

Itinéraire de visite

D'où vient la matière ?

De la 4ème à la terminale

Temps de visite : 1 heure 30

L'exposition permanente LE GRAND RÉCIT DE L'UNIVERS est organisée sur deux niveaux :

- la première partie de l'exposition, située à l'étage inférieur (niveau 2 d'Explora), raconte l'histoire de l'Univers à travers une enquête sur l'origine de la matière. Cette enquête débute sur Terre, par l'étude de roches issues de la croûte terrestre et de roches extraterrestres. Elle se poursuit dans les étoiles, les galaxies, puis dans le vide.
- le niveau supérieur de l'exposition permet de découvrir ou d'approfondir les lois physiques qui ont permis d'écrire cette histoire et de rencontrer les hommes qui les ont découvertes, notamment Newton et Einstein.

Ce questionnaire porte sur la presque totalité des éléments d'exposition du niveau inférieur. Les pages de réponses pourront être remises aux élèves après la visite.

OBJECTIFS

- Comprendre l'unité du vivant et du minéral, point de départ d'une enquête sur l'origine de la matière
- Chercher des indices dans le passé de la Terre, puis dans les étoiles et enfin le vide
- Remonter le temps, d'aujourd'hui à il y a 13,8 milliards d'années
- Sensibiliser à la très belle muséographie de l'exposition

ÉLÉMENTS utilisés dans l'exposition

Ce parcours utilise la presque totalité des éléments d'exposition du niveau inférieur :

- Roches terrestres (volcaniques, sédimentaires, métamorphiques) et roches extraterrestres
- Films, manipulations et logiciels interactifs
- Salle originale, en fin de parcours, permettant d'appréhender la notion du vide

Sommaire

Premier niveau : D'où vient la matière ?

L'enquête commence sur Terre...

Les roches volcaniques	p 2
Les roches sédimentaires	p 4
Les roches métamorphiques	p 5
Les méthodes de datation des roches	p 6
Que racontent les météorites ?	p 7

L'enquête se poursuit dans le ciel...

Etoiles, les apparences trompeuses	p 8
L'art de ranger les étoiles	p 8
La lumière des étoiles ; Les lumières des matières ; La matière des étoiles	p 9
La lumière infrarouge	p 10

... au-delà des étoiles, dans notre galaxie

La fuite des galaxies ; Un effet, deux interprétations	p 11
Attention, excès de vitesse	p 11
Au-delà des galaxies ?	p 12

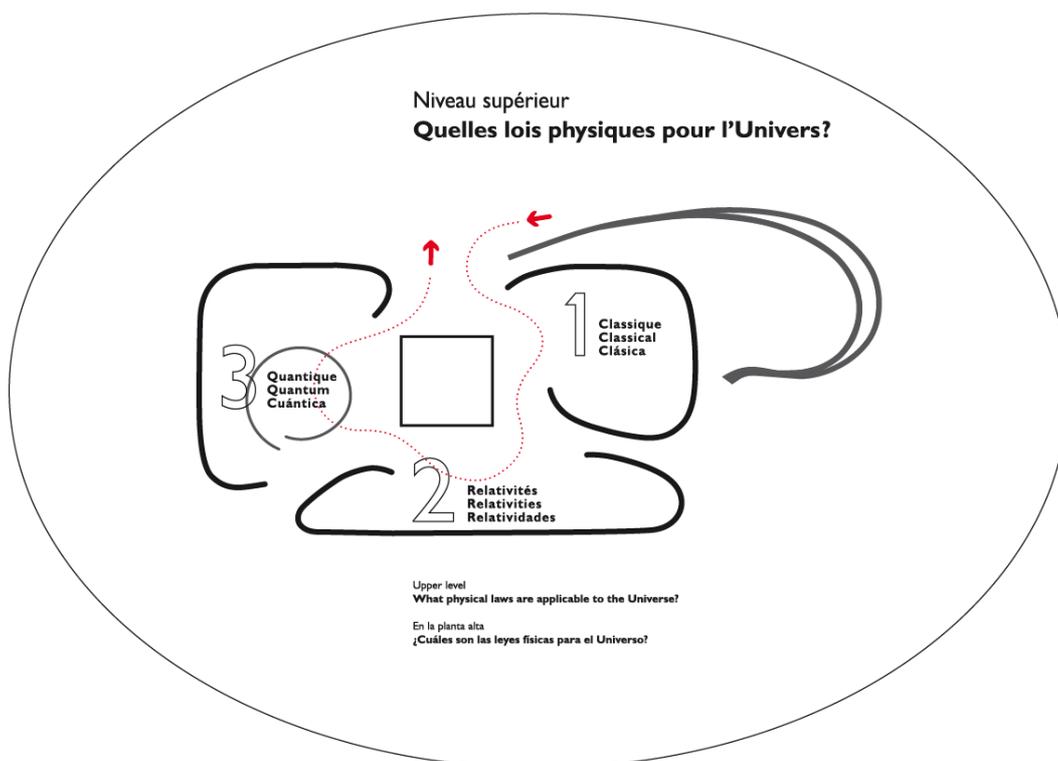
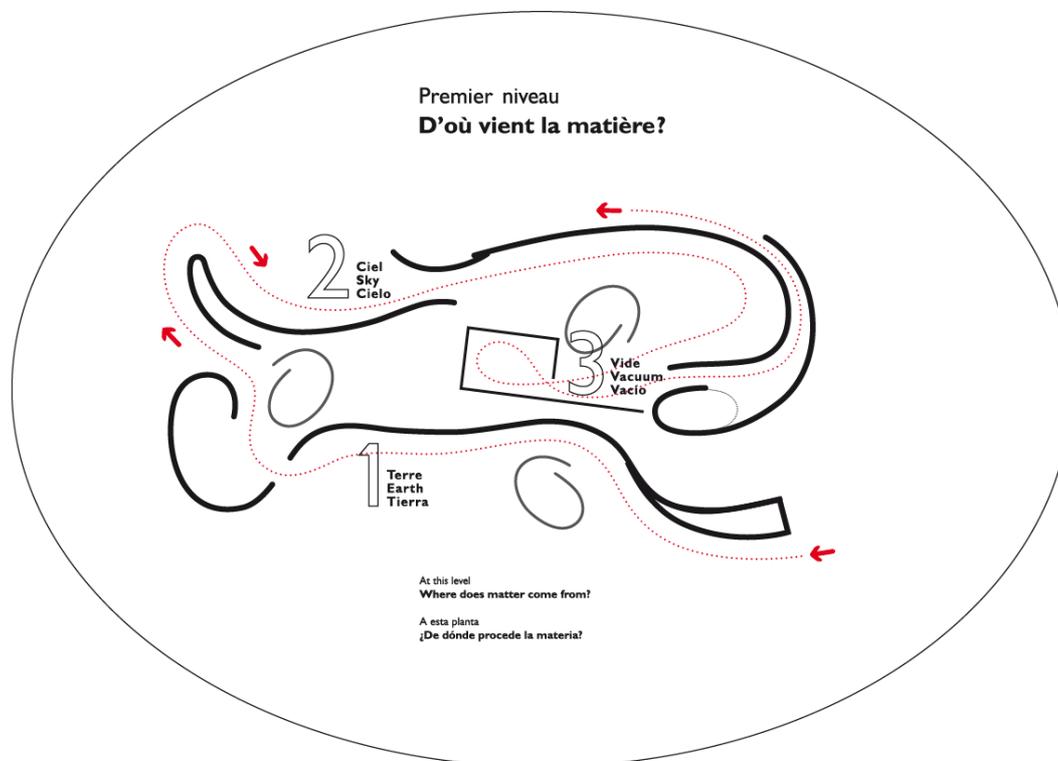
Et si la réponse était dans le vide ?

