



De l'Es**pace** pour la **Terre**

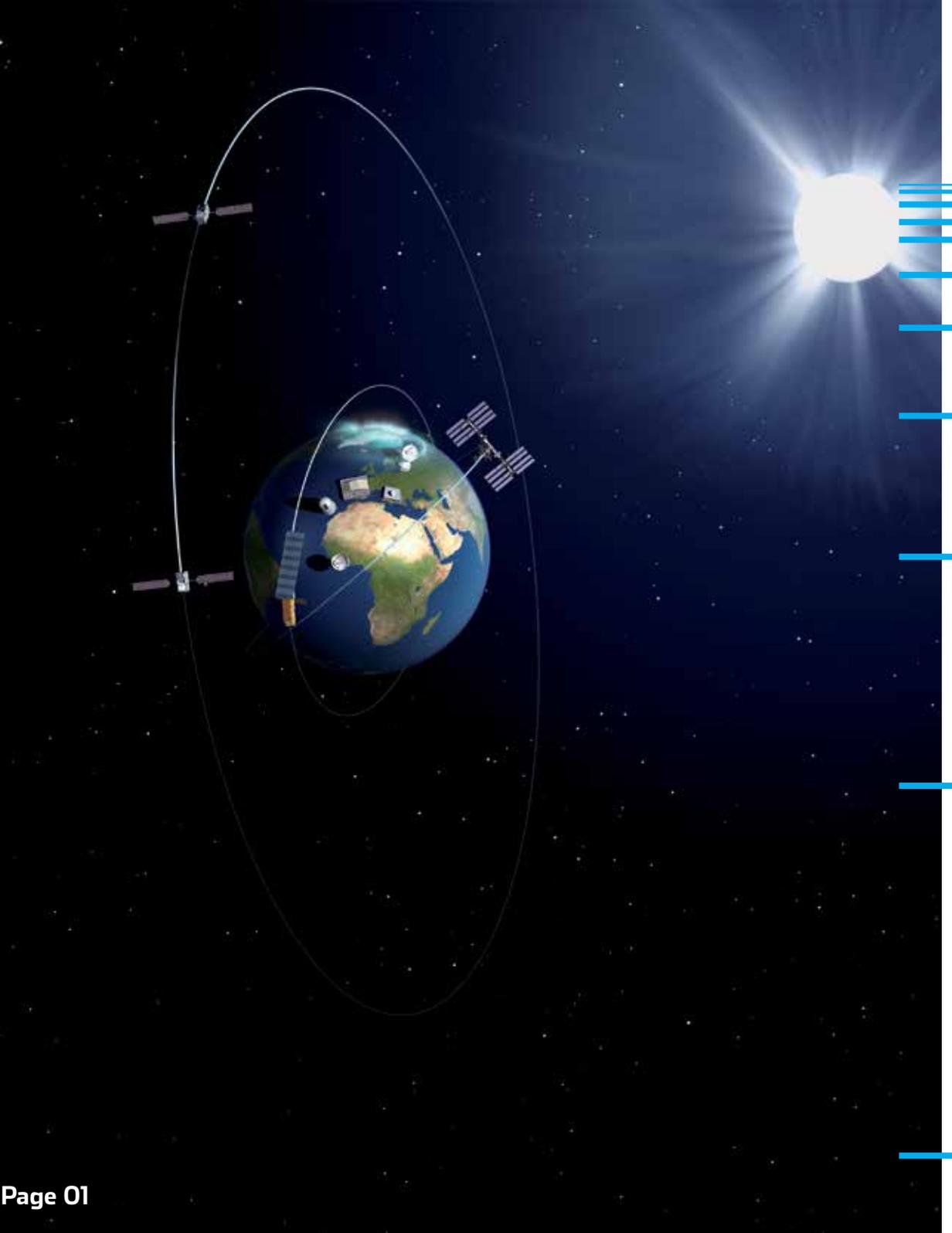
QUESTION D'ESPACE

GUIDE DE L'ANIMATEUR

Guide de l'animation de l'exposition QUESTION D'ESPACE à l'initiative du CNES
Co-réalisée par CENTRE•SCIENCES, CCSTI de la région Centre-Val de Loire et SCIENCE ANIMATION, CCSTI de Midi-Pyrénées



Sommaire du livret QUESTION D'ESPACE

- 
- P01 Sommaire
 - P02 Introduction
 - P03 Contenu de l'exposition
 - Chapitre 1 - Quitter la Terre*
 - Chapitre 2 - Espace et environnement*
 - Chapitre 3 - Espace et société*
 - Chapitre 4 - Exploration spatiale*
 - P12 Ateliers d'expérimentation
 - Atmosphère, atmosphère...*
 - Action...Réaction !*
 - Flotter dans l'espace*
 - Mise sur orbite !*
 - L'albédo*
 - Infrarouge et effet de serre*
 - Images satellitaires*
 - Voir le relief*
 - À bonne distance !*
 - Le Bill' Radar*
 - L'orbitogramme*
 - De l'énergie dans l'espace ?*
 - P25 Ressources web et vidéo
 - P26 Une sélection de liens vidéo à flasher !
 - P27 La Terre vue de l'espace, en quelques images
 - P28 Remerciements



Ce livret accompagne l'exposition QUESTION D'ESPACE réalisée par le service Jeunesse et Acteurs de l'Éducation du CNES en collaboration avec Centre•Sciences, CCSTI de la région Centre-Val de Loire et Science Animation, CCSTI de Midi-Pyrénées.

Cette exposition mise à votre disposition par Centre•Sciences avec une douzaine d'expériences interactives est aussi disponible auprès du CNES, en prêt ou en version imprimable pour les partenaires culturels et les acteurs de l'éducation.

Ce livret est destiné à l'animation de l'exposition interactive. Il propose en outre de développer des ateliers sur les notions abordées : Comment quitter la Terre ? Quel est l'apport du spatial à la connaissance et à la gestion de notre environnement ? Dans notre quotidien, quelle place ont les satellites au coeur de nos sociétés ? Face à notre curiosité, jusqu'où les satellites et sondes spatiales nous permettent d'explorer l'Univers ?

Ces éléments sont mis à votre disposition, pour le développement de la culture spatiale. Le CNES et les personnes ayant contribué à cette exposition et ce livret ne peuvent être tenus pour responsables de l'usage qui serait fait de leurs contenus sans leur accord.

Pour toute remarque, merci de bien vouloir contacter contact@centre-sciences.fr



P01 - Question d'espace [Introduction]

« Notre planète est le berceau de la raison, mais est impossible de vivre éternellement dans un berceau. »

Konstantin E. TSIOLKOVSKI (1857-1935).
Professeur de mathématiques russe, précurseur et théoricien de l'aéronautique.

Quelques repères chronologiques et exploits spatiaux :

- 1957 - URSS : SPOUTNIK 1, 1^{er} satellite
- 1959 - URSS : LUNA 3, 1^{ère} photo de la face cachée de la Lune
- 1961 - URSS : Youri GAGARINE, 1^{er} homme dans l'espace
- 1961 - FRANCE : Création du CNES, agence spatiale française
- 1965 - FRANCE : 1^{er} satellite français (dénommé ASTERIX) lancé par DIAMANT A
- 1969 - USA : Neil ARMSTRONG marche sur la Lune (mission APOLLO 11)
- 1975 - USA : Lancement de VIKING 1, 1^{ères} images du sol martien
- 1979 - EUROPE : 1^{er} lancement d'ARIANE 1
- 1982 - FRANCE : Jean-Loup CHRETIEN, 1^{er} français dans l'espace
- 1986 - FRANCE : lancement de SPOT 1, 1^{er} satellite français d'observation de la Terre
- 1990 - USA : HUBBLE, 1^{er} télescope spatial lancé, puis maintenu grâce à la navette
- 1998 - MONDE : Lancement du 1^{er} module de l'ISS, la Station Spatiale Internationale
- 1999 - EUROPE : 1^{er} vol commercial d'ARIANE 5
- 2002 - USA : la sonde VOYAGER 1, lancée en 1977 est le 1^{er} objet à quitter le système solaire
- 2003 - CHINE : 1^{er} vol habité de la Chine
- 2006 - FRANCE : 1^{ère} observation par le télescope spatial COROT de planètes extrasolaires
- 2011 - CHINE : Lancement du 1^{er} module spatial chinois
- 2030 : Encore plus d'espace dans ta vie ?

Commentaire pour l'animateur :

En 1957, la chienne russe LAIKA est le 1^{er} être vivant dans l'espace. La première station spatiale habitée est mise en orbite en 1974 ; c'est SALIOUT 1 (URSS). Le télescope spatial HUBBLE, mis en orbite en 1990 a été maintenu en usage, réparé et amélioré régulièrement depuis grâce aux missions de la navette spatiale, jusqu'en 2005. Il est encore en service actuellement. En fin d'année 2011, le CNES fêtait ses 50 ans... il a été créé le 19 décembre 1961.

P02 - Où commence l'espace ? [Quitter la Terre]

L'espace ne commence nulle part ! Aucune frontière physique ne sépare l'atmosphère terrestre de l'espace. Par convention, les scientifiques considèrent qu'au-delà de 100 km, on se trouve dans l'espace. Dans l'espace, il n'y a plus d'air, plus de bruit, plus d'odeur... faute d'atmosphère dense. La température d'un objet peut être très élevée ou très basse selon son exposition au Soleil.

En savoir + : L'espace est-il vide ? Non ! Entre les étoiles, les planètes et autres objets célestes, l'environnement spatial est traversé par des grains de poussières, de la lumière et des voyageurs invisibles : les molécules, les particules chargées et les rayonnements électromagnétiques.



99,9% des gaz se trouvent dans les premiers 50km de l'atmosphère.

Commentaire pour l'animateur :

100 km, c'est la limite conventionnelle de l'espace.

Site Web :

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/401-un-horizon-indefini.php>

Distance vers l'espace :

- 0 km
- 8 km - Mont Everest, TROPOSPHÈRE
- 11 km - Avion, STRATOSPHERE
- 50 km - Ballon stratosphérique, MÉSOsphÈRE
- 80 km - Étoiles filantes, THERMOSPHERE
- 100 km - Limite conventionnelle de l'espace
- 800 km - SPOT5, EXOSPHERE
- 36 000 km - Orbite géostationnaire
- 380 000 km - Lune
- 150 000 000 km - Soleil
- 40 000 000 000 000 km - Proxima du Centaure, l'étoile la plus proche du Soleil à 4 années-lumière.



P03 - Flotte-t-on dans l'espace ? [Quitter la Terre]

La gravité...

La Terre comme tous les objets, exerce une force d'attraction : c'est la force de gravité qui diminue avec la distance. À 400 km, elle n'a diminué que de 10%. Si l'espace n'est pas loin, le défi pour y accéder est de s'arracher à l'attraction terrestre en gagnant de la vitesse.

...et l'état d'impesanteur

Dans l'espace, que ressent-on ? En état d'impesanteur, on ne perçoit plus son poids. Mais si l'astronaute a l'impression de flotter, sans la résistance du milieu, il est pourtant toujours soumis à la force de gravité de la Terre !

En savoir + : Le satellite Microscope permettra de mieux comprendre la force de gravité.



Graphique légendé : sur la Lune, avec une gravité 6 fois plus faible que sur Terre, ton poids est divisé par 6, mais ta masse reste la même !

