

# Retour sur la Lune

*Les Américains ont décidé de retourner sur la Lune d'ici 2020. Pour réussir ce pari à moindre coût, les ingénieurs développent un programme nommé Constellation, qui reprend en les modernisant les techniques éprouvées du programme Apollo.*

C. Dingell • W. Johns • J. Kramer White

La Lune, tel un disque d'argent posé sur un ciel d'encre, apparaît soudain au-dessus du large croissant de l'horizon terrestre. Les quatre membres d'équipage du véhicule d'exploration *Orion* ont déjà assisté plusieurs fois à ce spectaculaire lever de Lune depuis que leur vaisseau flotte en orbite à quelque 300 kilomètres d'altitude. Mais aujourd'hui, d'une petite impulsion délivrée par les fusées d'appoint, le pilote est prêt à propulser le vaisseau vers la cible. « Injection translunaire dans dix secondes... », annonce la voix du contrôleur dans leur casque. « Cinq, quatre, trois, deux, un, prêt... feu ! » Des flammes incandescentes s'échappent d'une tuyère à l'arrière, et l'ensemble du vaisseau – un train de différents éléments – s'ébranle. L'équipage entame le voyage vers notre plus proche voisine céleste, la première visite depuis près d'un demi-siècle. Nous sommes en 2020, et les Américains retournent sur la Lune, qui reste pleine de mystères. Cette fois-ci, cependant, l'objectif n'est plus simplement d'y aller pour en repartir aussitôt : il s'agit d'y établir un avant-poste pour la nouvelle génération d'explorateurs spatiaux.

Le véhicule *Orion* est une des composantes clés du programme *Constellation*, une ambitieuse initiative de la NASA visant à construire, pour plus d'une centaine de milliards de dollars, un système de transport spatial capable non seulement de transporter des hommes sur la Lune, mais aussi de desservir la Station spatiale internationale et, à terme, d'emmener des hommes sur Mars. Depuis le lancement du programme au milieu de 2006, les ingénieurs et les chercheurs de la NASA, ainsi que de *Lockheed Martin*, le premier partenaire industriel du programme *Orion*, développent les lanceurs, les modules d'habitation, les autres étages de fusées et les systèmes d'atterrissage pour mettre au point un système de vol spatial fiable et d'un coût abordable, qui remplacera la navette spatiale après 2010.

Afin de minimiser les risques et les coûts de développement, les planificateurs de la NASA ont construit le pro-

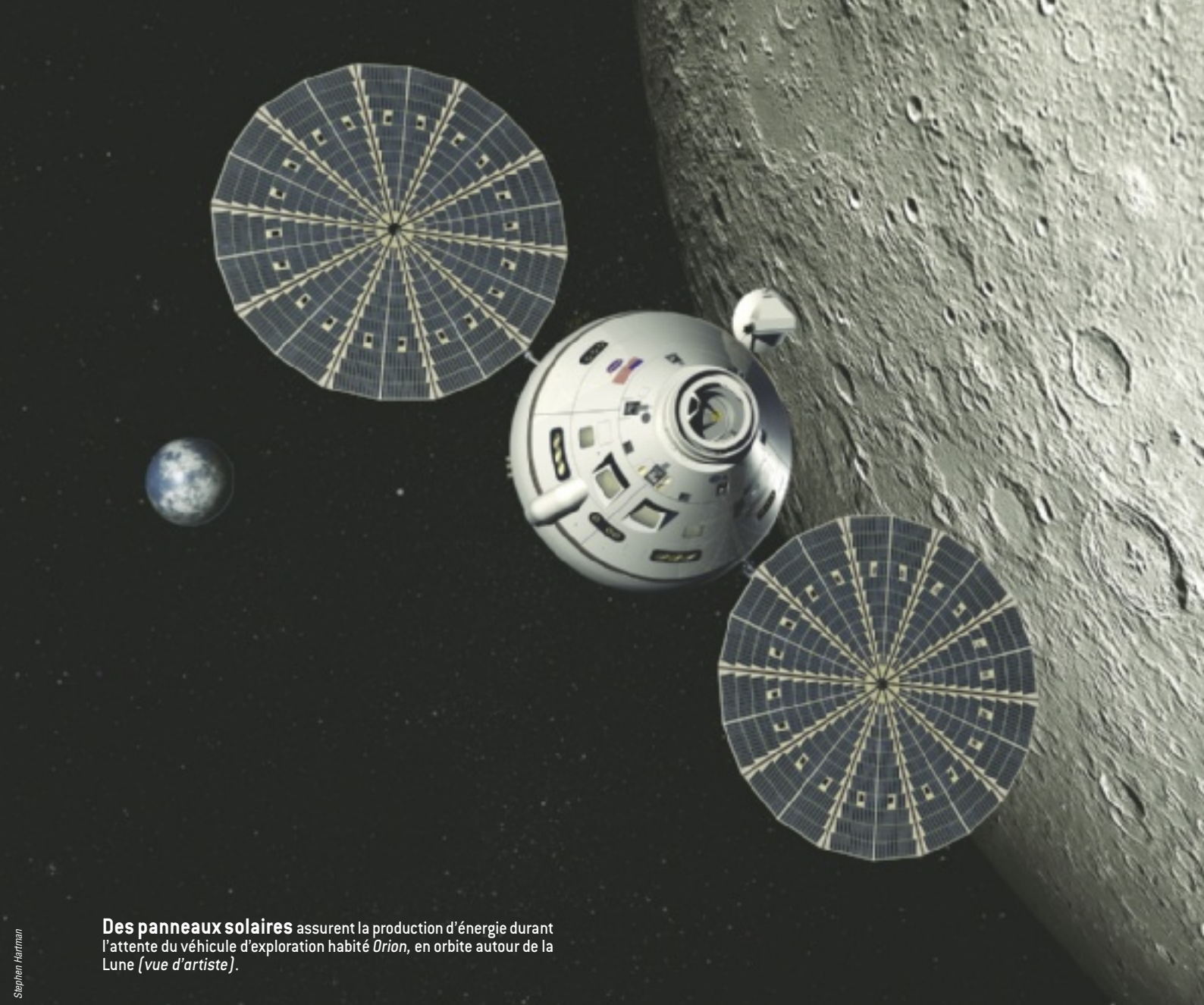
gramme *Constellation* à partir de principes techniques et de savoir-faire éprouvés, hérités du programme *Apollo*, véritable exploit technique pour les années 1960. De nombreux systèmes et composants sont néanmoins réactualisés avec des techniques de pointe.