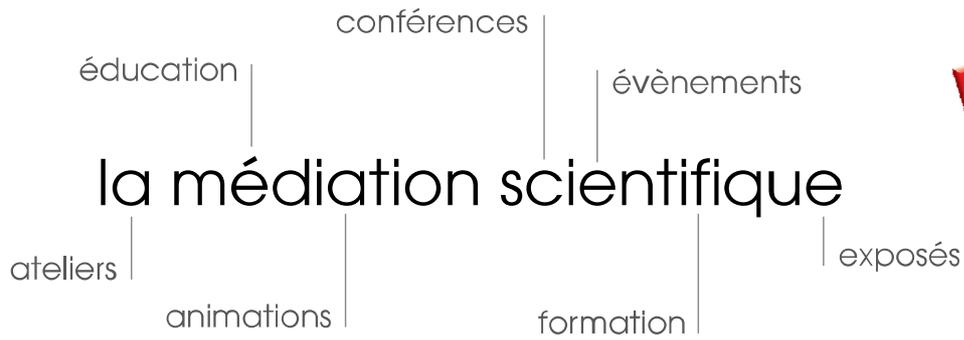
La plus vieille image du monde	p 13
--------------------------------	------

Deuxième niveau : Quelles lois physiques pour l'Univers ?

Présentation du deuxième niveau de l'exposition	P 14
---	------

LE PLAN DE L'EXPO





Itinéraire de visite

D'où vient la matière ?



La matière, qu'elle soit liquide, solide ou gazeuse, minérale ou végétale, de quoi se compose-t-elle ? D'où vient-elle ? A-t-elle toujours existé ?

Le questionnaire

Entrez dans l'exposition. Votre visite débute dans une petite salle qui a la forme d'un igloo (à gauche en entrant). Avancez vers le fond d'une rivière caillouteuse. Votre arrivée déclenche une voix off qui invite à vous interroger. Que raconte-t-elle ? La matière qui est en nous et autour de nous, l'eau que nous buvons, tout ce qui est sur Terre jusqu'aux plus lointaines étoiles ont en commun d'être faits des mêmes atomes. Cette unité est source d'un questionnement : **d'où vient la matière qui nous constitue et qui nous entoure ?** Cette question sera votre fil conducteur dans l'exposition. A vous de mener l'enquête. Une enquête qui commence sur Terre (Salle 1) avec des échantillons de roches bavardes, dans une ambiance qui évoque la Terre et son volcanisme, avec des couleurs ocre et des lumières rougeoyantes.

L'enquête commence sur Terre... (Salle 1)

Les roches volcaniques

Roches, les apparences trompeuses (Roches)

- 1 Qu'apprendre des roches volcaniques présentées sur le premier groupe de tables, à votre gauche en entrant ? Observez, touchez, comparez ces trois roches : le granite, la rhyolite et l'obsidienne. Elles se sont formées à partir...

... de magma ... de roche en fusion

- 2 Ces roches sont faites des mêmes minéraux. Pourtant, elles ne se ressemblent pas. Leurs différences d'aspects nous renseignent sur leur ...

âge région d'origine vitesse de refroidissement

Des roches record (Roches)

- 3 Quelle est la roche qui couvre les 2/3 de la surface de la Terre ?

Le basalte Le granite La pierre ponce

Où cette roche se forme-t-elle essentiellement ?



Basalte en coussin (Pillow lava).
Ces roches volcaniques se forment par refroidissement brutal de la lave dans l'eau.



Le volcan Tungurahua est l'un des 31 volcans en activité que compte l'Équateur (volcan de subduction à la frontière de la plaque Amérique du sud et celle de Nazca). Cette photo a été prise le 1^{er} novembre 1999.

Terre, planète active (Planisphère en relief)

- 4 Utilisez les boutons du planisphère et voyez comment sont répartis les zones de séismes et les volcans. Ils se superposent et délimitent à la surface de la Terre une dizaine de grandes zones géologiquement stables. Comment les nomme-t-on ?
-

Chaud dedans (Film individuel)

- 5 Tout bouge en profondeur et tout change en surface. Les mouvements de matière à l'intérieur de la Terre sont à l'origine du volcanisme et du déplacement des plaques tectoniques. Ces mouvements dits de "convection" se produisent au niveau...
- du noyau solidifié
 - du noyau liquide
 - du manteau
 - de la croûte terrestre
- 6 Certains volcans peuvent exister ponctuellement, hors des limites des plaques, au niveau des ...
- dorsales
 - zones de subduction
 - points chauds

Une roche qui ne perd pas le nord (Manipulation interactive) - Parole de basalte (Roche)

- 7 Le magnétisme d'un basalte ne correspond pas toujours au magnétisme du lieu où il est trouvé. Pourquoi ?
-
-



Stromatolithes - Les premiers stromatolithes fossilisés datent de plus de 3 milliards d'années. Ils sont la trace des premières formes de vies en colonies fixées.

La matière qui constitue les roches que nous venons d'interroger préexistait donc dans le magma. Intéressons-nous maintenant à un type de roche qui va nous raconter l'histoire de la vie sur Terre. Dirigez-vous vers le groupe de tables dédié aux roches sédimentaires, à côté des roches volcaniques que nous venons de quitter.

