

# Société Astronomique de Lyon



**Bulletin N° 55 – MAI 2003**

**SOCIETE ASTRONOMIQUE DE LYON**  
**Observatoire de Lyon**  
**69230 Saint Genis Laval**

**BULLETIN N° 55 – MAI 2003**

**SOMMAIRE**

PAGE

- Couverture : La cloche à vide, Diamètre 600 mm.  
Ou la satisfaction d'un travail bien fait. Photo SAL
- 2 Notes de Lecture.  
Par Daniel SONDAZ
- 4 Plus il y a de trous...  
Par François UDREA
- 5 MAP Article tiré de "Science 14 Février 2003".  
Traduction et Notes Par Alain BREMOND
- 9 La tache de diffraction.  
Par Claude FERRAND
- 11 La relativité restreinte (Conférence du 27/4/2002 de Mr LAMBERT).  
Par René SERVANIN
- 18 Assemblé Générale de la SAL du 22/2/2003.  
Par Paul SOGNO
- 20 Mots croisés.  
Par Mireille FRANCKHAUSER

**SOCIETE ASTRONOMIQUE DE LYON**

a succédé en 1931 à la Société Astronomique du Rhône, fondée en 1906.

Siège Social : U.E.R. Observatoire de Lyon, avenue Charles André, F 69230 Saint Genis Laval.

Tel. 04 78 59 58 39 e-mail : SoAs.Lyon@wanadoo.fr Internet <http://astrosurf.com/sal>

Trésorerie : C.C.P. Lyon 1822-69 S

Tarifs 2003: Cotisation + bulletin : 30 €

Scolaire + bulletin : 20 €

Famille + bulletin : 45 €

Conférences: 5 €, gratuites pour les cotisants, et les habitants de Saint Genis Laval

Réunions : Le vendredi, accueil de 21H à 21H30.

: Observations. Bibliothèque ; prêt de livres. Discussions et activités.

Bulletin : Les articles que vous désirez faire paraître dans le bulletin sont à envoyer au siège de la Société sous forme manuscrite, sur disquette format IBM ou par e-mail (SoAs.Lyon@wanadoo.fr).

**ISSN 1258-5378**

Tiré à 230 exemplaires sur papier 80 g, couverture 170 g sable/calcedoine.

## Notes de lecture

**Interférométrie au VLT** (V.Coudé du Foresto; L'astronomie novembre 2003 ).

Sur le sommet du Cerro Paranal, au Chili, l'ESO est en train de construire un réseau interférométrique, le VLTI, qui sera l'équivalent d'un télescope ovale de 120 m sur 200 ! Il intégrera les quatre télescopes géants de 8 m du VLT et quatre " petits " télescopes de 1.8 m rapidement déplaçables. L'article forcément assez technique, explique de façon claire la technique de l'interférométrie. On prend conscience, à sa lecture, des formidables difficultés techniques qu'il faut surmonter. Des essais très prometteurs ont déjà été effectués. On a ainsi pu mesurer le diamètre apparent de certaines étoiles ( de l'ordre de quelques millièmes de seconde d'angle), autrement dit on les a « vues » autrement que comme des points. On a même pu suivre en direct la variation du diamètre apparent de certaines Céphéides et cela a permis d'estimer leur distance par une autre méthode que celles dont on disposait jusqu'alors. Ceci est d'une très grande importance puisque la relation période – luminosité des Céphéides est le fondement de la mesure des distances extra-galactiques.

**Entretien avec Jean-Pierre Luminet sur la topologie de l'Univers** (La Recherche n°358 novembre 2002).

Les équations d'Einstein de la relativité générale, dont toute solution donne un modèle d'Univers, ne peuvent être résolues dans leur généralité et elles possèdent une infinité de solutions. On simplifie le problème en faisant des hypothèses raisonnables telles que l'isotropie et l'homogénéité de l'espace. Les modèles d'Univers possibles ont une courbure positive, négative ou nulle. Les observations actuelles tendent à nous donner un Univers faiblement courbé, à courbure positive ( la courbure dépend de la densité de l'Univers). Très grossièrement, la topologie est l'étude des propriétés invariantes d'un espace par déformation continue. Par exemple, dans le plan, un disque et un carré sont topologiquement équivalents, mais un disque et une couronne ne le sont pas. Si l'Univers est à courbure nulle, il y a 18 topologies possibles ; s'il est à courbure positive, il y a une infinité de topologies possibles ! Certaines de celles-ci donneraient un Univers à structure répétitive : On pourrait observer des signaux lumineux provenant d'une même source mais ayant emprunté des chemins différents et l'Univers serait plus petit qu'on ne le pense. La topologie n'est pas du tout incluse dans les équations d'Einstein. L'observation pourra (peut-être !) permettre de faire des choix. Le satellite américain Map commence à être opérationnel et le satellite européen Planck sera lancé dans cinq ans pour effectuer ce type de recherche.

**Les secrets des poussières d'étoiles** (J.M. Greenberg ; Pour la science n°280 février 2001)

Cet article est un peu ancien (deux ans) mais on peut consulter la revue en bibliothèque ou la commander chez l'éditeur.

La masse totale des poussières de notre Galaxie est d'environ un millième de la masse de celle-ci. 80% des poussières ont des dimensions de l'ordre de 0,2 x 0,4 micromètres et sont faites d'un noyau de silicates (formé dans l'atmosphère des géantes rouges) entouré d'une couche de glace d'eau, de méthane et d'ammoniaque. Les autres poussières sont bien plus petites et composées de carbone ou d'hydrocarbures. L'auteur explique comment les poussières ont réduit les contraintes qu'impose la formation des étoiles et, de ce fait, ont modifié l'évolution de la Galaxie. Il étudie l'évolution des poussières. Selon lui, les comètes sont formées d'agrégats contenant chacun une centaine de poussières cosmiques. De très nombreux agrégats de ce type sont tombés sur la Terre. Leur structure stimule la synthèse de grosses molécules. Aussi peut-on naturellement se demander si ces poussières cométaires n'ont pas joué un rôle dans l'apparition des formes les plus primitives de vie....

**Le milieu intergalactique** (E. Scannapieco, P. Petitjean, T. Broadhurst ; Pour la science n°301, novembre 2002).

Le milieu intergalactique a une densité extrêmement faible, dix atomes au mètre cube. Aussi son étude a-t-elle longtemps été laissée de côté. Depuis peu on pense que par ses échanges de matière et d'énergie avec les galaxies, il a joué un grand rôle dans l'histoire de l'Univers. On ne peut, bien sûr, l'observer qu'indirectement. Le fond de rayonnement cosmologique nous le montre tel qu'il était 300 000 ans après le Big-Bang. La lumière nous provenant des très lointains quasars traverse le milieu intergalactique, aussi les spectres des quasars nous renseignent-ils sur ce milieu. Le plasma chaud présent dans les amas de galaxies est une forme de milieu intergalactique et il est accessible aux observations dans le domaine X. Enfin les observations dans le domaine radio ont suggéré que le milieu intergalactique a un champ magnétique.

Ces observations ont montré que le milieu intergalactique a connu trois transitions. Environ 300 000 ans après le Big-Bang il est passé de l'état de gaz ionisé à celui de gaz neutre. Ensuite, pour des raisons mal comprises, il est repassé de l'état neutre à l'état ionisé. Enfin il a connu une phase de chauffage. On a constaté que les galaxies naines où la natalité stellaire est élevée, émettent un vent de matière dans le milieu intergalactique. Le chauffage de ce milieu est probablement dû à des successions d'explosions de supernovae dans les galaxies naines.

L'article se termine en expliquant comment le milieu intergalactique a pu entraver la formation de petites galaxies.

**Daniel SONDAZ**

### Plus il y a de trous ...

En Astrophysique, comme ailleurs, il y a de "mauvaises questions" ... Par exemple qu'y a-t-il dans un trou noir ? qu'y avait-il avant le Big Bang ?; on peut certes répondre, (en haussant légèrement les épaules de façon désabusée), qu'avant le big bang le temps n'existait pas, et que dans les trous noirs ou le big bang, les valeurs physiques sont tellement élevées que nos théories deviennent inapplicables.

