

Mission Cassini-Huygens

Objectif Titan

Dossier pédagogique pour le collège (10-14 ans)

- Présentation générale

- Fiches de sciences physiques
 1. Le système solaire
 2. L'observation et l'exploration du système solaire

- Fiches de sciences de la vie et de la Terre
 3. L'eau dans le système solaire
 4. L'apparition de la vie sur Terre

Le point de départ

Ce dossier vient en complément d'une bande dessinée réalisée par l'ESA (European Space Agency), à l'occasion d'un événement spatial majeur : la descente dans l'atmosphère de Titan de la sonde européenne Huygens, prévue le 14 janvier 2005.

L'album

Spécialement conçu pour un public « juniors », cet album permet d'aborder de manière vivante, à travers l'actualité de la mission Cassini-Huygens, des thématiques scientifiques clés, inscrites dans le programme scolaire français du collège (10-14 ans) et susceptibles de passionner tous les élèves.



En voici la trame : Lucas rend visite à sa tante Anne, ingénieur dans le centre scientifique et technique de l'ESA à Noordwijk, aux Pays-Bas. Là, il découvre par son intermédiaire comment on conçoit et réalise une mission spatiale. L'album évoque plus particulièrement le déroulement de la mission Huygens. Cette sonde européenne doit atterrir sur Titan, le plus gros satellite de Saturne, le 14 janvier 2005. Cette mission ouvre des perspectives inédites sur la question de la vie dans le système solaire.

Les fiches pédagogiques

À travers Lucas, le héros de l'album, l'élève est amené tout au long de sa lecture à se poser des questions sur des thèmes scientifiques fondamentaux, à la croisée de plusieurs disciplines : l'exploration spatiale, l'histoire de l'Univers, l'apparition de la vie sur Terre, etc. Afin de permettre à l'enseignant d'exploiter ces diverses pistes de travail ouvertes par l'album, ont été conçues en complément une série de fiches pédagogiques, consacrées à des thèmes précis. On trouvera donc dans ce dossier quatre mini-dossiers conçus pour des élèves de collège (en ce qui concerne la France, plus spécifiquement pour des élèves du cycle central) et pouvant être exploités, selon le cas, en sciences physiques ou en SVT. Chacun de ces mini-dossiers, librement photocopiable, comprend une fiche de cours (synthèse suivie d'un questionnaire) et une ou plusieurs fiches documents permettant d'approfondir l'étude du thème ; il est accompagné d'un court « mode d'emploi » pour l'enseignant, dans lequel celui-ci pourra trouver toutes les indications dont il a besoin pour mener à bien son travail.

Un itinéraire de découverte

Les matériaux fournis ici peuvent être utilisés très librement par les enseignants concernés, pour partie ou en totalité. Dans la proposition globale de déroulement exposée ci-après, on est parti du principe que le travail était entamé par l'enseignant de sciences physiques et continué par celui de SVT. Si cette collaboration se met en place, on peut imaginer qu'il s'inscrive dans un itinéraire de découverte consacré au thème de l'espace et serve de point de départ collectif à un travail documentaire transdisciplinaire mené par petites équipes sur différents sous-thèmes.

Étape 1 (avec l'enseignant de sciences physiques)

La grande partie du programme traitant de la lumière (programme français de sciences physiques du cycle central au collège) a été entamée. Les élèves sont en passe d'aborder le sous-chapitre relatif au système solaire.

► Mini-dossier : *Le système solaire*.

Étape 2 (avec l'enseignant de sciences physiques)

- Lecture de l'album : pages 1 à 11.
- Faire le point sur les informations essentielles fournies sur les deux premières pages (où ? qui ? pourquoi ?). Revenir sur l'image montrant la maquette du satellite d'observation Envisat et faire préciser son rôle. Introduire l'idée que, grâce à ce type de satellite, la Terre est désormais sous surveillance, faire citer quelques problèmes environnementaux justifiant cette surveillance. Faire détailler les différentes étapes de réalisation d'un projet de satellite (conception, construction d'un prototype, phase de tests).

Faire récapituler la distinction, effectuée page 8, entre les différents types d'engins spatiaux :

- les satellites d'observation (situés entre 400 et 14 000 km au-dessus de la Terre);
- les satellites de télécommunication (situés à 36 000 km, géostationnaires);
- les vaisseaux d'exploration (envoyés vers les différentes planètes du système solaire).

