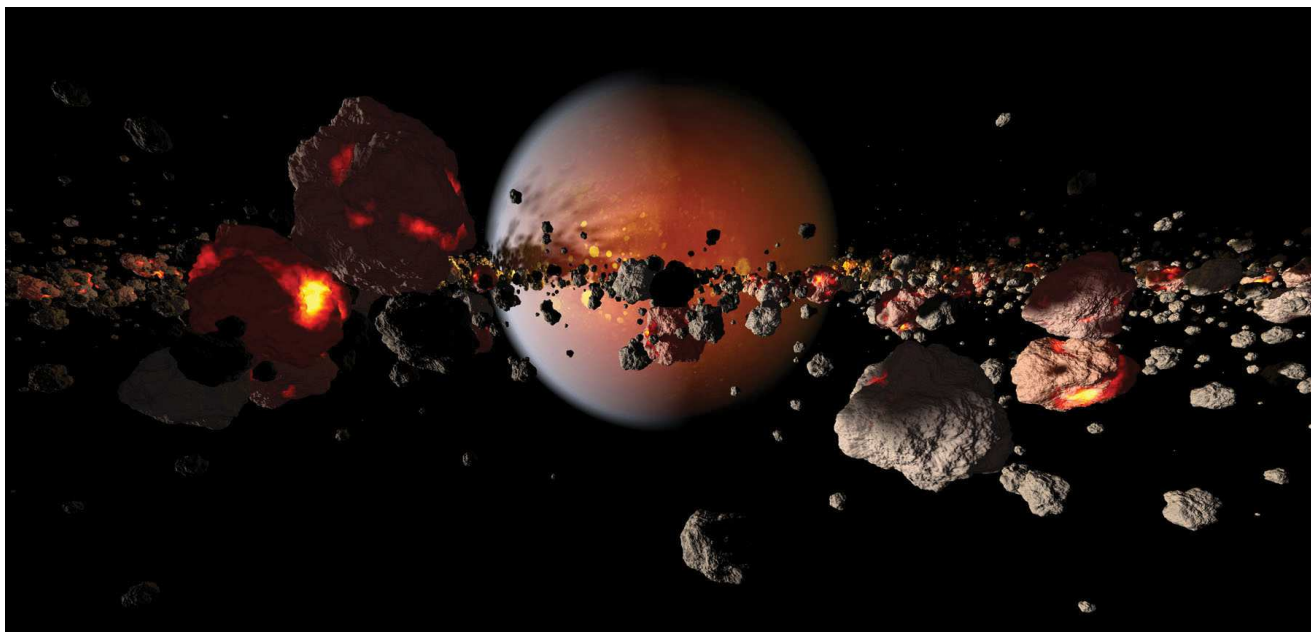


CHOCS COSMIQUES

Dossier enseignant



Ce guide a été conçu et réalisé par le Canopé - CRDP Académie de Poitiers, en collaboration avec Anne Richard, professeur de SVT au collège Pierre Mendès France de La Rochelle (17).

L'objectif général est de vous fournir des pistes de travail, des propositions d'activités dont vous pourrez vous inspirer pour conduire un projet pédagogique ou tout simplement pour donner un sens à la visite de votre classe au Futuroscope, pour qu'elle devienne une étape dans un processus plus général d'apprentissage.



ACADÉMIE DE POITIERS
Département de la Vienne
Site de Poitiers

SOMMAIRE

Présentation de l'attraction.....	p.2
Présentation du guide.....	p.4
Points d'entrée dans les programmes.....	p.5
Éléments de corrigés	p.6
Ressources documentaires.....	p.10
Pistes bibliographiques et webographiques.....	p.16

Les fiches d'activités primaire et secondaire sont téléchargeables sur notre site internet dans la partie pédagogie :

http://scolaires.futuroscope.com/pedagogie/ressource_s-telechargeables/unite-et-diversite-du-monde-1

PRÉSENTATION DE L'ATTRACTION

Le film **Chocs Cosmiques**, qui est projeté en technologie *Imax dôme* sous la coupole du **Cosmoscope**, est une adaptation d'un *Space show* de l'American Museum of Natural History de New York.

Les technologies les plus avancées en matière d'imagerie numérique sont ici utilisées pour présenter les dernières connaissances astronomiques et **projeter le spectateur en plein cœur de l'Univers et de son histoire.**



Cette attraction, fondée sur des **observations et des informations recueillies par la NASA** grâce aux **images transmises par les télescopes Spitzer et Hubble**, ne peut en aucun cas être assimilée à de la science-fiction. En effet, les **bases de données scientifiques en 2 dimensions** qu'ils ont permis de recueillir ont ensuite été **modélisées** par les meilleurs techniciens de l'image en collaboration étroite avec des astrophysiciens **afin de produire un**

modèle scientifique de représentation en 3D évoluant dans le temps.

Aussi, ce film permet-il, en plus de son riche contenu en matière d'astronomie, de **faire appréhender aux élèves** la différence entre un **modèle scientifique** et de la science-fiction.

De plus, **la salle d'exposition** qui le précède permet d'acquérir ou d'approfondir des connaissances sur le système solaire, les grands hommes ayant contribué à la connaissance de l'Univers, et certains appareils qui permettent, de nos jours, d'en apprendre toujours davantage sur son immensité.

UN FABULEUX VOYAGE AUX CONFINS DE L'UNIVERS

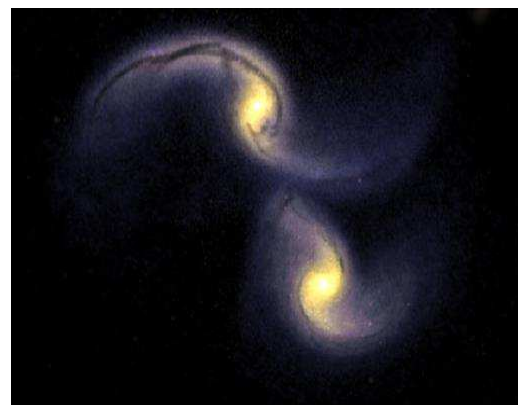
Les étoiles, les planètes et même les galaxies sont en perpétuel mouvement et, comme la gravité les pousse les unes vers les autres, elles entrent en collision.

Spectaculaires et destructrices, ces collisions libèrent pourtant l'énergie qui permet la croissance et l'évolution de l'univers. *Chocs cosmiques* fait des spectateurs les témoins de ces collisions impressionnantes qui ont forgé notre système solaire ou changé le cours de la Vie sur Terre et qui continuent de modifier notre galaxie. Il explore toute la palette des collisions possibles dans l'espace, aussi bien dans le passé, le présent que dans le futur.