Commentaire pour l'animateur :

MICROSCOPE permettra de mieux comprendre un phénomène physique encore mal expliqué : la gravité. Ses instruments embarqués mesurent la différence d'accélération entre deux objets avec une précision encore inégalée sur Terre.

Site Web : <http://microscope.onera.fr/>

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/2841-microscope.php>



P04 - Comment décolle une fusée ? [Quitter la Terre]

Le principe d'action-réaction

ACTION! Le moteur-fusée éjecte une masse de gaz très importante et à très grande vitesse : plus de 4 200 m/s pour le moteur Vulcain 2 d'Ariane.

REACTION ! La fusée est propulsée en avant. Sa vitesse augmente rapidement sous la poussée des moteurs.

Le moteur-fusée

Il combine deux ergols liquides : le carburant et le comburant pour produire des gaz d'éjection à une température proche de 3 500°C. Il peut donc fonctionner dans le vide.

En savoir + : Formule de la poussée
 réponse : $4200 \text{ m/s} \times 320 \text{ kg/s} = 14\,400 \text{ N}$

$$F = Q \times V_e$$

Poussée en Newton
Débit de masse de gaz éjectée (kg/s)
Vitesse d'éjection des gaz (m/s).



Commentaire pour l'animateur :

(cf dalle de sol) Les lanceurs polluent-ils ? Toute activité humaine produit des déchets. Les lanceurs n'échappent pas à cette règle même si la quantité de produits émis est très limitée compte tenu des règles de sauvegarde qui protègent les personnes et les milieux environnants.



P05 - Tourner autour de la Terre ? [Quitter la Terre]

La satellisation

Quand on lâche un objet, il tombe sur le sol, attirée par la Terre (loi de la gravitation). Plus on lance fort cet objet, plus il va loin. Il faudrait lancer fort cet objet à un peu plus de 28 000 km/h pour qu'il puisse être satellisé autour de la Terre ! Soit près de 90 fois la vitesse du TGV !

Si la vitesse est inférieure à 28 000 km/h, l'objet retombe sur la Terre. À partir de 28 000 km/h, sa trajectoire ne rencontre plus la Terre : il est satellisé. Au-dessus de 40 000 km/h, il quitte l'orbite terrestre.

En savoir + : Les orbites
Chaque satellite suit une trajectoire précise, son orbite. Parmi les paramètres la caractérisant, on peut citer : le périégée, point le plus proche, l'apogée, point le plus éloigné et l'inclinaison par rapport au plan de l'équateur.



Commentaire pour l'animateur :

Quelle est la vitesse à ne pas dépasser pour être en orbite autour de la Terre ? 11,2 km/s, c'est la vitesse de libération et le satellite échappe à l'attraction terrestre, mais il peut ainsi explorer le système solaire...

28000km/h équivaut à 7,8 km/s et 40000km/h équivaut à 11,2km/s

Site Web : <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/420-un-panorama-exceptionnel.php>



P06 - Les lanceurs en Guyane [Quitter la Terre]

La mission d'un lanceur est de placer des satellites en orbite et d'envoyer des hommes ou des sondes dans l'espace. La position près de l'équateur est optimale pour les lancements vers l'orbite géostationnaire.

Où est le pilote ?

La case à équipements contient le pilote automatique. Cet ordinateur, programmé avant le décollage, recalcule en temps réel la trajectoire pendant le vol. Le contenu des réservoirs représente 90% de la masse totale de la fusée. La charge utile, avec un ou des satellites, constitue 1% de la masse.

En savoir + : Coût de la fusée
Mettre un kilogramme en orbite basse coûte 8 000 € environ avec Ariane 5 et 14 000 € pour une orbite de transfert géostationnaire.



Commentaire pour l'animateur :

Trouvez des éléments de comparaison pour la poussée : Diamant A, 27 tonnes de poussée qui a satellisé Astérix A-1 de 42 kg [orbite basse] en 1965
 Airbus A380, 120 tonnes de poussée (4 moteurs)
 Navette spatiale, 3 500 tonnes de poussée pour 29 tonnes en orbite basse
 Saturn 5 [lanceur des missions Apollo sur la Lune] 3 500 tonnes de poussée pour l'équivalent de 140 tonnes (étage supérieure d'une Apollo 15 comme équivalences à la masse orbitale)

Carte d'identité des lanceurs à Kourou

- Véga : masse 136 tonnes [lanceur léger] aussi lourde que 5 camions
 taille : 30 mètres, aussi haute qu'un immeuble de 8 étages
 nationalité européenne [lancée de la base de Kourou en Guyane française]
- Ariane 5 : en service depuis 1999, après mes sœurs Ariane 1, 2, 3 et 4.
 masse : 780 tonnes [lanceur lourd] soit la masse de 20 camions.
 taille : 50 mètres, aussi haute qu'un immeuble de 20 étages !
 nationalité européenne [lancée de la base de Kourou en Guyane française]
- Soyouz : dérivé du lanceur de Spoutnik
 masse : 308 tonnes [lanceur moyen] soit la masse de 12 camions
 taille : 46 mètres, aussi haute qu'un immeuble de 18 étages !
 nationalité : russe [lancée de la base de Kourou en Guyane française]

Graphique légendé - le lanceur Ariane 5

La coiffe : charge utile 21 tonnes en orbite basse et 9 tonnes en orbite de transfert géostationnaire. La propulsion : 1370 tonnes de poussée au décollage



P07 - En route pour l'espace ! [Quitter la Terre]

Les phases d'un lancement

Au fur et à mesure de son vol, la fusée s'allège pour améliorer ses performances : elle largue les éléments devenus inutiles. Seuls les satellites resteront en orbite avec le dernier étage de la fusée. Un lanceur ne sert qu'une fois !

Démarrage ! Le moteur de l'étage principal s'allume. Puis, les propulseurs à poudre se déclenchent : Ariane 5 décolle.

2 min / 60 km / 7 000 km/h

: La fusée largue ses deux propulseurs à poudre.

3 min / 100 km / 8 000 km/h : La coiffe est larguée car le satellite n'a plus besoin de protection.

9 min / 150 km / 28 000 km/h : L'étage principal cryotechnique est largué. Le moteur de l'étage supérieur s'allume.

25 min / 700 km / Près de 30 000 km/h : Largage de l'étage supérieur au point d'injection puis orientation et séparation du satellite. C'est la fin de mission du lanceur.



En savoir + : Un morceau de fusée peut-il nous tomber sur la tête ?

Les éléments largués en haute altitude brûlent dans l'atmosphère. La trajectoire des autres parties est calculée pour qu'elles retombent dans les océans ou en zones non habitées.

Commentaire pour l'animateur :

Les principales phases d'un lancement permettent de : Sortir de l'atmosphère / Accélérer jusqu'à la vitesse de satellisation et donner la bonne orientation au satellite.

Principales bases de lancement dans le monde ; l'emplacement proche de l'équateur est favorable au lancement d'un satellite en orbite géostationnaire.
USA - Cap Canaveral , Vandenberg • EUROPE - Kourou • RUSSIE - Baïkonour (Kazakhstan), Plesetsk • JAPON - Tanegashima • CHINE - Jiuquan • INDE -



P08 - Un satellite comment ça marche ? [Quitter la Terre]

Un satellite embarque tous les éléments nécessaires pour mener à bien sa mission, mais il n'est pas livré à lui-même. Il reste en interaction continue avec les stations terrestres, un segment sol indispensable au bon fonctionnement du satellite. La mission détermine l'orbite sur laquelle il défile.

Graphique légendé - Description du Satellite

La Charge utile

- Instrumentation
- Chaîne de traitement de données

La Plateforme :

- Structure Alimentation électrique (panneaux solaires...)
- Système thermique (revêtements isolants, radiateurs...)
- Système de contrôle d'orbite et d'attitude
- Calculateur de bord
- Système de communication bord-sol

*En savoir + :
Un satellite, c'est 10 ans de conception,
1h de mise en orbite, 5 à 15 ans d'exploitation !*



Commentaire pour l'animateur :

On estime à 800 le nombre de satellites actifs

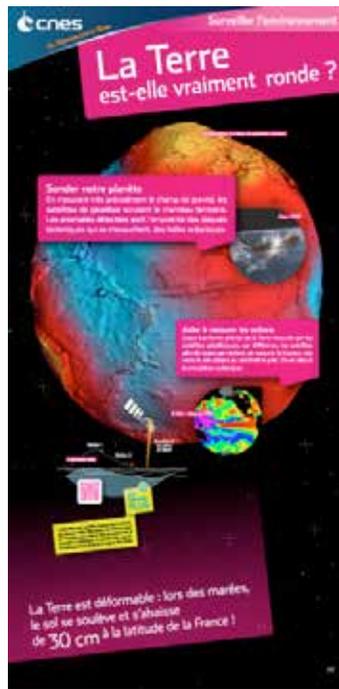
Site Web : <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/443-comment-a-marche-un-satellite-.php>
<http://debris-spatiaux.cnes.fr/>



Quitter la Terre



Surveiller l'environnement



P09 - La Terre est-elle vraiment ronde ?

[Surveiller l'environnement]

Sonder notre planète

En mesurant très précisément au champ de gravité, les satellites de géodésie scrutent le manteau terrestre. Les anomalies détectées sont l'empreinte des plaques tectoniques qui se chevauchent, des failles océaniques.

Aider à mesurer les océans

Grâce à la forme précise de la Terre mesurée par les satellites géodésiques, par différence, les satellites altimétriques permettent de mesurer la hauteur des mers et des océans au centimètre près. On en déduit la circulation océanique.

En savoir + : L'altimétrie par satellite mesure des hauteurs par faisceau radar. Elle dresse une carte en relief de la surface des océans. Elle renseigne sur la circulation océanique, la hauteur des vagues, l'amplitude de la houle et la vitesse des vents.



La terre est déformable : lors des marées, le sol se soulève et s'abaisse de 30cm à la latitude de la France !

Commentaire pour l'animateur : Les techniques spatiales en océanographie fournissent une observation globale des océans, complétée par les mesures *in situ* qui apportent une information de la surface jusqu'aux profondeurs. Grâce à l'altimétrie radar, la hauteur des mers et les moindres variations des océans sont mesurées au centimètre près. Les subtiles variations de gravité mesurées par Goce révèlent aussi les masses d'eau souterraines voire la fonte des glaces continentales.



P10 - Changer notre regard sur la Terre ?

[Surveiller l'environnement]

Des sentinelles depuis le ciel

Les satellites scrutent en permanence la planète et nous font prendre conscience des ressources limitées de la planète et de la nécessité de préserver notre environnement. Ils couvrent l'ensemble du globe et montrent des tendances à long terme grâce à la répétitivité des observations.

Dans toutes les longueurs d'ondes

Observées par des capteurs dans le domaine visible, ultraviolet et infrarouge ou par des radars, les évolutions de l'environnement se révèlent : changements climatiques, diminution des ressources naturelles, fonte des glaces, variation du niveau des océans, perte de biodiversité...

En savoir + : Les satellites Spot, Jason ou météo... veillent sur la Terre, la mer et l'atmosphère. La précision des données permet d'éclairer les négociations sur l'environnement, d'en contrôler les objectifs voire de comprendre les interactions entre l'atmosphère, les océans et la biosphère.



Chaque seconde, l'équivalent en forêt d'un demi-terrain de football disparaît.