La conception du véhicule *Orion* a pour point de départ les mêmes fonctionnalités générales que le vaisseau *Apollo*, et sa capsule habitable a une forme similaire, mais la ressemblance s'arrête là. *Orion* accueillera par exemple des équipages plus importants qu'*Apollo* : quatre personnes voyageront dans une capsule pressurisée d'une vingtaine de mètres cubes pour les missions lunaires, et six pour les visites à la Station spatiale à partir de 2015, contre trois dans un volume exigu de dix mètres cubes environ pour *Apollo*.

Les concepts structurels, l'électronique, l'informatique et les techniques de communications les plus modernes donneront au nouveau vaisseau une flexibilité accrue par rapport aux modules d'*Apollo*. *Orion* sera par exemple capable de s'arrimer automatiquement à d'autres vaisseaux ou de stationner durant six mois en orbite lunaire sans équipage. Les marges de sécurité seront également améliorées. Mais pour donner une meilleure idée du programme complet, commençons notre visite au sol, avant que l'équipage ne quitte la Terre et, à partir de là, suivons le déroulement d'un prototype de mission lunaire.

## Deux décollages successifs

Culminant à 110 mètres au-dessus des marais bordant le Centre spatial Kennedy de Cap Canaveral, en Floride, le lanceur cargo à deux étages *Arès V* est prêt au décollage. Le véhicule sans équipage, doté de cinq puissants moteurs-fusées, est presque aussi haut et large que la fusée *Saturne V* d'*Apollo*. Dérivé du réservoir externe de la navette spatiale, le réservoir central d'*Arès V* alimente en oxygène et hydrogène liquides (en aéronautique, on désigne le couple comburant-carburant par le terme *propergol*) les moteurs RS-68



**Des panneaux solaires** assurent la production d'énergie durant l'attente du véhicule d'exploration habité *Orion*, en orbite autour de la Lune [vue d'artiste].

du véhicule, des versions modifiées de ceux du lanceur militaire et commercial actuel *Delta IV*. Deux fusées auxiliaires à propergol solide, adaptées du concept de la navette spatiale, flanquent le cylindre central d'*Arès V*. Elles apportent le complément de poussée dont le lanceur aura besoin pour lancer l'alunisseur situé dans sa partie supérieure et l'« étage de départ de la Terre », un module de propulsion contenant un moteur J-2X à oxygène et hydrogène liquides, descendant du moteur J-2 de *Saturne V*, qui permettra à *Orion* de s'affranchir de la gravité terrestre et de voyager jusqu'à la Lune.