Au cours de cette aventure, les voyageurs assistent à la naissance de la Lune il y a 4,5 milliards d'années, quand un astéroïde de la taille de Mars s'encastre dans notre planète encore brûlante. Ils se retrouvent face à la fournaise du soleil duquel des particules énergétiques s'échappent en permanence formant les vents ou les tempêtes solaires à l'origine des aurores boréales parfois observables aux pôles

de la Terre. Ils frissonnent en regardant s'écraser la météorite qui annihile les trois quarts de la vie sur Terre il y a 65 millions d'années ou celle que les scientifiques essaieraient de détourner. Enfin, se projetant plusieurs milliards d'années dans le futur, ils contemplent la collision entre notre Voie lactée et sa plus proche voisine, la galaxie d'Andromède.

Les données scientifiques à la base de la synthèse de ces magnifiques images n'ont pu être recueillies que très récemment par les télescopes Spitzer et Hubble car aucun télescope terrestre n'était en mesure de le faire du fait de la pollution lumineuse nocturne et de l'atmosphère qui, même quand elle est très pure, parasite l'observation des profondeurs de l'espace. Seuls des appareils se trouvant dans l'espace et s'affranchissant de ces contraintes peuvent permettre une telle précision et une telle multitude d'observations.



UN ESPACE RICHE EN CONTENU DOCUMENTAIRE

La **salle d'exposition** qui précède *Chocs cosmiques* est organisée comme un **espace pédagogique** à l'intérieur duquel le visiteur peut circuler librement sans parcours prédéfini. Elle se prête aussi bien à une exploration en groupe pour les plus petits qu'à une exploration individuelle en autonomie sur des activités différentes pour les plus grands. L'exploitation de cet espace peut aussi se faire à deux vitesses selon l'âge des élèves :

- pour les plus jeunes, une lecture rapide est proposée, basée sur la vision d'images et d'objets ;
- pour les plus grands, une lecture plus approfondie peut être permise à partir des informations écrites complémentaires.

Cette salle regroupe cinq éléments bien distincts :

- une **maquette du système solaire** suspendue au plafond ;
- une présentation du Centre national des études spatiales (CNES) ainsi que des **grands projets spatiaux** dans lesquels la France et l'Europe sont actuellement engagés. Cet espace permet de comprendre **l'impact dans notre quotidien et leurs perspectives à très court terme** dans des domaines très divers tels que la santé, les télécommunications, la localisation ou la sécurité ;
- au fond, une représentation du **robot Spirit**, parti explorer Mars en 2004 avec succès ;
- une **maquette de la fusée Ariane 5** ;
- une reproduction du télescope spatial Hubble.

LE TOURISME SPATIAL
UN PEU PLUS PRES DES ETOILES

Depuis le nuit des temps, l'espace, l'inconnu, l'immense, fascinait, est une source inépuisable de fantasmes et d'émotions. Certains et imaginent des scénarios sur les futures avancées technologiques pour nous propulser au-delà de la sphère terrestre.

Transformer la vision de Jules Verne en réalité, il y a 20 ans environ, cela est le plus incroyable, complexe, coûteux et techniquement la conquête de l'espace.

Le 4 octobre 1957, Spoutnik est le premier satellite artificiel de la Terre, le 12 avril 1961, le cosmonaute Yuri Gagarine devient le premier homme à tourner autour de la Terre, le 21 juillet 1969, le commandant Neil Armstrong est le premier pas humain sur la Lune avec un petit module lunaire, Buzz Aldrin.

Avant tout, c'est la volonté qui nous donne de voyager à la

frontière de l'espace, le tourisme spatial devient une réalité.

A travers le monde, naissent de la science fiction, de l'imagination collective et des espoirs, des entreprises, une nouvelle forme de voyage en classe "le tourisme spatial". Des agences nous proposent de partir à 100 km d'altitude, dans un véhicule suborbital, à la frontière de l'espace, où les gravités s'inversent et oscillent. Pour nous proposer l'expérience unique de quelques minutes de "weightless", de nombreux sociétés, nations, organismes de développement de leur champ dans la course au voyage spatial.

En conclusion, on trouve déjà différentes entreprises, internationales, qui ont les idées plus fortes se développer, y compris la possibilité de séjourner dans

un hôtel spatial. Si le tourisme spatial devient réalité, il y aura des hôtels spatiaux. Les agences spatiales ont déjà réservé leurs places au prix de 20 millions, voire 30 millions de dollars.

Pourquoi pas différents pays, avant d'envoyer pour la Lune. A quel de l'histoire l'espace spatial qui nous amènera à un pas plus près des étoiles ?

LES SERVICES ET PRIX DU TOURISME SPATIAL

Société	Agence de voyage	Prix
Virgin Galactic	Virgin Galactic	20 millions de dollars
Blue Origin	Blue Origin	20 millions de dollars
SpaceX	SpaceX	10 millions de dollars
Orbital Sciences	Orbital Sciences	10 millions de dollars
Space Adventures	Space Adventures	25 millions de dollars
SpaceX	SpaceX	10 millions de dollars
Virgin Galactic	Virgin Galactic	20 millions de dollars
Blue Origin	Blue Origin	20 millions de dollars

PRÉSENTATION DU GUIDE

L'exploitation pédagogique du thème de l'univers dépasse les programmes disciplinaires (sciences expérimentales et technologiques à l'école primaire ; physique-chimie et SVT au collège et au lycée).

On peut imaginer des projets pluridisciplinaires, associant, en plus de la physique-chimie et des SVT, les mathématiques, le français, la technologie, l'histoire-géographie, les arts plastiques, voire même l'anglais. Au secondaire, cela peut facilement se concrétiser par un projet de classe motivant pour les élèves qui permet, en plus de l'acquisition des savoirs, de faire appréhender la cohérence et la globalité de leurs apprentissages disciplinaires.

Les points d'entrée de cette thématique sont donc multiples et complexes.

Citons à titre d'exemples (liste non exhaustive) :

- Comment notre système solaire et notre planète se sont-ils formés il y a des milliards d'années ?
- Comment les experts prévoient-ils son évolution ? Quelle part donner à l'imagination et aux modèles scientifiques ?
- En quoi regarder vers le passé peut-il nous renseigner sur le futur ?
- Comment se sont construites et vont se construire nos connaissances sur le système solaire et l'univers plus lointain ?
- Qu'est-ce qu'un modèle scientifique ? Quelles en sont les limites ?

Pour tenter de répondre à ces questions, ce guide propose donc :

- des suggestions d'activités adaptées au premier et au second degré répondant à quelques-unes des problématiques énoncées ci-dessus ;
- des ressources documentaires permettant à l'enseignant non spécialiste de se familiariser avec le thème grâce à une présentation de l'univers (sa dynamique, ses composantes, l'histoire de sa découverte, l'appareil d'exploration Hubble) et de la conquête spatiale (passée et actuelle) ;
- des ressources bibliographiques et webographiques pour aller plus loin ou pour guider des recherches ou des activités avec les élèves.

