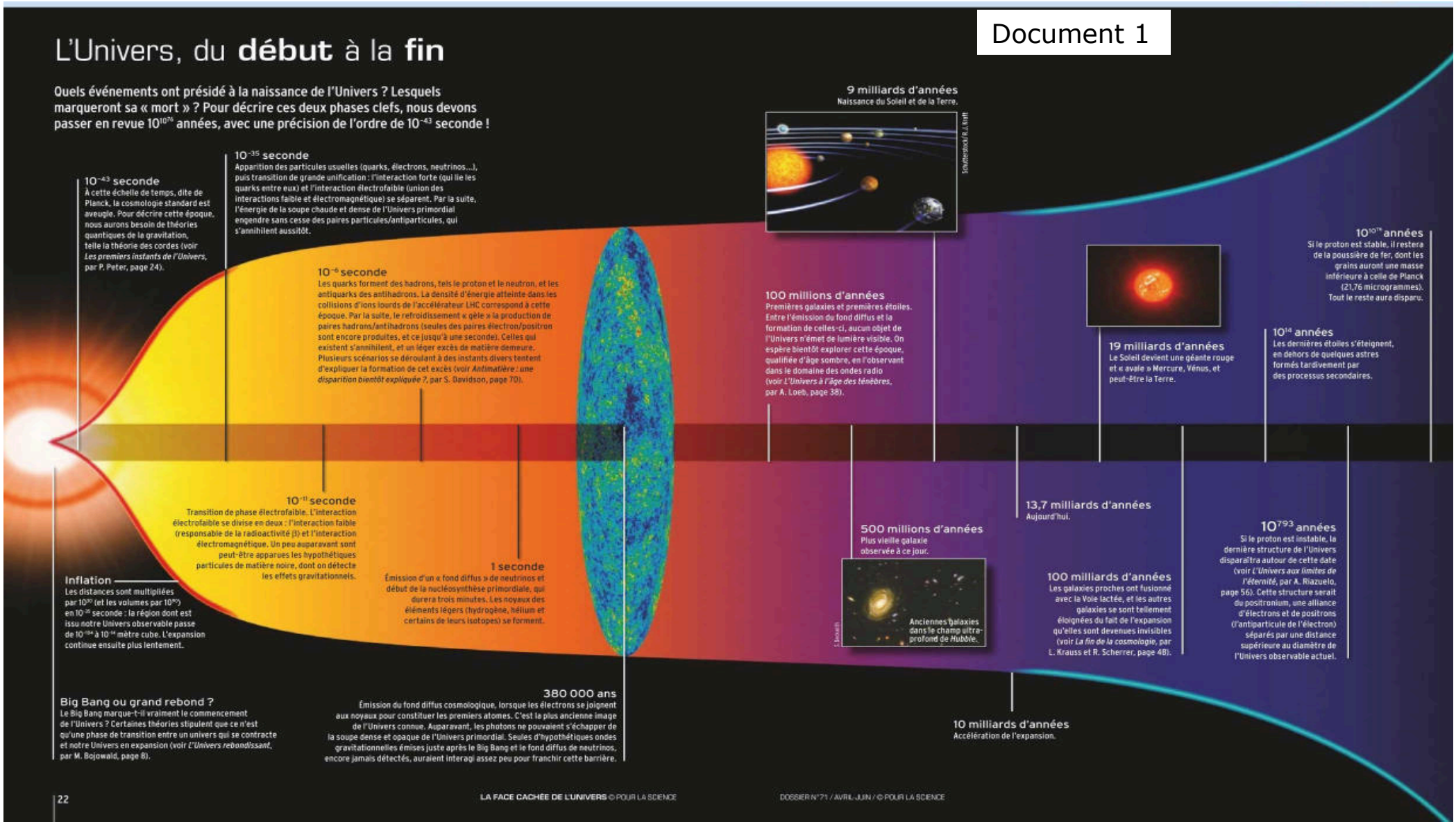
La matière dans l'Univers

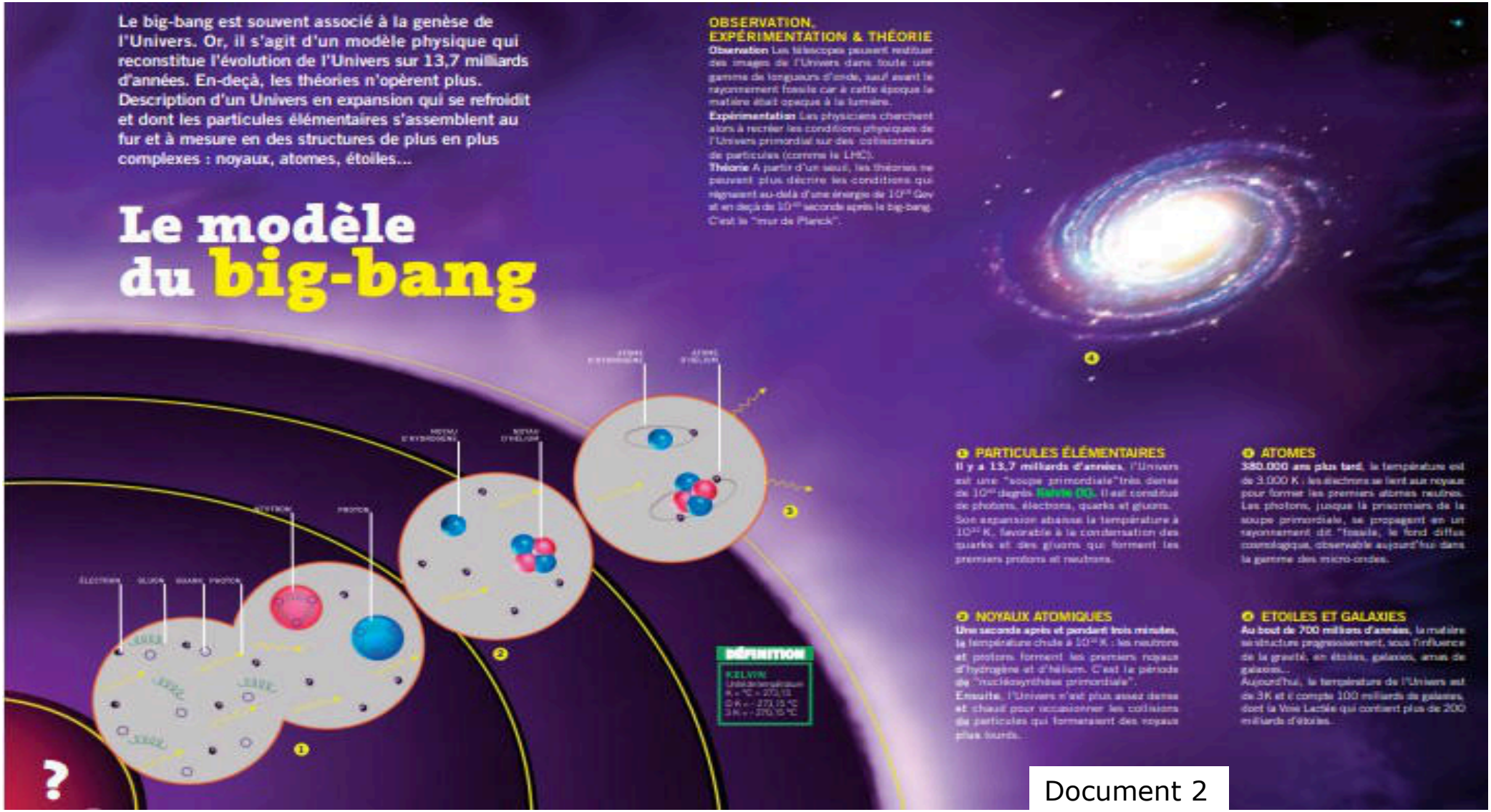
https://www.youtube.com/watch?v=16TAR3rji5E Une petite vidéo « C'est pas sorcier » avant de commencer (43 minutes)

I) Naissance et expansion de l'Univers :

Document 1



1) Quand l'Univers serait-il né ? *D'après la théorie du Big-Bang, l'Univers serait né il y a 13,7milliards d'années.*
2) Au bout de combien de temps les atomes sont-ils apparus ? *Les atomes sont apparus au bout d'environ 380 000 ans.*
3) Au bout de combien de temps les premières étoiles sont-elles apparues ? *Elles sont apparues au bout de quelques centaines de millions d'années après le big-bang.*
4) A quelle génération d'étoiles notre Soleil appartient-il ? *Notre Soleil est une étoile de 2ème génération : le Soleil est né de l'explosion d'une supernova. Le début de la formation de notre système solaire s'est produit il y a environ 4,7 milliards d'années.*