Commentaire pour l'animateur : « orbite héliosynchrone » un satellite héliosynchrone passe toujours à la même heure solaire au-dessus d'un même point. Le plan de l'orbite conserve toujours la même orientation par rapport au Soleil. Cette orbite est d'un grand intérêt pour l'observation de la Terre : elle permet d'observer une même région dans des conditions d'éclairage similaires à chaque passage.





P11 - Mieux gérer nos ressources ? [Surveiller l'environnement]

Sur Terre...

Avec les données des satellites, l'agriculteur connaît point par point l'état des parcelles cultivées, la qualité des sols, les besoins en eau... et peut ajuster l'utilisation des engrais ou pesticides pour une agriculture raisonnée.

...comme en mer

L'analyse des données (couleur de l'eau, salinité et température de surface, courants...) collectées par les satellites NOAA et Jason notamment, contribue à la connaissance des océans. Ressources halieutiques et activités de pêche sont surveillées avec précision.

En savoir + : Smos mesure l'humidité des sols et de la végétation. Il évalue également la salinité des océans.



Plus de 10 millions d'images Spot en archives

Commentaire pour l'animateur :

Sur Terre... Avec des images toujours plus fines, les satellites d'observation de la Terre comme Pléiades renseignent l'utilisateur à une échelle inférieure au mètre. Comme en mer... Près de 20 000 balises sont utilisées à travers le monde pour la localisation et la collecte de données ! Le système Argos permet notamment de suivre les bateaux de pêche et de vérifier le respect des quotas, voire de suivre les migrations des animaux marins.

Site Web :

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/9246-gp-l-amelioration-du-positionnement-gps.php>



P12 - Les satellites face aux catastrophes naturelles [Surveiller l'environnement]

Ouvrir l'œil...

Lors de catastrophes naturelles, les satellites sont des vigies : cyclone, inondations, éruptions volcaniques peuvent mieux être observés. Mais les technologies spatiales pourraient contribuer à la prévention des risques humains.

...contribuer aux secours

La charte internationale « espace et catastrophes majeures » initiée par le CNES et signée par 14 agences spatiales, met la technologie spatiale au service des autorités de sécurité civile. En diffusant gratuitement les données satellites de la zone de crise, elle permet une meilleure efficacité dans l'organisation des secours.

En savoir + : Emergesat, un outil de communication d'aide à la gestion de crise. Raz-de-marée, tremblements de terre, ouragans... après une catastrophe, le satellite reste souvent le seul lien fonctionnel quand les moyens de communication terrestre classiques sont inutilisables.



Commentaire pour l'animateur :

Les satellites météorologiques tels MetOp sondent l'atmosphère et mesurent un profil vertical des variations au degré près ! La précision de ces données permet d'affiner la compréhension des mécanismes climatiques à l'origine de risques naturels. Mais au-delà des événements météorologiques, les satellites pourront-ils un jour prévenir de l'imminence d'une éruption volcanique ou d'un tremblement de terre ? Les technologies spatiales comme la mission Déméter en testent la possibilité.

Site Web :

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/319-demeter.php>
<http://image-cnes.fr/1-loeil-du-satellite/prevision-des-inondations-avec-smos/>

P13 - Dangers dans l'espace ? [Surveiller l'environnement]

Quand le ciel nous tombe sur la tête

La disparition des dinosaures il y a 65 millions d'années serait associée à la chute d'un météore qui a formé un cratère de 180 km de diamètre en percutant la Terre à l'Est du Mexique. Comment détecter ces géocroiseurs comme l'astéroïde Apophis qui croisera l'orbite terrestre en 2036 ?

Pas moins de 15 000 objets de plus de 10 cm et de 300 000 objets compris entre 1 et 10 cm circulent actuellement autour de la Terre, essentiellement entre 700 et 1 000 km d'altitude. Ce sont principalement des restes de lanceurs ou de satellites hors services.

En savoir + : Les débris, une préoccupation internationale ! Surveiller l'espace proche de la Terre, c'est aussi identifier les objets et débris spatiaux pour protéger les satellites d'éventuelles collisions. Pour cela, la France dispose du radar Graves, dont les données permettent de suivre les objets en orbite basse.



Commentaire pour l'animateur :

géocroiseurs : Chaque jour, des débris météoritiques percutent la Terre. Plusieurs dizaines de tonnes s'ajoutent ainsi à la masse terrestre ! Mais ce sont les plus massifs qui nous inquiètent. Le satellite Gaia pourrait permettre de détecter quelques 500 000 objets du système solaire.

Pollution spatiale : Plus de 15 000 débris et objets de plus de 10 cm en orbite terrestre ! En 1996, c'est un élément du lanceur Ariane qui endommagea le satellite Cerise : tout aussi menaçant du fait de leur vitesse, les débris de plus d'un centimètre doivent aussi être repérés.



Graphique légendé

Probabilité d'impact sur la Terre

Ils tombent sur Terre

(probabilité selon leur taille):

- Quelques cm _____ Tous les jours
- 50 000 débris météoritiques nous percutent chaque année
- 10 m _____ Tous les 10 ans
- 100 m _____ Tout les 1000 ans
- 1 km _____ Tous les 1 000 000 ans
- 10 km _____ Tous les 100 000 000 ans

sur une période de 100 millions d'années, ces derniers présentent un risque majeur d'extinction massive d'espèces.

Site Web : <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/4368-debris-spatiaux.php>



[Espace et société]



P14 - Communication par satellite ? [Espace et société]

Téléphone, Internet, TV...

Comme le câble et le réseau terrestre, le satellite est aujourd'hui complètement intégré dans les systèmes de télécommunication. Il assure seul la couverture des zones isolées, en mer comme sur terre, ou l'accès internet haut débit dans le TGV ou l'avion.

...Les satellites sont toujours plus performants. Aujourd'hui expérimentés pour augmenter les débits des villages isolés ou des plateformes innovantes, les usages futurs ouvrent à un accès très haut débit, mobile, en tout lieu, venant compléter avec compétitivité les réseaux au sol.



En savoir + : un relais dans l'espace ! Le satellite de communication relaye, amplifie, voire adapte les signaux. Pour limiter la déperdition du signal, ses antennes pointent avec précision et émettent un faisceau fin d'ondes électromagnétiques sur des fréquences spécifiques élevées.

en savoir PLUS

450 000 foyers isolés en France métropolitaine pourraient bénéficier du haut débit grâce aux liaisons satellitaires.

Commentaire pour l'animateur :

TV du futur ? Si nos communications passent pour l'essentiel par réseau terrestre, la liaison satellite se développe en complément des réseaux terrestres pour couvrir les zones isolées. Elle est indispensable pour la retransmission d'émissions en direct ou la télévision par satellite. Les futurs satellites de télécommunication haut débit s'adressent aux particuliers isolés comme aux salles de cinéma numérique 3D. Plus d'un million de foyers méditerranéens et en Europe seraient éligibles au haut débit par satellite.

Géostationnaire... A 35 786 km d'altitude, le satellite tourne à la même vitesse que la Terre et fixe avec précision les antennes au sol. 3 satellites géostationnaires couvrent ainsi l'ensemble de la planète entre +/- 80° de latitude. Cette configuration est privilégiée pour les communications.

Site Web : <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/484-comment-a-marche-les-telecommunications-.php>



P15 - Où suis-je, où vais-je ? [Espace et société]

Services au quotidien

En plein développement, les applications du positionnement par satellite intègrent désormais les téléphones et autres récepteurs. Complémentaire au GPS, le système européen Galiléo doit renforcer les usages actuels : localisation de véhicule, aide à la randonnée, à la construction d'infrastructure.

Précis comme une horloge

Chacun des satellites Galiléo embarque horloges atomiques, émetteur et récepteur radio. Quatre satellites permettent de définir la position et la référence de temps.

En savoir + : un problème mathématique Le décalage entre un signal de référence et celui du satellite détermine une sphère dont le centre est le satellite, votre position étant l'intersection des trois sphères. La résolution mathématique des ambiguïtés améliore ce calcul au centimètre près.

en savoir PLUS

Connaître sa position au centimètre près

Commentaire pour l'animateur :

Illustrations du principe GPS avec trois sphères centrées sur 3 satellites donnant seulement 2 points de contact dont un seul « pertinent », plus un quatrième satellite pour la correction des horloges (désynchronisation).

Le récepteur au sol détermine sa position par rapport à trois des satellites ; un quatrième donne une référence de temps. La complémentarité des réseaux GPS et Galiléo permet d'augmenter le nombre de satellites et ainsi la précision et la fiabilité du positionnement.

Site Web : <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/6081-a-quoi-a-sert-.php>

animation video :

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/6080-comment-a-marche.php>
<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/6079-les-plus-de-galileo.php>

P16 - Des balises pour quoi faire ?

[Espace et société]

Argos, veilleur de la Terre

Plus de 20 000 balises Argos sont actives à travers le monde pour l'océanographie (température, salinité et courants marins), le suivi des bateaux de pêche pour le respect des quotas, les migrations d'oiseaux ou d'animaux marins. Sans cesse miniaturisées, les balises peuvent atteindre 5 grammes et la taille d'un timbre-poste.

Balise de détresse

Localiser un navire en détresse au milieu de l'océan, un avion abîmé dans l'immense forêt canadienne, les balises Cospas-Sarsat fournissent aux autorités de recherche et de sauvetage (SAR) des alertes de détresse et des données de localisation précises et fiables.

En savoir + : Localisé par l'effet Doppler ! Dès l'origine en 1978, le principe très simple des balises met à profit l'effet Doppler : quand une source s'approche ou s'éloigne, la fréquence des ondes émises est décalée et permet de localiser la source.

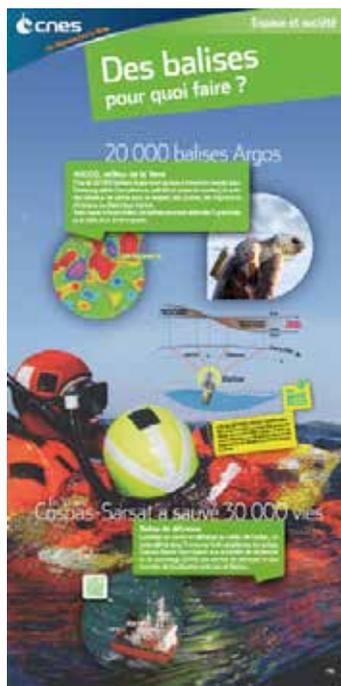


Commentaire pour l'animateur :

Deux missions bien distinctes. Deux fonctionnements différents : Argos permet un suivi continu de trajectoire. La balise de détresse Cospas-Sarsat fonctionne sur impact et le système met en œuvre une chaîne d'acteurs pour sauver des vies.

Site Web :

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/479-argos.php>
<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/7975-argos-30-ans-a-ecouter-vivre-la-planete.php>



P17 - Des satellites pour soigner ?

[Espace et société]

L'espace, c'est bon pour la santé !

La télémédecine s'appuie sur les technologies spatiales au service de la santé : dispenser au plus grand nombre les meilleurs soins médicaux, mieux connaître les facteurs d'émergence et de propagation des épidémies, participer aux actions humanitaires en situation de crise.

Intervenir quelle que soit la distance

La communication par satellite facilite la gestion d'une situation de crise, le travail et la formation des acteurs de santé ou le suivi médical à distance. Par exemple, avec le concours d'un infirmier, une station portable permet de réaliser un diagnostic depuis un site isolé, ou un geste médical tel que l'échographie, assisté par un robot.