Les roches sédimentaires

Stromatolithes - *Mémoire de vies* (Roche)

- 8 Les stromatolithes se sont construits à partir d'algues et marquent un moment essentiel. Lequel ?
- L'augmentation de la concentration d'O₂ de l'océan
 - L'apparition de la vie

Rides d'oscillation - *Mémoires d'environnements* (Roche)

- 9 Caressez la surface de cette roche. Que vous rappelle-t-elle ? Quel est le principe de géologie qui permet de savoir qu'il y a 230 millions d'années, il était possible d'aller à la plage dans les Vosges ? Le principe...
- ... de l'actualisme
 - ... de superposition

Parole de corail (Fossile)

- 10 Le petit fossile situé à l'autre bout de cet ensemble de tables est un fragment de corail. Cet élément est fondamental dans notre enquête. Écoutez-le. Si vous trouviez un corail comme celui-ci, il vous donnerait des indices sur...
- son âge
 - la vitesse de rotation de la Terre



Dans cet échantillon d'éclogite, on distingue aisément les cristaux de grenat roses (pyrope) dans une matrice vert-bleuté principalement constituée de jadéite.

Les roches sédimentaires sont donc les mémoires de l'histoire de la Terre : mémoires de vies passées, de climats, d'environnements. Mais elles se forment à partir de matière préexistante. Interrogeons les roches métamorphiques posées sur un 3^e groupe de tables.

Les roches métamorphiques

Miroir de faille - Mémoires de plis - Parole d'éclogite (Roches)

- 11 Où peut-on trouver, entre autres, des roches métamorphiques ?

Parole d'éclogite (Roche)

- 12 Que traduit la présence de grenats dans cette éclogite ? (Où les grenats se forment-ils ?)

Les roches métamorphiques témoignent des transformations de roches préexistantes au long de périodes géologiques. Les 3 types de roches (magmatiques, sédimentaires, métamorphiques) montrent que la Terre recycle sa matière. L'enquête se poursuit. Rendez-vous autour d'un autre groupe de tables, à côté des roches sédimentaires, pour comprendre les méthodes de datation des roches.



Les paysages semblent figés mais ils se sont construits progressivement au cours de temps géologiques.

Comment donner un âge à la Terre ? Comment dater les événements géologiques ? Comment dater les roches ?

Les méthodes de datation des roches

Histoire de paysages (Multimédia interactif)

- 13 La reconstitution de l'histoire d'un paysage se construit selon les principes...
- de superposition
 - de recouvrement
 - d'érosion
 - de recoupement

Datation absolue (Manipulation interactive)

- 14 Ces principes constituent le moyen d'établir une chronologie relative, mais ils ne permettent pas de dater les événements géologiques. Quelle est la méthode qui mène à la datation absolue d'une roche (c'est-à-dire donner un âge à une roche) ?
-

Les âges de la Terre (Livre sonore)

- 15 A quel personnage doit-on la première datation absolue ? Quel âge donna-t-il à la Terre ?
- Lord Kelvin Ernest Rutherford Arthur Holmes
 - 40 millions d'années
 - 500 millions d'années
 - 1,6 milliard d'années
- 16 Au milieu du XX^e siècle, les géologues et les astronomes sont confrontés à une contradiction. Laquelle et pourquoi ?
-
-
- 17 Finalement, l'âge de la Terre sera estimé à 4,6 milliards d'années à partir d'analyses de ...
- météorites pierres lunaires



NGC 604, une nébuleuse à émission, pouponnière d'étoiles. Photo prise par le télescope *Hubble* en 1995. C'est dans une nébuleuse comme celle-ci que le Soleil et les planètes se sont formés il y a plus de 4,6 milliards d'années.

Les roches terrestres ont livré de nombreux messages mais l'histoire des couches profondes semblent inaccessibles. Les météorites, formées en même temps que la Terre, auront peut-être des informations à livrer. Avancez jusqu'à la salle dédiée aux roches extraterrestres.

Que racontent les météorites ?

- 18 Vous voici devant une grosse météorite de 80 kg, posée sur le sol. Touchez-la. Vous avez sous vos doigts une roche vieille d'au moins 4,5 milliards d'années ! Cette roche provient du disque d'accrétion qui a formé notre système planétaire. Dans cette météorite, nous retrouvons les mêmes atomes que sur Terre et dans les mêmes proportions. Comment s'appelle ce type de météorite ?
-

Matière extraterrestre (Roche) - Météorites (Roches et graphisme)

- 19 Regardez autour de vous. Les câbles symbolisent la chute des météorites sur Terre, auxquels sont accrochées de nombreuses pierres qui ont traversé l'atmosphère pour parvenir jusqu'à nous. Contrairement à la météorite que vous venez de toucher, qui est homogène, la plupart de ces météorites sont différenciées. A quelles parties de la Terre (croûte terrestre, manteau et noyau) ces 3 types de météorites sont-ils associés ?

Sidérites ->

Lherzolites ->

Achondrites basaltique ->

L'ensemble de notre système solaire est donc composé de la même matière. Qu'en est-il des autres étoiles ? L'enquête se poursuit dans le Ciel. Rendez-vous dans la salle suivante.

La Terre recycle sa matière, elle n'en fabrique pas. Sa matière existait lors de la formation du système solaire. L'enquête se poursuit dans le ciel. Où sont les étoiles ? Comment mesurer leurs distances ? Rendez-vous dans la salle 2, consacrée à la lumière des étoiles. L'espace est plus sombre, les lumières plus ponctuelles.

L'enquête se poursuit dans le ciel... (Salle 2)

Etoiles, les apparences trompeuses (Maquette)

- 20 Devant vous, une vitrine dans laquelle vous reconnaissez une partie de la constellation de la Grande Ourse. Une constellation est une figure empruntée aux mythologies, formée par des étoiles reliées entre elles. Depuis la Terre, depuis l'oculaire, les étoiles symbolisées par des billes coïncident avec le dessin de la Grande Ourse. Mais cet élément d'exposition nous permet de changer de point de vue. Loin de la Terre, que constatez-vous ?
-

Qu'est-ce qu'une étoile ? Comment fonctionne-t-elle ? Pour répondre, retrouvez le diagramme d'Hertzsprung-Russell. L'élément à trouver s'appelle : "L'art de ranger les étoiles".

L'art de ranger les étoiles (Diagramme)

- 21 Ce diagramme classe les étoiles suivant...
- leurs luminosités leurs températures
- 22 Sur ce diagramme, la majorité des étoiles représentées par des points sont regroupées dans une bande étroite et inclinée appelée...
-
- 23 C'est là que commence la vie d'une étoile, lorsque se déclenche des processus de fusion thermonucléaire qui engendrent une libération d'énergie sous forme de lumière et de chaleur. Les étoiles transforment alors leur hydrogène en hélium. Mais elles diffèrent par leurs couleurs, qui sont un indicateur de température de surface. Les étoiles bleutées ont une température d'environ 20 000 degrés alors que les étoiles rouges ont une température superficielle d'environ 3 000 degrés. Suivez le cycle de vie d'une étoile moyenne, par exemple notre soleil. D'ici 5 milliards d'années, lorsqu'elle aura consommé la totalité de son hydrogène, notre étoile enflera, elle deviendra une géante rouge, pour ensuite s'effondrer et terminer sa vie en...
- trou noir naine blanche



Détail d'un rémanent de supernova dans les voiles, résultat de la mort d'une étoile de grande masse. © David Malin

- 24 Une étoile de type "soleil" est capable de transformer l'hydrogène en éléments plus lourds, mais elle ne peut dépasser le stade de l'atome de fer. En revanche, une étoile beaucoup plus massive va mourir en explosant et créer les éléments les plus lourds. C'est ce que l'on appelle une...

