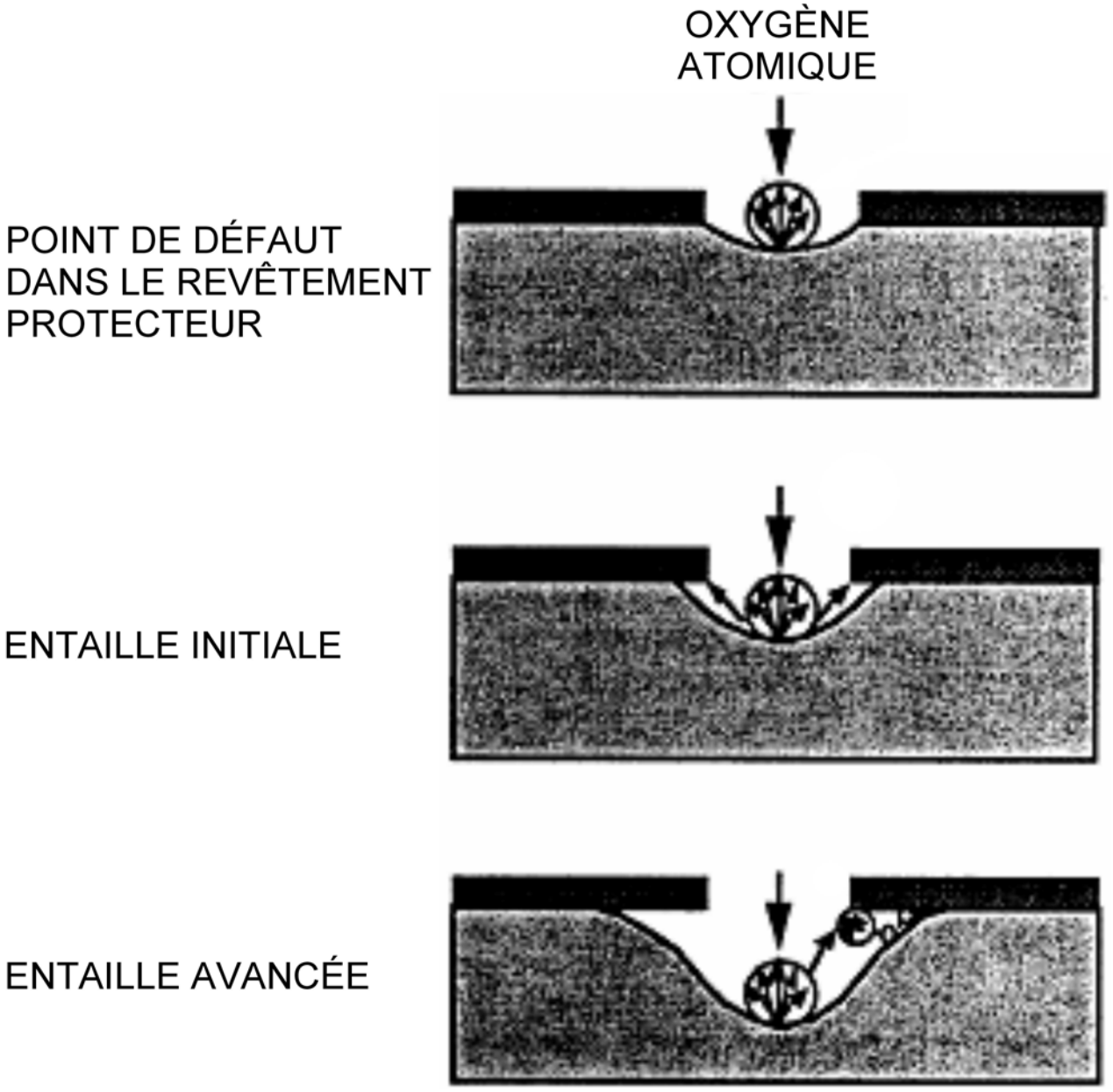
Remarque. Tiré de Space Environmental Effects on Spacecraft : LEO Materials Selection Guide, par E. M. Silverman, 1995, Hampton, Virginie, NASA Langley Research Center. Extrait le 27 novembre 2008 du site http://see.msfc.nasa.gov/mp/NASA-95-cr4661pt1.pdf

Figure A-3 Effets de l'environnement spatial

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf. Verify against the official publication.

CETTE PAGE EST INTENTIONNELLEMENT LAISSÉE EN BLANC

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf. Verify against the official publication.