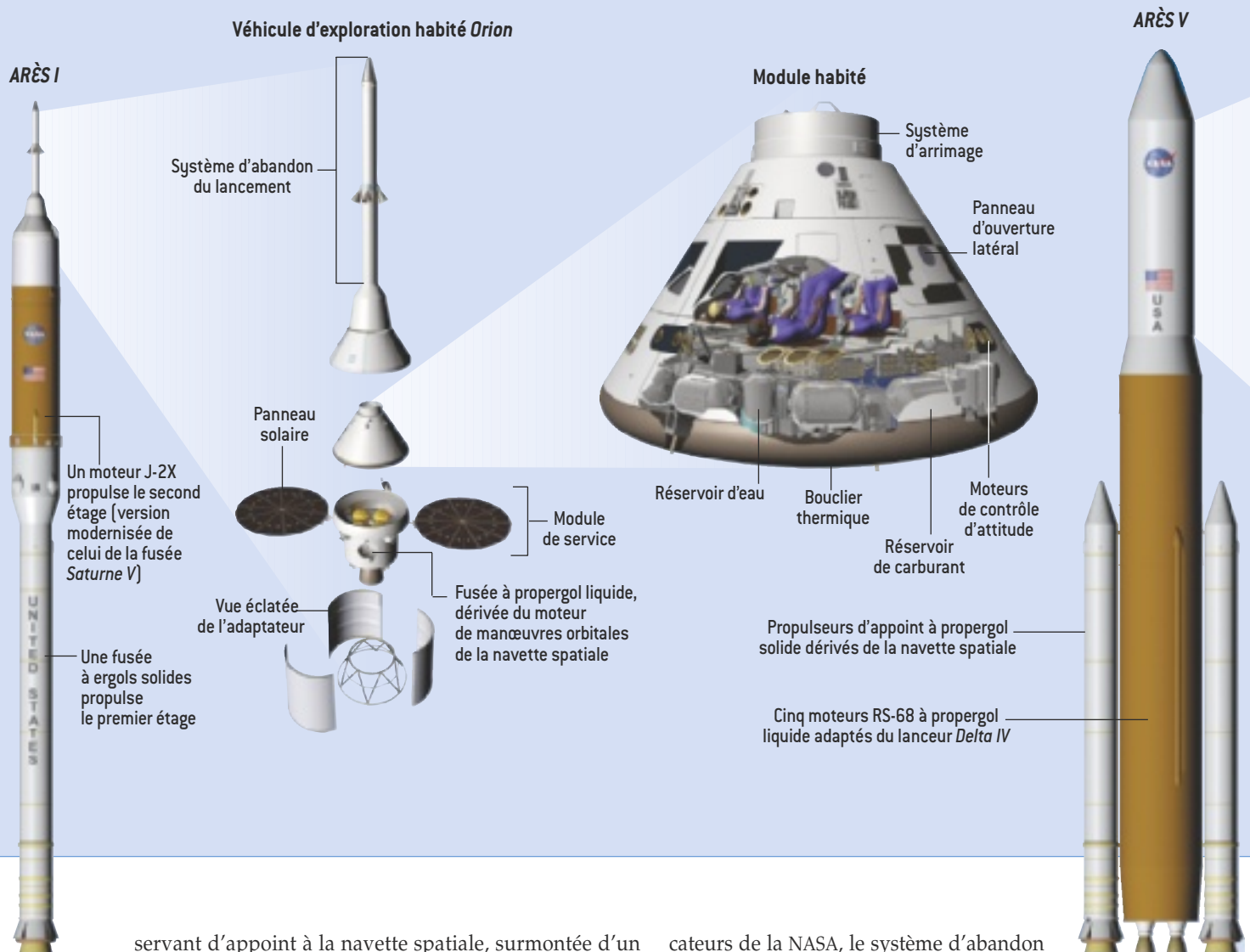
Soudain, un éclair embrase la base d'*Arès V* et d'énormes nuages de fumée enveloppent bientôt le moteur, la tour et l'aire de lancement. Après une brève pause, un énorme grondement retentit, faisant fuir les oiseaux dans toutes les directions. Tout doucement au début, la fusée s'élève au-dessus d'une colonne de gaz d'échappement gris blanc qui se dilate, puis, accélérant régulièrement, le véhicule disparaît bientôt en laissant un sillage de fumée dans le ciel. Quelques minutes plus tard, dans le silence des hautes couches de

l'atmosphère, *Arès V* largue ses moteurs auxiliaires, qui retombent et seront récupérés en mer. Il se débarrasse de la coiffe protectrice qui recouvre son nez, laissant apparaître le module d'alunissage. En orbite autour de la planète à environ 300 kilomètres d'altitude, le vaisseau automatisé attend maintenant l'étape suivante du voyage vers la Lune: le rendez-vous avec *Orion*.

Pendant ce temps, les quatre astronautes en partance pour la Lune sont perchés à 98 mètres au-dessus d'une autre rampe de lancement, attendant le décollage, imminent. Juste au-dessous de leur capsule d'habitation *Orion*, de forme conique, est placé un module de service en forme de tambour, qui contient le moteur de manœuvre en orbite du vaisseau et une bonne partie de son équipement vital. Tous deux sont enveloppés d'un carénage qui doit les protéger de l'intense frottement aérodynamique qui se produira pendant l'ascension. La capsule habitée et le module de service sont placés au-dessus du lanceur d'équipage à deux étages *Arès I*. Plus mince que son grand frère, il se compose d'une fusée à carburant solide, version plus puissante de celle

# Une constellation de vaisseaux pour la Lune

Le système de transport spatial *Constellation* effectuera des tâches variées comme ravitailler la Station spatiale internationale ou amener des astronautes sur la Lune, en utilisant des éléments communs ou légèrement modifiés. Pour réduire les risques et les coûts, la plupart des composants seront dérivés de technologies existantes.



servant d'appoint à la navette spatiale, surmontée d'un deuxième étage propulsé par un unique moteur J-2X. Un « adaptateur de vaisseaux » sert d'interface structurelle et électrique entre le vaisseau *Orion* et *Arès I*.