- nébuleuse planétaire
- supernova

Comment savons-nous tout cela ? En étudiant ce qui nous parvient des étoiles : leurs lumières. Retrouvez l'élément "La lumière des étoiles" pour réaliser une expérience historique : la décomposition de la lumière à travers un prisme de verre.

La lumière des étoiles

- 25 Qui démontra, en 1672, que la lumière blanche du Soleil est un mélange de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel ?

- Isaac Newton
- Huygens

Les lumières des matières - La matière des étoiles

- 26 Cette expérience n'est pas assez précise pour analyser finement la lumière. Dirigez-vous vers une autre table. L'élément à retrouver s'appelle "La lumière des matières". Appuyez sur un bouton, le xénon par exemple, et regardez la "fenêtre" devant vous, qui est un réseau optique. Vous observez des raies de lumière. Appuyez sur les autres boutons correspondants à l'hydrogène, l'azote, le sodium ou l'oxygène et comparez les raies. Vous constatez qu'elles sont...

- identiques
- différentes

Nous avons là un outil formidable pour analyser la lumière des étoiles. Vous allez pouvoir vérifier la composition chimique du Soleil avec l'élément "La matière des étoiles".

Vous disposez du spectre d'absorption issu de l'observation du Soleil et du spectre d'émission de plusieurs atomes. Découvrez lesquels sont présents dans l'atmosphère du Soleil.

Votre portrait en infrarouge
Les données thermiques recueillies sont traitées informatiquement et rendues visibles sur écran, sous forme d'images colorées artificiellement. © CSI



Si l'on regarde le spectre de toutes les étoiles, on retrouve les mêmes atomes que sur Terre. Mais toutes ces étoiles font partie de notre galaxie, la Voie lactée. Qu'en est-il des autres galaxies ? Avant de le découvrir dans la salle suivante, arrêtez-vous devant la camera infrarouge.

La lumière infrarouge

Nous venons de voir le spectre visible. Mais la lumière fait partie d'une famille plus vaste : les ondes électromagnétiques. Prenons une lumière rouge et allongeons sa longueur d'onde. On obtient de l'infrarouge. Cette lumière est invisible pour nos yeux mais c'est elle qui permet par exemple à votre télécommande de téléviseur de fonctionner.

Vous avez devant vous une camera infrarouge, capable de "voir" la chaleur et de la traduire dans le domaine visible pour nos yeux, sous forme d'images colorées artificiellement. Appuyez votre main sur le mur pendant quelques secondes puis retirez-la. Vous pouvez voir à l'écran l'empreinte thermique de votre main. En astronomie, les infrarouges permettent de voir l'empreinte thermique de vieilles étoiles aujourd'hui disparues. De même, de l'autre côté du spectre, il y a les ultraviolets. La lumière de cette salle est dans le proche ultraviolet. C'est ce que l'on appelle communément la lumière noire.

Les astronomes observent le ciel avec l'ensemble du spectre électromagnétique. Chaque tranche donne des renseignements précieux.

Dirigeons-nous vers la salle suivante, dédiée aux galaxies.



Edwin Hubble au début des années 20, derrière le plus puissant télescope à l'époque, le télescope Hooker de 2,50 m du mont Wilson. Les observations réalisées avec ce télescope en 1923-1924 lui permettront d'établir que les "nébuleuses" observées précédemment avec des télescopes moins puissants ne font pas partie de notre galaxie mais constituent d'autres galaxies éloignées. Quelques années plus tard, Hubble énonce sa fameuse loi sur l'expansion de l'Univers.

... au-delà des étoiles, dans notre galaxie.

Les étoiles de notre galaxie, la Voie Lactée, sont composées de matières semblables à celles présentes sur Terre. Qu'en est-il des autres galaxies ?

La fuite des galaxies (Interactif informatique) ; Un effet, deux interprétations

- 27 Si l'on applique aux galaxies la même méthode d'analyse de la lumière, on mesure les mêmes raies de lumière - elles sont donc composées de la même matière que la Voie Lactée - à la différence près qu'elles sont toutes décalées vers le rouge. Prédit par Hippolyte Fizeau en 1848, l'effet "Redshift" (en français : décalage vers le rouge) fut observé et mesuré sur les galaxies en 1929 par Edwin Hubble. Comment expliquer ce phénomène ?

Attention, excès de vitesse (Maquettes)

- 28 La maquette de gauche décrit le système solaire, avec le Soleil au centre et les planètes qui gravitent autour de lui. Kepler, au début du XVII^e, a énoncé plusieurs lois et la troisième nous apprend qu'il existe une expression mathématique liant leur période de révolution à leur distance au Soleil. Plus la planète est éloignée, plus sa révolution sera lente. Cette loi physique est-elle applicable à notre galaxie ? Sur la deuxième maquette, les astres les plus éloignés rattrapent et doublent les étoiles qui les précèdent. Ils tournent trop vite selon les lois de la physique classique. Pour expliquer cette vitesse de rotation excessive, les astrophysiciens ont imaginé qu'il manquait de la matière dans notre galaxie. Après calcul, ils en ont déduit l'existence de la matière noire, une matière invisible sous toutes les ongues d'onde qui devrait représenter...

20 % 50 % 90 % ...de la masse de l'Univers.

D'où viennent les galaxies ? Entrez dans une petite salle qui a la forme d'un igloo, pour entreprendre un voyage aux confins de l'Univers.

Au-delà des galaxies ?

Au moyen d'un écran tactile, quittez notre galaxie.

A 100 000 années-lumière de la Voie lactée, vous pouvez la voir dans sa totalité. Eloignez vous encore pour croiser les nuages de Magellan, à 240 000 années-lumière. A quelques 2,9 millions d'années-lumière, vous passez à côté de la galaxie d'Andromède, notre plus proche voisine. Poursuivez votre voyage dans l'espace et dans le temps. Vous êtes maintenant aux alentours des 5 milliards d'années-lumière de la Terre. Vous voyez donc l'Univers tel qu'il était il y a 5 milliards d'années. C'est alors que vous constatez que toutes les galaxies lointaines se rapprochent, se resserrent, comme provenant d'une origine commune.