Cette réponse, la moins mauvaise possible pourtant, laissera sur sa faim votre interlocuteur et d'ailleurs ne vous satisfera pas complètement non plus.

Face à ces situations "singulières" un physicien de Pennsylvanie, Lee Smolin apporte un éclairage original, en raccordant ces deux impasses théoriques, il répond en une seule fois aux deux questions : **dans chaque trou noir il y aurait un Big Bang géniteur d'un nouvel univers**. A la place de deux singularités aux valeurs infinies qui font perdre toute assise à la physique nous aurions tout simplement (!!!) une connexion spatio-temporelle entre ces deux univers. (on se disait, aussi ...)

Cette connexion vue de l'extérieur apparaîtrait comme un trou noir, une mort, et de l'intérieur comme un Big Bang, une naissance.

Cette manipulation géométrique issue de l'idée de la gravité quantique n'est pas inédite, la vraie nouveauté réside dans la deuxième hypothèse de Smolin, que voici....

Si notre univers avait été créé par un choix aléatoire de paramètres, la probabilité pour qu'il contienne des étoiles serait inférieure à 1/10 000, or sa structure est bien plus complexe que s'il découlait de lois et de conditions initiales choisies au hasard ... est-ce à dire que l'on a eu de la chance ? ou que si cela n'avait pas été, nous ne serions pas là pour en parler ?

Smolin pose un simple postulat .... les univers issus d'un " trou noir / Big bang " possèderaient des valeurs légèrement différentes de l'univers géniteur, il y aurait de petites mutations, des erreurs, qui altèreraient légèrement le patrimoine génétique (ça ne vous rappelle rien ?).

Bien sûr, on l'a dit, la plupart des univers seraient sans étoiles, mais heureusement selon les raisonnements très spéculatifs de la gravité quantique, ces univers auraient une durée de vie très courte (c'est bien fait) puis s'effondreraient sur eux-mêmes pour donner un nouvel univers légèrement différent ; quant aux autres, certains produiraient beaucoup d'étoiles, parfois massives (soit dit en passant, propices à la vie car génératrice des éléments lourds), et dont le " sous-produit " serait les trous noirs, justement.

Donc, plus il y a de trous, plus il y a d'univers, et plus il y a de trous dans ces univers....

Car un univers plein de trous noirs est un univers qui se reproduit beaucoup, avec des descendants aux paramètres proches, en quelque sorte, il est plus apte à se reproduire... voilà introduite la sélection par succès reproductif, c'est Darwin qui aurait été content !.

Ce modèle n'est pas sans rappeler le processus évolutif biologique, il se passe de tout recours à Dieu, Allah ou Bichnou, puisque l'univers est devenu ce qu'il est par un simple processus causal ou déterministe.

Nos lois physiques établies selon un processus aléatoire sont fondamentales, parce qu'opérantes dans notre univers, et ce jusqu'à sa mort, mais elles ne le sont pas forcément ailleurs.

Il reste que ce processus " obéirait " à son tour à de super lois fondamentales, mais lesquelles ?

**François Udréa.**

Sources : Elisa Brune, Marc Lachière-Rey, Futura-Sciences.

Annexe :

*Les trous noirs favoriseraient également la vie :*

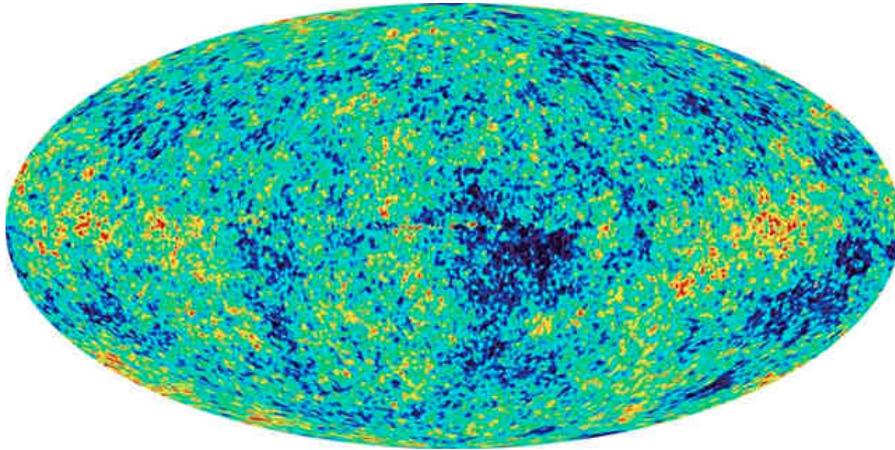
*Des chercheurs de la Penn State University et du Massachusetts Institute (Etats-Unis), ont détecté, pour la première fois, des vents à haute vitesse transportant de grandes quantités de gaz en provenance du cœur de deux quasars, où résiderait un trou noir. Ces vents nouvellement identifiés, dont la vitesse correspond à 40 % de celle de la lumière, émanent, selon les chercheurs, du disque de matière en orbite autour du trou noir, appelé disque d'accrétion. D'après les mesures effectuées, la quantité de matière rejetée pendant la durée de vie d'un quasar serait de l'ordre d'un milliard de soleils, précise George Chartas, de la "Penn State Astronomy and Astrophysics Department", qui a dirigé les observations. Les trous noirs sont tellement denses que rien, pas même la lumière, ne peut échapper à leur attraction gravitationnelle. Mais cela ne s'applique qu'à la matière ayant traversé le bord théorique du trou noir appelé horizon des événements. En-deçà de cet horizon, l'attraction gravitationnelle est forte, mais la matière et la lumière peuvent encore s'échapper. Des théoriciens avaient déjà suggéré que des vents pouvaient emporter de la matière en provenance du disque d'accrétion et semer des éléments lourds dans l'environnement interstellaire.*

*Les recherches, menées grâce au télescope Chandra et au satellite XMM-Newton (X-ray Multi Mirror) de l'Agence Spatiale Européenne et présentées le 26 mars 2003 lors d'une rencontre de la Société Astronomique Américaine, pourraient stimuler le travail théorique sur les vents des trous noirs et leurs effets sur leur environnement.*

\*

# MAP

## La première image détaillée de la plus vieille lumière de l'Univers pour l'ensemble du ciel.

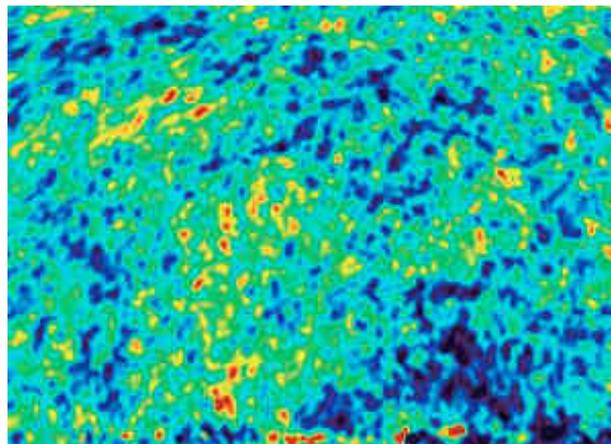


*L'image micro-onde du ciel réalisée à partir de la mission MAP.*

### Que représente cette image ?

L'équipe Wilkinson MAP a réalisé la première carte détaillée de l'ensemble du ciel montrant la plus ancienne lumière de l'Univers. C'est une "photo de bébé" de l'Univers. Les couleurs indiquent la température: rouge pour le plus chaud et bleu pour le plus froid. La forme ovale est une projection qui permet de montrer l'ensemble du ciel; semblable à celle du globe terrestre qui peut être projetée ainsi pour qu'il soit vu en totalité dans un plan.

La lumière micro onde capturée dans ce schéma provient de 380 000 années après le Big Bang, plus de 13 milliards d'années: l'équivalent de la prise d'une photo d'un adulte de 80 ans, le jour de sa naissance.



Ces données montrent clairement les graines qui ont généré la structure cosmique que nous voyons aujourd'hui. Ces aspects sont de minimes différences de température à l'intérieur d'une extraordinaire lumière micro onde régulièrement dispersée baignant l'Univers qui maintenant a une température très froide de 2,73 degrés au-dessus du zéro absolu. MAP résout de légères fluctuations de température qui varient seulement de un millionième de degrés.