En savoir + : Épidémie suivie par satellite La télé-épidémiologie évalue le risque d'une épidémie d'après les données environnementales recueillies par satellite : à défaut de repérer le moustique par satellite, on diagnostique son apparition en suivant l'évolution des mares pour prévenir des maladies comme le paludisme ou la dengue.



80% de la planète reste difficilement accessible aux soins.

Commentaire pour l'animateur :

Schéma de principe télésanté avec légende :

- 1- Désenclavement sanitaire,
- 2- Environnement / climat / santé,
- 3- Gestion des crises,
- 4- Éducation / formation

Plaquette télésanté pdf Cnes

Site Web :

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/6195-telesante.php>
<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/4575-le-suivi-des-epidemies-par-satellites.php>



P18 - Peut-on assurer la paix sur Terre depuis l'espace ?

[Espace et société]

Défense et sécurité

Dans un monde instable, plus incertain et imprévisible, l'espace est devenu un milieu vital pour la sécurité internationale. Télécommunication, observation, écoute, à l'échelle de la planète et par tous temps, tels sont les grands enjeux pour la sécurité et la défense.

Relier les hommes à toutes les distances

Les satellites de télécommunications tels Syracuse permettent à la Défense française une communication sécurisée impossible à intercepter ou à brouiller avec les zones d'opération.

En savoir + : Ça marche avec Hélios ! L'observation à haute résolution est primordiale pour le renseignement. La complémentarité des imageries optique et radar conduit à des accords d'échange avec Sar-Lupe et Cosmo-Skymed, vecteurs de cohésion européenne.



Commentaire pour l'animateur :

Site Web :

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/5909-athena-fidus.php>
<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/7631-l-europe-spatiale-de-la-defense-ca-marche.php>
<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/2668-helios.php>
vidéo <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/8193-gp-helios-2b-en-orbite.php>

P19 - Explorer le système solaire

[Exploration spatiale]

Les sondes spatiales

Des sondes sont lancées pour explorer le système solaire. Parmi les missions possibles vers les corps célestes, il y a le simple survol, la mise en orbite, l'atterrissage ou le retour d'échantillons. La coopération internationale permet de mieux valoriser ces différents programmes.

La durée de voyage d'une sonde dépend des moyens de propulsion et de la mission de survol ou orbitale.

En savoir + : La meilleure trajectoire Pour obtenir des trajectoires qui consomment le moins de carburant possible, les sondes spatiales se servent de l'assistance gravitationnelle de corps célestes pour modifier leur direction et leur vitesse.



Commentaire pour l'animateur :

Quelle est la vitesse nécessaire au lancement des sondes spatiales ?

Plus de 11,2 Km/s (environ 40 000 km/h !) pour échapper à l'attraction terrestre.

Site Web :

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/7089-index-alphabetique-des-programmes.php>

SOLEIL, Notre plus proche étoile,
Température de surface : 6000°.
Age : 4,6 milliards d'années.

LUNE, De la glace sur la Lune ?
Température de surface de -180°C à +120°C.

MERCURE, Pas d'atmosphère
Temps de voyage : 6 à 7 mois
Température de surface de -180°C à +420°C.

VENUS, Planète la plus chaude, +480°C
Temps de voyage : 5 mois

MARS, Violentes tempêtes de poussière.
Temps de voyage minimum : 7 à 11 mois
Températures de surface : de -120°C à 25°C.

JUPITER, Planète gazeuse, 63 satellites dont Europe et son océan gelé en surface
Temps de voyage : 2 à 3 ans
Température : -140°C

SATURNE, Planète gazeuse, 62 satellites dont Titan et ses lacs de méthane
Temps de voyage : 4 à 7 ans
Température -188°C

URANUS, Planète gazeuse
Temps de voyage : 9 ans
Température : -212°C

NEPTUNE, Planète gazeuse, son satellite Triton possède des volcans de glace
Temps de voyage : 11 ans
Température moyenne la plus froide -218°C

ASTEROIDES

COMETES

PLANETES NAINES : Pluton, Cérés



P20 - A quoi ressemble l'Univers ?

[Exploration spatiale]

Découvrir l'Univers et son histoire

Les satellites permettent d'analyser des phénomènes invisibles depuis le sol. Les rayons X et gamma révèlent des événements cataclysmiques associés aux trous noirs, aux explosions d'étoiles comme les supernovae et aux galaxies très énergétiques telles les quasars et les blazars. Les infrarouges et les ondes submillimétriques permettent de voir l'Univers froid, les zones de naissance d'étoile.

Voir loin, c'est voir le passé !

L'Univers primordial aurait commencé son existence par une énorme explosion, le Big Bang, qui se serait produite il y a 13,7 milliards d'années. Le satellite Planck a pour mission de dresser une cartographie précise du rayonnement fossile, vestige de l'explosion initiale lorsque l'Univers n'avait que 380 000 ans !

En savoir + : Hubble, Gaïa, des missions phares Hubble : télescope spatial en orbite autour de la Terre depuis 1990. Il a observé des milliers de galaxies et a pris la première image en visible d'une exoplanète. Le télescope spatial James Webb sera son successeur. Gaïa : ce satellite doit clarifier la composition, la formation et l'évolution de notre Galaxie, la Voie lactée.



13,7 milliards d'années, c'est l'âge de l'Univers depuis ses premiers instants, le Big Bang

Commentaire pour l'animateur :

Une grande inconnue : Où se trouve l'invisible matière noire de l'Univers ?

Site Web : <http://hubblesite.org/>

<http://public.planck.fr/>

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/5314-gaia-la-belle-histoire-de-la-voie-lactee.php>



P21 - De la vie ailleurs ?

[Exploration spatiale]

Un objectif majeur : les exoplanètes

Nous n'avons pas trouvé de vie extraterrestre, mais, depuis 1995, nous avons découvert, depuis le sol et l'espace, des centaines de planètes en dehors de notre système solaire : des exoplanètes qui gravitent autour d'autres étoiles. Certaines sont très semblables à la Terre, comme Corot-Exo-7b et pourraient abriter des formes de vie différentes, objets d'étude de l'exobiologie.

Corot, Herschel et Kepler, en missions !

Le satellite Corot étudie la structure interne des étoiles et détecte des planètes extrasolaires autour d'étoiles proches. Le télescope spatial Herschel analyse le contenu des nuages interstellaires où naissent les étoiles. Il détermine la présence d'éléments essentiels à l'apparition de la vie. Le télescope spatial Kepler détecte les petits corps orbitant autour des étoiles proches avec un photomètre. Sur plus de mille signaux détectés, la présence d'exoplanètes doit être confirmée.

En savoir + : Lumières dans la nuit Que faites-vous si vous voyez quelque chose de curieux dans le ciel ? Faites parvenir vos témoignages auprès du groupe d'études officiel qui enquête sur les phénomènes aérospatiaux non identifiés en France : le GEIPAN - www.geipan.fr



Plus de 500 exoplanètes déjà découvertes

Commentaire pour l'animateur :

L'exobiologie, une discipline en plein essor.

Cf. les illustrations sur le panneau, images de l'exoplanète autour des étoiles HR8799 et Fomalhaut par Hubble.

Site Web : <http://www.cnes-geipan.fr/>

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/652-corot.php>



P22 - Où sont les Martiens ?

[Exploration spatiale]

De l'eau sur Mars

Depuis 1960, des sondes ont été envoyées sur la « planète rouge » pour comprendre la formation du système solaire et chercher la présence de vie ou des traces d'eau. Pas de martiens... mais des argiles, preuve que de l'eau liquide a été présente dans un passé lointain dans le sol de Mars qui pourrait avoir abrité des formes de vie.

À quand des hommes sur Mars...

Envoyer des hommes sur Mars... un rêve qui pourrait un jour devenir réalité ! En 2010- 2011, le programme Mars-500 a simulé sur Terre le voyage aller-retour d'un équipage vers Mars. Les six membres d'équipage, isolés pendant 18 mois, ont vécu les conditions d'un tel voyage.

En savoir + : Aurora, un programme vers Mars
ExoMars 2016 : mise en orbite martienne d'une sonde pour l'étude de l'atmosphère et descente d'un atterrisseur.
ExoMars 2018 : Envoi d'un rover ESA-NASA.
Mars Sample return 2020-2022 : pour la première fois, un robot doit faire revenir sur Terre des échantillons martiens.

Une énigme sur Mars : Des dégagements saisonniers de méthane d'origine biologique ?

Commentaire pour l'animateur :

L'exploration in situ et depuis l'orbite de Mars a permis de confirmer la présence d'importantes quantités d'eau gelée dans le sol et dans les calottes polaires de Mars. Cette eau a pu être liquide autrefois et permettre l'apparition de la vie, son développement sous des formes originales ou similaires à l'environnement terrestre, voire dans les roches martiennes abriter des formes de vie qui reste à découvrir.



P23 - Vivre dans l'espace ? [Exploration spatiale]

Le séjour dans une station spatiale. Valeri Polyakov a passé 437 jours dans l'espace... mais y vivre n'est pas facile ! L'impesanteur, perturbe la circulation sanguine, provoque le mal de l'espace et entraîne une fragilisation des os. Un long entraînement et une activité soutenue pendant le vol sont donc indispensables.

Au quotidien dans l'ISS, Témoignage d'Umberto Guidoni, astronaute de l'ESA

SE NOURRIR : « Faites un mouvement brusque et vos aliments s'envolent et vont se coller quelque part sur une paroi de la station ! ». **DORMIR :** « Au moment d'aller dormir, il suffit d'accrocher n'importe où un sac de couchage et de grimper dedans. Sinon, vous partiriez à la dérive dans la station. ». **ET LES TOILETTES :** « Les toilettes de la station utilisent une pompe à air qui aspire tous les déchets. Il n'y a pas de douche ; pour rester propres, nous utilisons donc des serviettes humides et nous faisons notre toilette à l'éponge avec du savon qui ne fait pas de bulles. »

En savoir + : Le tourisme spatial
Ses limites physiques ou psychologiques ? L'hôtel en orbite : le rêve s'est très certainement éloigné. Le tourisme suborbital deviendra peut-être une réalité dans quelques années.

L'ISS, un laboratoire habité pour des expériences en impesanteur.

Commentaire pour l'animateur :

À quoi sert l'ISS ? C'est un laboratoire habité pour des expériences en impesanteur de physique, de chimie, de biologie, de médecine... mais c'est aussi un banc d'essai technologique. Tourisme orbital ou suborbital ? Le 1^{er} touriste de l'Espace, Dennis Tito, a déboursé 20 millions de dollars pour se rendre dans la Station Spatiale internationale. Le tourisme suborbital consiste en des vols paraboliques à plus de 100 km d'altitude avec le vaisseau SpaceShip (1^{er} vol en 2004). Quant aux hôtels spatiaux de demain, seul le lancement d'une maquette Genesis 1 a déjà eu lieu en 2006.