Document 2

L'évolution de l'Univers

Il y a environ 13,8 milliards d'années, toute la matière est concentrée en un seul point où la température et la densité sont immensément grandes. Selon la théorie du Big Bang, une gigantesque explosion survient et libère cette matière ainsi qu'une énorme quantité d'énergie (Fig. 1). C'est la naissance de notre Univers. Celui-ci passe alors de la taille d'un point à celle de dix fois notre galaxie en une fraction de seconde ! Quelques secondes après, les protons, neutrons et électrons se forment, puis apparaissent les éléments chimiques les plus légers : hydrogène et hélium qui représentent, aujourd'hui encore, 99 % de tous les atomes de l'Univers.

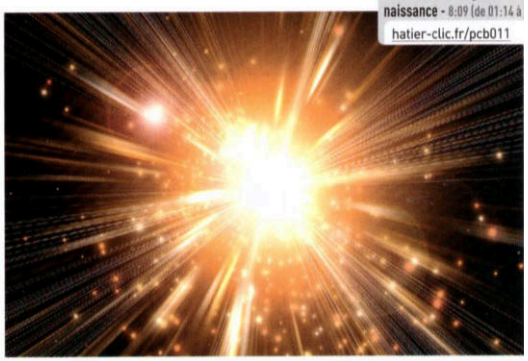


Fig. 1 : Représentation artistique du Big Bang.