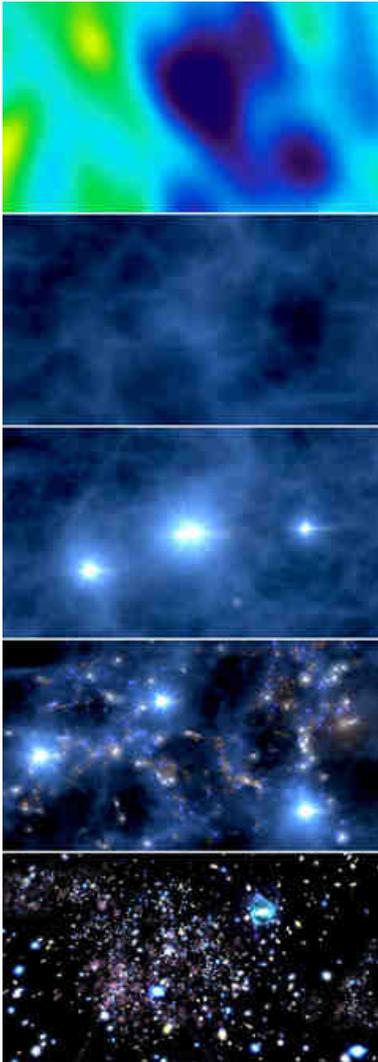
Les nouvelles données confirment et renforcent les théories du Big Bang et de l'inflation.

## Les premières étoiles sont apparues plus tôt que prévu.

La matière de l'Univers s'est condensée sous l'effet de la gravité jusqu'à ce que les premières étoiles s'allument. Le satellite MAP a détecté cet événement environ 200 millions d'années après le Big bang. Ceci est l'équivalent de la période qui s'écoule entre la naissance d'un bébé et son âge adulte à 80 ans.

MAP ne voit pas directement la lumière des premières étoiles mais il a détecté un signal polarisé qui est la signature de l'énergie produite par les premières étoiles.

Une séquence d'images réalisées par la NASA montre cela:



**L'image 1** dépeint les fluctuations de température (vues comme des différences de couleur) dans la lumière la plus ancienne de l'Univers, telles qu'elles sont observées aujourd'hui par MAP. Ces fluctuations de température correspondent aux légères agrégations de matériel dans l'Univers naissant, qui finalement ont conduit aux vastes structures de galaxies que nous voyons aujourd'hui.

**L'image 2** montre la condensation de la matière à mesure que la gravité attire la matière depuis les régions de plus faible densité jusqu'à celles de haute densité.

**L'image 3** capture la période des premières étoiles, 200 millions d'années après le Big Bang. Le gaz s'est condensé et s'est échauffé jusqu'à une température suffisamment élevée pour démarrer la fusion nucléaire, le moteur des étoiles.

**L'image 4** montre les étoiles qui s'allument. Les galaxies se forment le long de filaments déjà observés sur la figure 2: une structure en toile d'araignée.

**L'image 5** dépeint la période moderne, des millions de milliards d'étoiles et de galaxies... provenant toutes des graines plantées dans l'Univers infantile.

## Des théories gagnent, d'autres perdent...

Une nouvelle compréhension de l'Univers s'élabore:

- L'Univers est âgé de 13,7 milliards d'années avec seulement une marge d'erreur de 1%.
- Les premières étoiles se sont allumées 200 millions d'années après le Big Bang.
- La lumière détectée par MAP date de 380 000 années après le Big Bang.
- Le contenu de l'Univers:
  - 4% d'atomes, 23% de matière sombre froide et 73% d'énergie sombre.
  - Les données placent de nouvelles contraintes pour l'énergie sombre. Elle ressemble plutôt à une "constante cosmologique" qu'à un champ d'énergie à pression négative appelée "quintessence". Mais la quintessence n'est pas totalement exclue.

- Les neutrinos rapides ne jouent pas un rôle majeur dans l'évolution de la structure de l'Univers. Ils auraient pu empêcher l'agrégation précoce des gaz de l'Univers, retardant l'émergence des premières étoiles; ces hypothèses sont en conflit avec les données de MAP.
- Le taux d'expansion (la constante de Hubble) est  $H_0=71 \text{ km.s}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$  (avec une marge d'erreur d'environ 5%).
- Nouvelles preuves de l'inflation (par le signal polarisé)
- Destin de l'Univers: il sera en expansion constante.

## Un coup d'œil sur l'enfance de l'Univers.

- ❖ Washington, D.C. - Les images les plus claires du bébé Univers ont dévoilé le moment où les premières étoiles flamboyaient en naissant. Les images, prises par satellite et dévoilées au quartier général de la NASA cette semaine<sup>1</sup> ont surpris et ravi les cosmologistes en montrant que le cosmos grouillait d'activité plus tôt qu'on le pensait précédemment.  
*"Ceci a des conséquences importantes, je pense" déclare Max Tegmark, un cosmologiste de l'Université de Pennsylvanie à Philadelphie. " D'un autre côté c'est comme si une pièce de puzzle était tombée à la bonne place, vous vous dites : Aha!"*
- ❖ Les images viennent de la "Microwave Anisotropy Probe" (MAP), un satellite de 145 millions de dollars lancé par la fusée Delta II en juin 2001. Placé en orbite à 15 millions de km de la terre, MAP utilise des antennes jumelles pour prendre des mesures très précises du fond de rayonnement micro onde cosmologique (FRC): rayonnement résiduel de l'Univers chaud et dense tel qu'il était 400 000 ans après le Big Bang.  
 Pendant les quelques années écoulées des instruments terrestres ou lancés à bord de ballons ont réalisé des mesures très fines du FRC sur des minces tranches du ciel et les physiciens ont utilisé ces données pour estimer la quantité et le type de matière et d'énergie de l'Univers (Science, 22 juin 2001 p 2236). MAP a fait progresser les choses d'un pas de géant en dressant une carte beaucoup plus détaillée de l'ensemble du ciel. Les nouveaux résultats confirment les aspects de plus en plus troublants, révélés par les cosmologistes, d'un Univers dont plus des deux tiers consiste en "énergie sombre" que les scientifiques doivent comprendre. *"Le modèle se retrouve dans toutes les données"* déclare Charles Bennet, le principal investigateur de la mission MAP. *"C'est réellement très joli."*
- ❖ La carte de MAP donne aussi les estimations les plus précises de l'âge de l'Univers (13,7 milliards d'années avec une précision de 1%), définit le taux d'expansion de l'Univers (modifie la valeur donnée il y a quelques années par le télescope spatial Hubble) et "met la pression" sur la théorie de l'énergie sombre ainsi que sur la quintessence, déclare Bennett.  
 sont passés quelques centaines de millions d'années après le Big Bang, quand les grandes structures telles que les étoiles et les galaxies sont apparues.  
 Mais les informations les plus excitantes portent sur le timing des événements qui se L'indice est venu de la mesure par MAP de la polarisation du FRC. Un instrument basé sur Terre appelé DASI a détecté cette polarisation l'année dernière (Science 27 septembre 2001 p 2184) mais les vues de l'ensemble du ciel données par MAP permettent de saisir des structures beaucoup plus grandes. La polarisation du FRC à grande échelle révèle des plages de taille caractéristique -un pic sur un graphique- qui montrent à quel moment la lumière des étoiles nouveau-nées a

---

<sup>1</sup> 14 février 2003

arraché les électrons des atomes flottants d'hydrogène neutre qui baignaient l'Univers et ont marqué le début de l'ère moderne des étoiles et des galaxies.

- ❖ MAP montre que ces parcelles sont plus petites qu'attendu, ce qui indique que la re-ionisation s'est mise en place à peu près 200 millions d'années après le Big Bang, plutôt que 800 millions d'années comme l'estimaient les astrophysiciens à partir de l'étude de la lumière des quasars. Cette contradiction apparente peut aider à expliquer nombre de données qui ne semblent pas "coller" tel que l'excès de "pression" à très petite échelle angulaire que l'imagerie terrestre du fond de rayonnement cosmologique a observé ce dernier printemps (Science 31 mai 2002 p 1588).
- ❖ Les données recueillies peuvent indiquer qu'une population précoce d'étoiles massives sont nées avant que les quasars et les galaxies n'aient commencé à se former pour de bon. Si c'est le cas, ceci pourrait presque faire rejeter la théorie populaire de la matière sombre et chaude qui jouerait un rôle selon certains dans la formation et la structuration de l'Univers.