Site Web : <http://www.esa.int/esaKIDSfr/LifeInSpace.html>



P24 - Mettez de l'espace dans votre vie ! [Activités jeunesse]

Des activités spatiales avec le CNES. Si l'espace vous fait rêver, montez un projet en classe ou en club ! *Une fusée :* construire la mini-fusée ou la fusée expérimentale de vos rêves. *Un ballon pour l'école :* imaginer et réaliser les expériences embarquées dans la nacelle de ballon stratosphérique. *Parabole :* concevoir des expériences pour mieux comprendre l'impesanteur et les tester à bords de l'Airbus A300-zeroG. *Argonautica :* étudier l'influence des variations environnementales sur les courants et les migrations des animaux marins. *Calisph'Air :* mieux connaître les évolutions de notre atmosphère par des mesures locales comparées aux données globales des satellites. *Imagerie :* faire parler les données images des satellites de plus en plus performants. Pour participer, découvrez les conseils du CNES sur le web : <http://www.cnes-jeunes.fr>

En savoir + : les missions du CNES
Le CNES est l'agence spatiale française chargée de proposer au gouvernement la politique spatiale de la France au sein de l'Europe et de la mettre en œuvre.

Commentaire pour l'animateur :

Le CNES est le Centre national d'études spatiales, chargé de proposer et de mettre en œuvre la politique spatiale de la France au sein de l'Europe. Il invente les systèmes spatiaux du futur, maîtrise l'ensemble des techniques spatiales, et garantit à la France l'accès autonome à l'espace. Tu rêves de devenir astronaute ? Découvre les conseils du CNES sur le web : <http://www.cnes-jeunes.fr/web/CNES-Jeunes-fr/8237-devenir-astronaute-une-selection-feroce.php>

Site Web : <http://www.cnes-jeunes.fr>



EXPÉRIENCES ...ET AUTRES IDÉES D'ACTIVITÉS POUVANT ÊTRE MENÉES

Lors de l'accueil de l'exposition, en amont ou en aval de son exploitation, dans un but de sensibilisation à la culture spatiale ou pédagogique, bon nombre d'activités peuvent être menées. Il est possible en quelques demi-journées de mettre en place une approche expérimentale autour d'expérimentations simples permettant d'appréhender quelques notions physiques telles que action/réaction, la pesanteur, la circulation océanique... Pour prolonger ces activités ludo-éducatives, un partenariat avec une structure habilitée peut être envisagé.

Vous trouverez ci-après une description de la douzaine d'expériences réalisées par Centre•Sciences pour accompagner l'exposition. Ce sont autant d'ateliers, où l'expérimentation et l'observation permettent d'appréhender à l'aide de matériel simple. Certaines pourront aussi être développées en classe avec le concours du CNES à l'aide de matériel multimédia et de ressources en ligne ; par exemple comment un satellite permet-il d'identifier la nature des sols observés, suivre des espèces migratoires ?

De même, l'approche des contenus astronomiques, en particulier l'exploration de l'Univers, peut aussi donner lieu à des activités sur les distances dans le système solaire, autour de la force centrifuge et de la gravité. Là aussi, le CNES met à la disposition des médiateurs et enseignants de nombreuses ressources en ligne.

Lors de l'accueil d'une version sans les manipulations interactives ci-après décrites, une autre version de ce guide est disponible auprès de Centre•Sciences et du CNES qui suggère une quinzaine d'ateliers exploratoire à mettre en place.





Atmosphère, atmosphère...
[Manip 1 - QUITTER LA TERRE]

Que faire ?

À l'échelle de ce globe terrestre, où placer votre main pour représenter la limite de l'atmosphère ? À quelques millimètres, quelques centimètres, ou dizaines de centimètres ?

en savoir PLUS

Que retenir ?

90 % de la masse de l'atmosphère se trouvent dans les 20 premiers kilomètres à partir du sol. Comparé aux 13 000 km de diamètre de la Terre, cela représente ici une épaisseur de quelques millimètres. **99 % se trouvent dans les 50 premiers kilomètres.**

Au-dessus, la densité devient rapidement très faible. Les limites de l'atmosphère se perdent dans l'espace. Mais même à une altitude de 800 km, les satellites sont encore freinés par les traces d'atmosphère et perdent progressivement de la hauteur. Les moteurs permettent de corriger régulièrement leur orbite.



Atmosphère, atmosphère...

Pour aller plus loin : La Terre retient captive une indispensable enveloppe gazeuse : l'atmosphère. Sans elle, la vie sur notre planète serait impossible ! Cette fine couche de gaz transporte les odeurs, les bruits et se laisse traverser par la lumière mais surtout, c'est l'air que nous respirons. Elle joue un rôle de bouclier en nous protégeant des rayonnements et des météorites. Cette fine pellicule à la surface de la Terre, composée de quatre couches superposées et de densité décroissante : la troposphère (0 à 10 km), la stratosphère (10 à 50 km), la mésosphère (50 à 100 km) et la thermosphère (au-delà de 100 km). Au fur et à mesure que l'on s'élève en altitude, la pression de l'air diminue et la quantité de gaz aussi.

Pendant sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est en partie transformé en chaleur. L'ozone absorbe une partie des rayons UV d'où la présence d'une couche chaude dans la stratosphère. Dans la troposphère (la plus basse), le CO₂ et surtout la vapeur d'eau absorbent aussi une partie du rayonnement solaire (20 %). Les molécules des gaz, les aérosols et les nuages présents dans l'atmosphère diffusent une partie du rayonnement dans toutes les directions (dont 5 % vers l'espace).



Action... Réaction !

[Manip 2 - QUITTER LA TERRE]

Que faire ?

Positionnez la fusée sur son pas de tir en bloquant sa base avec le becquet. Pompez puis lâchez-la en abaissant la manette.

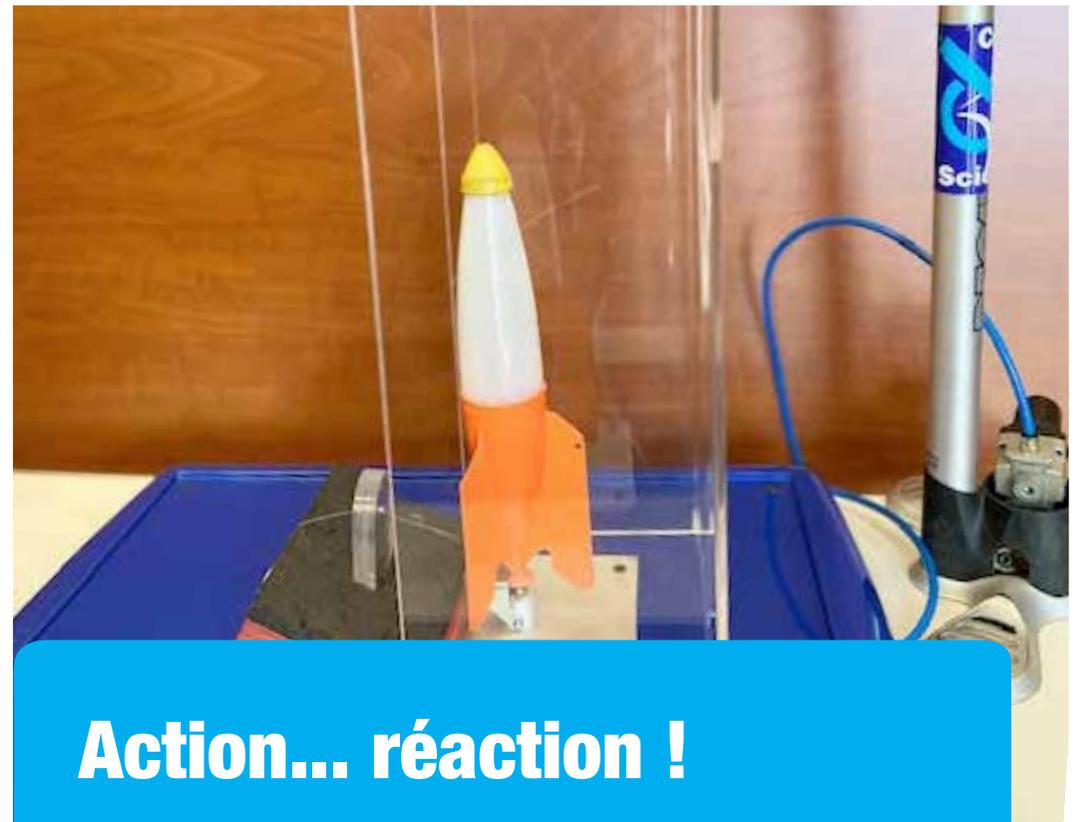
Attention, ne restez pas au-dessus !!

en savoir PLUS

Que retenir ?

À toute action correspond une réaction égale et de sens opposé. Un canon qui tire un boulet [action], va reculer [réaction]. Ici, l'air qui s'échappe [action] provoque en réaction la propulsion de la fusée.

Dans l'espace, une fusée utilise ce même principe : lorsqu'elle éjecte des gaz vers l'arrière, un mouvement opposé se crée propulsant la fusée vers l'avant. Le principe d'action-réaction n'a ainsi pas besoin d'appui extérieur et fonctionne parfaitement dans le vide.



Action... réaction !

Pour aller plus loin : Le principe d'action-réaction, selon lequel à toute action correspond une réaction égale et de sens opposé, est associé aux travaux d'Isaac Newton (1687). La pompe permet de comprimer une grande quantité d'air dans le volume du corps plastique de la fusée ; en effet à la différence des états solide et liquide peu compressibles, le volume d'air contenu à l'intérieur est fortement comprimé et tendra à reprendre son volume initial en s'éjectant du corps de la fusée. L'effet est encore plus impressionnant s'il contient un mélange air-eau, l'eau à l'état liquide étant incompressible.

On peut également imaginer se propulser par réaction en éjectant des masses solides, avec des canons électromagnétiques, ou des ions, avec des accélérateurs de particules.



Pesanteur et impesanteur...
[Manip 1 - QUITTER LA TERRE]

Que faire ?

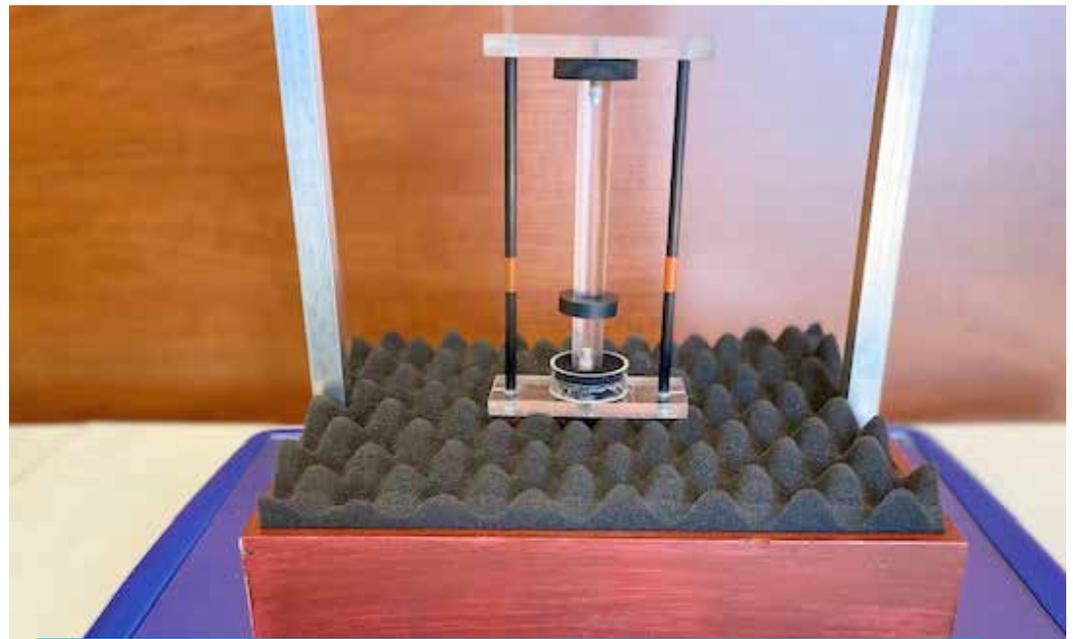
Soulevez la nacelle puis lâchez-la.
Observez le comportement des aimants : la distance
qui les sépare change-t-elle lors de la chute ?