Faire définir la mission Cassini-Huygens (partenaires, objectif, calendrier).

Demander aux élèves de réaliser un croquis permettant de situer Saturne et son satellite Titan, par rapport au Soleil et à la Terre. S'arrêter sur la notion d'attraction et faire réexpliquer, à l'aide d'un schéma,

« l'effet de fronde gravitationnelle » qui permet de vaincre l'attraction solaire.

► Mini-dossier : *L'observation et l'exploration du système solaire*.

Étape 3 (avec l'enseignant de SVT)

- Lecture de l'album : pages 12 à 24.
- Faire spécifier la fonction de chacun des éléments du vaisseau (l'orbiteur Cassini et la sonde Huygens) après leur séparation. Faire décrire les différentes étapes de la descente de la sonde sur Titan (prévue le 14 janvier 2005).

Aider les élèves à expliciter les objectifs fondamentaux de la mission Huygens, en partant des résultats des analyses effectuées à la suite du voyage de la sonde Voyager. Faire expliquer les paroles du scientifique : « Titan est une Terre figée juste avant l'apparition de la vie ». À l'aide des indications de la page 18, faire reconstituer au tableau une chronologie schématique de l'histoire de l'Univers (big bang, formation des particules élémentaires, formation des galaxies, apparition du système solaire, etc.).

Récapituler ensuite les étapes de l'histoire de la vie sur Terre ; mettre en évidence le rôle clé des océans. Insister sur l'idée que les cellules des êtres vivants ont une structure moléculaire commune.

Conclure la lecture de l'album en faisant énoncer les deux hypothèses relatives à l'origine de la vie. Montrer quel raisonnement scientifique sous-tend la conception du GCMS.

Faire parler les élèves librement sur le thème de la vie extraterrestre et rappeler qu'à ce jour, on n'a décelé nulle part ailleurs des traces de vie.

► Mini-dossiers : *L'eau dans le système solaire et L'apparition de la vie sur Terre*.

1

La fiche

Liens avec le programme scolaire

- Sciences physiques 5^e / 4^e – Notions : La lumière. L'air qui nous entoure : le dioxygène.

Déroulement du travail

- Faire observer le schéma-bilan du système solaire et lire son commentaire. Donner ou faire rechercher les définitions des notions clés (système solaire, Soleil, planète, satellite, Terre, Mars, atmosphère, etc.).
- Expliquer les données les plus complexes du tableau :
 - Température : il s'agit de la température moyenne mesurée au niveau du sol pour les planètes telluriques et de glace ; de la température mesurée au sommet des nuages, pour les planètes gazeuses ;
 - PA : il s'agit de la pression atmosphérique mesurée au niveau du sol pour les planètes telluriques et de glace ; la pression atmosphérique n'est donc pas indiquée pour les planètes gazeuses (pas de surface solide et donc aucun niveau de référence pour mesurer la pression) ;
 - atmosphère : pour chaque planète est cité le principal gaz entrant dans la composition de l'atmosphère.

Corrigé du questionnaire

- Voici une proposition de correction pour le questionnaire de la fiche de cours.
- **Question 1.** La température des planètes tend à décroître en fonction directe de leur éloignement au Soleil. Cependant, certaines planètes sont plus chaudes qu'elles ne devraient l'être (Vénus et la Terre), en raison de la présence d'une atmosphère dense comprenant des gaz à effet de serre.
 - **Question 2.** La Terre et Vénus ont une taille comparable, tout comme Mars et Titan. La Terre et Titan ont une atmosphère principalement composée d'azote, avec une pression atmosphérique du même ordre de grandeur. L'atmosphère de Mars a une composition très proche de celle de Vénus, mais elle est beaucoup moins dense. Titan a une densité sensiblement plus faible que celle des trois autres

(présence de glace). Enfin elles ont des températures moyennes très différentes les unes des autres, ce qui est principalement lié à leur distance respective au Soleil.