Quelle que soit la raison de cette re-ionisation précoce, MAP a dressé la carte de ces territoires lointains et précoces. *"Toute la cosmologie de ces cinq prochaines années sera basée sur ces nouvelles données"* déclare Tegmark

Charles Seife

Science 14 février 2003 p 991.

### **Traduction et notes: Alain Brémond**

#### **NOTES**

**La matière sombre:** Les mesures des vitesses de rotation des galaxies spirales établies en partant du centre vers la périphérie indiquent que la densité de matière observable ne peut expliquer la cohésion de ces galaxies surtout à leur périphérie. La mesure de la densité permettant cette cohésion implique une matière non visible que l'on nomme "matière sombre".

De quoi est-elle constituée ?

De la matière ordinaire: neutrons, protons et électrons, de nuages de gaz, d'objets massifs (MACHO: Massive Compact Halo Objects) comme les trous noirs mais aussi les étoiles à neutron et les naines blanches. Mais on est encore loin du compte. Parmi les nouvelles venues se trouvent des particules dites "exotiques" appelées WIMP (Weakly Interactive Massive Particles). On imagine aussi des mondes "ombres" faits de particules non visibles dont seule la gravité se manifesterait sous une forme intelligible à notre esprit et à nos appareils (matière-ombre).

Dans les théories de la formation des galaxies on évoque deux sortes de matière sombre:

La matière sombre chaude (Hot dark matter): fait de neutrinos de masse importante voyageant à 99% de la vitesse de la lumière.

La matière sombre froide (Cold dark matter): particule massive se déplaçant lentement.

Aucune de ces particules n'appartient à la matière ordinaire.

**L'énergie sombre:** Energie dont on ne connaît pas la nature qui pourrait s'opposer aux forces gravitationnelles pour expliquer l'expansion de l'Univers

**L'énergie du vide:** "énergie présente même dans l'espace le plus vide en apparence. Contrairement à la masse, elle semblerait avoir la propriété curieuse d'accélérer l'expansion de l'Univers." Stephan Hawking. L'univers dans une coquille de noix. Elle est mesurée par  $\lambda$  (constante cosmologique)

## Nouvelles de l'Univers.

### La publication des données de MAP !

11 février 2003 - Les résultats de la première année d'observation de la sonde appelée Wilkinson Anisotropy Probe ont été annoncés aujourd'hui lors d'une réunion de Mise à jour des données de science spatiale dans l'auditorium de la NASA. Les plus importants résultats sont les suivants:

- Le satellite a été renommé en l'honneur de David T. Wilkinson de l'Université de Princeton, un membre important du projet depuis sa conception.

- On a détecté la polarisation de l'anisotropie du fond micro onde venant du flou produit par les électrons 200 millions d'années après le Big Bang. Ceci est une preuve qu'une génération précoce d'étoiles a existé 4 à 5 fois plus tôt que n'importe quel objet observé à ce jour.

- Les données de WMAP sont en accord avec les précédents travaux qui montraient que l'Univers est plat et en expansion accélérée.

- Les données de WMAP donnent les valeurs les plus précises de la densité de la matière ordinaire (baryonique) faite de protons et de neutrons et pour la matière sombre: 0,4 et 2,5 ` 0,0009 et  $\Omega(\text{omega})^2=0,135 ` 0,009$ .

- Les données de WMAP donnent la valeur la plus précise de l'âge de l'Univers: 13,7 ` 0,2 milliards d'années. La constante de Hubble est  $H_0=71 ` 4 \text{ km/sec/Mpc}$ , et la densité d'énergie du vide correspond à  $\Lambda(\text{lambda})=0,73 ` 0,04^3$ .

Traduction depuis <http://www.astro.ucla.edu/~wright/cosmolog.htm>

### La tache de diffraction

La limite de résolution d'un instrument optique est limitée par ce que l'on appelle la diffraction. Considérons le cas très simple de l'observation d'une étoile centrée dans l'axe optique. L'image que nous obtenons de cette étoile n'est pas, comme nous devons nous y attendre, un point lumineux de surface quasi nulle, mais un minuscule disque de lumière entouré d'anneaux concentriques. Chacun de ces anneaux étant d'autant plus faible, qu'il est plus éloigné du disque central. On peut voir un, deux, rarement trois anneaux. (Voir schéma)

Ce disque central est appelé faux disque, disque d'Airy ou disque de diffraction. Il a été expliqué en 1831 par l'astronome anglais Airy. Il est provoqué par l'aspect ondulatoire de la lumière. La lumière de l'étoile observée entre dans l'instrument par la 'pupille' formée par l'objectif ou le miroir. Cette pupille est définie par son diamètre et c'est ce diamètre qui va définir l'image de diffraction observée. Les lois de l'optique nous donnent une formule simple pour calculer le rayon angulaire du premier anneau sombre.

$$\alpha = 250 \lambda / D$$

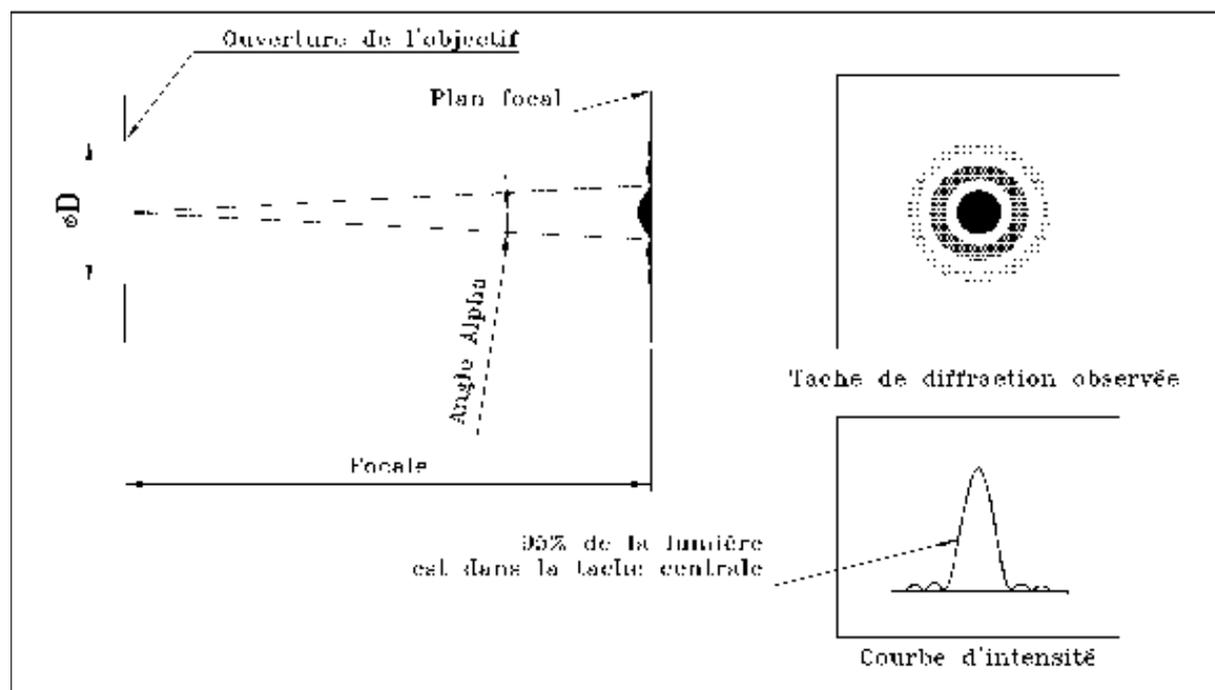
Où  $\alpha$  est le rayon angulaire du premier anneau sombre en secondes d'arc,  $\lambda$  est la longueur d'onde observée en  $\mu\text{m}$ ,  $D$  est le diamètre de l'objectif en mm.

<sup>2</sup>  $\Omega$ =densité/densité critique. Si  $\Omega=1$  l'expansion s'arrête. S'il est inférieur à 1 l'expansion s'accélère.