Les fiches d'activités sont destinées à être remplies par les élèves, **elles sont photocopiables**. Les différentes activités sont réalisables **individuellement** ou en **petits groupes**. Elles s'adressent à des niveaux de classe et à des jeunes d'âges assez variés : il appartient donc à chaque enseignant de les adapter à son public et, si besoin est, à sa démarche, sa stratégie ; le cheminement proposé ici pouvant servir de pistes.

Seules **quelques activités** pourront être réalisées **pendant la visite**, d'autres nécessitent une **recherche documentaire antérieure ou postérieure à la visite**. Le mode d'utilisation de ces fiches est laissé, bien sûr, à l'initiative des enseignants.

LES POINTS D'ENTREE DANS LES PROGRAMMES

École élémentaire – cycles 2 et 3

Découverte du monde :

se repérer dans l'espace et dans le temps.

Culture scientifique et technologique :

le ciel et la Terre, l'énergie.

Français :

lire avec aisance, rédiger un texte.

Collège

Physique-Chimie :

4^e : de l'air qui nous entoure à la molécule ; la lumière : couleurs et images ; propagation de signaux.

3^e : la chimie : science de la transformation de la matière, de la gravitation... à l'énergie mécanique.

Sciences de la vie et de la Terre :

5^e : géologie externe : évolution des paysages (les roches sédimentaires... archives des paysages anciens).

4^e : l'activité interne du globe.

3^e : évolution des organismes vivants et histoire de la Terre.

Mathématiques :

6^e : proportionnalité, organisation, représentation de données, longueur, masse, durée.

5^e : proportionnalité, activité graphique, longueur, masse, durée.

4^e : utilisation de la proportionnalité, calcul numérique, grandeurs quotients courantes.

3^e : fonction linéaire, fonction affine, statistique, notion de probabilité, écritures littérales, configurations dans l'espace, aires et volumes, grandeurs composées, changement d'unités.

Français :

5^e et 4^e : étude de la science-fiction comme genre littéraire.

Thèmes de convergence :

énergie, importance du mode de pensée statistique.

Socle commun des connaissances et des compétences :

Culture scientifique et technologique :

pratiquer une démarche scientifique : modéliser de façon élémentaire. Développer la curiosité pour la découverte des causes des phénomènes naturels, l'imagination raisonnée.

Maîtrise de la langue.

Lycée

Physique-Chimie :

2^{nde} (enseignement fondamental) : constitution de la matière, transformation de la matière, exploration de l'espace, l'univers en mouvement et le temps, l'air qui nous entoure.

Première S : les interactions fondamentales ; forces, travail et énergie.

Terminale S : propagation d'une onde, ondes progressives, transformations nucléaires, évolution temporelle des systèmes mécaniques, évolution temporelle des systèmes et mesure du temps.

Terminale S (enseignement de spécialité) : produire des images, observer ; produire des signaux ; communiquer.

Sciences de la Vie et de la Terre :

2^{nde} (enseignement fondamental) : la planète Terre et son environnement,

Première S : structure, composition et dynamique de la Terre.

Terminale S : la mesure du temps dans l'histoire de la Terre et de la vie, couplage des événements biologiques et géologiques au cours du temps.

Terminale S (enseignement de spécialité) : du passé géologique à l'évolution future de la planète.

Mathématiques :

2^{nde} (enseignement fondamental) : statistiques, calculs et fonctions, géométrie dans l'espace.

Première ES (enseignement obligatoire au choix) : géométrie dans l'espace.

Terminale ES (enseignement de spécialité) : géométrie dans l'espace.

Terminale S : fonctions logarithmiques et exponentielles, produits scalaires dans l'espace, droites et plans dans l'espace, probabilités et statistique.

Fiche 1 : COMPRENDRE UNE MAQUETTE

Cette fiche de travail individuel, conçue pour le niveau primaire d'une part et pour le niveau secondaire d'autre part, a pour objectif de faire appréhender les distances dans le système solaire et la notion d'échelle. Elle ne nécessite pas d'apport d'information sur place.

- Question 1** Sur le schéma, le diamètre de la Terre est de 0,6 cm.
- Question 2** Le diamètre du Soleil devrait alors être de $0,6 \times 100 = 60$ cm.
- Question 3** Le diamètre de Jupiter devrait alors être de $60 \div 10 = 6$ cm.
- Question 4** Le distance Terre – Soleil devrait être de $60 \times 100 = 6000$ cm soit 60 mètres.
- Question 5** La distance Pluton – Soleil devrait être de $60 \times 40 = 2400$ m soit 2,4 km.
- Question 6** La distance Proxima – Soleil devrait être de $6800 \times 2,4 = 16320$ km.
- Question 7** Non, les distances calculées ne sont pas respectées sur le schéma. On ne peut donc pas dire que le schéma, et par extension, la maquette sont à l'échelle.
- Question 8** L'espace disponible dans la salle ou sur le papier est insuffisant pour pouvoir se permettre de respecter l'échelle.
- Question 9** (secondaire uniquement) La sonde spatiale va 114 fois plus vite que l'avion. Le voyage Terre – Pluton en avion : $114 \times 7 = 798$ ans, soit environ 800 ans. Le voyage Terre – Soleil en sonde spatiale prendrait environ 61 jours car : $19 \times 365,25 = 6939,75$ jours en avion puis $6939,75 \div 114 = 60,875$ jours.

Fiche 2 : OBSERVER UNE MAQUETTE

Cette fiche de travail individuel, conçue pour le niveau primaire d'une part et pour le niveau secondaire d'autre part, a pour objectif de faire découvrir le système solaire à partir d'une maquette. Elle ne nécessite pas d'apport d'information sur place.

- Question 1** Cette maquette est une représentation du système solaire.
- Question 2** Le système solaire compte 8 planètes en excluant les planètes naines dont Pluton est un représentant.
- Question 3** En s'éloignant du Soleil, on rencontre les planètes dans l'ordre suivant : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune.
- Question 4** Les planètes tournent sur elles-mêmes et autour d'une boule lumineuse, une étoile, comme le Soleil.
- Question 5** La trajectoire des planètes autour du Soleil a une forme circulaire sur la maquette mais c'est en réalité une ellipse.
- Question 6** La Lune n'est pas représentée sur cette maquette. Elle est un satellite de la Terre.

Fiche 3 : DÉCOUVRIR LES PLANÈTES DU SYSTÈME SOLAIRE

Cette fiche de travail individuel, conçue pour le niveau primaire d'une part et pour le niveau secondaire d'autre part, a pour objectif de faire découvrir les caractéristiques des 8 planètes du système solaire à partir de recherches documentaires. Cette fiche pourra être faite de retour en classe ou demandée comme travail à la maison selon le niveau d'autonomie des élèves.