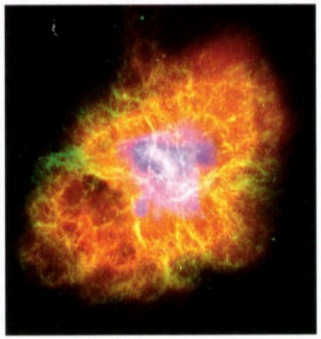


Fig. 2 : Une supernova, vue d'artiste.

Après environ 200 millions d'années, la gravitation rassemble ces atomes pour constituer les étoiles. C'est au cœur de ces étoiles que se formeront les autres éléments chimiques du tableau périodique, jusqu'au fer. Les éléments plus lourds seront ensuite formés lors d'explosions d'étoiles, phénomènes appelés « supernova » (Fig. 2).

Les premières galaxies, dont la nôtre, la Voie lactée, se forment il y a environ 13,2 milliards d'années, toujours sous l'effet des forces de gravitation qui rassemblent des astres (Fig. 3). Depuis son état initial, l'Univers tout entier est en expansion : les galaxies s'éloignent les unes des autres et, aujourd'hui, on ne sait toujours pas si l'Univers est fini ou infini...

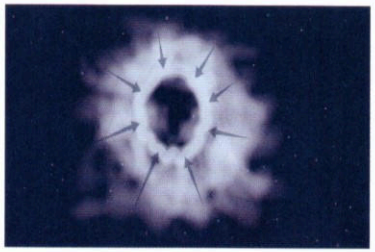


Fig. 3 : La galaxie du Sombrero.

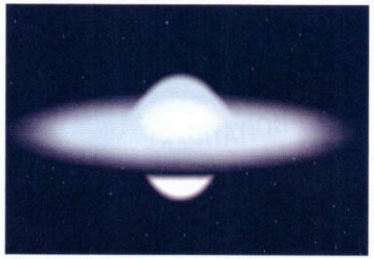
Document 3

La formation du système solaire

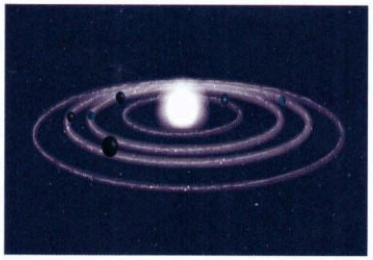




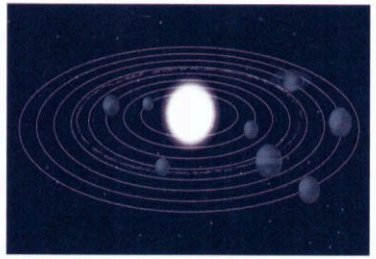
Il y a environ 4,6 milliards d'années, dans la Voie lactée, un nuage de gaz et de poussières appelé « nébuleuse solaire » se contracte sous l'effet des forces de gravitation. Cette contraction est déclenchée par l'onde de choc de l'explosion d'une étoile voisine.



La nébuleuse prend alors la forme d'un disque aplati avec en son centre un renflement plus dense et plus chaud où se concentre l'essentiel de la masse. La température de cette région centrale augmente progressivement jusqu'à atteindre plus de 10 millions de degrés : le Soleil naît et commence à briller.



Cependant, toute la matière présente dans la nébuleuse ne se condense pas pour former le Soleil. Il reste des grains de poussières, en rotation autour du Soleil, qui s'agglomèrent sous l'effet des forces de gravitation jusqu'à former de petits corps appelés « planétésimaux ».



Toujours sous l'effet des forces de gravitation, les planétésimaux s'associent pour donner naissance aux différents astres (planètes, satellites, astéroïdes) du système solaire. Il aura fallu plus de 100 millions d'années pour que les poussières en rotation autour du Soleil forment les planètes.
Ce n'est que 500 millions d'années plus tard que les planètes se positionnent dans le système solaire tel que nous le connaissons aujourd'hui.

Document 4

II) Les éléments présents dans les objets de notre système solaire :

L'origine des éléments

Selon la théorie du Big Bang, c'est suite à une gigantesque explosion (qui aurait donné naissance à l'Univers, voir p. 70) que des protons et des neutrons sont créés. Ils se regroupent alors et forment les premiers et plus simples éléments chimiques : l'hydrogène et l'hélium. Il faudra attendre plus de cent millions d'années pour que des éléments chimiques plus lourds (carbone, azote, oxygène, bore, etc.) se forment au sein des étoiles.

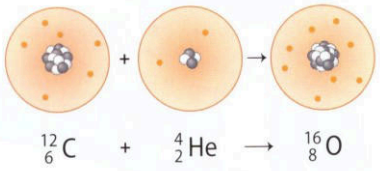


Fig. 1 : Formation de l'oxygène à partir du carbone et de l'hélium.

