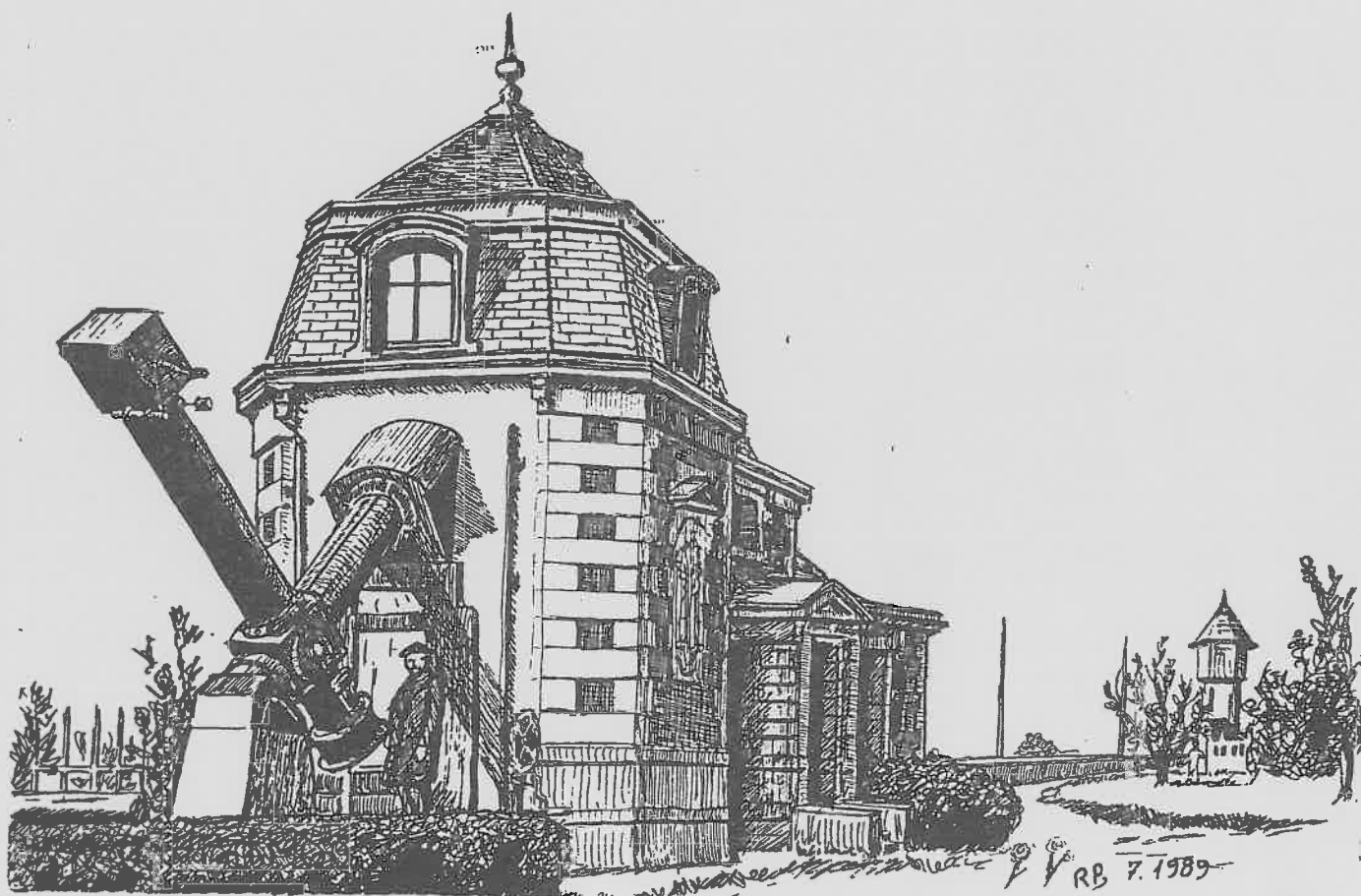
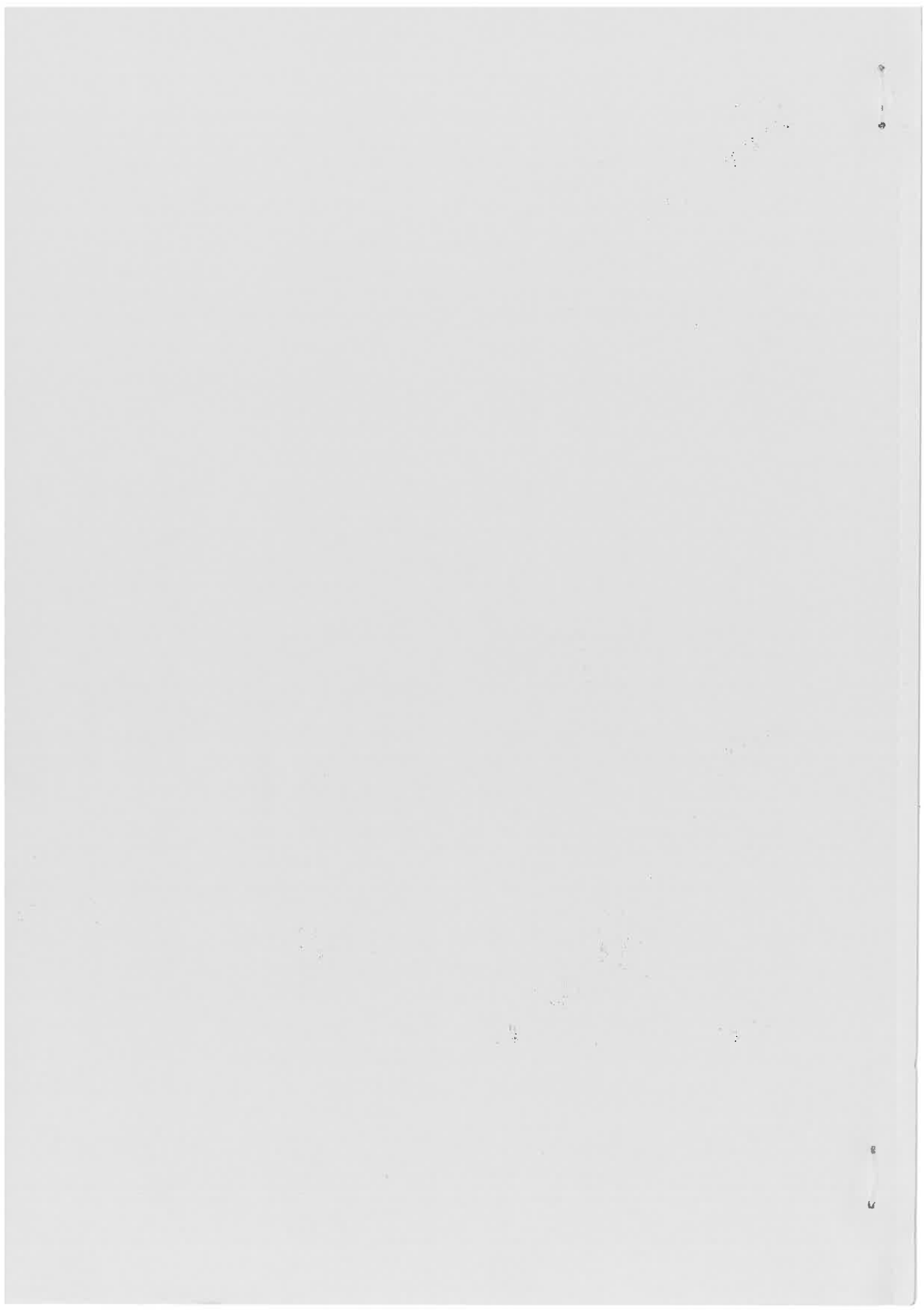