Au cours de ce voyage, vous traversez de gigantesques bulles, délimitées par des amas de galaxies. Vous arrivez aux confins de l'observable. Vous êtes à 13 milliards d'années-lumière de notre galaxie, dans cette région proche de l'Univers primordial, où les galaxies sont petites, en cours de formation.

Mais même dans ces endroits les plus reculés de l'Univers, empreinte de la jeunesse de la matière, nous n'avons toujours pas accès à la genèse des premiers atomes.

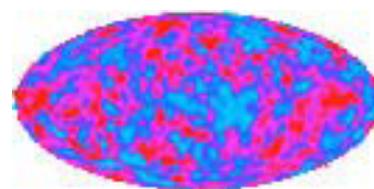


La galaxie d'Andromède

Quelle est l'origine de la matière ? Nous n'avons toujours pas la réponse. Nous avons exploré notre Univers, analysé les étoiles et les galaxies. Mais l'Univers est avant tout composé de vide. C'est ce que nous montre le cube situé à l'entrée de la prochaine et dernière salle. Sur chaque face est inscrite la masse volumique d'un objet. Celle d'une étoile à neutron est de 10^{15} g/cm³, soit l'ensemble de la chaîne des Alpes dans le petit centimètre cube présent au centre de ce cube. La masse volumique du Soleil est plus concevable : 1 g/cm³, comme l'eau. Celle d'une étoile de type géante rouge est extrêmement peu dense : 10^{-5} g/cm³. Mais ce n'est rien à côté d'une galaxie dont la masse volumique est de 10^{-23} g/cm³. Une galaxie, bien qu'immensément massive, est avant tout composée de vide ! C'est peut être dans ce vide que nous allons trouver la réponse à notre question de départ.

Entrez dans la petite salle éclairée par une lumière froide, réfléchiée par des miroirs au sol et au plafond. Cette salle est le reflet de l'Univers tel que nous le concevons.

Et si la réponse était dans le vide ?



Carte du ciel obtenu par COBE. © NASA

Les fluctuations observées rendent possibles les irrégularités dans un Univers qui n'est plus parfaitement homogène. Ces variations sont à la base d'un mécanisme d'instabilité de la gravitation qui, en rassemblant la matière, fait apparaître progressivement des structures comme les galaxies.

La plus vieille image du monde (Film)

- 29 Ce film raconte l'histoire de la découverte d'un rayonnement qui nous parvient des premiers instants de l'Univers, une petite chaleur dans laquelle nous baignons encore. En 1989 fut lancé le satellite COBE, qui avait pour mission de mesurer ce rayonnement fossile avec une résolution inégalée. Cet instrument spatial a fourni un spectre qui correspond avec une incroyable précision à celui d'un corps noir de température 2,73 kelvins. Cette lumière constitue une preuve que l'Univers est passé par une phase extrêmement dense et chaude, il y a...

- 1,35 milliards d'années
- 13,5 milliards d'années

Synthèse - D'où vient la matière ? L'enquête s'achève, le temps de la synthèse est venu. Installez-vous confortablement pour regarder un film qui conclut votre enquête, intitulé : "Il était une fois la matière" et qui débute ainsi : « Dans un verre d'eau, il y a de l'H₂O. Boire de l'eau, c'est boire un peu de l'aube de l'univers et c'est aussi s'abreuver au cœur des étoiles... ». Votre enquête est terminée mais la visite se poursuit à l'étage supérieur, consacré aux lois physiques de la matière.



Quelles lois physiques pour l'Univers ?

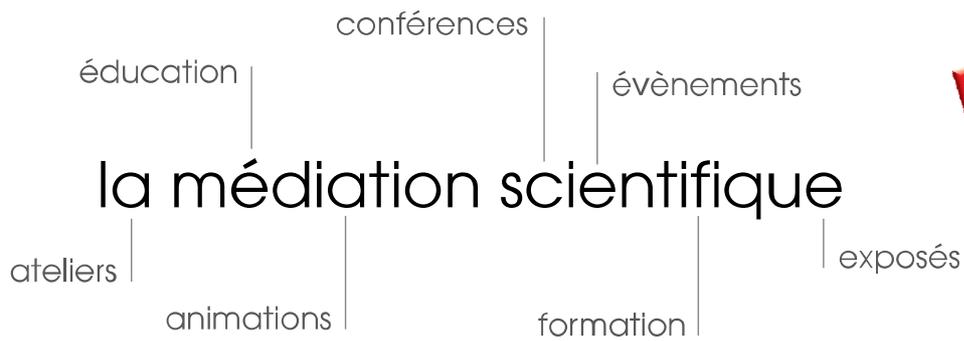
Deuxième niveau - Quelles lois physiques pour l'Univers ?

Le second niveau de l'exposition s'organise autour d'un élément central, sombre, qui évoque le questionnement. Autour de lui, trois espaces accueillent les trois physiques : classique, relativiste et quantique. L'exposition fait ainsi cohabiter ce que la science n'a pas encore réussi à unifier.

Les trois espaces sont organisés selon la même logique. Passée la galerie de portraits de scientifiques, vous êtes intégré(e) à une installation par le jeu et devenez acteur de votre propre apprentissage. « Nous avons voulu placer le visiteur dans la peau du chercheur. A chaque étape, nous le faisons réfléchir » déclare l'astrophysicien Marc Lachièze-Rey, l'un des trois commissaires scientifiques de l'exposition.

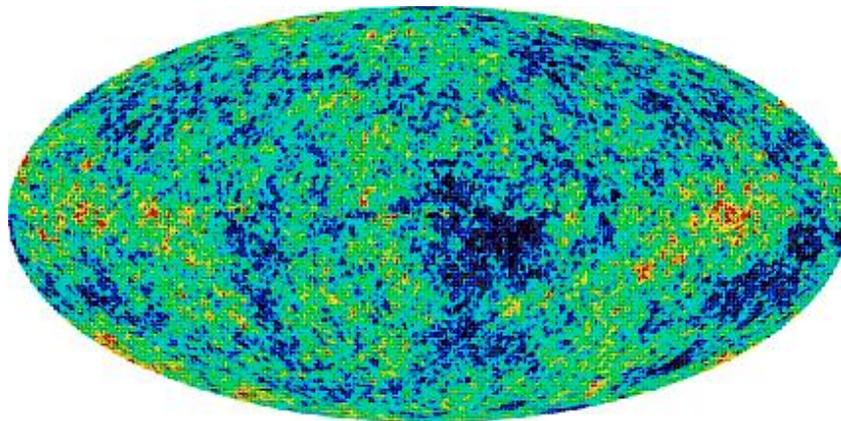
La suite de l'espace est organisée en tables de découvertes où vous pourrez participer à une démonstration, manipuler un dispositif, observer un objet, visionner un film, vivre une "expérience de pensée". Chaque espace est ponctué par un élément qui récapitule les principaux messages à proximité d'un endroit où vous pourrez vous poser et vous reposer. Nul besoin d'avoir des connaissances préalables pour comprendre. Il faut juste disposer d'un minimum de temps.