<sup>3</sup>  $\Lambda$ =Constante cosmologique

Nous voyons dans cette formule que le rayon angulaire sera d'autant plus petit que le diamètre de l'instrument sera grand. A l'inverse, le rayon angulaire sera d'autant plus grand que la longueur d'onde observée sera grande.

On comprend pourquoi nous devons avoir de grands télescopes pour avoir une définition plus grande et pourquoi les radiotélescopes opérant dans les grandes longueurs d'onde ont une définition si faible, pour des diamètres très importants.



Prenons un exemple :

- L'observation des étoiles doubles a démontré que la limite de séparation d'un couple d'étoiles est atteinte pour des étoiles dont l'écartement est de  $0,85\alpha$ .
- La longueur d'onde à laquelle l'œil est le plus sensible est vers le jaune à  $0,56\mu\text{m}$ .
- Considérons un instrument ayant une ouverture de 100mm.

La formule devient :  $\alpha / 0,85 = 250 \times 0,56 / 100 = 1,2$  seconde d'arc

Avec ce résultat, nous pouvons extrapoler et dire par exemple que si un T100 a une résolution de 1,2 seconde d'arc, un T200 a une résolution théorique de :

$$1,2 \times 100 / 200 = 0,6 \text{ seconde d'arc.}$$

Ce résultat n'est bien évidemment valable que pour une observation sans turbulence atmosphérique d'un couple d'étoiles de même magnitude, avec un instrument optiquement parfait.

Il convient de noter que la dimension de la tache de diffraction et des anneaux, est fonction de la longueur d'onde ( $\lambda$  dans la formule). C'est pourquoi ils apparaissent irisés et leurs bords dégradés.

Si la lunette peut être un instrument approchant de près la perfection, le télescope subira toujours les désagréments de l'obstruction du miroir secondaire. Cette obstruction se traduira sur l'image de diffraction par un renforcement des anneaux au détriment de la tache centrale et donc du contraste, rendant la séparation d'objets serrés plus difficile.

**Claude FERRAND**

# RELATIVITE RESTREINTE (MARIAGE de l'ESPACE et du TEMPS)

Conférence de M. LAMBERT Professeur Emérite de la Faculté de LYON I  
donnée le 27 Avril 2002 à la médiathèque de St Genis Laval

Albert EINSTEIN a joué un rôle capital dans les 3 révolutions scientifiques du siècle passé :

- la relativité restreinte
- la relativité générale
- la mécanique quantique

Nous allons aborder aujourd'hui **la relativité restreinte**.

A l'aube du 20ème siècle on considère que les phénomènes physiques se déroulent sur une scène (l'espace et le temps ) qui met en jeu des acteurs (la matière et la lumière)

La scène :

**L'espace** est une réalité intrinsèque. S'il n'y avait rien dans l'espace il resterait tout de même l'espace vide comme si le vide avait une réalité.

**Le temps** est une réalité en soi-même ; il est universel, absolu. S'il n'y avait pas de phénomènes dans l'espace, il y aurait tout de même le temps qui s'écoulerait.

Les acteurs :

**La matière** est constituée de particules. L'étude des phénomènes qui mettent en cause ces particules constitue globalement la mécanique, initiée principalement par Newton au 17ème siècle

**La lumière**, ou plutôt les ondes électromagnétiques, car Maxwell a fait la synthèse de l'électricité, du magnétisme et de la lumière au 19ème siècle.

On a voulu unifier ces deux aspects: la matière et la lumière, en tentant de démontrer que les ondes électromagnétiques sont les vibrations d'un milieu support qui emplirait tout l'espace: l'éther. (A la manière des ondes acoustiques qui ne sont que les vibrations des molécules de l'air). Toutes les tentatives pour mettre cet 'éther' en évidence ont échoué et on a été amené à considérer qu'il pouvait avoir une réalité physique – les ondes électromagnétiques – sans support matériel.

La réflexion d'Einstein sur cet échec a abouti à une réalité qui n'était pas prévue au programme: l'unification de l'espace et du temps.

La théorie qui va développer cette recherche est en fait une recherche de l'absolu bien qu'elle s'appelle relativité restreinte. Ce n'est pas, comme son nom semble l'indiquer une théorie qui insiste sur l'aspect relatif des choses – ce qui inciterait à un point de vue sceptique – car, bien au contraire, Einstein était attaché à la recherche d'une théorie profonde du monde, indépendante si possible du point de vue des observateurs ; comme il l'exprimait dans un langage quelque peu emphatique: « ce qui m'intéresse c'est de connaître l'idée de Dieu, comment il a créé le monde et pourquoi il l'a créé ainsi ».

## LA MECANIQUE CLASSIQUE

La réalité physique est constituée d'événements. Un événement est mesuré par un observateur depuis un lieu en mouvement ou non par rapport à cet événement. Ce même événement peut être mesuré depuis un autre lieu en mouvement par rapport au premier.

Ces lieux où se mesurent ces événements sont appelés des **référentiels**.

Dans un référentiel, un événement sera repéré par ses coordonnées d'espace et de temps.

Le même événement sera repéré dans un autre référentiel par d'autres coordonnées.

Si l'on connaît les **lois de transformations**, en observant un événement dans un référentiel on sera capable d'en déduire quelles seront les observations faites dans n'importe quel autre

référentiel. On accède ainsi à une certaine universalité, on échappe à la subjectivité du lieu dans lequel on se trouve.

La mécanique classique (newtonienne) avait montré que les lois physiques sont les mêmes dans deux référentiels qui sont en translation rectiligne uniforme l'un par rapport à l'autre (**référentiels galiléens**). D'autre part elle avait postulé – nous l'avons déjà dit – que le temps est universel et s'écoule indépendamment des événements qui s'y déroulent.

Si l'on considère un événement E vu dans le référentiel S avec les coordonnées  $x, y, z, t$  et le même événement E vu dans le référentiel S' avec les coordonnées  $x', y', z', t'$  et que ce référentiel S' se déplace de façon rectiligne et uniforme par rapport à S avec une vitesse V, les lois de transformations pour passer du référentiel inertiel S au référentiel inertiel S' sont les suivantes:

$$\begin{aligned}x' &= x - Vt \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= t\end{aligned}$$

ce sont les **lois de transformations de Galilée**

A noter que même dans la mécanique classique il y a aussi mélange de l'espace et du temps ( $x' = x - Vt$ ) ! Il sera accentué dans la relativité restreinte.

Il en résulte la loi **d'addition des vitesses**, c'est-à-dire que la vitesse d'un mobile dans un référentiel est égale à la vitesse de ce mobile dans un autre référentiel additionnée de la vitesse de translation de celui-ci par rapport au premier:

$$v = v' + V$$

#### PRELIMINAIRES à la RELATIVITE RESTREINTE

La mécanique classique marchait bien et marche toujours bien d'ailleurs. Elle est 'opérateur' pour la mécanique appliquée, l'astronomie, l'aéronautique ...

Les choses se sont gâtées avec la découverte de l'électromagnétisme.

En effet, si on applique les lois de transformations de Galilée aux phénomènes régis par les lois de l'électromagnétisme, les équations de Maxwell sont complètement transformées lorsque l'on passe d'un référentiel à un autre. On dit qu'elles ne sont pas invariantes vis-à-vis de cette transformation.

C'est tout à fait normal d'ailleurs, car il figure dans les équations de Maxwell un paramètre C correspondant à la vitesse de propagation d'une onde dans un certain milieu: l'éther. Le référentiel de cet 'éther' est obligatoirement différent d'au moins un des référentiels dans lesquels les mesures sont faites.

En l'occurrence les mesures électromagnétiques faites sur la Terre devraient constamment varier car celle-ci n'est certainement pas attachée au référentiel de l'éther d'une part et d'autre part elle n'est pas en translation uniforme par rapport à lui si l'on considère simplement ses mouvements diurnes et annuels.

Pourtant les mesures électromagnétiques pratiques sont toujours les mêmes tout le long de l'année et toutes les tentatives pour mettre en évidence le mouvement de la Terre par rapport à ce référentiel absolu sont demeurées vaines (expérience de l'interféromètre de Michelson).