# Société Astronomique de Lyon



BULLETIN No 36 - Mars 1994



# **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 (université Claude Bernard - Lyon I)  
69230 SAINT GENIS-LAVAL  
C.C.P. Lyon 1822-69S

## **BULLETIN N°36**

**MARS 1994**

### **SOMMAIRE**

**Page 2 - Projet d'imagerie CCD à la SAL.**  
Par Olivier Brun.

**Page 5 - La relativité.**  
Conférence du 13 mars 1992 par Daniel Sondaz.

**Page 14 - Réunion du conseil de la S.A.L.**  
du 13 janvier 1994

**Page 15 - Poème "A l'étoile du soir"**  
d'Alfred de Musset.

**Page 16 - L'heure sidérale.**  
Comment l'obtenir et la conserver ? Par Gilbert Lefebvre.

# PROJET D'IMAGERIE CCD A LA SAL

---

Le projet consiste à mettre en oeuvre les nouvelles technologies d'acquisition et de traitement d'images, de façon à pouvoir débiter une activité d'astrophotographie sur les instruments d'observation de la SAL.

De façon générale, le matériel principal consiste en une caméra électronique CCD montée sur un télescope et couplée à un micro-ordinateur de type PC pour acquérir les images, les mémoriser et les traiter. Les avantages sont une bonne sensibilité à la lumière, une mémorisation facile, un traitement de l'image possible pour l'améliorer vis à vis des défauts de prise de vue: optique, contraste, turbulences,...

Ces techniques sont actuellement généralisées dans les observatoires, et les clubs d'astronomie commencent à s'équiper petit à petit.