Terminez votre visite par deux œuvres d'art. La première s'appelle "Le cours des choses". Elle se trouve en haut du grand escalier par lequel vous êtes monté(e) à cet étage. Cette vidéo d'une trentaine de minutes montre que dans un atelier d'artiste un peu rustique, avec des objets du quotidien, de chaque chose découle une autre. Des objets s'enflamment, coulent, se percutent, bougent, se dissolvent. Vous pouvez vous installer confortablement pour regarder ce film. La seconde œuvre est de Felice Varini, un artiste suisse qui réalise des anamorphoses. Elle est située derrière la partie "Physique Quantique", en haut d'un escalier qui permet de descendre au niveau inférieur. Vous pouvez voir plusieurs arcs de peintures jaunes et rouges qui sont morcelés, éclatés sur l'architecture du bâtiment. A première vue, cela ne ressemble à rien, mais vous pouvez vous rendre compte qu'en un point extrêmement précis, au moment de redescendre, vous créez quelque chose avec ces fragments et surtout, vous êtes au centre d'une œuvre d'art.



Itinéraire de visite

D'où vient la matière ?



Cartographie de la lumière primordiale de l'Univers ou "Rayonnement cosmologique" par le satellite WMAP. © NASA-WMAP

Les réponses

L'enquête commence sur Terre... (Salle 1)

Les roches volcaniques

Roches, les apparences trompeuses

- 1 Qu'apprendre des roches volcaniques présentées sur le premier groupe de tables, à votre gauche en entrant ? Observez, touchez, comparez ces trois roches : le granite, la rhyolite et l'obsidienne. Elles se sont formées à partir...

... de magma ... de roche en fusion

Magma = roche en fusion contenant des gaz dissous

- 2 Ces roches sont faites des mêmes minéraux. Pourtant, elles ne se ressemblent pas. Leurs différences d'aspects nous renseignent sur leur ...

âge région d'origine vitesse de refroidissement

Le refroidissement fut brutal pour l'obsidienne, rapide pour la rhyolite et lente pour le granite.

Des roches record

- 3 Quelle est la roche qui couvre les 2/3 de la surface de la Terre ?

Le basalte Le granite La pierre ponce

Où cette roche se forme-t-elle essentiellement ?

Les laves basaltiques sont éjectées par le volcanisme de dorsales océaniques et se forment par refroidissement brutal du magma dans l'eau. C'est au niveau des dorsales océaniques que l'activité volcanique est la plus intense et que se forme le plancher océanique (lithosphère océanique).

Terre, planète active

- 4 Utilisez les boutons du planisphère et voyez comment sont répartis les zones de séismes et les volcans. Ils se superposent et délimitent à la surface de la Terre une dizaine de grandes zones géologiquement stables. Comment les nomme-t-on ?

Les plaques tectoniques ou lithosphériques.

Chaud dedans

- 5 Tout bouge en profondeur et tout change en surface. Les mouvements de matière à l'intérieur de la Terre sont à l'origine du volcanisme et du déplacement des plaques tectoniques. Ces mouvements dits de "convection" se produisent au niveau...

- du noyau solidifié
- du noyau liquide
- du manteau
- de la croûte terrestre

Le "moteur" à l'origine des mouvements des plaques terrestre est le phénomène de convection qui se produit au niveau du manteau. Il permet d'évacuer l'énergie interne de la Terre lors d'éruptions volcaniques et de séismes.

- 6 Certains volcans peuvent exister ponctuellement, hors des limites des plaques, au niveau des ...

- dorsales
- zones de subduction
- points chauds

La lave peut surgir au milieu d'une plaque : ce sont les points chauds.

Une roche qui ne perd pas le nord - Parole de basalte

- 7 Le magnétisme d'un basalte ne correspond pas toujours au magnétisme du lieu où il est trouvé. Pourquoi ?

Le basalte enregistre le champ magnétique terrestre du lieu où il refroidit. Lorsque la mémoire magnétique d'une roche n'a rien à voir avec le champ magnétique du lieu où elle est trouvée, on peut en déduire qu'elle est restée, depuis son refroidissement, sur une plaque qui a voyagé.

Les roches sédimentaires

Stromatolithes - Mémoire de vies

- 8 Les stromatolithes se sont construits à partir d'algues et marquent un moment essentiel. Lequel ?

- L'augmentation de la concentration d'O₂ de l'océan
- L'apparition de la vie

Les stromatolithes coïncident avec l'augmentation de la concentration d'O₂ de l'océan, provoquant à son tour l'augmentation de la composition d'oxygène dans l'atmosphère. Mais la vie était déjà apparue puisque les stromatolithes sont formés à partir des êtres vivants, les algues bleues.

Rides d'oscillation - Mémoires d'environnements

- 9 Caressez la surface de cette roche. Que vous rappelle-t-elle ? Quel est le principe de géologie qui permet de savoir qu'il y a 230 millions d'années, il était possible d'aller à la plage dans les Vosges ? Le principe...

... de l'actualisme ... de superposition

C'est le principe de l'actualisme selon lequel les événements du passé, notamment l'édification des couches géologiques, se sont déroulés selon les mêmes modalités que les événements actuels.

Parole de corail

- 10 Le petit fossile situé à l'autre bout de cet ensemble de tables est un fragment de corail. Cet élément est fondamental dans notre enquête. Ecoutez-le. Si vous trouviez un corail comme celui-ci, il vous donnerait des indices sur...

son âge
 la vitesse de rotation de la Terre

Ce corail, qui remonte au dévonien (il y a 370 millions d'années), indique grâce à ses fines stries journalières, que l'année durait à l'époque 400 jours au lieu de 365 jours $\frac{1}{4}$ (une journée durait 20 h au lieu de 24 h).

Les roches métamorphiques

Miroir de faille - Mémoires de plis - Parole d'éclogite

- 11 Où peut-on trouver, entre autre, des roches métamorphiques ?

Les roches métamorphiques se rencontrent au niveau des failles, là où la roche a été plissée et dans les zones anciennes de subduction.

Parole d'éclogite

- 12 Que traduit la présence de grenats dans cette éclogite ? (Où les grenats se forment-ils ?)