Document 5

La composition de l'Univers

Éléments chimiques (en pourcentage)					
Univers		Soleil		Terre	
H	90	H	93,8	Fe	32,1
He	9	He	6	O	30,1
O	0,10	O	0,06	Si	15,1
C	0,06	C	0,04	Mg	13,9
Ne	0,012	Ne	0,004	S	2,9
N	0,010	N	0,007	Ni	1,8
Mg	0,005	Mg	0,004	Ca	1,5
Si	0,005	Si	0,005	Al	1,4
Atmosphère terrestre		Eau de mer		Corps humain	
N	78	H	66	H	61
O	21	O	33	O	24,1
C	0,0015	Cl	0,33	C	12,6
Ar	0,45	Na	0,28	N	1,4
		Mg	0,036	P	0,25
		S	0,017	Ca	0,24
		Ca	0,006	S	0,05
		K	0,006	Na	0,04
				K	0,03

Remarque Ces données indiquent les éléments chimiques les plus présents ; d'autres, à l'état de traces, n'apparaissent pas dans le tableau.

D'où vient la matière des premières étoiles ?
hatier-clic.fr/pca029

Questions

Comprendre

1. Tous les éléments chimiques sont-ils apparus en même temps ?
2. Quel est l'élément chimique le plus abondant dans l'Univers et dans le Soleil ?
3. Nomme les deux éléments les plus abondants dans l'atmosphère terrestre.

Raisonner

4. Rappelle la composition simplifiée de l'air. Justifie alors ta réponse à la question 3.

Conclure

5. Les éléments chimiques sont-ils répartis dans les mêmes proportions dans tout l'Univers ? Quels sont les deux plus abondants ?

Document 6

4 Météorites : des roches extraterrestres



En exploitant les informations ci-dessous et en utilisant tes connaissances, détermine quels éléments chimiques composent la météorite de Tamentit. Tu feras apparaître les étapes de ton raisonnement dans un compte rendu détaillé.

Différenciation
Indices à distribuer
Manuel numérique enseignant

Doc. 1

Animation cea
Les météorites : des corps rocheux
hatier-clic.fr/pca030

La météorite de Tamentit

Une météorite est un fragment d'astéroïde, de taille très variable, qui s'écrase sur Terre à très grande vitesse (entre 11 et 30 km/s en moyenne). En entrant dans l'atmosphère, les frottements avec l'air sont tels qu'ils provoquent la fusion de la roche et lui donnent un aspect lisse.
La météorite de Tamentit est tombée en plein Sahara il y a plusieurs siècles et a été découverte en 1864 dans le désert algérien. Pesant plus de 510 kg pour seulement 0,068 m^3, cette roche extraterrestre très dense et âgée de plus de 4,6 milliards d'années daterait de la même époque que la naissance du système solaire.

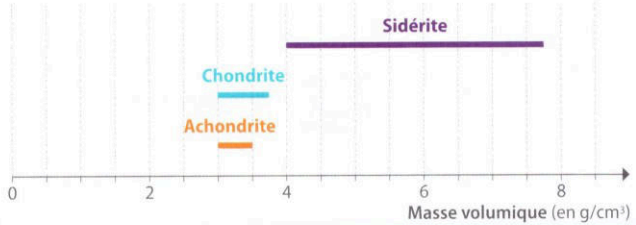


La météorite de Tamentit, exposée à Vulcania (Puy-de-Dôme).

Doc. 2

Classer les météorites

Plusieurs méthodes permettent de classer les météorites suivant leur composition chimique.
La détermination de leur masse volumique permet un premier classement.



Sidérite : composée principalement de fer et de nickel.
Chondrite : composée d'argile, de calcium et de silicium. Teneur en métal inférieure à 35 %.
Achondrite : riche en calcium, silicium et magnésium. Faible teneur en métal.

En étudiant ce document, on se rend compte que le Soleil est majoritairement constitué d'hydrogène et d'hélium, tout comme l'Univers. Les planètes comme la Terre contiennent majoritairement des éléments beaucoup plus lourd (fer, oxygène, silicium). Ceci s'explique par la manière dont la matière évolue dans l'Univers lorsqu'une étoile meurt et par les différentes forces mises en jeu lors de la formation d'une nouvelle étoile (et des éventuelles planètes qui tournent autour). La Voie Lactée, notre galaxie, a commencé sa formation il y a environ 13 milliards d'années (ses premières étoiles se sont formées à ce moment).

Documents 3 et 4 : Dans une étoile massive, peuvent être synthétisés par réaction de fusion nucléaire de l'hélium mais aussi des éléments plus lourds que l'hélium (carbone, oxygène, azote…). Mais pendant que l'étoile vit, elle ne peut pas fabriquer des atomes plus lourds que le fer.

Notre Soleil est une étoile de 2nde génération : sa matière provient d'une supernova, c'est-à-dire de l'explosion d'une étoile très massive. Lors de cette explosion, des atomes plus lourds que le fer ont été formés. Dans la Voie Lactée, toute cette matière (appelée nébuleuse solaire et formée d'un amas de gaz et de poussières) rejetée par la supernova s'est progressivement enroulée sur elle-même sous l'effet des forces de gravitation (et grâce à l'onde de choc provoquée par l'explosion d'une étoile voisine (Doc.4). Cela se passait il y a environ 4,7 milliards d'années. Les poussières et les éléments les plus lourds sont restés en périphérie tandis que les atomes les plus légers se sont concentrés au centre de l'amas. La température, au centre de l'amas de matière, a augmenté considérablement et lorsqu'elle a atteint une dizaine de millions de degrés, des réactions de fusion nucléaire ont débuté : notre Soleil venait de naître. Lentement (en 100 millions d'années environ), les éléments plus lourds restés en périphérie se sont également regroupés et ont formé les planètes de notre système solaire.