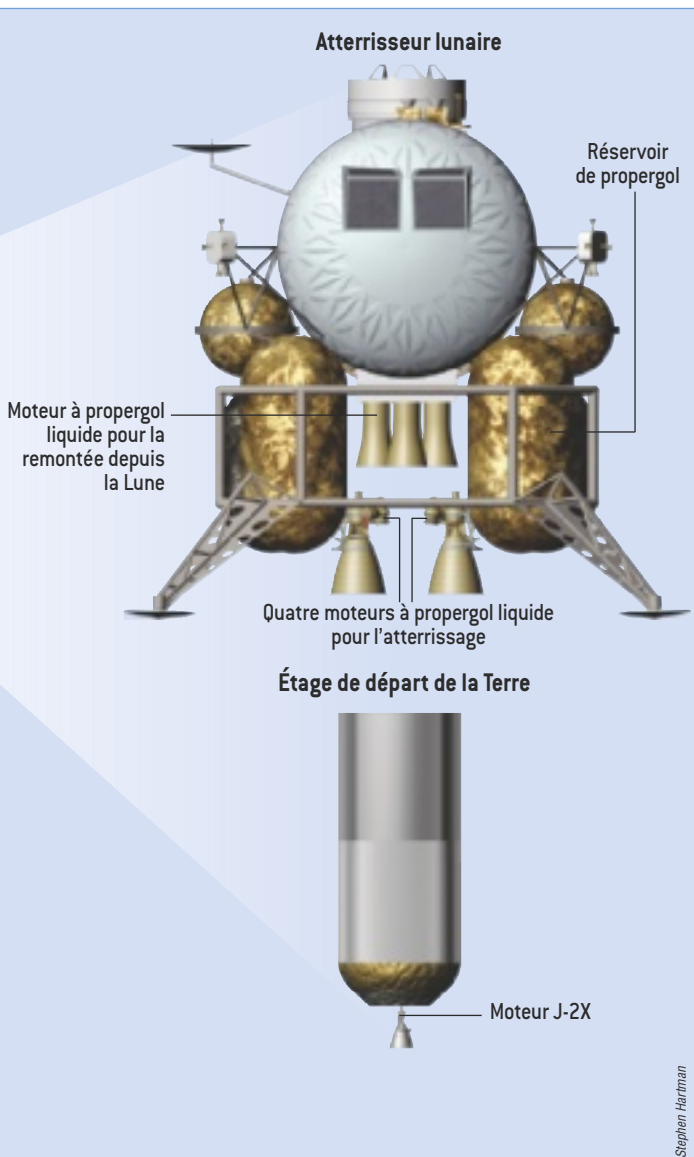
Couronnant ce haut édifice, un étage de secours est prêt à catapulter les passagers au loin en cas de problème lors du décollage ou pendant la montée. Comme l'accident de la navette *Challenger* en 1986 l'a illustré, les équipages des navettes spatiales ont peu de chances de survivre si le vaisseau est victime d'un problème technique majeur au cours du lancement ou au début de la montée. Le système d'abandon de la mission équipant *Orion* peut en revanche délivrer pendant quelques secondes une poussée équivalente à 15 fois sa propre masse et celle du module habité. Si un problème sérieux se produisait au sol, le système d'éjection propulserait le module d'habitation à une altitude de 1 200 mètres environ, pour permettre le déploiement de parachutes, et l'écarterait horizontalement d'environ un kilomètre de la rampe de lancement. Selon les planifi-

catteurs de la NASA, le système d'abandon du lancement, couplé au système perfectionné de guidage et de contrôle d'*Orion*, garantirait le retour de l'équipage sain et sauf 999 fois sur 1 000, le cas échéant.

Ces sombres pensées s'évanouissent néanmoins rapidement tandis que monte l'excitation du lancement imminent. Alors que le compte à rebours approche zéro, le commandant et le pilote fixent intensément les instruments de vol sur les écrans plats du « cockpit » d'*Orion*, adapté des systèmes de navigation utilisés par les avions de ligne les plus modernes. Le cockpit, avec ses commandes entièrement électroniques et informatisées et ses équipements basse consommation, serait méconnaissable pour un astronaute de l'ère *Apollo*.

Brusquement, un grondement assourdissant retentit : le moteur vient de s'allumer. Une heure et demie environ après *Arès V* – un délai très court, mais indispensable pour réussir le rendez-vous en orbite –, *Arès I* commence à s'élever. Gagnant de la vitesse à chaque seconde qui passe, il prend





Stephen Hartman

rapidement de l'altitude, plaquant les astronautes sur leur siège. Après un peu moins de deux minutes et demie de vol, la fusée principale a amené *Arès* à près de 61 kilomètres d'altitude et à une vitesse de Mach 6. Le premier étage se sépare et retombe vers la Terre. Des parachutes permettront de le récupérer et de le recycler. Dans la foulée, le moteur J-2X du deuxième étage s'allume, emportant le module habité *Orion*, le module de service et le système d'éjection à travers les dernières couches de l'atmosphère. Leur utilité arrivée à son terme maintenant que le vaisseau est sorti de l'atmosphère, les coiffes aérodynamiques se détachent pour réduire la masse au maximum et faciliter l'ascension. À ce stade, le vaisseau a gagné suffisamment de vitesse pour qu'un risque d'abandon du lancement soit écarté, si bien que le carénage protecteur et le système d'éjection se séparent à leur tour et retombent. À 100 kilomètres d'altitude, le moteur du deuxième étage se coupe.