- **Question 3.** Toutes les planètes géantes gazeuses (Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune) possèdent des anneaux, même si ceux de Saturne sont les seuls à être aisément visibles depuis la Terre dans un petit télescope.
- **Question 4.** Mercure et Pluton sont plus petites que Titan, toutes les autres sont plus grandes. Le diamètre de Mars n'est que 30 % supérieur à celui de Titan.
- **Question 5.** Le terme « satellite » désigne un corps céleste en orbite autour d'un autre, de masse plus grande, et Titan est bien en orbite autour de Saturne, plus de 4 000 fois plus massive que lui. Cependant, si Titan tournait directement autour du Soleil, sa taille lui permettrait de prétendre au titre de planète, puisqu'il est plus grand que Mercure et Pluton. À noter que les planètes ne sont rien d'autre que des satellites du Soleil.
- **Question 6.** 1 206 000 000 de kilomètres.

2

Et après...

Autres fiches

Le travail sur la fiche de cours peut être prolongé avec les fiches documents *Saturne* et *Objectif Titan pour la sonde Cassini-Huygens*, puis avec le mini-dossier *L'eau dans le système solaire*.

Liens sur Internet

- Le système solaire : <http://www.france5.fr/espace/W00403/21/115249.cfm>
- Les neufs planètes (en anglais) : <http://www.nineplanets.org/>
- Sites miroirs en français : Canada : <http://www.lasam.ca/billavf/nineplanets/nineplanets.html>
- France: <http://www.neufplanetes.org/>
- Voyage de la Terre au cœur du Soleil : http://www.cea.fr/fr/actualites/page_soleil.asp
- De la planète rouge à l'origine de la vie : <http://www.nirgal.net/main.html>
- Les anneaux de Saturne : <http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Planetologie/Systeme-externe/Articles/anneaux-saturne.htm>

Liens avec le programme scolaire

- Itinéraire de découverte 5^e « Lire le ciel ».
- Sciences physiques 5^e / 4^e, dans le prolongement de l'étude du chapitre sur le système solaire.

Déroulement du travail

- Faire retrouver le thème des deux chronologies, respectivement l'observation du système solaire en Occident et l'exploration de ce système depuis 1957. Commenter les principaux repères. Insister sur la rupture que représente la révolution copernicienne dans un contexte de civilisation chrétienne. Expliquer la loi de la gravité universelle énoncée par Newton, puis sa remise en cause par Einstein. Faire résumer les étapes les plus importantes de l'exploration spatiale dans la seconde moitié du XX^e siècle.
- Faire répondre aux questions de façon individuelle ; le traitement de la question 3 du premier questionnaire peut cependant être répartie sur plusieurs équipes.

Corrigé du questionnaire 1/2

- **Question 1.** Cette période correspond au Moyen Âge et ne compte quasiment aucune découverte scientifique en Occident. Ce sont les astronomes arabes qui ont permis la réintroduction en Occident des principaux textes fondateurs de l'astronomie grecque, notamment la « Grande syntaxe mathématique » de Ptolémée, que les arabes ont transmis sous le nom d'Almageste.
- **Question 2.** Huygens a compris que Saturne était entourée d'un anneau et a découvert Titan, Cassini a découvert une division dans les anneaux.
- **Question 3.** D'Aristote à Galilée, pendant près de 2 000 ans, l'idée antique d'une Terre au centre de l'Univers s'est maintenue. Galilée lui-même, jugé par l'inquisition pour hérésie, devra, pour échapper au bûcher, renier publiquement que la Terre tourne autour du Soleil, une idée en contradiction avec les textes bibliques qui placent la Terre au centre de l'Univers.

- **Question 4.** Astrophysique : science qui étudie les astres sous l'aspect de leurs propriétés physiques au moyen de la spectroscopie, de la photométrie et de la photographie. Extragalactique : du grec extra « hors de » et galaxias « lacté », c'est-à-dire « ce qui se trouve en dehors de la Voie lactée, notre galaxie ».

Corrigé du questionnaire 2/2

- **Question 1.** L'essor de l'exploration du système solaire par des sondes spatiales correspond à la guerre froide, période de grande tension entre l'Est et l'Ouest. Les premiers lanceurs spatiaux étaient en fait des missiles balistiques initialement développés pour transporter des charges nucléaires.
- **Question 2.** L'exploration du système solaire s'est faite par étapes, les objets les plus proches (Lune, Vénus et Mars) ayant été les premiers à recevoir la visite des sondes spatiales terrestres. Avec l'augmentation de la puissance des fusées et de nouvelles techniques de navigation et de communication, il a été possible d'aller de plus en plus loin.
- **Question 3.** La Lune, Vénus, Mars, l'astéroïde Eros 433, et bientôt Titan.