III) Notre adresse dans l'Univers :

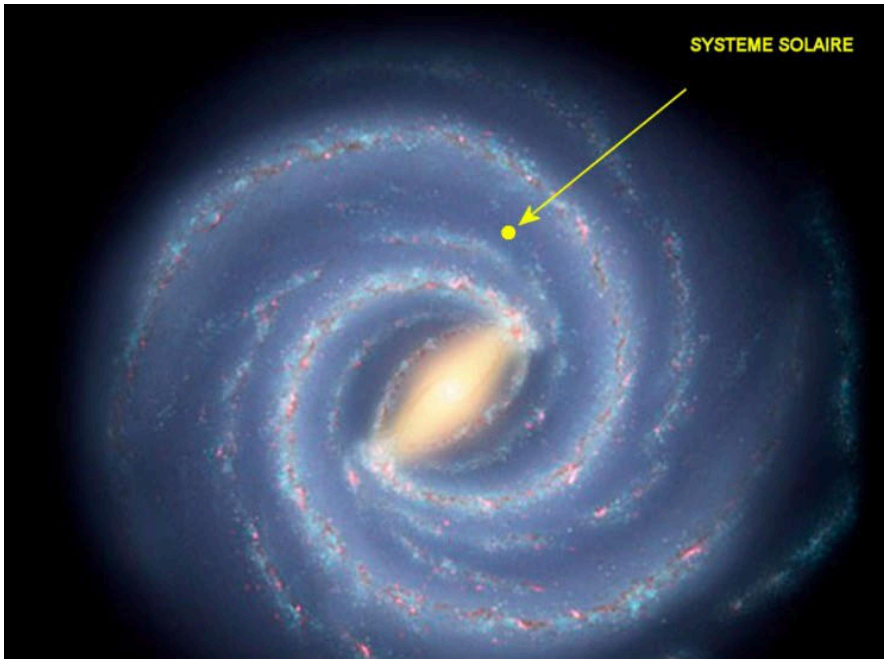
Notre Terre appartient à notre système solaire : la Terre est la 3ème planète (en comptant à partir du Soleil). Notre Soleil est une étoile parmi quelques centaines de milliards dans notre galaxie, appelée Voie Lactée. Au centre de notre Voie Lactée, il y a un gros trou noir appelé Sagittarius A.

Une galaxie est un ensemble de quelques centaines de millions à quelques centaines de milliards d'étoiles. Un **amas de galaxies**, ou **amas galactique**, est l'association de plus d'une centaine de galaxies liées entre elles par la gravitation. En dessous de 100 galaxies regroupées, on parle plutôt de groupe de galaxies (groupe local). Ces amas se caractérisent par leur forme spécifique (sphérique, symétrique ou quelconque), ainsi que par la répartition et leurs nombres de galaxies (jusqu'à plusieurs milliers). Ils se sont formés il y a 10 milliards d'années et plus. Ces amas peuvent eux-mêmes s'associer en groupes plus grands pour former des superamas.

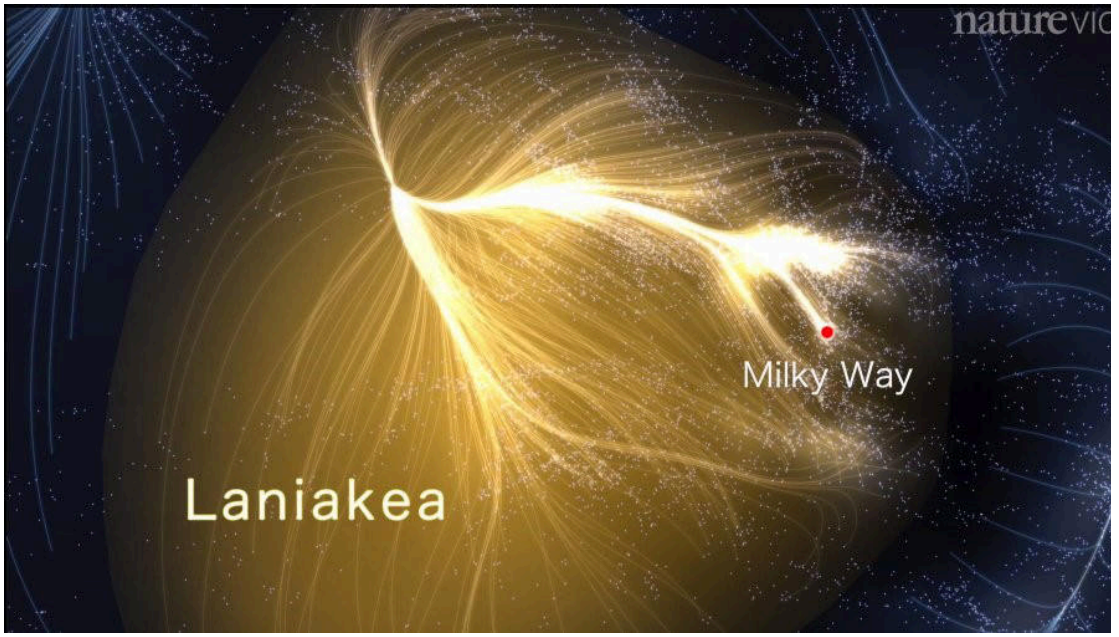
Notre Galaxie appartient à un groupe de galaxies, comprenant une trentaine de galaxies, appelé *Groupe local*, lui-même inclus dans le superamas de la Vierge.