Les moteurs du module de service prennent alors le relais pour terminer l'insertion d'*Orion* en orbite et effec-

tuer les manœuvres nécessaires au rendez-vous avec l'étage de départ de la Terre et l'alunisseur placés en orbite basse par *Arès V*. Le moteur principal d'*Orion* est adapté des moteurs secondaires de manœuvre de la navette spatiale (OMS), qui ont fait leurs preuves et ont été améliorés. Le module de service embarque des systèmes de production et de stockage d'électricité, des radiateurs qui évacuent le surplus de chaleur dans l'espace, tous les fluides nécessaires et une soute entière d'équipements scientifiques. Pour maximiser l'espace dans le véhicule habité, le module de service transporte également le système de navigation, ainsi qu'une partie des sous-systèmes de vie et de contrôle de l'environnement. Sa structure est constituée de deux couches d'un composite de polymère renforcé de fibres de carbone enserrant un « nid d'abeille » en aluminium.

Une des différences les plus notables entre *Orion* et *Apollo* est la présence, sur le module de service, de panneaux solaires en forme de parapluie, qui se déploient lorsque c'est nécessaire en orbite. Le vaisseau *Apollo* étant conçu pour des missions de quelques jours seulement, il tirait son électricité de piles à hydrogène, d'une durée de fonctionnement limitée. *Orion* devra pour sa part être capable de produire de l'électricité en orbite lunaire pendant au moins six mois.

## Rendez-vous en orbite

Quand *Orion* rattrape l'alunisseur et l'étage de départ de la Terre, l'équipage effectue les dernières manœuvres d'ajustement – les plus délicates – en gardant un œil sur le système automatique de capture qui aligne les deux éléments et les arrime en douceur. Des dispositifs de retour de force et des capteurs électromagnétiques alignent automatiquement les anneaux de couplage des deux véhicules et amortissent le contact. Vaisseau et équipage sont maintenant presque prêts à partir vers la Lune.

Le module habité est le seul élément d'*Orion* qui fera tout le voyage. Il peut être réutilisé jusqu'à dix vols. Un alliage léger d'aluminium et de lithium, renforcé par du titane, constitue l'essentiel de la structure de la capsule. L'extérieur est doublé d'un système de protection qui, outre la protection de l'habitacle contre la température extrême lors de la rentrée dans l'atmosphère, comprend aussi une couche résistante aux impacts, qui sert de boucliers contre les micro-météorites et autres débris orbitaux.

Le propergol retenu pour le système de manœuvre du module habité est composé de méthane et d'oxygène gazeux, une technique dérivée du programme X33 de véhicule spatial à un seul étage de la NASA, abandonné en 2001. Un des avantages du couple oxygène-méthane est sa non-toxicité, ce qui améliorerait la sécurité des équipages en vol et au sol après le retour sur Terre. Cette technique est cependant encore mal maîtrisée aujourd'hui, et les ingénieurs pourraient l'abandonner pour les missions *Orion*.

Quand tout est prêt, le moteur de l'étage de départ de la Terre s'allume pour propulser le vaisseau vers la Lune. *Orion* peut être configuré soit pour assurer des missions de « sortie lunaire », dans lesquelles les membres d'équipage passent quatre à sept jours à la surface de la Lune, soit des missions « d'avant-poste lunaire », qui viseront à établir une présence humaine quasi continue sur notre satellite. La durée

# Voyage vers la Lune

Le programme *Constellation* de la NASA réunit un ensemble de lanceurs, de véhicules spatiaux et de modules de soutien qui permettra de poser des hommes sur la Lune d'ici 2020. Selon les différents projets, les astronautes resteront à la surface de la Lune pour des durées allant de quatre jours à plus de six mois.

**5** Quand *Orion* atteint la Lune quatre jours plus tard, le vaisseau freine grâce au moteur de l'alunisseur et se place en orbite autour de la Lune.

**4** Propulsé par l'étage de départ, le train de véhicule se dirige vers la Lune. Quand la fusée a épuisé son carburant, l'équipage largue l'étage de départ.

**9** Quatre jours plus tard, les astronautes larguent le module de service. Le module habité, protégé par son bouclier thermique, rentre dans l'atmosphère.

**10** Des parachutes ralentissent la descente du module habité. Amorti par des coussins gonflables, le vaisseau se pose dans l'Ouest des États-Unis.

**6** L'équipage se déplace dans l'alunisseur et descend à la surface. Le module d'habitation attend en orbite autour de la Lune pendant que les astronautes explorent la surface.