Que retenir ?

Soumis à la gravité terrestre, les aimants reposent à quelques centimètres l'un au-dessus de l'autre. Lors de la chute, ils tombent en même temps, tous deux accélèrent librement.

La répulsion qu'ils exercent l'un sur l'autre les tenant à bonne distance, l'aimant semble alors flotter en l'air. Les satellites artificiels, de même que la Lune –notre satellite naturel– sont en chute permanente autour de la Terre.

en
savoir
PLUS



Flotter dans l'espace !

Pour aller plus loin : Quand une pomme se décroche de l'arbre, elle tombe. Tous les objets dans notre environnement sont attirés vers la Terre par une force invisible : **la pesanteur**. On doit à Isaac Newton au XVII^e siècle cette découverte scientifique et la formulation de la loi de la gravitation universelle.

Quand on s'éloigne de la Terre, son attraction diminue progressivement. Contrairement à une idée reçue, les spationautes dans une station spatiale en orbite à 400 km de la Terre, ne flottent pas en impesanteur en raison d'une diminution de la gravitation due à leur éloignement de la Terre, mais parce que le système constitué par la station spatiale et eux-mêmes sont en chute libre. Lors des séjours en orbite, les spationautes étudient les effets de cette situation sur le corps humain, sur le développement des plantes, sur les propriétés chimiques ou physiques des matériaux... des expériences difficiles à réaliser sur Terre.

En impesanteur, la vie devient insolite, surtout dans les gestes quotidiens. Il faut dormir dans des sacs de couchages fixés à la paroi en retenant le corps par des sangles ou manger une nourriture préparée sous forme compacte pour qu'elle ne s'éparpille pas, se laver avec des serviettes humides puisque l'eau prend une forme de boule.



Mise sur orbite !

[chap. 1 - QUITTER LA TERRE]

Que faire ?

Le tube tenu en main, faites tourner le satellite pour soulever l'autre masse à l'extrémité du fil. Une fois la vitesse de rotation stable, raccourcissez brusquement la longueur du fil en tirant sur la masse. Qu'observez-vous ?



Que retenir ?

Les satellites tournent ou tombent-ils en permanence ?

Dans l'espace, rien n'est immobile : c'est grâce à leur vitesse de déplacement que les satellites ou la Lune ne s'écrasent pas sur la Terre. Il en est de même pour les planètes tournant autour du Soleil.

Le mouvement donne à l'objet une force (centrifuge) capable de l'entraîner vers l'extérieur et de tracter la masse suspendue.



Mis'en orbite !

Pour aller plus loin : Il faut propulser le satellite à une vitesse d'au moins 28 000 km/h pour l'arracher à l'attraction terrestre : à une telle vitesse, il ne retombe plus au sol mais « chute » en permanence autour de la Terre. On place le satellite haut dans l'atmosphère pour réduire les frottements de l'air qui le freinent.

Une fois lancé, le satellite est sur une trajectoire bien précise, déterminée par la vitesse et la direction données par la fusée au départ. Il existe une infinité d'orbites possibles ! Lorsque la vitesse de satellisation est comprise entre 28 000 km/h et 40 000 km/h, l'objet décrit une ellipse, plus ou moins proche de la Terre.

Les vaisseaux spatiaux habités comme la Station spatiale internationale (ISS) se trouvent sur une orbite basse vers 400 km d'altitude. Un tour de Terre prend alors 90 minutes. Placé à 36 000 km, sur une orbite géostationnaire, un satellite suit la Terre dans son mouvement en 24 heures, restant toujours au-dessus du même point de l'équateur. Si sa vitesse est supérieure à 40 000 km/h, l'objet va trop vite pour être retenu par l'attraction de la Terre. Il poursuit alors son chemin dans l'espace ; c'est ainsi qu'on peut envoyer une sonde en direction d'une destination lointaine. Il faut « rebondir » de planète en planète en se servant de leur attraction gravitationnelle pour prendre de la vitesse et aller toujours plus loin dans l'espace.



Changement climatique
[Manip 5 - OBSERVER LA TERRE]

Que faire ?

Allumez la lampe. Plus le radiomètre est éclairé, plus il tourne vite.
Comment pouvez-vous l'expliquer ?



Que retenir ? *Dans l'ampoule, le vide partiel diminue la résistance de l'air. Les faces noires s'échauffent plus que les blanches, très réfléchissantes, et augmentent les chocs dus aux molécules d'air encore présentes ; elles ont alors tendance à reculer.*

L'albédo mesure la quantité de lumière réfléchie par unité de surface. La surface de la Terre réfléchit plus ou moins la lumière qui nous vient du Soleil. Son pouvoir de réflexion se mesure par un pourcentage.

Remarque : inférieur à 5 % au-dessus des mers et des lacs, l'albédo est de 5 à 10 % pour les forêts, 10 % pour les terres humides, dépasse 50 % à la surface des glaces, atteint 90 % sur de la neige fraîche et 80 % au-dessus des nuages épais.



L'albédo

Pour aller plus loin : L'observation spatiale permet des études à la fois rapides, systématiques, globales et homogènes de notre « système Terre », autrement dit, des différents mécanismes qui régissent le fonctionnement de constituants de notre planète aussi vitaux que l'atmosphère et les océans, qui déterminent le climat, ou encore l'écorce terrestre, dont les mouvements engendrent séismes et éruptions volcaniques.

L'albédo, qui détermine le réfléchissement des rayons du soleil, doit être pris en compte pour prévoir les variations de la température sur Terre et la modélisation du changement climatique. La disparition des forêts, d'une mangrove ou des surfaces glacées au pôle impactent le bilan thermique de notre planète.

Les mesures de l'altération de la couche d'ozone, du rôle des gaz à effet de serre (vapeur d'eau, CO₂, méthane, CFC...) et des aérosols précisent le bilan radiatif de la Terre et aident à comprendre l'impact des activités humaines, industrielles et agricoles, sur l'effet de serre, un équilibre fragile à préserver.

<http://www.cnes-multimedia.fr/archives/dossiers/climat/>



Atmosphère, atmosphère...
[Manip 6 - OBSERVER LA TERRE]

Que faire ?

Mesurez la température de cette «Terre». Faites la même expérience en interposant une «atmosphère» de plexiglas ou de polyéthylène.



Que retenir ?

Le jour, la Terre et l'atmosphère sont chauffées par le rayonnement du Soleil. La valeur moyenne du flux de chaleur reçu en haute atmosphère est de 340 W/m^2 . Si la Terre ne se refroidissait pas par rayonnement, la température augmenterait.

La Terre évacue sa chaleur par rayonnement infrarouge vers l'espace. Ce rayonnement est en partie absorbée par les gaz présents dans l'atmosphère [vapeur d'eau et CO_2], c'est l'effet de serre. Sans cet effet, la température moyenne au sol serait de -18°C , alors qu'elle est de 15°C .



Infrarouge et effet de serre

Pour aller plus loin : Pourquoi observer l'humidité de l'air pour comprendre le climat ? Il y a de l'eau dans l'air... Quand l'air se refroidit, la vapeur d'eau qu'il contient redevient liquide : elle se condense, se rassemble en petites gouttes d'eau. La traînée blanche qui se forme derrière un avion à haute altitude (où il fait très froid) est un exemple de ce phénomène...

Pour les prévisions météorologiques, les satellites sont principalement sur une orbite géostationnaire d'où ils suivent en continu la même portion du globe. Ils observent les nuages à une longueur d'onde comprise entre 0,4 et 0,8 micromètres dans le visible, ou dans l'infrarouge entre 2 et 15 micromètres, pour suivre la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Les observations transmises par les satellites géostationnaires ne suffisent pas à établir des prévisions fiables. D'où la nécessité de compléter les données météorologiques.

Les satellites à défilement, placés sur une orbite polaire entre 600 et 1500 km, fournissent des données plus précises : l'humidité relative de l'air, les variations de températures, de pressions et déplacements de ces masses nous renseignent sur les variations météorologiques. La prévision du temps repose sur les observations, mais également sur l'interprétation des données et la modélisation numérique.

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/5267-les-principaux-outils-spatiaux-de-la-meteo.php>



Changement climatique
[Manip 7 - OBSERVER LA TERRE]

Que faire ?

Déterminez la nature des sols et couverts végétaux en reconnaissant leur signature... avec ce radiomètre.



Que retenir ?

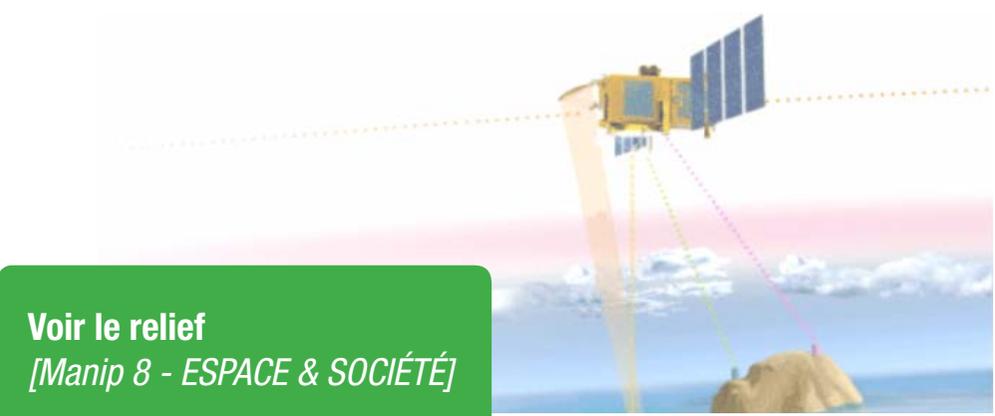
Chaque corps réfléchit plus ou moins la lumière reçue. Ainsi les satellites en analysant la lumière réfléchie peuvent différencier les natures de sol, du couvert végétal ou de cultures par exemple. L'observation à plusieurs longueurs d'onde différentes permet la caractérisation des surfaces observées (végétation, sable sec, sable humide...).

Cette technique est utilisée en agriculture pour évaluer l'étendue des surfaces cultivées et la nature des cultures, ou encore pour suivre l'évolution des zones de déforestation en Amazonie par exemple.



Images satellitaires

Pour aller plus loin : Pour les satellites d'observation dans le visible, l'utilisation de différentes longueurs d'onde permet de caractériser les surfaces observées. Cette technique est utilisée en agriculture pour évaluer l'étendue des surfaces cultivées et la nature des cultures, ou encore pour suivre l'évolution des zones de déforestation en Amazonie par exemple. Embarqué sur les satellites environnementsaux, les instruments fonctionnent sur diverses bandes spectrales : bleu (0,43-0,47 microns), rouge (0,61-0,68 microns), proche infra-rouge (0,78-0,89 microns), et moyen infra-rouge (1,58-1,75 microns) par exemple pour «Végétation» sur SPOT. Les informations recueillies dans le rouge et le proche infrarouge sont caractéristiques de l'activité photosynthétique des végétaux, tandis que le moyen infrarouge révèle l'humidité du sol et le contenu en eau de la végétation.