Notre adresse dans l'Univers : Terre, Système solaire (3ème planète autour du Soleil), bras d'Orion dans la galaxie appelée Voie Lactée, Groupe local, superamas de la Vierge, attiré par le Grand Attracteur situé dans l'amas de la Règle (bassin Laniakea), Univers observable.

Notre galaxie : La Voie Lactée (Milky Way)



La voie lactée (Milky Way) dans le superamas de la Vierge, et son environnement…



L'Univers ne présente donc pas une répartition homogène de matière : il y a des zones contenant beaucoup de matière (qui s'attire par gravitation), et des zones contenant beaucoup moins de matière.

Les satellites Cobe, WMap et Planck (années 1990 à 2014) ont enregistré les rayonnements de l'Univers et dressé des cartes de ce rayonnement (rayonnement cosmique émis 380 000 après le début de l'Univers, et autres rayonnements émis plus récemment). Ces études devraient permettre aux chercheurs de progresser dans la connaissance de l'Univers.

ANATOMIE DE LA FOURNAISE GALACTIQUE

Nuages moléculaires, étoiles massives jeunes ou vieilles et fronts d'ionisation s'entremêlent au cœur de la Voie lactée.

LE BRIDGE

C'est l'un des énormes nuages moléculaires qui entourent Sgr A et alimentent l'anneau circumnucléaire, avant de tomber vers le trou noir lui-même.

Nuage moléculaire : nébuleuse interstellaire composée pour moitié d'hydrogène sous forme moléculaire

SAGITTARIUS A EST

Le nuage Sgr A Est est probablement le vestige de l'explosion d'une étoile en supernova, il y a une dizaine de milliers d'années. Cette structure de 25 années-lumière se situe à l'arrière-plan de Sgr A Ouest.

Limite d'expansion du reste de supernova Sgr A Est

Nuage moléculaire

5 années-lumière

ARC RADIO

De la matière froide, issue des nuages moléculaires extérieurs, s'écoule vers le cœur et vient alimenter le disque circumnucléaire.

SUPERGÉANTE ROUGE

L'atmosphère en forme de comète de la supergéante rouge IRS 7 est soufflée par les vents stellaires des astres alentour.

Centre galactique

Gaz chaud et ténu

AMAS IRS 16

Cet amas stellaire dense contient beaucoup d'étoiles Wolf-Rayet (astres massifs très chauds) et des étoiles supergéantes bleues.

SAGITTARIUS A OUEST

Sgr A Ouest a une forme de spirale. Ses bras sont les parties ionisées des nuages moléculaires environnants. Les étoiles supergéantes bleues sont très chaudes et sources de puissants vents stellaires. Ce sont les témoins d'un intense épisode de formation d'étoiles entre 3 et 7 millions d'années. D'autres étoiles, plus rouges, sont âgées de 100 millions d'années.

AMAS IRS 13

IRS 13 est un amas compact d'étoiles massives entourées de poussières, d'un diamètre de 1 500 UA et contenant peut-être un trou noir de masse intermédiaire. C'est sans doute ce qui reste d'un groupe d'étoiles très massives, formé à plusieurs années-lumière de Sgr A*. Il aurait été démantelé en spiralant autour du trou noir central. Il pourrait être à l'origine de nombreuses étoiles chaudes très proches de celui-ci.

DISQUE CIRCUMNUCLÉAIRE

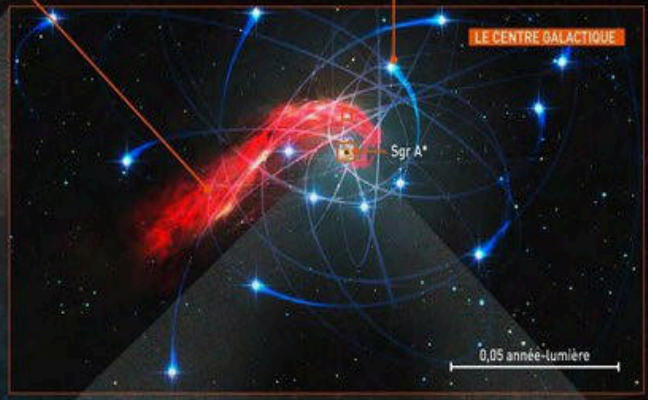
Il s'étend entre 5 et 23 années-lumière du centre galactique et est formé d'une vingtaine de nuages moléculaires et de poussières, chacun d'environ 1 000 masses solaires. Ce disque est en équilibre autour de Sgr A* grâce aux puissants vents stellaires et à la pression des rayonnements ultraviolets émis par les étoiles centrales.