Les grenats sont des minéraux qui ne peuvent se former que dans les conditions de températures et de pressions rencontrées par les basaltes océaniques plongeant lors d'une subduction. Les grenats sont en effet des minéraux témoins de subduction. Cette éclogite a ensuite été remontée en altitude au cours d'événements à l'origine d'une chaîne de montagnes, qui a été érodée.

Histoire de paysages

- 13 La reconstitution de l'histoire d'un paysage se construit selon les principes...
- de superposition
 - de recouvrement
 - d'érosion
 - de recoupement

Datation absolue

- 14 Ces principes constituent le moyen d'établir une chronologie relative, mais ils ne permettent pas de dater les événements géologiques. Quelle est la méthode qui mène à la datation absolue d'une roche (c'est-à-dire donner un âge à une roche) ?

La radioactivité, un phénomène qui se produit au cœur des atomes qui composent la matière autour de nous, c'est-à-dire dans le noyau. Les géologues peuvent remonter le temps grâce à la désintégration radioactive de certains d'atomes.

Les âges de la Terre

- 15 A quel personnage doit-on la première datation absolue ? Quel âge donna-t-il à la Terre ?
- Lord Kelvin
 - Ernest Rutherford
 - Arthur Holmes
- 40 millions d'années
 - 500 millions d'années
 - 1,6 milliard d'années

Rutherford est le premier à réaliser une datation absolue de la Terre en mesurant l'hélium produit par la désintégration du radium dans une roche. Résultat : 40 millions d'années, un chiffre qu'il reverra à la hausse plus tard, en estimant l'âge de la Terre à 500 millions d'années.

- 16 Au milieu du XXe siècle, les géologues et les astronomes sont confrontés à une contradiction. Laquelle et pourquoi ?

L'âge de la Terre a longtemps été l'objet de débats passionnés entre les sciences de la Terre et les sciences physiques. Les géologues et les astronomes aboutissent à des résultats différents : les premiers lui donnent 3,4 milliards d'années alors que l'expansion de l'univers et la relation de Hubble suggèrent un univers plus jeune que la Terre, de 1,4 milliard d'année !

- 17 Finalement, l'âge de la Terre sera estimé à 4,6 milliards d'années à partir d'analyses de ...

météorites pierres lunaires

Que racontent les météorites ?

- 18 Vous voici devant une grosse météorite de 80 kg, posée sur le sol. Touchez-la. Vous avez sous vos doigts une roche vieille d'au moins 4,5 milliards d'années. Cette roche provient du disque d'accrétion qui a formé notre système planétaire. Dans cette météorite, nous retrouvons les mêmes atomes que sur Terre et dans les mêmes proportions. Comment s'appelle ce type de météorite ?

Les chondrites. Elles ne ressemblent à rien de ce que l'on connaît sur Terre. Elles ont pourtant en commun la densité (5,4) et la composition chimique.

Matière extraterrestre - Météorites

- 19 Regardez autour de vous. Les câbles symbolisent la chute des météorites sur Terre, auxquels sont accrochées de nombreuses pierres qui ont traversé l'atmosphère pour parvenir jusqu'à nous.

Contrairement à la météorite que vous venez de toucher, qui est homogène, la plupart de ces météorites sont différenciées. A quelles parties de la Terre (croûte terrestre, manteau et noyau) ces 3 types de météorites sont-ils associés ?

Sidérites -> Noyau

Lherzolites -> Manteau

Achondrites basaltique -> Croûte terrestre

L'enquête se poursuit dans le ciel... (Salle 2)

Etoiles, les apparences trompeuses

- 20 Devant vous, une vitrine dans laquelle vous reconnaissez une partie de la constellation de la Grande Ourse.
Une constellation est une figure empruntée aux mythologies, formée par des étoiles reliées entre elles. Depuis la Terre, depuis l'oculaire, les étoiles symbolisées par des billes coïncident avec le dessin de la Grande Ourse. Mais cet élément d'exposition nous permet de changer de point de vue. Loin de la Terre, que constatez-vous ?

La figure de la Grande Ourse disparaît, car les étoiles qui forment cette figure se situent en réalité à des distances différentes de nous. L'étoile la plus proche appartenant à la constellation de la Grande Ourse est Megrez. Elle est située à 52 années-lumière de la Terre. La plus lointaine est Alkaïd, à 150 années-lumière. Cela signifie que le petit grain de lumière, le photon qui nous parvient aujourd'hui d'Alkaïd, a quitté cette étoile il y a 150 ans.

En astronomie, les astronomes ont recours à l'année-lumière, distance parcourue par la lumière en une année. La lumière voyage à la vitesse de 300 000 kilomètres par seconde, soit 7 fois le tour de la Terre en une seconde.

L'art de ranger les étoiles

- 21 Ce diagramme classe les étoiles suivant...
- leurs luminosités leurs températures
- 22 Sur ce diagramme, la majorité des étoiles représentées par des points sont regroupées dans une bande étroite et inclinée. Comment la nomme-t-on ?
- C'est la séquence principale, où les étoiles passent la majeure partie de leur évolution. Le Soleil est l'une d'elles.
- 23 C'est là que commence la vie d'une étoile, lorsque se déclenche des processus de fusions thermonucléaires qui engendrent une libération d'énergie sous forme de lumière et de chaleur. Les étoiles transforment alors leur hydrogène en hélium. Mais elles diffèrent par leurs couleurs, qui sont un indicateur de température de surface. Les étoiles bleutées ont une température d'environ 20 000 degrés alors que les étoiles rouges ont une température superficielle d'environ 3 000 degrés.

Suivez le cycle de vie d'une étoile moyenne, par exemple notre soleil. D'ici 5 milliards d'années, lorsqu'elle aura consommé la totalité de son hydrogène, notre étoile enflera, elle deviendra une géante rouge, pour ensuite s'effondrer et

terminer sa vie en...

- trou noir naine blanche

D'ici 5 milliards d'années, notre soleil rejoindra la classe des géantes rouges puis celle des naines blanches, étoiles de faibles masses arrivées à la fin de leur vie, qui ne produisent plus d'énergie nucléaire.

- 24 Une étoile de type "soleil" est capable de transformer l'hydrogène en éléments plus lourds, mais elle ne peut dépasser le stade de l'atome de fer. En revanche, une étoile beaucoup plus massive va mourir en explosant et créer les éléments les plus lourds. C'est ce que l'on appelle une...

- nébuleuse planétaire
 supernova

La lumière des étoiles

- 25 Qui démontra en 1672 que la lumière blanche du Soleil est un mélange de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel ?

- Newton
 Huygens

Newton a été le premier à découvrir que la lumière du Soleil, dite "blanche", est composée de l'ensemble des couleurs, grâce à un prisme de verre qui permet d'étaler ce que l'on nomme "le spectre visible".