## PROJET ANVAR.

L'agence Nationale de Valorisation de la Recherche propose des aides financières pour des projets techniques montés notamment par des clubs d'amateurs, et il semblait donc tentant de faire subventionner une partie des dépenses par cet organisme.

L'ANVAR définit ses différentes missions : sensibilisation des jeunes à la culture scientifique, transfert de technologie dans les entreprises, soutien à des projets Européens. Ainsi, elle affectionne plus particulièrement les projets d'association ayant 1) un but technologique affirmé, 2) un partenaire industriel, 3) une sensibilisation des jeunes à la culture scientifique et 4) la promotion auprès du grand public.

Le projet a été rédigé dans cet esprit et il est intitulé : " Développement d'une plateforme d'imagerie CCD sur télescope de 600mm pour l'astronomie d'amateur" . Il a été accepté par l'ANVAR avec un taux d'aide de 49.4%, pour un maximum théorique de 50%.

L'ANVAR nous donne jusqu'à octobre 94 pour réaliser le projet. A cette date un rapport technique sur les résultats obtenus devra leur être remis.

Le projet présenté comporte les phases suivantes:

- 1) -la définition de l'ensemble adéquat caméra, ordinateur, télescope.
- 2) -le choix du matériel et des logiciels.
- 3) -la mise en oeuvre restreinte de l'ensemble caméra/ordinateur.
- 4) -l'adaptation mécanique et optique aux instruments de la SAL: T600, C8,...
- 5) -les essais d'ensemble, le choix du mode d'exploitation logiciel.
- 6)-le programme d'observation du ciel pour validation et démonstration à l'ANVAR,...

## MATERIEL RETENU.

Le système d'acquisition est composé d'une caméra électronique de technologie CCD (Coupled Charged device). Après une petite étude comparative, le choix s'est porté sur une caméra LE2IM de bon rapport qualité/prix. D'une résolution d'image de 758\*512 points, elle numérise les images sur 4096 niveaux de gris (12 bits). De longues poses sont possibles grâce à un refroidisseur interne par module PELTIER, autorisant un temps maximum de 30 minutes. Pour se rendre compte de la sensibilité, le constructeur a pris une photo de la galaxie ARP78 par compositage de 6 vues de 3 minutes chacune. Certes, la caméra était au foyer du T60 du Pic du Midi, mais la magnitude limite mesurée était quand même de...22,3...

La caméra doit être couplée à un micro-ordinateur PC pour acquérir, prétraiter, mémoriser les images. Un "NOTEBOOK" portable simple a été choisi, complété par un PC de table "DESKTOP" plus puissant. Ainsi il sera possible simultanément d'acquérir des images sur le 1<sup>er</sup> ordinateur et de traiter/visualiser d'autres images, précédemment acquises, sur le 2<sup>ème</sup> ordinateur. Cette solution a été préférée à un seul ordinateur portable de haut de gamme couleur qui ne procurerait qu'un seul poste disponible.

Les logiciels retenus, nécessaires au fonctionnement, sont MIPS et PRISM. Le premier est adapté à la caméra LE2IM pour l'acquisition et le pré traitement des images. Le 2<sup>ème</sup> concerne le traitement d'images et la visualisation couleur très "confortable".

Enfin l'adaptation mécanique de la caméra sur les différents télescopes se fera grâce à un système réducteur/diviseur permettant aussi le contrôle du suivi de l'instrument sur le ciel. L'ensemble sera complété par un obturateur et un porte filtre.

Actuellement nous sommes en phase d'achat de matériel.

### **LE CHAMP OPTIQUE EN ACQUISITION D'IMAGES.**

La cellule active de la caméra CCD a des dimensions physiques de 6.9 par 4.6mm. C'est petit, mais plus gros que les CCD des caméras d'amateur de première génération! Cela donne un champ maximum de l'ordre de 2' d'arc au foyer du T600 (mm), et un champ de l'ordre de 12' au foyer du C8. En considérant la taille des objets astronomiques les plus courants, il apparaît que le T600 sera plus adapté à l'acquisition planétaire et nébuleuses planétaires (certains petits objets lointains seront-ils quand même accessibles?). Le C8 et le 250 sembleraient plus adaptés aux objets du ciel profond classique: M13 et M15 de taille 10' d'arc, M1 de taille 6' par 4', etc.

### **QUEL TYPE D'OBSERVATION FAIRE AVEC LA CAMERA?**

En plus des observations classiques d'objets en longue pose "appareil photo", la caméra CCD permet de réaliser des temps de pose courts sur des objets brillants et donc de diminuer l'effet des turbulences thermiques. De plus les possibilités de mémorisation de multiples images, permettraient de les visualiser en séquence à l'écran, un peu à la manière d'un film... Ainsi, il serait possible de montrer des phénomènes fugitifs, ou au contraire très longs ou trop rares, en les restituant à une échelle humaine. Par exemple un enchaînement d'images d'ombres de cratère de Lune, un passage de satellite sur Jupiter, des phases de Vénus, etc.