Voir le relief

[Manip 8 - ESPACE & SOCIÉTÉ]

Que faire ?

En déplaçant le « satellite » au-dessus du paysage, à bonne distance, relevez les différences de hauteur.

en savoir PLUS

Que retenir ?

L'altimétrie par satellite mesure des hauteurs par faisceau radar.

Elle dresse une carte en relief de la surface des océans. Elle renseigne sur la circulation océanique, la hauteur des vagues, l'amplitude de la houle et la vitesse des vents.

Le principe du radar permet de « voir » la surface de la Terre en mesurant le temps de trajet aller-retour mis par une onde émise par le satellite en direction du globe. Ces ondes traversent l'atmosphère et se réfléchissent sur le sol. Cette technique est utilisable de jour comme de nuit, même avec une couverture nuageuse. Pour les sondes spatiales, elle permet d'identifier les reliefs comme lors de l'exploration de la planète Vénus par la sonde Magellan.



Voir le relief

Pour aller plus loin : Installé sur un satellite en orbite basse, qui repasse régulièrement au-dessus d'un même point, l'altimètre est un appareil radar : il émet un signal à très haute fréquence à la verticale du satellite, qui voyage jusqu'à rencontrer un obstacle. L'antenne de l'altimètre reçoit en retour l'écho radar réfléchi. Le temps écoulé entre l'émission du signal et la réception de l'écho donne par calcul, la distance entre le sol et le satellite : $v=d/t$ d'où $d=v.t$, la multiplication du temps par la vitesse de la lumière, à laquelle se propagent les ondes électromagnétiques.

Mais l'observation des océans se heurte à un obstacle : les ondes radio ne pénètrent pas en profondeur, et les mesures se limitent donc à la surface. La hauteur des mers par rapport à la Terre est alors estimée d'après une surface de référence terrestre choisie arbitrairement. En pratique, cette mesure théorique doit, pour atteindre le niveau de précision souhaité de quelques centimètres, subir des corrections qui tiennent compte des perturbations du satellite sur son orbite et de celles des ondes lors du passage dans l'atmosphère.



Sous couverture...

[Manip 9- ESPACE & SOCIÉTÉ]

Que faire ?

Répartissez judicieusement les lampes “satellites” pour couvrir le globe. Combien en faut-il ?



Que retenir ?

Trois sources régulièrement placées dans un même plan couvrent l'ensemble de la planète, à l'exception des régions polaires. Dans le cas des satellites, la mécanique céleste impose de les placer dans le plan de l'équateur, à 36 000 km d'altitude. Ils sont alors sur l'orbite géostationnaire et restent toujours au-dessus du même point de l'équateur. C'est la position de 80 % des satellites de communication.

L'avantage est énorme là où les infrastructures au sol sont inexistantes ou difficiles à implanter : ainsi, pour les pays en voie de développement, le satellite de télévision permet l'accès au savoir, à la culture et à l'information sur de vastes territoires.



À bonne distance !

Pour aller plus loin : Plus les relais de communication sont hauts, plus leur portée est grande. Si les relais ont d'abord été montés sur des collines pour voir et émettre au-dessus des barrières de relief et de végétation, la technologie a permis de s'affranchir de la courbure de la Terre avec les satellites ; même dans une région aussi plate que la Beauce ou en mer par exemple, cette courbure limite à 70 kilomètres la portée d'un émetteur situé au sol. Le satellite géostationnaire constitue l'infrastructure orbitale relais la plus simple.

Un seul satellite géostationnaire peut recevoir et émettre communications téléphoniques, données informatisées ou programmes télévisés depuis et vers un point quelconque, sur la plus du tiers du globe.



Communiquer à distance
[Manip 10 - ESPACE & SOCIÉTÉ]

Que faire ?

Faites rebondir la bille et découvrez
la forme mystérieuse cachée sous le plateau...

A ?



B ?



C ?



en savoir
PLUS

Que retenir ?

Qu'elles soient émises pour communiquer, pour étudier, ou réfléchies par le sol et la végétation, quantité d'ondes traversent l'espace, entre parabole, relais ou balises, satellites et la Terre.

Certains satellites d'observation émettent un rayonnement pour recevoir l'onde réfléchi sur le principe du radar : le temps de parcours de l'information à la vitesse de la lumière (300 000 km par seconde) renseigne sur la distance parcourue, la nature des milieux traversés, les mouvements de sols...



Le bill' radar

Pour aller plus loin : Les ondes électromagnétiques ont une longueur d'onde qui s'étend de plusieurs centaines de kilomètres à quelques millimètres. Radios, télévisions, téléphones fixes ou mobiles les utilisent pour faire voyager l'information de l'émetteur aux récepteurs en tout point de la Terre. Mais le domaine de la communication spatiale concerne également le positionnement par satellites (GPS, Galiléo...), la collecte de données environnementales (Argos), la recherche et le sauvetage ou la santé.

En optique, la lumière est réfléchi selon l'angle d'approche (incident). Un miroir où la lumière se réfléchit en change la direction et a un foyer géométrique. Ce principe optique est identique pour les ondes radios : elles se déplacent dans le vide spatial, contrairement aux sons. Avec une parabole, on peut communiquer à une distance supérieure : prenez deux parapluies, espacés de près de 7 à 8 mètres, en face l'un de l'autre pour entendre ce qui se chuchote d'un côté en plaçant votre oreille au foyer de l'autre, soit à une quinzaine de centimètres de sa pointe.

L'orbitogramme

[chap. 3 - EXPLORATION SPATIALE]

Que faire ?

Lancez une bille dans l'arène pour qu'elle fasse le plus de tours possible. Observez ses trajectoires elliptiques.

Que retenir ?

Au XVII^e siècle, Kepler puis Newton ont découvert les lois physiques qui permettent de décrire la trajectoire d'une planète autour du Soleil.

Pour se déplacer, une sonde utilise la gravitation universelle auquel elle est soumise pendant son voyage. On se sert de l'attraction mutuelle des corps pour la diriger voire ajuster sa vitesse. Les moteurs ne sont utilisés que pour des corrections de vol.

Remarque : lors de son lancement, le satellite est placé sur une orbite elliptique ; une impulsion de ses moteurs permet de le transférer sur une orbite différente, plus haute en accélérant à l'apogée (au plus loin de la Terre) ou plus basse en freinant au périégée (au plus près).



L'orbitogramme

Pour aller plus loin : Au XVII^e siècle, Kepler puis Newton ont découvert les lois physiques qui permettent de décrire la trajectoire d'une planète autour du Soleil. La loi de la gravitation universelle : deux corps de masse M_1 et M_2 , situés à une distance d l'un de l'autre, s'attirent fonction de leur masse et inversement proportionnelle du carré de la distance qui les sépare.

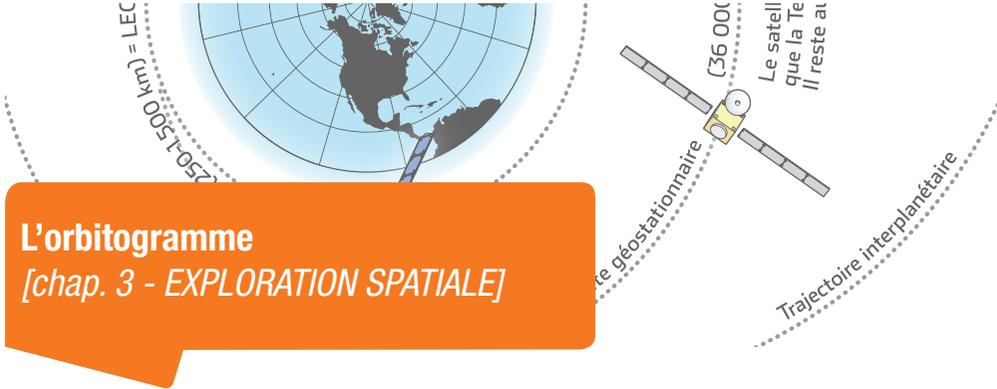
C'est la loi de Newton : $F = G \frac{M_1 M_2}{d^2}$ (où G est la constante gravitationnelle)

Cette même loi permet de démontrer, et même de préciser, les lois expérimentales énoncées par Kepler, à peine un siècle auparavant :

- Les planètes décrivent des ellipses dont le Soleil occupe l'un des foyers.
- Le segment Soleil — Planète balaie des aires égales en des temps égaux.
- Les cubes des grands axes des ellipses décrites par les planètes sont proportionnels aux carrés de leur temps de révolution.

Ces lois sont valables pour les satellites artificiels, comme pour les planètes, dans la mesure où les actions exercées par les autres astres restent négligeables.

Pour explorer l'univers, on utilise une diversité de sondes spatiales aptes à remplir leurs missions : l'orbiteur, placé en orbite autour du corps céleste observé, l'atterrisseur qui explore in situ le sol d'une planète. Une sonde peut aussi emporter des engins autonomes pour accroître son champ d'investigation (sous-satellite, impacteur, rover, ballon, etc.)





D'où vient l'énergie électrique ?
[Manip 12 - EXPLORATION SPATIALE]

Que faire ?

D'où le satellite tire-t-il l'énergie nécessaire à son fonctionnement ? Choisissez le bon circuit pour qu'il fonctionne lorsqu'il passe dans l'ombre de la Terre.



Que retenir ? *Les cellules photovoltaïques des panneaux solaires alimentent le satellite en énergie électrique lorsqu'ils sont éclairés. Mais pendant son orbite (de 90 min si elle est basse), le satellite est dans l'ombre de la Terre la moitié du temps et les panneaux solaires ne sont alors plus alimentés.*

Pour ne pas avoir à planifier le travail en fonction de l'éclairage du panneau solaire, l'électricité est stockée dans les batteries et utilisée lors des périodes non éclairées.

Qu'ils soient constitués de vastes panneaux déployés perpendiculairement au Soleil, ou couvrant l'ensemble du corps du satellite lorsque ce dernier est en rotation sur lui-même, c'est l'un des éléments fondamentaux du satellite.



De l'énergie dans l'espace

Pour aller plus loin : Tous les systèmes de bord ont besoin d'électricité pour fonctionner. Pour le satellite, elle est fournie par des panneaux photovoltaïques qui transforment l'énergie solaire en énergie électrique. À proximité de la Terre, chaque mètre carré exposé au Soleil reçoit environ 1400 watts d'énergie. Pour les sondes interplanétaires ou les satellites ayant des besoins trop importants en énergie, on fait appel à des petits générateurs nucléaires embarqués, pour la fourniture de l'électricité à bord.

Avec le faible rendement des cellules photovoltaïques (inférieur à 200 W/m²), de grandes surfaces sont nécessaires pour assurer l'alimentation électrique du satellite. Repliées lors du lancement pour tenir sous la coiffe du lanceur, le déploiement des panneaux solaires une fois dans l'espace constitue une étape critique. L'énergie électrique alors produite est régulée, pour être utilisée en direct par les systèmes de bord, voire stockée dans des batteries en prévision des pointes de consommation, ou lorsque les panneaux seront dans l'ombre de la Terre, ou d'une planète...