Les lumières des matières - La matière des étoiles

- 26 Cette expérience n'est pas assez précise pour analyser finement la lumière. Dirigez-vous vers une autre table. L'élément à retrouver s'appelle "La lumière des matières".

Appuyez sur un bouton, le xénon par exemple, et regardez la "fenêtre" devant vous, qui est un réseau optique. Vous observez des raies de lumière. Appuyez sur les autres boutons correspondants à l'hydrogène, l'azote, le sodium ou l'oxygène et comparez les raies. Vous constatez qu'elles sont...

- ... identiques
 ... différentes

Les raies de lumière différentes pour chaque atome, car chaque atome a sa propre signature spectrale, son code barre en quelque sorte.

... au-delà des étoiles, dans notre galaxie.

La fuite des galaxies ; Un effet, deux interprétations

- 27 Si l'on applique aux galaxies la même méthode d'analyse de la lumière, on mesure les mêmes raies de lumière - elles sont donc composées de la même matière que la Voie Lactée - à la différence près qu'elles sont toutes décalées vers le rouge. Prédit par Hippolyte Fizeau en 1848, l'effet "Redshift" (en français : décalage vers le rouge) fut observé et mesuré sur les galaxies en 1929 par Edwin Hubble. Comment expliquer ce phénomène ?

Par la fuite des galaxies. On observe pour la majorité des galaxies un décalage spectral vers le rouge - l'effet Redshift. Cela signifie qu'elles s'éloignent. Lorsque la source se rapproche, on observera un décalage vers le bleu - l'effet Blueshift.

L'effet Redshift peut avoir d'autres causes, par exemple l'expansion de l'Univers, qui en "allongeant" l'Univers, allonge aussi les longueurs d'ondes.

notre Univers est en expansion, ce qui semble présager une origine commune.

Attention, excès de vitesse

- 28 La maquette de gauche décrit le système solaire avec le Soleil au centre et les planètes qui gravitent autour de lui. Kepler, au début du XVII^e, a énoncé plusieurs lois et la troisième nous apprend qu'il existe une expression mathématique liant leur période de révolution à leur distance au Soleil. Plus la planète est éloignée, plus sa révolution sera lente. Cette loi est-elle applicable à notre galaxie ? Sur la deuxième maquette, les astres les plus éloignés rattrapent et doublent les étoiles qui les précèdent. Ils tournent trop vite selon les lois de la physique classique. Pour expliquer cette vitesse de rotation excessive, les astrophysiciens ont imaginé qu'il manquait de la matière dans notre galaxie. Après calcul, ils en ont déduit l'existence de la matière noire, une matière invisible sous toutes les longueurs d'onde qui devrait représenter...

20 % 50 % 90 %

... de la masse de l'Univers.

Les astrophysiciens distinguent :

- D'une part la matière ordinaire visible (protons, neutrons, électrons, muons, photons, etc.), dont sont constituées les planètes, les étoiles, les galaxies, les nébuleuses, etc.

- D'autre part la matière dite "noire", qui constitue la masse manquante de l'Univers. La vitesse de rotation des

galaxies, par exemple, ne peut s'expliquer par la seule présence de la matière observable, donc sans l'existence de la matière noire. Elle inclut la matière ordinaire invisible (comme les naines brunes* ou les trous noirs*) et de la matière exotique, pouvant être composée de nouvelles particules. La matière ordinaire, visible et invisible, représente 4 à 5% de la matière totale de l'Univers.

*Naine brune : Etoile froide de faible masse, incapable de déclencher des réactions nucléaires.

*Trou noir : Objet extrêmement dense qui courbe l'Univers, piégeant la matière et la lumière autour de lui. Il est le résidu d'une étoile de grande masse qui s'est effondrée à la fin de sa vie. On suppose que le centre de nombreuses galaxies abrite un trou noir super massif.

Et si la réponse était dans le vide ?

La plus vieille image du monde

29 Ce film raconte l'histoire de la découverte d'un rayonnement qui nous parvient des premiers instants de l'Univers, une petite chaleur dans laquelle nous baignons encore.

En 1989 fut lancé le satellite COBE, qui avait pour mission de mesurer ce rayonnement fossile avec une résolution inégalée. Cet instrument spatial a fourni un spectre qui correspond avec une incroyable précision à celui d'un corps noir de température 2,73 kelvins. Cette lumière constitue une preuve que l'Univers est passé par une phase extrêmement dense et chaude, il y a...

1,35 milliards d'années

13,5 milliards d'années

A la suite de COBE, le satellite WMAP réalisa le 30 juin 2001 une image plus fine encore de notre Univers, lorsqu'il était à peine âgé de 380 000 ans, ce qui a permis de situer sa naissance à 13,7 milliards d'années, avec une marge d'erreur de l'ordre de 2 %.



Le livre de l'exposition : Le grand récit de l'Univers

Poursuivez votre découverte de l'exposition...

- Avec les activités de médiation conduites par les médiateurs scientifiques de la Cité des sciences et de l'industrie : une visite guidée et cinq ateliers (Silence on tourne ! - La carte du ciel - Plein feu sur la lumière - La quantique, c'est fantastique ! - Supraconduction). Cette liste est susceptible de modification. Ces activités sont disponibles sur réservation : 01 40 05 12 12.
- L'offre du site web www.universcience.fr
Lien direct vers les pages dédiées à l'exposition « Le grand récit de l'Univers » :
<http://www.cite-sciences.fr/fr/au-programme/expos-permanentes/expos-permanentes-dexplora/le-grand-recit-de-lunivers/>
- A la bibliothèque de la Cité des sciences et de l'industrie (accès gratuit, niveau - 1)
- Avec le livre de l'expo : « Le Grand récit de l'univers » par Bénédicte Leclercq, Laurent Jolivet, Etienne Klein, Marc Lachièze-Rey, Roland Lehoucq, préface de Michel Serres, Cité des sciences et de l'industrie / Le Pommier

Comment s'est formée la matière ? Celle qui constitue notre corps ? Celle que nous foulons ? Et celle des étoiles ? Début 2008, la Cité ouvre une nouvelle exposition permanente sur la matière et l'Univers qui tient compte des dernières avancées scientifiques. Un beau-livre abondamment illustré « Le Grand Récit de l'Univers » accompagne cette nouvelle exposition. Cette enquête sur la matière qui constitue les objets de l'Univers débute aujourd'hui et sur la Terre, puis se déroule dans les étoiles, les galaxies et dans le vide extragalactique. En parallèle du récit précis et poétique de Bénédicte Leclercq, les questions de science contemporaine sont aussi abordées par les quatre commissaires de l'exposition : Laurent Jolivet, Roland Lehoucq, Marc Lachièze-Rey et Étienne Klein.