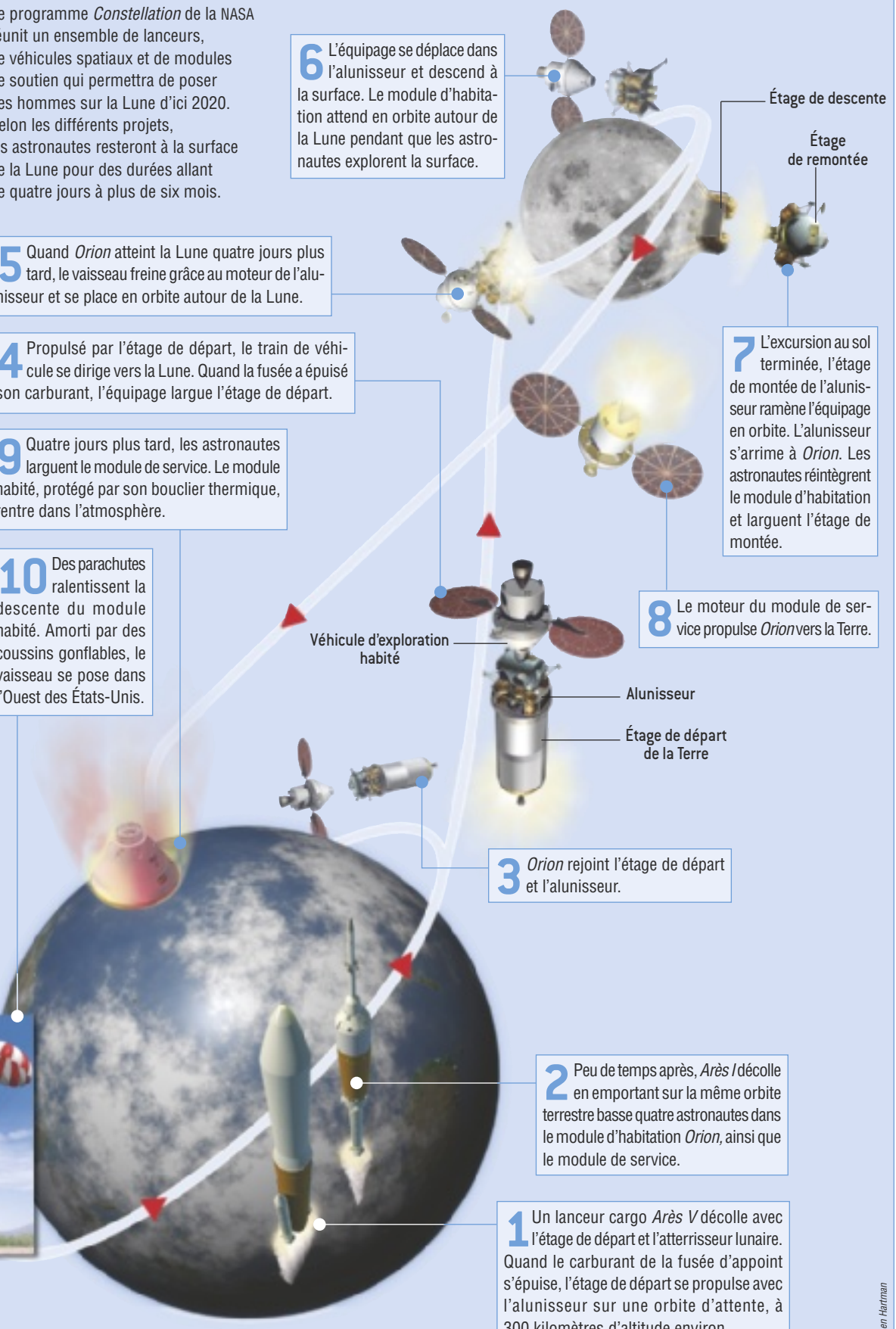
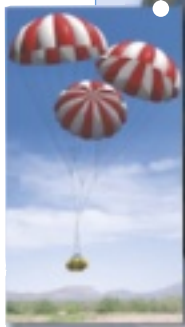
**7** L'excursion au sol terminée, l'étage de montée de l'alunisseur ramène l'équipage en orbite. L'alunisseur s'arrime à *Orion*. Les astronautes réintègrent le module d'habitation et larguent l'étage de montée.

**8** Le moteur du module de service propulse *Orion* vers la Terre.

**3** *Orion* rejoint l'étage de départ et l'alunisseur.

**2** Peu de temps après, *Arès* / décolle en emportant sur la même orbite terrestre basse quatre astronautes dans le module d'habitation *Orion*, ainsi que le module de service.

**1** Un lanceur cargo *Arès V* décolle avec l'étage de départ et l'atterrisseur lunaire. Quand le carburant de la fusée d'appoint s'épuise, l'étage de départ se propulse avec l'alunisseur sur une orbite d'attente, à 300 kilomètres d'altitude environ.



de séjour maximale d'une équipe à la surface de la Lune, déterminée par les réserves d'oxygène, d'eau et d'autres consommables, est de 210 jours. La capacité de fonctionnement continu d'*Orion* doit donc au moins pouvoir dépasser cette durée. La principale contrainte de conception des missions lunaires *Orion* est la quantité de carburant nécessaire pour remplir ces objectifs.

Après un voyage sans histoire de quatre jours, après avoir abandonné en cours de route l'étage de départ de la Terre, la mission arrive en orbite lunaire. Les quatre astronautes grimpent dans l'alunisseur. La capsule d'habitation et le module de service vont les attendre en orbite. Comme celui d'*Apollo*, l'alunisseur d'*Orion* se compose de deux éléments principaux. Le premier, l'étage de descente, est doté de pieds destinés à soutenir l'engin à la surface et embarque la majeure partie de l'équipement scientifique et des consommables de l'équipage. L'autre partie, l'étage de montée, héberge l'équipage.

Passons brièvement sur l'excursion lunaire elle-même. Après avoir aluni en douceur, les astronautes posent le pied sur la Lune pour la première fois... depuis 1972. Durant quelques jours, ils explorent la surface et effectuent toutes les vérifications préalables aux futures missions de longue durée. Enfin, l'heure du retour ayant sonné, le quatuor décolle de la surface lunaire avec l'étage de montée, pour s'arrimer aux modules d'habitation et de service restés en orbite. L'étage de montée une fois largué dans l'espace, le vaisseau repart vers la Terre.