LE PROCHAIN FESTIN

G2 est un nuage de 3 masses terrestres. Son orbite est très excentrique (0,966) avec un périastre de seulement 150 UA. Alors que la partie avant du nuage l'a déjà atteint, tout le nuage y passera avant mars 2014. Depuis trois ans, sa vitesse augmente, certaines portions atteignant 2 500 km/s. La matière va progressivement tomber dans le disque d'accrétion, puis dans le trou noir lui-même.

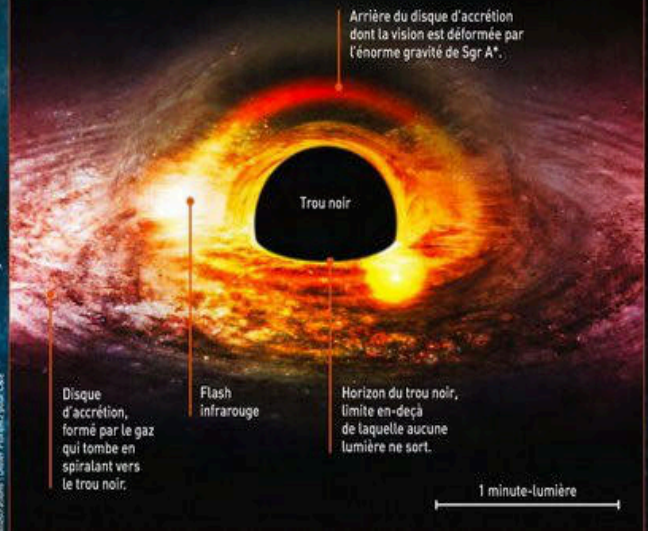
DES ÉTOILES TRÈS RAPIDES

Les "étoiles S" sont des étoiles supergéantes bleues (type B), très massives et âgées de quelques millions d'années. Elles se regroupent en deux disques. Leurs orbites, suivies depuis 1995, ont permis de "peser" le trou noir central.



LE TROU NOIR CENTRAL

Le trou noir supermassif n'est visible que par la matière qui s'enroule autour de lui dans un disque d'accrétion. Celui-ci s'étend de l'horizon du trou noir jusqu'à 44 millions de kilomètres, soit 4 fois plus loin.