Question 1 Petites planètes : Mercure (4 878 km) – Mars (6 790 km) – Vénus (12 100 km) – Terre (12 756 km).

Planètes géantes : Neptune (49 528 km) – Uranus (51 118 km) – Saturne (120 000 km) – Jupiter (142 984 km).

Les petites planètes sont celles qui sont les plus proches du Soleil, les géantes sont les plus éloignées du Soleil.

Question 2 Planètes rocheuses : Mercure – Mars – Vénus – Terre.

Planètes gazeuses : Neptune – Uranus – Saturne – Jupiter.

Ce classement permet de retrouver les petites planètes et les planètes géantes.

Question 3 Autour des planètes gazeuses, on trouve des anneaux.

Question 4 Les planètes ont toutes un, voire plusieurs satellites, sauf Mercure et Vénus.

Question 5 Mercure : L'absence d'atmosphère ne permet pas de conserver la chaleur même si c'est la plus proche du Soleil.

Vénus : Elle brille d'un très vif éclat car c'est elle qui est la plus chaude du fait de sa proximité du Soleil et de son atmosphère.

Terre : Planète bleue qui est la seule à abriter la vie.

Mars : Planète rouge car sa surface est recouverte d'oxyde de fer.

Jupiter : Planète la plus grosse reconnaissable à sa grande tache rouge.

Saturne : C'est elle qui possède les anneaux les plus visibles.

Uranus : Elle est couchée sur le côté et possède de nombreux anneaux ce qui donne l'impression qu'elle « roule » sur son orbite.

Neptune : Elle aussi est bleue mais ce bleu n'indique pas (comme sur Terre) la présence d'eau.

Fiche 4 : COMMENT S'EST CONSTRuite NOTRE COMPRÉHENSION DE L'UNIVERS ?

Cette fiche de travail individuel, conçue pour le niveau primaire d'une part et pour le niveau secondaire d'autre part, a pour objectif de faire découvrir les grandes étapes de l'histoire de l'astronomie et de l'évolution de nos connaissances de l'Univers à partir de recherches documentaires qui pourront être faites collectivement ou individuellement.

Question 1 Le système solaire comprend 8 planètes et des planètes naines qui gravitent autour d'une étoile, le Soleil.

Question 2 Le premier schéma représente le système géocentrique de Ptolémée (IIe siècle), le second celui héliocentrique de Copernic (XVIe siècle). Dans les deux cas le point de référence n'est pas le même : pour l'un c'est la Terre, pour l'autre c'est le Soleil.

Question 3 Dans les deux cas, les planètes connues à l'époque de ces savants étaient les mêmes.

Question 4 Jusqu'à cette date, toutes les observations devaient se faire à l'œil nu.

Question 5 Au XVIIe siècle il y a eu la mise au point de deux instruments d'observation : les lunettes astronomiques par Galilée et le télescope par Newton.

Question 6 Galilée découvre le relief de la Lune, les anneaux de Saturne, les satellites de Jupiter, la présence d'étoiles dans la Voie lactée et Kepler les lois du mouvement des planètes. Un peu plus tard, Newton découvre la loi de l'attraction universelle et explique ce qui maintient les planètes en rotation autour du Soleil.

Question 7 Hubble (1889-1959) établit l'existence de galaxies extérieures à celle qui abrite le système solaire. Il n'a pas pu utiliser le télescope spatial qui porte son nom car il a vécu avant sa conception en 1990. Il a cependant dû utiliser un télescope très puissant pour l'époque.

Question 8 Actuellement, l'utilisation de télescopes et de sondes envoyés dans l'espace permet d'apporter des informations complémentaires sur l'Univers.

Question 9 Ile siècle : PTOLEMEE (90-168) : système géocentrique.

XVIe siècle : COPERNIC (1473-1543) : système héliocentrique.

XVIe/XVIIe siècles : GALILÉE (1564-1642) : lunette astronomique – anneaux de Saturne, satellites de Jupiter...

KEPLER (1571-1630) : Lois et trajectoires elliptiques de 9 nètes autour du Soleil.

XVIIe/XVIIIe siècles : NEWTON (1643-1727) : télescope théorie de la gravitation universelle.

XIXe/XXe siècles : HUBBLE (1889-1953) : existence d'autres galaxies en mouvement.

EINSTEIN (1879-1955) : théories de la relativité.

KOROLEV (1907-1966) : satellite artificiel – fondateur du programme spatial soviétique.

Fiche 5 : L'HISTOIRE DE L'UNIVERS ET DE LA TERRE

Cette fiche de travail individuel ou collectif, conçue pour le niveau primaire d'une part et pour le niveau secondaire d'autre part, a pour objectif de faire découvrir les grandes étapes de l'histoire de l'Univers et de la Terre. La réalisation de cette fiche nécessite d'avoir vu le film. Elle peut être faite sur place ou de retour en classe. Seuls les éléments figurés en caractères gras sont inscrits dans la fiche conçue pour le primaire (formulation souvent un peu différente).

Étapes de l'histoire de l'Univers et de la Terre.	Classement chronologique
Big Bang considéré comme la naissance de l'Univers.	1
Premiers mammifères primates (ancêtres des singes et des hommes).	13
Rapprochement entre la galaxie d'Andromède et la Voie lactée.	19
Premiers dinosaures.	10
Usage du feu par l'homme préhistorique (Homo erectus).	15
Formation de la Lune par collision avec la Terre encore brûlante.	4
Le Soleil a consommé tout son « carburant » et s'éteint dans la nouvelle galaxie.	22
Premiers organismes (végétaux) à chlorophylle qui enrichissent progressivement l'océan primitif et l'atmosphère en dioxygène (O₂).	6
Le rayon du Soleil augmente englobant Mercure. Le Soleil fait alors encore partie de la Voie lactée.	20
Premiers mammifères primitifs souvent mangés par certains dinosaures.	11
Formation d'une atmosphère autour de la Terre : le refroidissement de la planète entraîne la condensation de l'eau qui tombe sous forme de pluies torrentielles à l'origine d'un « océan primitif ».	5
Civilisation égyptienne.	17
Apparition de l'homme moderne (Homo sapiens sapiens) qui vit dans des grottes et se nourrit de chasse, de pêche et de cueillette.	16
Transformation du dioxygène (O₂) atmosphérique par les rayonnements solaires en ozone (O₃) qui s'accumule pour former la couche d'ozone protégeant d'une partie des rayons nocifs du Soleil et permettant par la suite l'explosion de la Vie dans l'océan primitif.	7
Réunification complète de la galaxie d'Andromède et de la Voie lactée pour former une nouvelle galaxie dans laquelle le système solaire est en périphérie.	21
Extinction des dinosaures.	12
Société industrielle moderne.	18

Formation des galaxies dont la Voie lactée et celle d'Andromède.	2
Des êtres vivants très primitifs (animaux et végétaux) envahissent le milieu aérien (les continents).	9
Premiers animaux connus (respirent du dioxygène dissous dans l'eau de l'océan primitif).	8
Séparation entre la lignée des singes et celle de l'homme.	14
Formation du système solaire et notamment de la Terre.	3

LA COMPRÉHENSION DE L'UNIVERS

L'**American Museum of Natural History**, en collaboration avec la **N.A.S.A.**, a produit le film *Chocs cosmiques* présentant un **modèle scientifique** de l'évolution de notre galaxie. Il décrit comment les collisions – à différentes échelles – ont pu et vont continuer d'influencer cette évolution.