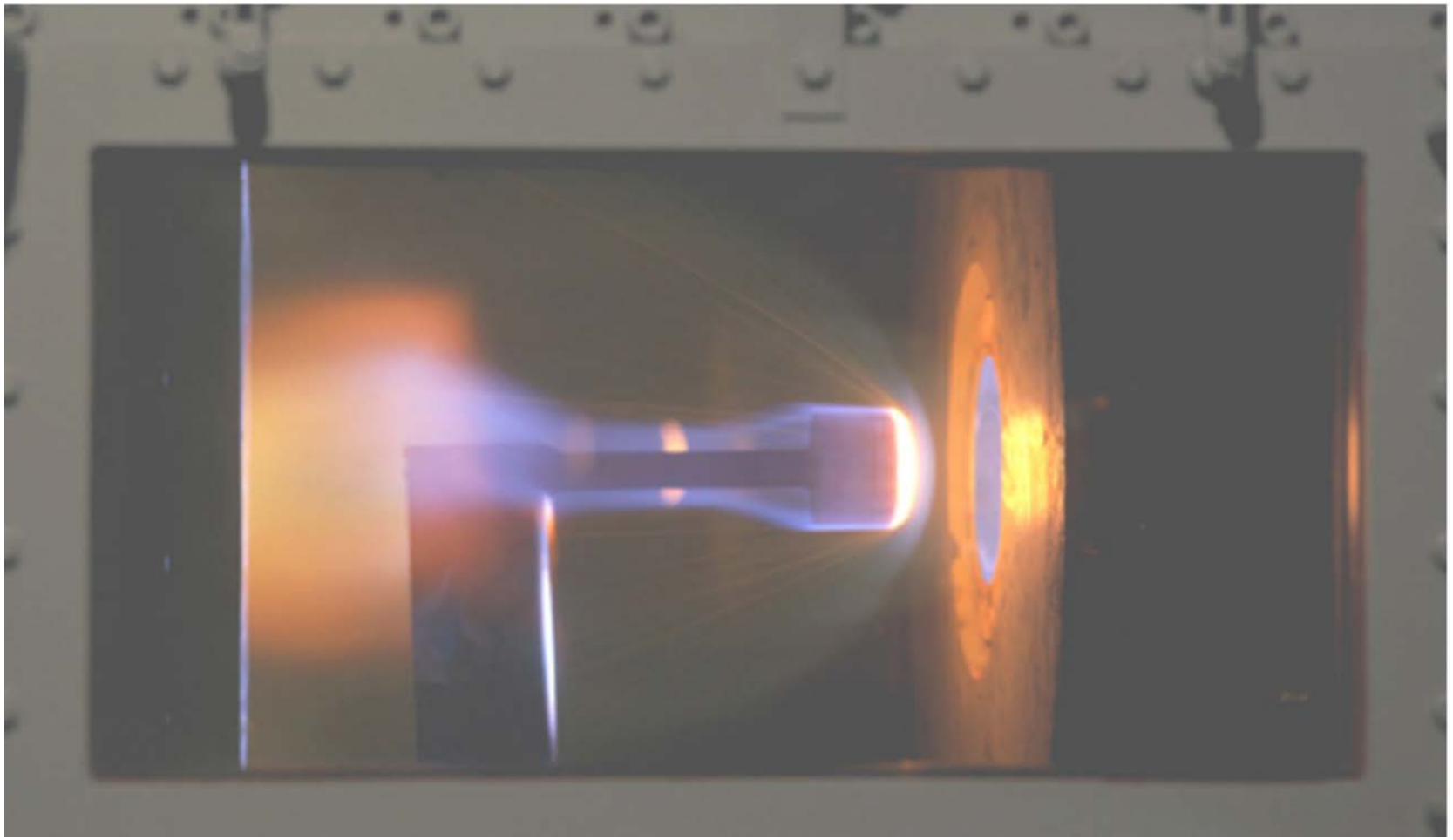
Remarque. Tiré de Space Environmental Effects on Spacecraft : LEO Materials Selection Guide, par E. M. Silverman, 1995, Hampton, Virginie, NASA Langley Research Center. Extrait le 27 novembre 2008 du site http://see.msfc.nasa.gov/mp/NASA-95-cr4661pt1.pdf

Figure A-4 Entaille par l'oxygène atomique

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf.
Verify against the official publication.