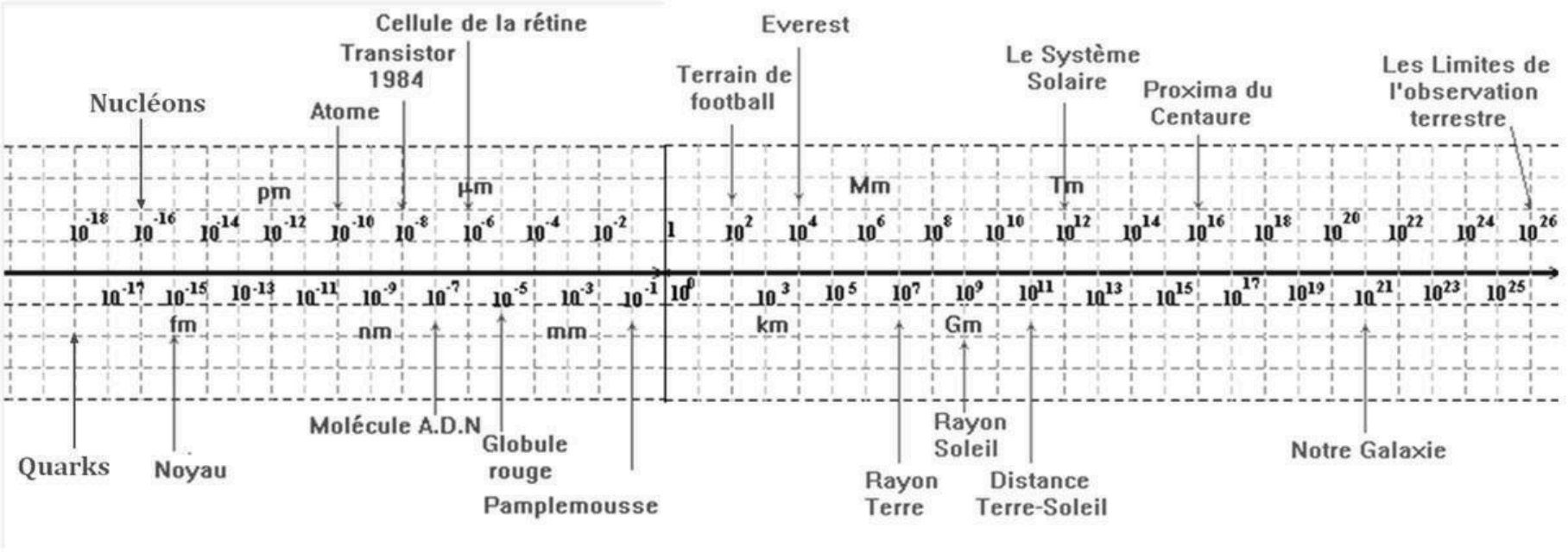


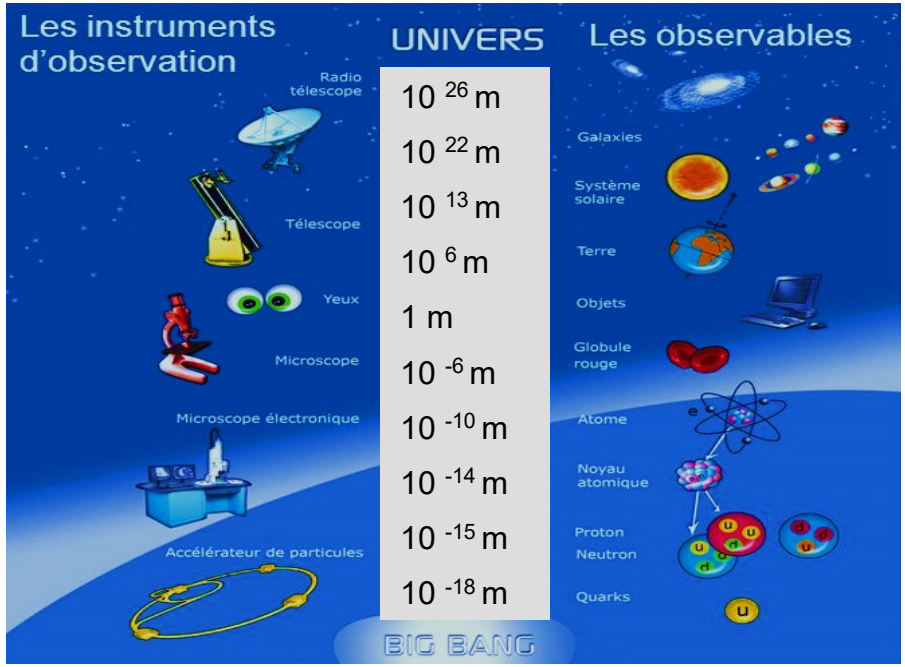
Quelques citations :

Nous sommes tous des poussières d'étoiles ! Car tous les noyaux des atomes qui nous constituent ont été engendrés au centre d'étoiles mortes il y a plusieurs milliards d'années. D'après « *Poussières d'étoiles »*, d'Hubert Reeves.

« La journée de la Terre.
- Le temps également s'est contracté : plus on avance dans notre histoire, plus l'évolution va vite.
- Oui, si l'on ramène les 4,5 milliards d'années de notre planète à une seule journée, en supposant que celle-ci soit apparue à 0 heure, alors la vie naît vers 5 heures du matin et se développe pendant toute la journée. Vers 20 heures seulement viennent les premiers mollusques. Puis, à 23 heures les dinosaures qui disparaissent à 23h40, laissant le champ libre à l'évolution rapide des mammifères. Nos ancêtres ne surgissent que dans les cinq dernières minutes avant 24 heures et voient leur cerveau doubler de volume dans la toute dernière minute. La révolution industrielle n'a commencé que depuis un centième de seconde !
- Et nous sommes entourés de gens qui croient que ce qu'ils font depuis cette fraction de seconde peut durer indéfiniment... » D'après Hubert Reeves, « *La plus belle histoire du monde ».*

IV) De l'infiniment grand à l'infiniment petit :





L'homme fait environ 1,80 m. Ce chiffre est proche de 2 mètres.

Si l'on arrondit à la puissance de 10 la plus proche, c'est 1m, soit 10^0m.

On dit que l'ordre de grandeur de l'homme est 10^0m.

V) Voir loin, c'est voir dans le passé :

La lumière se déplace vite : 300 000 km/s dans le vide (et dans l'air). Toutefois, "à l'échelle astronomique, la lumière progresse à pas de tortue. Les nouvelles qu'elle nous apporte ne sont plus fraîches du tout !"

D'après Hubert Reeves, « *Patience dans l'azur* ».

« Retiens bien cette information : quand tu observes un astre lointain, tu le vois tel qu'il était dans un lointain passé et non pas tel qu'il est aujourd'hui. On peut résumer cela en disant : " Regarder loin, c'est regarder tôt. " ».

D'après Hubert Reeves, *« L'Univers expliqué à mes petits-enfants ».*

En fait, comme la lumière ne parcourt qu'une année-lumière par an (par définition, puisqu'une année-lumière est la distance que parcourt la lumière en un an), c'est-à-dire environ 9500 milliards de km par an, la lumière que nous recevons d'astres très lointains a voyagé très longtemps avant de nous arriver (si l'amas de galaxies est situé à 3 milliards d'année-lumière, la lumière a voyagé 3 milliards d'années avant de nous parvenir). Cette lumière nous apporte donc des renseignements sur ce qu'il se passait dans cette partie de l'Univers il y a très longtemps.

Voir loin dans l'Univers, c'est donc voir loin dans le passé de l'Univers.