LA DYNAMIQUE DE L'UNIVERS ET SES CONSEQUENCES

Tout est en perpétuel changement dans l'Univers. Les étoiles naissent, brillent pendant des millions ou des milliards d'années avant de s'éteindre, faute de carburant. Les galaxies croissent en absorbant leurs voisines. L'Univers lui-même, né il y a plus de 13 milliards d'années d'une boule de masse très dense, continue son expansion.

Les collisions libèrent les quantités incroyables d'énergie contenues dans l'Univers. Les mouvements engendrent naturellement des collisions massives. Celles-ci peuvent permettre la construction de nouvelles galaxies, pulvériser les astéroïdes ou alimenter les étoiles en énergie. À notre échelle de temps, les impacts les plus importants concernent des particules plus petites que les atomes qui s'entrechoquent par milliards chaque seconde dans le Soleil en remodelant la matière et en libérant l'énergie sous forme de lumière ou de chaleur.

Les collisions transforment l'Univers. Lorsque deux objets se heurtent, leur énergie cinétique est libérée, entraînant un bouleversement de la structure des objets rentrés en collision. Partout, elles pulvérisent ou rassemblent les éléments, laissant derrière elles les galaxies, les étoiles ou les planètes dans un état très différent. La Terre ne fait pas exception à cette règle : la vie a été modifiée, peut-être même rendue possible, par les collisions. L'exemple le plus marquant s'est produit il y a 65 millions d'années quand un astéroïde de la taille de l'Everest, en percutant la Terre, a décimé près de 85 % des espèces, dont les dinosaures. Pourtant, cela a permis le développement de nouvelles niches écologiques, dont celle qu'occupe actuellement l'espèce humaine.

Dimensions et échelles des temps sont immenses dans le cosmos, c'est pour cette raison que l'on parle « d'espace ». Notre système solaire s'étend sur plusieurs milliards de kilo-

mètres ce qui représente à notre échelle une vaste étendue vide mais qui est infime si on la compare à la distance qui sépare deux étoiles. La lumière des galaxies les plus éloignées peut parcourir des milliards d'années-lumière avant de nous parvenir et une année-lumière (vitesse pouvant être parcourue par la lumière en une année) représente 10 000 milliards de kilomètres ! L'échelle des temps est tout aussi impressionnante : l'âge de l'Univers est aujourd'hui estimé à 13,7 milliards d'années, celui de notre système solaire à 4,56 milliards d'années. Si les 6 millions d'années qui nous séparent de notre premier ancêtre nous semblent une durée colossale, cela ne représente pourtant que 0,2 % de son âge ! Inversement, certains événements qui ont bouleversé le cosmos se sont produits en un clin d'œil.

Les lois de la physique s'appliquent en tout point de l'Univers depuis la nuit des temps. Les principes fondamentaux de la physique que sont l'électromagnétisme et la gravité maintiennent l'Univers en perpétuel mouvement. Tous les objets de l'Univers sont en mouvement et le resteront à moins de subir une influence externe. Ceci correspond à la première loi de Newton, celle de l'inertie. La seconde loi de Newton « $F = ma$ » (Force = masse x accélération) déclare qu'à toute force correspond une modification de mouvement. Ainsi, quand une comète passe à proximité du Soleil, sa trajectoire est modifiée par la force de gravité de celui-ci. La **gravité** est la force d'attraction qu'exercent réciproquement deux masses l'une sur l'autre. C'est de loin la force la plus importante qui maintient les différents éléments du cosmos en mouvement. Plus un corps possède une masse importante, plus la force de gravité qu'il exerce sur les autres corps est importante. C'est pour cela que l'on est plus sensible à la gravité sur Terre que sur la Lune. De même, plus les corps sont proches, plus la force de gravité qu'ils exercent l'un sur l'autre est importante.

Ceci explique pourquoi la Voie lactée est inexorablement attirée par sa plus proche voisine, la galaxie d'Andromède.

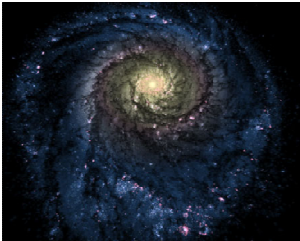
La mobilité des corps peut aussi être due au fait qu'ils sont attirés ou repoussés par la **force électromagnétique**. Cette force fondamentale qui s'exerce dans l'Univers est encore plus forte que la gravité. Elle provient de l'interaction – attraction ou répulsion – des charges électriques positives

(protons) et négatives (électrons) entre elles. Une des manifestations de l'électromagnétisme est le champ magnétique terrestre qui est généré par le mouvement des charges électriques se situant dans la partie externe du noyau de notre planète, du fait que celle-ci tourne sur elle-même. Ce champ magnétique nous protège, par exemple, des particules solaires.

PRÉSENTATION DES ÉLÉMENTS DU COSMOS

Galaxies

Ce sont les plus importantes structures astronomiques connues dans l'Univers. Elles ont été mises en évidence dans les années 1920 par Edwin Hubble.



Les étoiles y naissent et s'y concentrent. On y trouve du gaz et des poussières qui forment le milieu interstellaire et de la matière noire – forme de matière inconnue qui n'émet aucun rayonnement mais dont le champ gravitationnel influence la dynamique des étoiles. Notre galaxie (la Voie lactée), en forme de spirale, est de taille moyenne. Elle compte 200 milliards d'étoiles et s'étend sur environ 100 000 années-lumière. Sa voisine la plus proche, la galaxie d'Andromède se situe à 2,5 millions d'années-lumière.

Constellations

Ce sont des associations d'étoiles faites arbitrairement par l'homme pour former des figures dans le ciel. Elles sont au nombre de 88 et sont définies de telle sorte qu'une étoile ne puisse appartenir qu'à une seule d'entre elles.