01	Introduction – la conquête spatiale	Lien web	« Ariane, 40 ans vers le futur » - 16/12/2019
02	Où commence l'espace ?	Lien web	« Qu'est-ce que l'espace ? » - 30/04/2015
03	Flotte-on dans l'espace ?	Lien web	« Qu'est-ce que l'impesanteur ? » - 13/10/2009
04	Comment décolle une fusée ?	Lien web	« Un lanceur comment ça marche ? » - 25/01/2010
		Lien web	« Dossier, série lanceurs » - 29/01/2021
05	Tourner autour de la Terre ?	Lien web	« Qu'est-ce qu'une orbite ? » - 3/06/2015
06	Les lanceurs en Guyanne	Lien web	« Destination Orbite » - site sur l'actualité spatiale mondiale
07	En route pour l'espace !	Lien web	« Trouver la bonne fenêtre » - 6/06/2019
08	Un satellite, comment ça marche ?	Lien web	« Un satellite » - 3/6/2015
		Lien web	« Apte pour l'espace » - 20/01/2015
09	La Terre est-elle vraiment ronde ?	Lien web	« GOCE redessine le géoïde » - 29/04/2011
10	Changer notre regard sur la Terre ?	Lien web	« Satellites pour le climat » - 23/12/2015
11	Mieux gérer nos ressources ?	Lien web	« Protéger la biodiversité » - 16/06/2020
		Lien web	« Protéger la Terre depuis l'espace » - 28/5/2017
12	Les satellites face aux catastrophes	Lien web	« Charte Espace et Catastrophes majeures » - 30/10/2020
13	Dangers dans l'espace ?	Lien web	« Dossier débris spatiaux » - 24/11/2017
14	Communication par satellite	Lien web	« Communication par satellite » - 11/03/2019
15	Où suis-je, où vais-je ?	Lien web	« Positionnement par satellite » - 2016
16	Des balises pour quoi faire ?	Lien web	« Altimétrie, 25 ans déjà » - 8/09/2017
17	Des satellites pour soigner ?	Lien web	« L'essor de la télémédecine » - 22/05/2020
18	Assurer la paix depuis l'espace ?	Lien web	« Défense et espace » - 7/02/2019
19	Explorer le système solaire	Lien web	« Le système solaire » - 28/11/2018
20	À quoi ressemble l'Univers ?	Lien web	« Télescope, voir l'infini » - 14/04/2020
21	De la vie ailleurs ?	Lien web	« Mondes extraterrestres » - 13/11/2019
22	Où sont les martiens ?	Lien web	« À la recherche de la vie » - 30/07/2020
		Lien web	« Dossier, conquête de Mars » - 2021
23	Vivre dans l'espace ?	Lien web	« Dossier, mission Proxima » - 2021
24	Mettez de l'espace dans votre vie !	Lien web	site CNES pour les jeunes

RESSOURCES VIDÉO SUR LE WEB - une sélection de 24 vidéo à flasher !

Flasher avec la webcam de votre smartphone l'un des QR code présenté sur une page pour visualiser de courtes vidéos spatiales. Retrouvez aussi l'ensemble des vidéos publiées par le CNES sur sa chaîne YouTube

Sélection de liens vidéo à flasher QUESTION D'ESPACE



«New space ?» - 2016



«Mettre sur orbite » - 2010



«Pourquoi Kourou ?» - 2010



«3-2-1... Ariane 6» - 2016



«Qualifié pour l'espace» - 2018



«Lancement Ariane 5» - 2014



«Géoiide par GOCE» - 2013



«Instrument IASI » - 2018



«Aérosols et Climat» - 2016



«ARGOS et le manchot» - 2015



«El Nino se prépare » - 2008



«Espace pour la Terre » - 2017



«Télécommunications » - 2014



«Géolocalisation » - 2016



«Satellite Galiléo» - 2017



«Espace de la défense » - 2019



«Danger dans l'espace » - 2018



«À la vitesse-lumière » - 2020



« Détection des exoplanètes » - 2019



«Le système solaire » - 2020



« Bientôt sur Mars » - 2016



« Mission Mars 2020 » - 2021



« Retour sur la Lune » - 2019



« Tour complet de l'ISS » - 2017

La Terre vue de l'espace, en quelques images
QUESTION D'ESPACE

? Calculez la poussée au décollage !

? Retrouvez l'inclinaison de l'orbite du satellite...

? Quels sont les sites les plus favorables au lancement des satellites géostationnaires ?

? Comment suivre l'évolution du climat depuis l'espace ?

? Environnement et activité humaine sont-ils liés ?

? Où suis-je ? Où vais-je ?

? Comment suivre la migration des animaux ?

? Où sont localisés ces anneaux dans la ville de Rio de Janeiro ?

? 1969... Qui a marché sur la Lune ?

? Y'a-t-il de la vie sur Mars ?

? Qu'emmeneriez-vous pour votre séjour dans l'espace ?

SOL 04BIS - CALCULEZ LA POUSSÉE AU DÉCOLLAGE ?

Fumée au décollage d'une fusée © ESA

Réponse : 4200 m/s x 320 kg/s soit 1344 kN

Les lanceurs polluent-ils ? Toute activité humaine produit des déchets. Les lanceurs n'échappent pas à cette règle même si la quantité de produits émis est très limitée compte tenu des règles de sauvegarde qui protègent les personnes et les milieux environnants.

SOL 06BIS - RETROUVER L'INCLINAISON DE L'ORBITE DU SATELLITE ?

La biosphère vue par l'instrument VÉGÉTATION embarqué sur Spot 4 © CNES / Spot Image

Sur cette synthèse décennale, la fauchée correspond à la largeur du champ d'observation lors des passages du satellite. Son orientation est donc inclinée par rapport à l'axe nord-sud.

SOL 07BIS - QUELS SONT LES SITES LES PLUS FAVORABLES AU LANCEMENT DE SATELLITES GÉOSTATIONNAIRES ?

La Terre vue par le satellite Terra 4 © NASA Earth Observatory
Les principales bases de lancement dans le monde sont ici représentées ; le meilleur emplacement pour lancer un satellite en orbite géostationnaire reste à proximité de l'Équateur.

- USA Cap Canaveral, Vandenberg, Wallops Island et Kodiak (en Alaska)
- EUROPE Kourou (en Guyane française)
- RUSSIE Baïkonour (au Kazakhstan), Plesetsk et et Svobodny-Vostotchny (au nord du Japon)
- ISRAËL Palmachim
- JAPON Tanegashima, Uchinoura
- CHINE Jiuquan, Xichang, Taiyuan
- INDE Sriharikota
- Plateforme maritime Sea Launch

SOL 10BIS - COMMENT SUIVRE L'ÉVOLUTION DU CLIMAT DEPUIS L'ESPACE ?

Fonte des glaces sur l'Antarctique vue par l'instrument VÉGÉTATION embarqué sur Spot 4 © CNES / Spot Image

Les satellites suivent la fonte de la banquise au printemps austral et l'impact du réchauffement climatique. Certains icebergs dépassent ici 10 km.

SOL 11BIS - ENVIRONNEMENT ET ACTIVITÉS HUMAINES SONT-ILS LIÉS ?

Région des Polders aux Pays-Bas, vu par Landsat végétation embarqué sur Spot 4 © USGS / ESA

Aux Pays-Bas, où l'activité agricole est bien visible sur les polders gagnés à la mer, on évoque désormais des menaces sérieuses d'inondations causées par la montée des eaux liée au réchauffement climatique. Les mesures des satellites ainsi que les observations constatent la corrélation entre l'augmentation du CO₂ et la hausse de température moyenne du globe.

SOL 15BIS - OÙ SUIS-JE ? OÙ VAIS-JE ?

POSITIONNEZ-VOUS SUR LA CARTE...

La France vue par le satellite Terra 4 © NASA / GSFC

Dans les années à venir, les systèmes de navigation et de localisation par satellites vont gagner en précision. En Europe, un cap vient d'être franchi avec l'ouverture au grand public et aux entreprises du service Egnos qui corrige les signaux GPS. (voir la vidéo «Plus d'espace sur les routes» sur la chaîne du CNES)

SOL 16BIS - COMMENT SUIVRE LA MIGRATION DES ANIMAUX ?

Trajectoire d'une tortue Luth © DEPE/IPHC/CNRS and CLS

Localisée par une balise Argos, la trajectoire en rose d'une tortue luth se superpose ici aux données du satellite altimétrique Jason qui cartographie les variations de hauteur à la surface des mers (+15 cm du violet au rouge).

Le croisement de ces données satellitaires permet de mieux comprendre les déplacements d'animaux marins, leur comportement alimentaire et l'adaptation aux variations de l'environnement marin (température, courant, changement climatique...).

SOL 18BIS - OÙ SONT LOCALISÉS CES IMMEUBLES DANS LA VILLE DE RIO DE JANEIRO ?

Pleiades 1A, survol de Rio le 24 janvier 2012 © CNES

Pleiades 1A, mis en service en décembre 2011, a une résolution de 70cm et une fauchée de 20km. Ses capacités stéréoscopiques permettent une cartographie encore plus fine, notamment en zone urbaine.

SOL 19BIS - 1969... QUI A MARCHÉ SUR LA LUNE ?

Mission Apollo 11 © NASA

Si Neil Armstrong est le premier homme à avoir posé le pied sur la Lune le 20 juillet 1969, cette empreinte est sans doute celle de l'un de ses compagnons, Buzz Aldrin. Michael Collins est resté en orbite pour piloter le module de retour.

SOL 22BIS - Y A-T-IL DE LA VIE SUR MARS ?

Mars, vue stéréoscopique prise par la sonde Mars express © ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

La région d'Echus Chasma sur la planète rouge ici photographiée par Mars Express en stéréoscopie, montre un réseau de vallées encaissées qui ressemblent à des réseaux de drainage connus sur Terre. C'est l'objet du débat de savoir si ces vallées proviennent de sources souterraines, des précipitations ou des flux de magma à la surface de Mars.

SOL 23BIS - QU'EMMENERIEZ-VOUS POUR VOTRE SÉJOUR DANS L'ESPACE ?

Côtes tanzaniennes sous le hublot de l'ISS © NASA/ GSFC montage Piment Vert

Volant à près de 400km d'altitude, les spationautes voient défiler la Terre sous les hublots de l'ISS.

Remerciements aux contributeurs QUESTION D'ESPACE

REMERCIEMENTS POUR LEURS CONTRIBUTIONS À LA CONCEPTION DE L'EXPOSITION

CLAIRE EDERY-GUIRADO, CNES

CLAIRE DRAMAS, CNES

ANNE SERFASS-DENIS, CNES

LAURA DERIOT, CNES (STAGIAIRE)

ALAIN GRYCAN, SCIENCE ANIMATION

JOHAN LANGOT, SCIENCE ANIMATION

GUY-ANTOINE DUFOURD, CENTRE•SCIENCES

À LA RELECTURE DES PANNEAUX PAR LE CNES

FERNAND ALBY

MICHEL AVIGNON

LOÏC BOLOH

CHRISTOPHE BONNAL

ANTONIO GUELL

PATRICE HENRY

ANDRÉ HUSSON

JEAN-LUC ISSLER

NICOLAS PICOT

FRANCIS ROCARD

HENRY DE ROQUEFEUILLE

SÉBASTIEN ROUQUETTE

MICHEL SARTHOU

MICHEL VISO

À LA RÉALISATION DE CE LIVRET

ALAIN GRYCAN, SCIENCE ANIMATION

GUY-ANTOINE DUFOURD, CENTRE•SCIENCES