CETTE PAGE EST INTENTIONNELLEMENT LAISSÉE EN BLANC

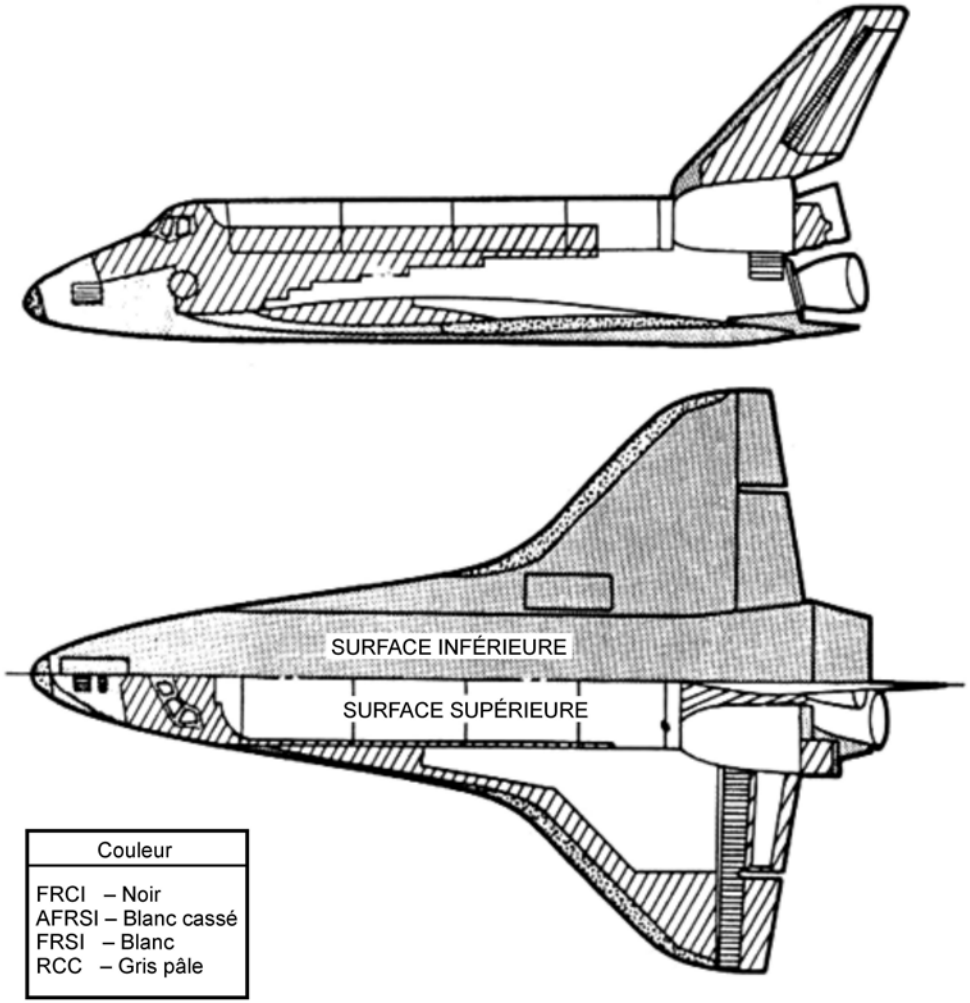
Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf.
Verify against the official publication.



Remarque. Tiré de « US Centennial of Flight Commission », 2004, Shuttle Thermal Protection System. Extrait le 25 novembre 2007 du site http://www.centennialofflight.gov/essay/Evolution_of_Technology/TPS/Tech41.htm

Figure B-1 Mise à l'essai de l'isolation thermique dans un tunnel aérodynamique

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf. Verify against the official publication.



Carbone-carbone renforcé (RCC)

Isolation de surface réutilisable à basse température (HRSI)
Isolation avec composite réfractaire fibreux (FRCI)

Isolation de surface réutilisable à basse température (LRSI)
Isolation de surface réutilisable, flexible et perfectionnée (AFRSI)

Isolation de surface réutilisable à base de feutre (FRSI) Nomex recouvert d'un enduit

Métal ou verre

Élément*	Surface en m^2 (pi^2)	Poids en kg (lb)
FRSI	332.7 (3581)	532.1 (1173)
LRSI**	À déterminer	À déterminer
AFRSI**-***	À déterminer	À déterminer
HRSI**	À déterminer	À déterminer
FRCI**-***	À déterminer	À déterminer
RCC	38.0 (409)	1697.3 (3742)
Divers		918.5 (2025)
Total	À déterminer	À déterminer

* Comprend les isolants en vrac, les barrières thermiques et les fermetures
** Possiblement une partie de Orbiter -099
*** Orbiter 103 et les suivants
À déterminer - À déterminer

Remarque. Tiré de « US Centennial of Flight Commission », 2004, Shuttle Thermal Protection System. Extrait le 25 novembre 2007 du site http://www.centennialofflight.gov/essay/Evolution_of_Technology/TPS/Tech41.htm

Figure B-2 Système de protection thermique de la navette Orbiter

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf. Verify against the official publication.



Remarque. Tiré de « US Centennial of Flight Commission », 2004, Shuttle Thermal Protection System. Extrait le 25 novembre 2007 du site http://www.centennialofflight.gov/essay/Evolution_of_Technology/TPS/Tech41.htm

Figure B-3 Réparation du système de protection thermique de la navette Columbia

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf. Verify against the official publication.

CETTE PAGE EST INTENTIONNELLEMENT LAISSÉE EN BLANC

Unofficial convenience copy of A-CR-CCP-804/PF-002, cached 2026-11-08 from https://app.cadets.gc.ca/cadet-publications/A-CR-CCP-804-PF-002/A-CR-CCP-804-PF-002.pdf. Verify against the official publication.