On est donc en présence d'un paradoxe:

- Les équations de Maxwell ne sont pas invariantes vis-à-vis des lois de transformations de Galilée
- Les équations de Maxwell sont invariantes vis à vis des changements de référentiels galiléens

Autrement dit : mathématiquement les lois ne sont pas invariantes mais expérimentalement elles le sont !

Le physicien Lorentz a tenté de résoudre ce problème. Il pense que les équations de Maxwell ne sont valables que dans le référentiel particulier de l'éther. Pour rendre compte de la réalité expérimentale qui montre qu'elles s'appliquent également dans d'autres référentiels, il établit de nouvelles lois de transformations:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Ces nouvelles **lois de transformations de Lorentz** introduisent une contraction des dimensions et un ralentissement du temps par rapport à l'éther dans des proportions telles que la vitesse C reste toujours constante !

En particulier, il suppose que l'appareillage interférométrique de Michelson subit des déformations telles qu'elles empêchent de mesurer la vitesse effective de la Terre par rapport à l'éther.

Pour lui, ces contractions et ce ralentissement ne sont pas des réalités de la nature, mais des apparences, des "comme si".... inhérents à la nature même des équations de Maxwell (« il y a, à l'intérieur de la matière des forces électriques qui peuvent provoquer ces contractions ... »)! Il semblerait que la nature ne veuille pas que l'on découvre comment elle est constituée.

Le temps t' dans ces lois de transformations, n'est pas un temps vrai (Lorentz croit toujours au temps universel de la mécanique classique!)

Le monde expérimental est truqué !

Il découle de ces lois de transformations une nouvelle loi de composition des vitesses :

$$v = \frac{v' + V}{1 + v'V/c^2}$$

De plus on montre que la vitesse C constitue une limite qui ne peut être dépassée. En effet dans l'expression :

$$\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

si v devient plus grand que C nous obtenons la racine d'un nombre négatif, ce qui n'a pas de sens dans ce contexte.

C'était prémonitoire pour la contraction des longueurs, le ralentissement du temps et la vitesse limite de la lumière, mais la véritable nature des choses n'était pas appréhendée et c'est Einstein qui le fera en déclarant **qu'il n'y a pas d'éther !**

## **Donc pas de truquage !**

"Le Seigneur est subtil mais il n'est pas trompeur" (Einstein)

### LA RELATIVITE RESTREINTE

Postulat de la relativité restreinte :

La vitesse de la lumière dans le vide a même mesure C dans tous les référentiels galiléens

C'est-à dire:

la vitesse de la lumière est indépendante de la vitesse de sa source

la vitesse de la lumière est indépendante de la vitesse du récepteur

Il en découle une relativité du temps et des mesures de longueur.

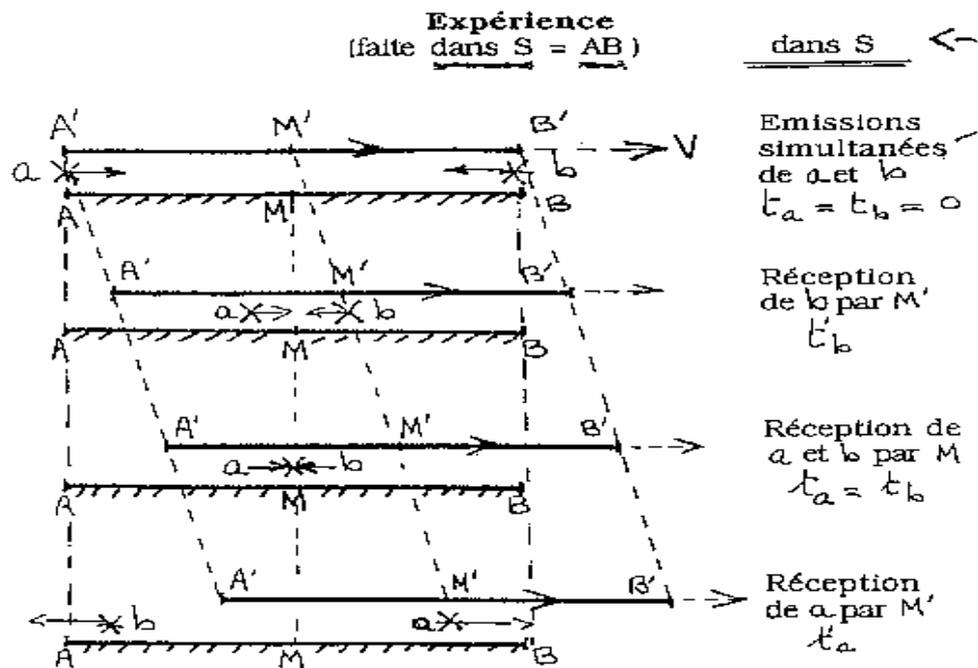
Soit une règle AB ayant un observateur M en son milieu.

Soit une règle A'B' en mouvement avec une vitesse V vers la droite par rapport à AB et ayant un observateur M' en son milieu.

La coïncidence du passage de A et A' émet un éclair, celle de B et B' un autre éclair.

Si M perçoit les deux éclairs simultanément il pourra affirmer que les deux règles ont même longueur et que les éclairs ont été émis au même moment.

Mais M', du fait qu'il s'approche de l'éclair issu de BB' et s'éloigne de celui issu de AA', ne percevra pas les éclairs simultanément et il interprétera que la règle AB se déplace sur la gauche, et qu'elle est plus courte que sa propre règle puisqu'il a d'abord perçu la coïncidence BB', puis, après un déplacement de AB, la coïncidence AA'



Donc:

**Le temps absolu n'a aucune signification. Chaque référentiel a un temps qui lui est propre**  
**Les dimensions des objets ne sont pas intrinsèques et dépendent du référentiel dans lequel on les observe**

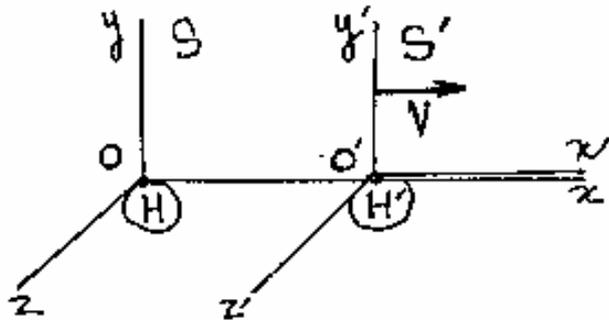
En définitive Einstein affirme que toutes les équations fondamentales de la physique (mécanique, electro-magnétisme, physique nucléaire, etc ...) sont invariantes dans les transformations du groupe de Lorentz.

#### UNE METHODE POUR COMPRENDRE la RELATIVITE

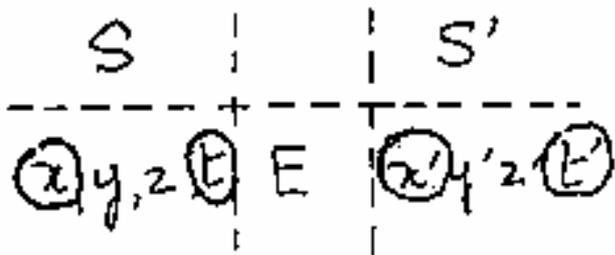
C'est une représentation sur un même graphique de l'espace et du temps d'un événement vu de deux référentiels différents.

Cela s'apparente à un système de coordonnées cartésiennes où le changement de coordonnées ne se fait pas par translation sur un des axes mais par rotation autour du point origine, d'un angle donné, proportionnel à la vitesse d'un référentiel par rapport à l'autre.