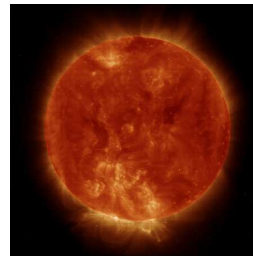
Système solaire

Il est formé de 8 planètes, d'un grand nombre de planètes naines, de comètes et d'astéroïdes. Ce système est appelé « solaire » car, à l'exception des comètes, toutes les autres structures tournent sur un plan écliptique autour de celui-ci dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (vue depuis le pôle nord du Soleil). Le système se trouve en périphérie de la Voie lactée, à environ 27 000 années-lumière de son centre et en fait le tour en 250 millions d'années.

Étoiles (exemple du Soleil)

Ce sont des boules de matière gazeuse dont la taille est tellement importante (plusieurs centaines de milliers de kilomètres) que leur cœur peut atteindre une température suffisante pour permettre l'amorçage des réactions

de fusion nucléaire. Une étoile génère donc un rayonnement, contrairement aux planètes qui absorbent le rayonnement des étoiles.



Les étoiles vivent de plusieurs millions à plusieurs milliards d'années. Cette durée varie en fonction de la quantité de combustible qu'elles renferment pour leurs fusions nucléaires : plus une étoile est grosse, moins elle dure.

Elles naissent de la contraction d'un nuage de gaz riche en hydrogène, appelé nébuleuse. Cette contraction entraîne une augmentation de densité qui attire d'autres gaz par gravité. La matière, de plus en plus dense, s'échauffe permettant d'atteindre une température suffisante pour initier les réactions de fusion nucléaire. L'étoile rentre alors dans sa phase principale pendant laquelle la force de gravité, favorisant la contraction, est équilibrée par la dilatation due à la libération d'énergie. Le noyau, initialement constitué d'hydrogène s'enrichit progressivement en hélium. Lorsque l'hydrogène est épuisé, des réactions de fusion de l'hélium se déclenchent. C'est le stade de « géante rouge » : le cœur de l'étoile se contracte tandis que les couches externes se refroidissent et rougissent. Lorsque tout l'hélium s'est transformé en carbone ou en oxygène, les réactions de fusion s'arrêtent. Le cœur de l'étoile se contracte tandis que les couches externes s'éloignent mais rayonnent toujours, c'est le stade « naine blanche ». Puis l'étoile finit par ne plus rayonner ni lumière ni chaleur, c'est le stade de naine noire.

Les planètes

Ce sont des objets célestes, en orbite autour d'une étoile sans toutefois être une étoile, qui sont suffisamment massifs pour que l'effet de leur propre gravité leur confère une enveloppe sphérique et qui dominent leur environnement c'est-à-dire en ayant éliminé tout corps se déplaçant sur une orbite proche. On considère que les planètes se forment en même temps que leur étoile, par accréation et condensation d'un nuage de gaz et de poussières sous l'influence de la force de gravité.

Depuis 1995, date à laquelle on a découvert la première exoplanète, on sait qu'il existe des planètes en orbite autour d'autres étoiles. Il est même probable qu'elles soient très nombreuses étant donné qu'on en a détecté plus de 170 à ce jour alors que les moyens dont nous disposons actuellement commencent tout juste à nous permettre de mettre à jour des planètes d'aussi petite taille que la Terre.

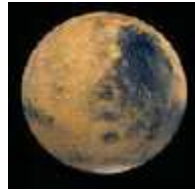
Voici quelques données comparatives chiffrées des 8 planètes du système solaire :

	Diamètre équatorial moyen (km)	Distance moyenne du Soleil (millions de km)	Période de révolution	Température moyenne en surface (°C)	Nombre de satellites connus à ce jour
 Mercure 	4878	58	88 j	- 170 la nuit 430 le jour	0
 Vénus 	12 100	108	225 j	460	0
 Terre 	12 756	150	365 j	15	1
 Mars 	6 790	228	687 j	- 50	2
 Jupiter 	142 984	778	12 ans	- 130	63
 Saturne 	120 000	1427	29 ans	- 170	60
 Uranus 	51 118	2870	84 ans	- 200	27
 Neptune 	49 528	4496	164 ans	- 220	13

On distingue 2 types de planètes dans le système solaire :

- les **4 planètes telluriques (Mercure, Vénus, Terre, Mars)**, les plus proches du Soleil, de composition dense, ayant peu ou pas de satellites et aucun système d'anneaux. Elles sont formées d'une croûte solide recouvrant un manteau semi-liquide composé de silicates, leur centre renferme un noyau riche en fer et en nickel. Toutes présentent des cratères d'impact et des traces en surface d'activité tectonique comme des rifts ou des volcans. À l'exception de Mercure qui est trop proche du Soleil, toutes possèdent une atmosphère.

Mercure



C'est la planète la plus petite et la moins massive, seulement 5% de la masse terrestre. Son atmosphère, quasi-inexistante, est composée de matière arrachée de sa surface par les vents solaires

qui la balayent en permanence. Elle reçoit 7 fois plus d'énergie solaire que la Terre. L'absence d'atmosphère explique la très forte variation de température qui existe entre la face exposée et la face non exposée au rayonnement solaire. Sa surface est recouverte de cratères d'impacts et de rides, probablement produites par contraction thermique lors de la phase de solidification de cette planète.

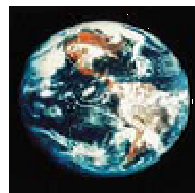
Vénus



Elle est communément appelée « l'étoile du Berger ». Sa masse correspond à 80 % de celle de la Terre. Elle reçoit 2 fois plus d'énergie solaire que la Terre. C'est la planète la plus chaude du système solaire car son atmosphère

très riche en CO₂ (la pression est 90 fois plus importante que la nôtre) produit un effet de serre tel qu'elle conserve la chaleur accumulée lors de l'exposition aux rayons solaires. Sa surface est essentiellement constituée de plaines ondulées, de traces d'activité volcanique et de deux plateaux principaux de la taille d'un continent : Ishtar Terra et Aphrodite Terra. Sa rotation sur elle-même se fait dans le sens inverse des autres planètes.

Terre



C'est la plus grande, la plus massive et la plus dense des planètes telluriques. C'est la seule où coexistent en surface les trois états de l'eau. Son atmosphère, enrichie en dioxygène par l'activité des êtres vivants photosynthétiques, possède une couche d'ozone qui la protège d'une partie des rayons solaires et limite l'effet de serre, permettant de maintenir à sa surface une température moyenne compatible avec la vie. Elle est aussi la seule à posséder une hydrosphère recouvrant environ 70 % de sa surface. Sa surface montre des traces d'activité géologique interne et d'érosion par l'eau et le vent. Son satellite est la Lune.

Mars



Elle est de petite taille et ne représente que 10 % de la masse terrestre. Elle possède une fine atmosphère, principalement composée de dioxyde de carbone. Sa surface

montre de nombreux volcans comme le mont Olympe, des rifts comme Valles Marineris et des vallées que l'on suppose avoir été formées par l'eau. Elle est dotée de deux satellites Déimos et Phobos, plus petits que la Lune. Elle possède des astéroïdes troyens qui partagent son orbite autour du Soleil.