## Retour sur la planète-mère

Tandis qu'*Orion* se rapproche de notre planète, les astronautes se préparent pour une rentrée et un atterrissage très différents de ceux des capsules *Apollo*. Comme les vaisseaux *Gemini* et *Mercury* avant lui, *Apollo* plongeait dans l'océan après avoir traversé l'atmosphère. Cependant, les amerrissages mobilisent une coûteuse flotte de navires pour la récupération et exposent le vaisseau à la corrosion par l'eau de mer. Les planificateurs de la NASA penchent ainsi plutôt en faveur d'un atterrissage sur la terre ferme, comme le vaisseau russe *Soyouz*. Un tel atterrissage minimise aussi les coûts sur le cycle de vie. Cependant, la taille et le poids plus élevés d'*Orion* constituent un défi pour les ingénieurs. Si l'agence opte au contraire pour un atterrissage dans l'océan, *Orion* sera doté à peu près des mêmes capacités qu'*Apollo*.

Malheureusement, se poser sur le sol américain après une mission lunaire soulève un épineux problème. Pendant près de la moitié du mois lunaire, les conditions orbitales favorisent un atterrissage dans l'hémisphère Sud, loin des sites prévus dans l'Ouest des États-Unis. Retarder ou avancer le départ de l'orbite lunaire peut faire varier la longitude du point de rentrée, mais sa latitude est fixée par la déclinaison (l'angle par rapport au plan de l'équateur) de la Lune au moment du départ de celle-ci. Ainsi, pour atterrir dans l'Ouest des États-Unis pendant les périodes non favorables du mois lunaire, *Orion* devra décaler son point d'atterrissage vers le Nord en jouant sur la poussée aérodynamique engendrée par sa descente dans l'atmosphère: le vaisseau rebondira à travers la haute atmosphère comme une pierre

 **Springer**  
the language of science



### Materials Handbook

A Concise Desktop Reference

F. Cardarelli, Materials and Electrochemical Research (MER) Corporation, Tucson, USA.

The unique and practical **Materials Handbook** provides quick and easy access to data on the physical and chemical properties of all classes of materials. The **second edition** has been much expanded to include whole new families of materials while many of the existing families are broadened and refined with new material and up-to-date information. Particular emphasis is placed on the properties of common industrial materials in each class.

François Cardarelli has spent many years compiling and editing materials data. His professional expertise and experience combine to make this handbook an indispensable reference tool for scientists and engineers.

2<sup>e</sup> éd. à paraître en janvier 2008. Env. 1024 p. 55 ill. Relié  
ISBN 978-1-84628-668-1 ► € 184,57



### Springer Handbook of Speech Processing

J. Benesty, Université de Québec, Montréal, QC, Canada, M.M. Sondhi, Avayalabs Research, Basking Ridge, NJ, USA, Y. Huang, Bell Labs, Murray Hill, NJ, USA. (Eds.)

- Authoritative desk reference of one of tomorrow's breakthrough technology
- Provides quick access to application-oriented, reliable, and comprehensive knowledge
- Electronic contents on accompanying DVD-ROM

#### Livre

2008. XXXVI, 1176 p. 456 ill. Avec DVD-ROM. Relié  
ISBN 978-3-540-49125-5 ► € 262,70  
Prix de lancement valable jusqu'au 29/02/2008 ► € 210,95

#### e-Reference - Version électronique

ISBN 978-3-540-49127-9 ► € 297,80  
Prix de lancement valable jusqu'au 29/02/2008 ► € 239,14

#### Livre & Version électronique

ISBN 978-3-540-49128-6 ► € 328,11  
Prix de lancement valable jusqu'au 29/02/2008 ► € 263,75

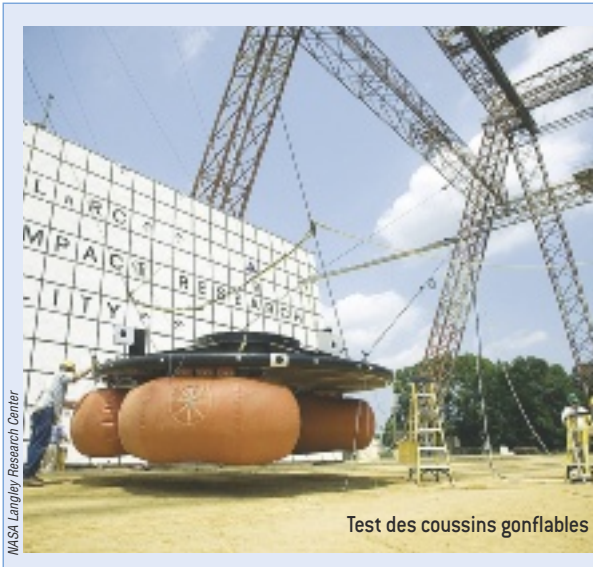
**springer.com**

Pour commander, contactez votre libraire ou à défaut

- par courrier : Springer Distribution Center • Haberstr. 7  
69126 Heidelberg, Allemagne ► Fax : +49 (0) 6221 - 345 - 4229
  - Tél. : 00800 777 46 437 n° vert gratuit
  - E-mail : SDC-bookorders@springer.com
- Prix TTC en France. Pour les autres pays, la TVA locale est applicable.