Liens sur Internet

- Mission Cassini – Huygens (en anglais) : <http://www.esa.int/SPECIALS/Cassini-Huygens/index.html>
- Huygens (en anglais) : http://www.esa.int/SPECIALS/Cassini-Huygens/SEMTV82VQUD_o.html
- Mission Rosetta (en anglais) : <http://www.esa.int/export/SPECIALS/Rosetta/index.html>
- Mission Mars Express (en anglais) : http://www.esa.int/SPECIALS/Mars_Express/index.html
- Des observateurs aux explorateurs de l'espace : <http://www-istp.gsfc.nasa.gov/stargaze/Fintro.htm>
- De la Lune à Pluton : http://www.cnes.fr/html/_173_374_383_.php

1

La fiche

Liens avec le programme scolaire

- Sciences de la vie et de la Terre 6^e – Notion : Les caractéristiques de notre environnement.
- Sciences Physiques 5^e / 4^e – Notion : L'eau dans notre environnement.

Déroulement du travail

- Revenir en guise de préalable, si nécessaire, sur la distinction entre les trois états de l'eau. Insister sur le lien entre la vie et l'eau à l'état liquide. Après lecture du texte, traiter oralement et collectivement la première question de la rubrique « S'évaluer » puis faire répondre individuellement aux cinq autres questions plus factuelles.

Corrigé du questionnaire

Voici une proposition de correction pour le questionnaire de la fiche de cours.

- **Question 1.** Dans le système solaire, on peut trouver de l'eau sous forme solide, liquide et gazeuse. L'état liquide est le moins fréquent, car il suppose des conditions particulières de température et de pression. Ces conditions sont remplies sur Terre et, vraisemblablement, sur Europe, un satellite de Jupiter. Il y a de la glace et de la vapeur d'eau sur Mars, mais pas d'eau liquide : si la température peut dépasser les 0°C, la pression est si faible que l'eau passe directement de l'état solide à l'état gazeux (sublimation). Sur Titan, on a détecté la présence de glace d'eau.
- **Question 2.** 71 % de la surface de la Terre sont occupés par des océans. L'océan Pacifique est plus grand que l'ensemble des terres émergées.
- **Question 3.** Sur Terre, dans des conditions normales de pression, l'eau passe de la phase solide à la phase liquide à 0°C et de la phase liquide à la phase gazeuse à 100°C.
- **Question 4.** Oui, il y a de l'eau sur le Soleil. Le Soleil est principalement constitué d'hydrogène (H) mais contient également de l'oxygène (O). Ainsi, de la vapeur d'eau (H₂O) peut se former fugitivement au-dessus des taches solaires,

zones où la température est suffisamment basse pour que cette combinaison chimique survive pendant un laps de temps lui-même suffisamment long pour qu'on puisse la détecter depuis la Terre.

- **Question 5.** Oui, il y a eu de l'eau liquide sur Mars et même proportionnellement plus que sur la Terre. Depuis les premiers survols de Mars par des sondes spatiales dans les années 60, on a relevé d'indiscutables traces d'érosion fluviale à la surface de la planète rouge. Mais aujourd'hui, l'eau liquide ne peut se maintenir durablement à la surface de Mars, du fait de la trop faible pression atmosphérique qui règne sur la planète (voir la question 1).
- **Question 6.** La présence d'un océan sur toute la surface d'Europe, satellite de Jupiter, est une quasi certitude. Recouvert d'une épaisse couche de glace, cet océan serait maintenu liquide en profondeur par la désintégration naturelle des éléments radioactifs se trouvant dans le manteau d'Europe.

2

Et après...

Autres fiches

Le travail sur la fiche de cours peut être prolongé avec les fiches documents *Les comètes* et *L'eau terrestre vient-elle des comètes*, *L'eau sur Titan* et *L'eau sur Europe*, puis poursuivi avec le mini-dossier *L'eau dans le système solaire*.