- les **4 planètes géantes gazeuses (Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune)** se situent au-delà de la ceinture d'astéroïdes. Elles sont dites gazeuses en raison de l'épaisse atmosphère qui les entoure. Elles sont constituées d'un manteau externe de dihydrogène liquide devenant progressivement métallique (ionisé) vers l'intérieur et d'un petit noyau rocheux (silicates de fer). Elles sont peu denses, pourtant leur masse représente 99 % de la masse de matière du système solaire. Elles possèdent toutes de nombreux satellites et un système d'anneaux même si ceux de Saturne sont les seuls observables facilement depuis la Terre. Leur présence a de grandes conséquences sur le reste du système solaire : elle stabilise les orbites des autres planètes et leur attraction gravitaire constitue un écran contre les objets provenant de l'extérieur du système solaire. Ainsi, la présence de la vie sur Terre a sans doute été rendue possible par l'existence de ces quatre planètes si lointaines.

Jupiter



C'est la plus grosse planète du système solaire, sa masse correspond à 318 fois celle de la Terre. Sa composition est proche de celle d'une étoile et de ce fait elle est souvent com-

parée à une « étoile manquée » mais il faudrait qu'elle possède 75 fois sa masse actuelle pour démarrer la fusion de l'hydrogène. Sa grande taille lui confère une forte chaleur interne ce qui a des répercussions sur son atmosphère principalement composée de dihydrogène et d'hélium. Ainsi, on peut facilement la reconnaître à sa « tache rouge », gran-

de comme deux fois la Terre, zone de surpression, ou à ses multiples bandes nuageuses. Sa surface est balayée par des vents violents (600 km/h). Parmi les 63 satellites dénombrés actuellement, ses quatre plus gros, Ganymède, Callisto, Io et Europe, présentent certaines ressemblances avec les planètes telluriques (volcanisme). Jupiter est entourée d'anneaux de poussières arrachées à ses satellites lors des impacts météoritiques fréquents. Elle possède aussi une centaine d'astéroïdes troyens qui partagent son orbite autour du Soleil.

Saturne



Elle est un peu moins massive (donc moins chaude) que Jupiter : elle ne fait que 95 fois la masse de la Terre. Sa densité est inférieure à un car elle est très riche en hydrogène.

Parmi les 60 satellites qu'on dénombre actuellement, deux d'entre eux Encelade et Titan présentent des signes d'activité géologique. Ce dernier se singularise car il possède une atmosphère. La structure de ses anneaux est très fine : ils sont d'une épaisseur inférieure à 2 km. Ils sont formés de milliards de minuscules anneaux constitués de glace.

Uranus



Elle est la moins massive des planètes géantes : seulement 14 fois la masse terrestre. Son noyau est donc beaucoup plus froid que celui des autres géantes gazeuses. Elle reçoit

400 fois moins de lumière solaire que la Terre. Son axe de rotation est couché sur le plan de son orbite autour du Soleil. Sa composition interne est enrichie en hélium, par rapport à la composition des autres géantes et elle n'est pas assez massive pour que l'hydrogène soit sous forme métallique. Sa surface serait recouverte d'un océan d'ammoniac et de méthane. Son atmosphère serait composée d'hydrogène, d'hélium, d'eau glacée, d'ammoniac et de méthane. Parmi les 27 satellites qu'on dénombre actuellement, les 5 plus connus Titania, Oberon, Umbriel, Ariel et Miranda, sont tous recouverts de glace. Il y a au moins 13 anneaux qui l'entourent. Ils sont composés de poussières et de glace et sont très sombres ce qui les rend difficilement observables.

Neptune



Elle est un peu plus massive, 17 fois la masse terrestre, ce qui lui confère un noyau un peu plus chaud qu'Uranus. Elle reçoit 1 000 fois moins de lumière solaire que la Terre.

Son atmosphère contient deux couches nuageuses de composition différente. Comme pour les autres planètes géantes, sa surface est balayée par des orages et des vents violents qui sont les plus rapides du système solaire (2 000 km/h). Parmi les 13 satellites qu'on lui dénombre actuellement, Triton, qui est son seul grand satellite, est géologiquement actif (geysers d'azote liquide). Elle possède des anneaux très fins mais complets. Elle possède aussi au moins 5 astéroïdes troyens qui partagent son orbite autour du Soleil.

Les planètes naines

Cette catégorie de corps célestes a été créée en août 2006 par l'Union astronomique internationale. Elle rassemble les objets, en orbite autour d'une étoile sans toutefois être une

planète, qui sont suffisamment massifs pour que l'effet de leur propre gravité leur confère une enveloppe sphérique mais pas assez massifs pour avoir nettoyé leur environnement de tout corps se déplaçant sur une orbite proche.

On en dénombre actuellement une cinquantaine, dans le système solaire, mais ce chiffre est en permanence révisé à la hausse.

Pour le moment, une seule d'entre elles est située dans le système solaire « interne ». Il s'agit de Cérès qui se trouve dans la ceinture d'astéroïdes en orbite entre Mars et Jupiter. Mais Vesta et Hygie, qui se trouvent aussi dans cette région, pourraient intégrer cette catégorie s'il est prouvé qu'ils ont atteint l'équilibre hydrostatique leur permettant d'avoir une forme sphérique.

Toutes les autres planètes naines actuellement répertoriées dans le système solaire se trouvent dans la « ceinture de Kuiper » qui est un grand anneau de débris glacés en orbite au-delà de Neptune. Parmi elles, on peut citer Pluton, autrefois considéré comme une planète et qui a été reclassée en 2006, Eris, ou plus récemment Makemake.

Certaines planètes naines peuvent avoir des satellites, c'est par exemple le cas de Pluton qui en possède trois.

HISTOIRE DE LA PERCEPTION DE L'UNIVERS

Dès la préhistoire, les hommes ont toujours observé le mouvement des astres dans le ciel. Cela a rythmé leur vie et a donné naissance à de nombreuses croyances.

Dans la Grèce antique, Thalès de Milet (624-547 av. J.-C.) a la conception suivante de l'**Univers** : c'est une **bulle d'air hémisphérique formée par la voûte céleste et la surface plane de la Terre, flottant elle-même sur l'eau**. Pour expliquer le mouvement du Soleil, de la Lune ou de certaines étoiles, il crée des astres « errants » en opposition à d'autres astres immobiles qui sont « incrustés » dans la voûte céleste. Ensuite, Eudoxe de Cnide (408-355 av. J.-C.) élabore la **théorie d'un cosmos géocentrique**. Dans cette théorie, le **cosmos est alors une sphère dont le centre coïncide**

avec le centre de la Terre, elle-même sphérique. Les éléments les plus « lourds », tels que la terre et l'eau convergent vers ce centre ; alors que des éléments plus légers, tels que l'air et le feu, s'en éloignent. Dans cette vision du cosmos, la Lune, le Soleil et les planètes connues à l'époque (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne) se situent alors entre la Terre, centre du monde et la voûte étoilée qui en constitue toujours sa circonférence extérieure. Pour expliquer les mouvements de chaque astre, il les imagine enchâssés dans un système, propre à chacun, de sphères animées d'un mouvement de rotation et centrées sur la Terre.