53998x





### • Atterrissage en douceur

Les ingénieurs développent un système de coussins gonflables (*ci-contre*) pour absorber le choc de l'atterrissage du module habité sur une surface dure, si tel devait être le cas. Cependant, au cas où cette piste ne devrait pas aboutir, plusieurs alternatives sont étudiées en parallèle, comme des systèmes de rétrofusées, semblables à celles utilisées dans les missions russes *Soyouz*.

### • Compromis d'ensemble

Les ingénieurs doivent trouver le meilleur équilibre possible entre la masse maximale que les fusées *Arès* peuvent placer sur orbite, les marges de sécurité, la redondance du système et les fonctionnalités de l'habitacle.

### • Bouclier thermique

Bien que les ingénieurs privilégient le PICA (*phenolic impregnated carbon ablator*) pour concevoir le bouclier thermique de la capsule, la construction d'une structure aussi large pourrait poser des problèmes. Les tuiles réfractaires de la navette spatiale ou le matériau ablateur d'*Apollo* pourraient servir d'alternatives.

qui fait des ricochets sur l'eau. Une trajectoire de ce type est appelée rentrée par rebonds atmosphériques.

Après avoir consacré les quatre jours du voyage de retour à ajuster la trajectoire pour la première manœuvre de rentrée par rebonds avec équipage de l'histoire, les quatre astronautes voient avec émotion le disque bleuté de notre planète grossir dans le hublot. Ils doivent néanmoins rester concentrés pour réorienter le vaisseau et larguer le module de service de façon à découvrir le bouclier thermique garnissant le dessous du module d'habitation. Plus tard, après avoir vérifié que le vaisseau est correctement positionné pour la rentrée et que sa trajectoire suit le bon angle d'incidence, l'équipage se prépare à la décélération tandis qu'*Orion* rencontre l'atmosphère.

## Atterrissage en douceur

Progressivement, une décélération due à la résistance de l'air ténue de la haute atmosphère se fait sentir. La force augmente régulièrement en intensité et plaque les membres d'équipage contre leur siège, tandis que de petits morceaux incandescents du bouclier et des jets de gaz ionisés passent en flèche devant les hublots. Peu après que la capsule a commencé à s'enfoncer dans les couches externes de l'atmosphère, elle rebondit brièvement vers une altitude plus haute, après quoi elle replonge sur une trajectoire aboutissant au site d'atterrissage.

La perte tragique de la navette *Columbia* et de son équipage en 2003 a montré que le système de protection thermique d'un véhicule spatial est un point critique. Le frottement de l'air à des vitesses supersoniques lors de la rentrée dans l'atmosphère porte la surface inférieure du vaisseau à quelques milliers de degrés. Or la vitesse de rentrée d'*Orion* sera de l'ordre de 11 kilomètres par seconde, plus de 40 pour cent plus élevée que celle de la navette rentrant d'une orbite basse. Même si sa trajectoire dans l'atmosphère sera plus courte, l'échauffement risque donc d'être plus important.

Parmi tous les matériaux étudiés pour mettre au point le bouclier thermique d'*Orion*, le meilleur candidat est un

composite appelé PICA (*phenolic impregnated carbon ablator*), une matrice de fibres de carbone enchâssées dans une résine phénolique. À haute température, la surface d'un revêtement PICA se consume ou s'arrache en emportant une grande partie de la chaleur. La surface dénudée se pyrolyse alors, ce qui laisse une couche de matériau calciné résistant à la chaleur. La faible conductivité thermique du PICA empêche la chaleur de gagner le module habité. Ce type de bouclier, dit ablatif, développé initialement pour des applications militaires, a équipé par exemple la sonde *Stardust*, qui a ramené sur Terre en 2006 un échantillon de poussière de la comète Wild2. À une vitesse de 13 000 mètres par seconde, *Stardust* a vécu la rentrée contrôlée la plus rapide jamais réalisée. Quarante fois plus grand, le bouclier thermique d'*Orion* devra être construit par morceaux, ce qui complique le problème. Par ailleurs, ce type de bouclier thermique n'est pas réutilisable.

En fin de descente, trois grands parachutes, semblables à ceux utilisés par *Apollo*, se déploient pour ralentir le véhicule. La vision rassurante de la volumineuse voile rouge et blanche s'ouvrant au-dessus d'eux informe les astronautes que leur extraordinaire voyage touche à sa fin. Peu après, *Orion* est secoué par le largage du bouclier thermique. Suspendu aux parachutes, le module habité descend maintenant à huit mètres par seconde. À l'approche du sol, des coussins se gonflent au-dessous du module habité pour absorber le choc de l'atterrissage. Dans une grande secousse, le vaisseau se pose enfin sur la terre ferme du désert de l'Ouest américain. *Orion* est rentré à la maison.

**Charles DINGELL, William JOHNS et Julie KRAMER WHITE** sont responsables des opérations d'ingénierie et de technologie pour le projet *Orion* de la NASA et de *Lockheed Martin*.

Le programme *Constellation* de la NASA : [http://www.nasa.gov/mision\\_pages/constellation/main/index.html](http://www.nasa.gov/mision_pages/constellation/main/index.html)

La prospective de la NASA pour l'exploration spatiale : [http://www.nasa.gov/mision\\_pages/exploration/main/index.html](http://www.nasa.gov/mision_pages/exploration/main/index.html)