Soit un référentiel  $S'$  qui se déplace par rapport au référentiel  $S$  avec une vitesse  $V$  :



Un événement E aura les équations suivantes dans chacun des référentiels :



Le passage d'un référentiel à l'autre se fera en appliquant les transformations de Lorentz :

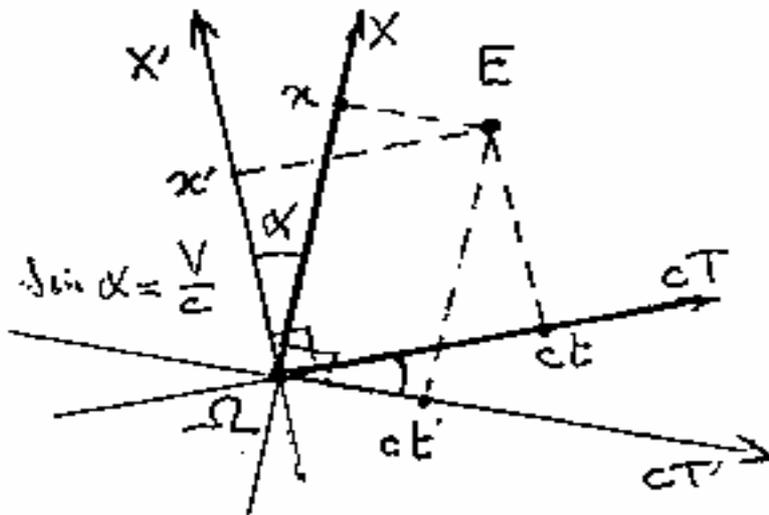
$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

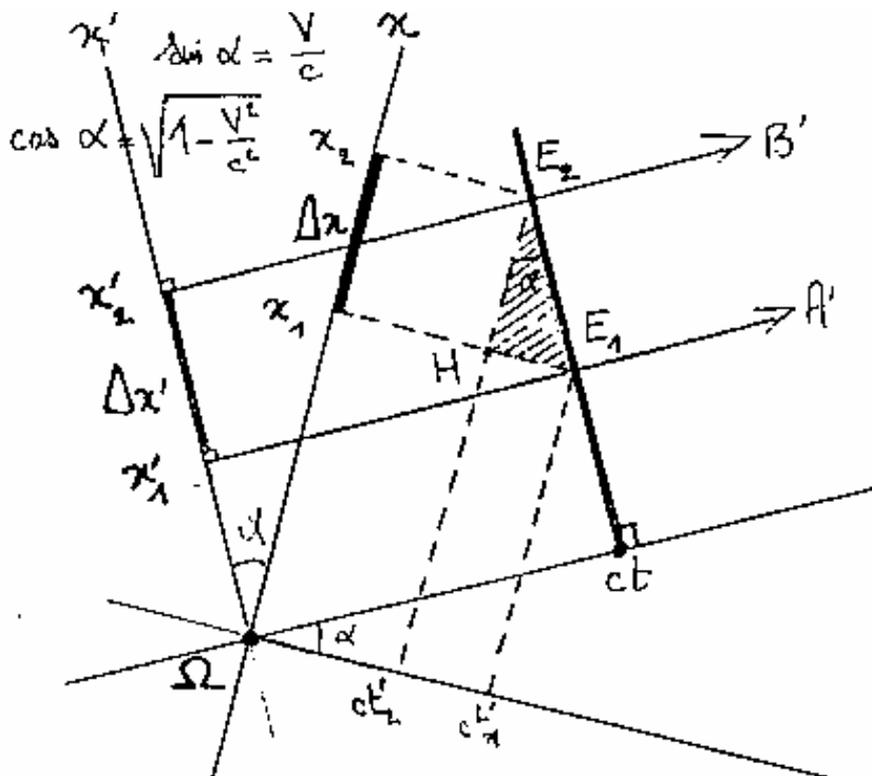
$$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

En représentant sur un graphique les axes des  $x$  et  $x'$  décalés d'un angle  $\alpha$  proportionnel à  $V/C$  et les axes des temps perpendiculaires,



on voit nettement que l'événement E qui a pour coordonnées  $x$  et  $Ct$  dans le référentiel S (traits forts), a des coordonnées  $x'$  et  $Ct'$  différentes dans le référentiel S' (traits fins).

Si on utilise cette méthode en portant sur un même graphique les coordonnées de temps et d'espace des deux événements  $E_1$  et  $E_2$  représentant les extrémités d'une règle on comprend très facilement la contraction des longueurs et la dilatation du temps.



### La règle a une longueur $\Delta x$ dans un référentiel et $\Delta x'$ dans l'autre

Les événements qui surviennent à ses extrémités sont simultanés dans un référentiel ( $Ct$ ) et séparés dans l'autre ( $Ct'_1$  et  $Ct'_2$ )

La dilatation des temps peut amener au fait qu'une personne qui voyage à grande vitesse par rapport à la Terre vieillit moins qu'une personne restée sur terre (paradoxe des jumeaux). Ce n'est pas une illusion mais une réalité biologique!

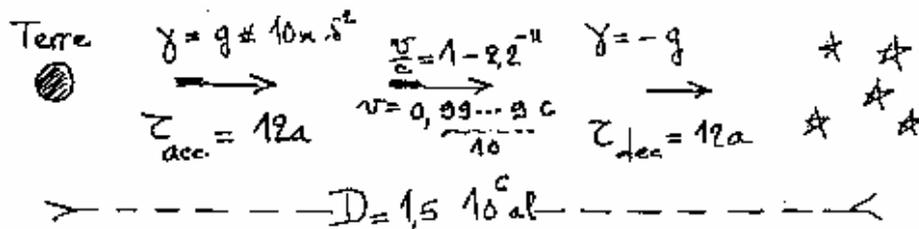
Bien sûr en pratique cela ne peut pas se vérifier car les vitesses de voyage sont bien trop faibles par rapport à la vitesse de la lumière, mais on le constate dans les accélérateurs de particules où l'on crée des particules dont la durée de vie est si faible – donc un parcours si réduit – qu'elles seraient incapables de laisser une trace dans les chambres de visualisation. Et pourtant elles en laissent, certaines de plusieurs mètres de long. Il en va de même des particules cosmiques que l'on peut détecter parce qu'elles ont des vitesses approchant celle de la lumière.

Un exemple amusant est le voyage intergalactique :

Imaginons un homme dans une fusée qui se dirige vers la galaxie d'Andromède. Celle-ci se trouve à une distance telle que la lumière – vu de notre référentiel – met 1,5 millions d'années à la parcourir.

Cette fusée subit une accélération continue de  $10 \text{ m/s}^2$ . Elle atteint ainsi en 12 ans une vitesse approchant (sans l'atteindre!) la vitesse de la lumière à 1/10 milliardième près. Elle continue sur sa lancée pendant 8 ans, puis décélère pendant 12 ans à  $10 \text{ m/s}^2$  pour arriver sur Andromède. Un temps identique étant nécessaire pour le retour, on s'aperçoit qu'un homme peut **aller sur Andromède et en revenir en 64 ans** (de son propre temps) ce qui est parfaitement réalisable. Mais qui se souviendra de lui à son retour, alors que sur terre **plus de 7 millions d'années se seront écoulées !!!**

Sans compter qu'il devrait emporter une quantité de carburant équivalente à la masse de la Terre !!



$$\tau(a) = 12a + 8a + 12a = 32a$$

$$T(a) = 1,2 \cdot 10^6 + 1,21 \cdot 10^6 + 1,2 \cdot 10^6 = 3,6 \cdot 10^6$$

$$L(a) = 0,15 \cdot 10^6 + 1,2 \cdot 10^6 + 0,15 \cdot 10^6 = 1,5 \cdot 10^6$$

$$\frac{m_f}{M_e} = 3,3 \cdot 10^{-6} \times 1 \times 3,3 \cdot 10^{-6} = 1,1 \cdot 10^{-11}$$

1 kg sur Andromède exige  $10^{11}$  kg de carburant

Le manque de temps n'a pas permis d'aborder un autre aspect de la relativité restreinte: l'équivalence masse-énergie et la fameuse équation :  $E = mc^2$

René Servanin

## Assemblée Générale du 22/2/2003

Présentation du rapport moral, avec pour sujets, les conférences, les soirées d'initiation, les animations et soirées d'observation, la mise en place de la nouvelle bibliothèque, l'atelier d'aluminure et diverses activités.

**Les conférences :** Comme chaque année, elles ont été suivies par un public nombreux et fidèle. En moyenne 70 à 100 personnes, ce qui est un très beau résultat par rapport au nombre de membres. Merci encore à nos conférenciers qui ont su captiver le public grâce à leurs exposés.

**Les soirées d'initiation :** Depuis le 23/11/2002 sont organisées à l'observatoire des soirées d'initiation animées par des membres de la S.A.L. Ces soirées se dérouleront jusqu'au 31/5/2003. Elles connaissent aussi un bon succès avec en moyenne 20 participants.