Enfin, Aristarque de Samos (310-230 av. J.-C.) est le premier à envisager une **théorie héliocentrique du cosmos**. Mais celle-ci n'est pas considérée sérieusement car elle choque la conception philosophique du monde antique.

Après l'effondrement des Empires grecs et romains, ces connaissances sont reprises dans les sciences arabes. En revanche, dans le monde chrétien, le modèle de Millet est repris car il est plus conforme aux doctrines religieuses de l'époque. Dans le monde chrétien, il faut attendre la Renaissance, avec Nicolas Copernic (1473-1543), pour que la **théorie héliocentrique du cosmos** – dans laquelle le Soleil prend la place de la Terre – refasse surface. Cette théorie, jugée blasphématoire, essuie pendant longtemps les foudres de l'Inquisition romaine. De nombreux savants passent par le bûcher ou en réchappent de peu – Galilée doit se rétracter en 1633 – pour avoir adhéré à cette théorie. Elle finit cependant par s'imposer peu à peu. **La Terre n'est donc plus alors le centre immobile du « monde » mais un astre tournant, comme les autres planètes, autour du Soleil qui, lui, est immobile.**

Cette théorie est complétée par René Descartes (1596-1650) qui énonce le **principe de « tourbillons » de matière entraînant les planètes** dans le même sens autour d'un centre unique représenté par le Soleil. Les améliorations techniques et scientifiques apportées par Galileo Galilei (1564-1642), Johannes Kepler (1571-1630) et Isaac Newton (1643-1727) permettent de remplacer ce principe intuitif et de poser les **bases fondamentales de la mécanique du mouvement des planètes**. Cependant, dans cette vision du « monde », **l'Univers reste limité au système solaire.**

Giordano Bruno (1548-1600) qui avance le concept révolutionnaire **selon lequel il existe une multitude de**

systèmes solaires dans un Univers infini, finit sur le bûcher. Il faut attendre Bernard le Bouyer de Fontenelle (1657-1757) et son *Entretien sur la pluralité des mondes* pour que cette théorie soit vulgarisée et rencontre un grand succès, sans pour autant qu'elle ne soit prouvée.

Avec le XX^e siècle et ses considérables avancées technologiques en matière d'image, de grandes découvertes ont pu être faites.

En 1929, Edwin Hubble (1889-1953) observe pour la première fois la galaxie d'Andromède et calcule la distance qui la sépare de la Voie lactée. Il est ainsi prouvé que l'Univers, n'est donc pas constitué que d'une seule galaxie mais d'un nombre considérable d'entre elles.

En 1995, le télescope spatial Hubble, envoie pour la première fois une image sur laquelle on peut **découvrir une exoplanète**. Depuis lors, environ 250 autres ont pu être observées, prouvant, 400 ans plus tard, le bien-fondé de la théorie de Giordano Bruno.

Ainsi, la perception qu'a l'homme de l'Univers qui l'entoure n'a cessé d'évoluer au cours de son histoire. Si cette évolution a d'abord été contrôlée par les instances religieuses, elle s'en est peu à peu émancipée sous l'influence de courants de pensée menés par les plus brillants philosophes, savants et lettrés, s'appuyant sur les progrès technologiques et scientifiques.

OUVRAGES ET PUBLICATIONS

- **Système solaire et exoplanètes**, DocSciences, CRDP de Versailles / CNES, juin 2008.
- AUZIAS (Jean-Michel), CHAFFARDON (Christophe), SARRAIL (Jean-Noël), **50 activités avec l'astronomie**, CRDP de Midi-Pyrénées, 2003.
- EBER (Régine), **Histoire de la cosmologie**, CRDP d'Auvergne, 2003.
- KOEBERL (Christian), **Ces bolides qui menacent notre monde ? Impacts météoritiques et cailloux ravageurs**, EDP Sciences, 2003.
- DIDES (Jean-Jacques), PELLEQUER (Bernard), PREBOIS (Georges), RICHARD (Alain), VERAN (Jean-Pierre), **La Terre dans le système solaire**, CRDP de Languedoc Roussillon, 2002.
- LUMINET (Jean-Pierre), **Le feu du ciel : météores et astéroïdes tueurs**, Édition du Cherche midi, 2002.
- HAINEAUX (Louis), **La Ronde des Planètes**, Rumeur des âges, 1991.
- GOUGUENHEIM (Lucienne), **Méthodes de l'astrophysique : comment connaître et comprendre l'Univers**, Hachette Éducation, 1981.
- Fascicules pour la formation des maîtres : **Observation des astres – Repérage dans l'espace et dans le temps – La lumière messagère des astres – Naissance, vie et mort des étoiles – Le système solaire – Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie**, CLEA (Comité de liaison enseignant astronomes).
- **Les terres célestes**, Dossier Pour la Science, n° 23, avril 1999.

SITES INTERNET

- <http://www.cnes-jeunes.fr/> : une mine d'or pour les recherches avec nos élèves sur tout ce qui concerne les connaissances sur l'espace mais aussi les applications que la recherche et l'exploitation spatiale permettent maintenant dans notre vie quotidienne.
- <https://www.imax.com/fr/about/experience/3d/> : présente très simplement (même si en anglais) le principe de la vision en 3D et du dispositif *Imax*®.
- <http://hubblesite.org/> : présente la technologie de ce télescope, les découvertes qu'il a permis de faire ainsi que sur son successeur programmé : Webb.
- <http://orbitmars.futura-sciences.com/> : visualise les derniers clichés de la planète Mars.
- <http://www.astrosurf.com/> : portail de l'astronomie amateur en France. C'est une mine dans laquelle vous trouverez des images fixes ou animées, un grand nombre de liens vers d'autres sites répertoriés par thèmes.
- <http://www.lpi.usra.edu/education/timeline/mural.shtml> : (en anglais) aide à la conception de la frise chronologique de l'histoire de l'Univers. Peut permettre de donner des idées d'illustration.
- <http://asd.gsfc.nasa.gov/archive/hubble/> : (en anglais) donne des informations très précises sur le télescope Hubble et propose aussi des images qu'il a permis d'obtenir.
- <http://solarsystem.nasa.gov/planets/index.cfm> : (en anglais) à la pointe des connaissances et de l'actualité à propos du système solaire.