Liens sur Internet

- L'eau dans le système solaire : <http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences>
- L'exobiologie : http://www.nirgal.net/ori_intro.html

1

La fiche

Liens avec le programme scolaire

- Sciences de la vie et de la Terre 6^e – Notions : Les caractéristiques de notre environnement. Diversité, parentés et unité du vivant.
- Sciences de la vie et de la Terre 4^e – Notion : Histoire de la vie, histoire de la Terre.

Déroulement du travail

- Utiliser la chronologie comme support de cours. Commenter chacun des repères fournis. Donner ou faire rechercher les définitions des notions clés (radioactivité, molécule, métabolisme, ARN, photosynthèse, bactérie, cellule procaryote/eucaryote, etc.).
- Faire traiter les trois premières questions individuellement puis, lors de la correction, apporter les informations complémentaires nécessaires (voir le corrigé ci-dessous). Faire traiter les deux dernières questions par équipe de deux élèves après avoir rappelé si nécessaire ce qu'est une représentation à l'échelle.

Corrigé du questionnaire

Voici une proposition de correction pour le questionnaire de la fiche de cours.

- **Question 1.** Durant les 700 millions d'années qui suivent la formation du système solaire, les planètes (et notamment la Terre) ont été littéralement bombardées par une pluie de comètes et d'astéroïdes. Lors de ces impacts, les roches d'origines terrestre et extraterrestre fondent et libèrent des gaz. Parmi ces gaz, qui formeront l'atmosphère primitive de la Terre, on trouve le dioxyde de carbone (CO₂) mais aussi de la vapeur d'eau (H₂O).

Il y a 4 milliards d'années, la température de la Terre commence à diminuer, entraînant la condensation de la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère. De cette condensation naissent des pluies qui alimentent le premier océan terrestre. Les comètes, encore très nombreuses à cette période, contribuent également à approvisionner la Terre en eau. La Lune, qui est alors plus proche de la Terre qu'elle ne l'est maintenant, y déclenche d'importantes marées.



■ **Question 2.** À cette époque, il y a 3,5 milliards d'années, les rayonnements ultraviolets émis par le Soleil ne sont pas filtrés par l'atmosphère. Ils empêchent la vie de prendre pied sur la terre ferme, car ils provoquent la destruction des cellules. L'eau liquide est à l'époque le seul milieu capable de faire écran à ces rayons ultraviolets. C'est pourquoi la vie s'y est épanouie.

■ **Question 3.** Les êtres vivants à l'origine de la production d'oxygène sont des bactéries et plus précisément des cyanobactéries. Leur apparition et leur existence ont été révélées par les stromatolithes fossiles, c'est-à-dire les concrétions calcaires que forment les générations successives de cyanobactéries.

Les cyanobactéries, parfois nommées « algues bleues », sont capables de photosynthèse aérobie. Et c'est justement en utilisant la lumière et le dioxyde de carbone pour fabriquer leur propre nourriture, qu'elles produisent du dioxygène. Dans un premier temps, ce dioxygène se dissout dans l'océan primitif de la Terre où il est consommé par l'oxydation de composés minéraux (fer, soufre, carbone, etc.). Ensuite, vers – 2 millions d'années, le dioxygène se diffuse dans l'atmosphère, composé jusque là essentiellement de dioxyde de carbone et d'azote. Là, sous l'effet des ultraviolets du Soleil, le dioxygène va se transformer en ozone. Ce gaz va former un bouclier contre les rayons solaires nocifs et permettre à la vie de quitter les profondeurs des océans pour la terre ferme.

■ **Question 4.** Faire remarquer aux élèves la « tardive » apparition de la vie sur Terre par rapport à la formation de cette dernière et la rapidité de l'évolution de la vie à l'échelle de l'Univers.



2 Autres fiches

Le travail sur la fiche de cours peut être prolongé avec les fiches documents *L'expérience de Miller* et *La mission Rosetta*, puis avec le mini-dossier *L'eau dans le système solaire*.

Liens sur Internet

- Le rayonnement ultraviolet : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet>
- Les cyanobactéries : <http://www.ac-rennes.fr/pedagogie/svt/applic/cyano/cyano.htm>
- Le calendrier cosmique : <http://www.leguideduciel.net/ciel2003/calcosmic1.htm#calcosmic1>
- L'exobiologie : http://www.nirgal.net/ori_intro.html

Et après...