### **Les animations et soirées d'observation :**

Du 19 au 22 mars 2002, nous avons participé au stage d'un groupe de scolaires d'Amiens venus découvrir la région lyonnaise. Ce stage se déroulait à Duerne, avec exposés, observation du Soleil. Une soirée était prévue avec le club des Monts du Lyonnais, mais n'a pu avoir lieu pour cause de mauvais temps.

L'Observatoire de Lyon a organisé en 2002 quatre soirées d'observation auxquelles plusieurs membres de la S.A.L ont participé pour aider les organisateurs. les 20/4, 17/5, 20/6, 12/9.

Le 20 avril a réuni environ 80 personnes. Malheureusement il n'y a pas eu d'observation pour cause de temps couvert.

Le 17 mai, beau temps avec 140 personnes. Nous avons pu observer le regroupement des planètes visibles à l'œil nu. Même Mercure était bien visible dans le crépuscule. En plus des 5 planètes, la Lune aussi était visible juste avant le premier quartier. Ce fut un spectacle magnifique, comme on en voit très rarement.

Le 9 juin avait lieu le voyage annuel en direction de Saint Michel l'Observatoire. Cette visite qui s'est déroulée par beau temps avait réuni une quarantaine de personnes.

Le 20 juin ce fut le record d'affluence avec 200 personnes. Le temps était couvert une fois de plus.

Le 22 juin, deux membres sont allés aux environs de Vienne animer une soirée avec diapositives et observation à l'œil nu. Cette soirée était organisée par le club des « croqueurs de pommes du Dauphiné » ( Il s'agit de personnes qui font des études sur les variétés de pommes).

Le 9 juillet avait été prévue une soirée à Lamure sur Azergues organisée par le Syndicat de Haute Azergues. Cette soirée ne put avoir lieu, le ciel étant couvert. Reportée au lendemain, elle fut annulée pour le même motif. Une soirée était prévue pour le 7 août mais elle fut également annulée.

Le 9 août devait avoir lieu la nuit des étoiles organisée comme chaque année par la S.A.L au fort de Côte Lorette à Saint Genis-Laval. La pluie a empêché cette manifestation d'avoir lieu. Nous commençons à être habitués !

Comme depuis maintenant 7 ans, le camp d'été s'est déroulé du 24 au 31 août à Plan de Baix dans la Drôme. Les 39 participants attendaient avec impatience les belles soirées d'observations, mais cette attente fut vaine. Sur les sept nuits que nous comptons passer sous le ciel étoilé, une seule fut partiellement favorable pendant deux heures environ.

Le 12 septembre, la dernière soirée organisée par l'Observatoire avait rassemblé beaucoup de monde comme les autres, mais elle se déroula sous un ciel couvert. Heureusement que dans de telles circonstances, la maquette des éclipses de M. Joie qui était mise à contribution, intéressait beaucoup les visiteurs.

### **Nouvelle bibliothèque :**

Le 13 novembre eut lieu l'inauguration de notre nouvelle bibliothèque, l'ancienne ne pouvait plus être utilisée par suite de réaménagement des locaux. Mais grâce à l'amabilité de M. Bacon, nous avons maintenant à notre disposition l'ancien bâtiment du sidéostat. Il a été remis en état par nos membres qui n'ont pas ménagé leur peine pour repeindre, poncer et vernir le parquet, et remettre en place tous les livres et documents.

### **Aluminure des miroirs et divers :**

Grâce à la cuve à vide construite par notre ami Jean Cornier, plusieurs miroirs de diamètre jusqu'à 600 mm ont pu retrouver une aluminure neuve. Notamment le miroir de 600 mm du télescope dont dispose la SAL. Ce savoir faire participe à la renommée de notre Club. Nous avons profité de cette cure de jouvence pour moderniser le pilotage et le suivi de ce télescope.

### **Edition du calendrier 2003 :**

Encore grâce à Jean Cornier, photographe de grande classe, nous avons édité pour la première fois un calendrier astronomique avec de magnifiques photographies du ciel. Ce calendrier a obtenu un gros succès et la demande a dépassé l'offre. Un grand merci à Jean Cornier pour tout le travail qu'il a fait.

Nous fondions, comme chaque année, de grands espoirs pour cette année 2002. En ce qui concerne les observations, ce fut une suite de déceptions comme nous en avons rarement connues, l'année est cependant restée riche en activités et en projets.

Nous espérons que 2003 nous sera plus favorable car deux grands événements nous attendent : Transit de Mercure devant le Soleil le 7 mai ; Opposition périhélique de Mars le 28 août entre autres, qui nous feront peut être oublier les déconvenues de 2002.

**Le Président Paul Sogno.**

Lors de l'assemblée générale du 22 février 2003, il a été procédé à l'élection du conseil d'administration de la S.A.L.

### **Composition du conseil d'administration :**

Mmes Juliette BREMOND, Florence FERRAND.

MM Jean Pierre AUGOYAT, Roland BACON, Claude BEAUDOIN, Alain BREMOND, Albert CICERON, Bernard DELLA NAVE, Claude DESUZINGES, Dominique DUBET, Claude FERRAND, David FOUILLAT, Pierre FRANCKHAUSER, Robert JOIE, Jean Christophe MARTEAU, Georges PATUREL, Robert PRUD'HOMME, Michel RANDONE, Mr Pierre SANTSCHI, Paul SOGNO, Daniel SONDAZ.

### **Composition du Bureau élu le 7 mars 2003 :**

Président	M. Paul SOGNO
Président d'Honneur	M. Roland BACON
Vices Présidents	Mr Claude FERRAND
"	Mr Alain BREMOND
Secrétaire Général	M. Pierre FRANCKHAUSER
adjoints	Mme Florence FERRAND
"	M. Pierre SANTSCHI
Trésorier Général	M. Claude BEAUDOIN
Adjoints	M. Robert JOIE
"	Mme Juliette BREMOND
Bibliothécaire	Mr David FOUILLAT

# MOTS CROISES

## HORIZONTALLEMENT

- A -Constellation métamorphose de Pan.
- B -N'interviennent pas dans l'orchestration universelle. /- Voies terrestres pédestres.
- C -Peut désigner une étoile variable. /-Latin qui sépare La Grande de La Petite.
- D -La Croix l'indique. /-Celle de Cap Canaveral est dédiée au lancement d'engins spatiaux.
- E -Position intérieure. /-Oiseau austral à la poursuite du Poisson. /  
-Les 2/3 se sont posés sur la Lune.
- F -Constellation crainte du Bélier.
- G -Ordinateur individuel. /-Constellation pour Messieurs ou pour Dames.
- H -Chevalier contemporain de Louis xv (aimait se vêtir en femme). /-Justice.
- I -Fleuve des Enfers , s'écoule entre Achernar et Cursa /-Carburant des étoiles.

## VERTICALEMENT

- 1 - W ou M dans le ciel boréal.
- 2 - Cette étoile double s'est dédoublée. /-Sur le casque des soldats des Nations Unies. /-La fin de l'étoile dédoublée.
- 3 - Ce que le Soleil fait de sa masse. /-Métal de Nouvelle Calédonie.
- 4 - Commun à Algethi et Alhague. /-Pas Juif.
- 5 - Est anglais. /-Relation d'Andromède à Zeus et Danaë par son mariage avec leur fils Persée. /-Moitié des Voiles latines.
- 6 - Petite constellation qui surgit de la mer.
- 7 - Grande ou Petite. /-Antépénultième et son symétrique dans l'alphabet.
- 8 - Terminaison –pluriel de Rosa. /-Tête de Dragon.
- 9 - Autre que Messier. /-Constellation des mélomanes.
- 10 - Use par frottement. /-Constante de Hubble.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A										
B										
D										
E										
G										
H										
I										

Horizontallement:  
CAPRICORNE-ALFAZ-GR-RS-DRACO-SUD-BASE-III-GRUE-LE-Loup-PC-HYDRE-EON-LIBRA-ERIDAN-H

Verticallement:  
CASSIOPEE-AL-UN-COR-PERD-III-RAS-GOI-IS-BRU-T-A-DAPHHIN-OURSSE-YB-AE-DRA-NGC-L-YRA-ERODE-H