Ces aspects ont été décrits à l'ANVAR pour soutenir le côté originalité technique nécessaire. Ainsi le volet "promotionnel auprès du public..." cher à l'ANVAR se retrouve ici, puisqu'il pourrait être intéressant de montrer les images obtenues sur l'écran PC, particulièrement les soirs de pluie...

Un exemple de programme d'observation facile à tenter au début, pourrait être l'acquisition d'images de JUPITER. En effet:

- la planète semble bien adaptée à première vue à l'optique du T600 et assez lumineuse au ciel de LYON.
- des phénomènes intéressants et fugitifs sont visibles: passages de satellites, éclipses, variation des bandes équatoriales, rotation de la planète, tache...
- essai possible éventuel de prise d'images couleur, grâce à l'emploi de 3 filtres R,V,B prévus au budget.

## POURQUOI FAIRE DE L'IMAGERIE CCD ?

Cette technique peut permettre d'apprendre ou d'utiliser:

- l'astrophotographie CCD
- les micros ordinateurs
- le traitement d'images

A partir de là, des possibilités nouvelles sont possibles:

- faire de l'acquisition couleur (logiciel PRISM ou MIPS)
- faire de l'enchaînement d'images multibandes pour la reconstitution du mouvement d'objets
- faire de l'acquisition d'images en longue pose avec un télescope DOBSON, SANS moteur d'entraînement, par compensation automatique du mouvement de la terre (fonction existante dans le logiciel MIPS)
- faire du traitement d'images pour l'améliorer, réaliser du compositage, reconstituer un grand champ par une mosaïque de vues (fonction logicielle existante), augmenter le contraste, créer de la pseudo-couleur pour mieux visualiser de faibles différences de lumière
- .....s'essayer (?) à rechercher de nouvelles supernovae par la fonction implémentée logicielle de microscope BLINK !!!

Du travail en perspective.....

**Olivier BRUN**

# LA RELATIVITE

Conférence de D. Sondaz le 13 mars 1992

"En haut, en bas, partout, la profondeur, la grève, le silence, l'espace affreux et captivant::"  
Baudelaire, Le gouffre

"Souviens-toi que le temps est un joueur avide qui gagne sans tricher, à tout coup! c'est la loi"  
Baudelaire, L'horloge

## INTRODUCTION

La relativité restreinte, fille de l'électromagnétisme, a définitivement prouvé que l'espace et le temps absolu n'existaient pas. Les conséquences bien connues (la vitesse de la lumière ne peut pas être dépassée,  $E=Mc^2$ , etc.) sont d'un usage quotidien en physique. Elle est maintenant enseignée dès le premier cycle universitaire ou les classes préparatoires aux grandes écoles. La relativité générale est une théorie de la gravitation. Encore plus déconcertante pour le bon sens que la relativité restreinte, elle nécessite pour être exposée correctement un outillage mathématique non élémentaire et, de ce fait, elle n'est enseignée qu'en deuxième cycle ou troisième cycle de l'Université. Elle est indispensable à qui veut faire de la cosmologie ou étudier la matière dans des états hyperdenses (étoiles à neutrons). Dans ces quelques pages nous ne tenterons pas de résumer ces deux théories sans utiliser le langage mathématique adéquat, ce serait aussi ridicule qu'impossible. Nous essayerons de montrer que ces théories n'ont pas été construites ex nihilo en examinant quels étaient les problèmes qui se posaient aux physiciens de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle et auxquels la relativité a apporté des réponses. Nous énumérerons un certain nombre de conséquences de la relativité et nous passerons en revue les preuves expérimentales de celle-ci.

## LA RELATIVITE RESTREINTE

On a longtemps cru à l'existence d'un espace absolu, d'un espace en lui-même, celui à propos duquel Newton écrivait: "L'espace absolu, sans relation avec les choses externes, demeure toujours similaire et immobile". Un mouvement absolu serait un mouvement par rapport à cet espace absolu. Par exemple si je dis qu'un homme marche à 5 Km/h. On a longtemps cru que la question : quelle est sa vitesse par rapport à l'espace absolu? avait un sens.

Pendant, Galilée déjà, puis Newton qui le formula de façon exacte en 1687, avaient énoncé un principe de relativité: dans un système en mouvement de translation rectiligne et uniforme, aucune expérience de mécanique ne peut mettre en évidence ce mouvement. Dans la vie courante, si nous sommes dans un navire qui navigue en ligne droite, avec une vitesse constante, sur une mer calme, nous sommes incapables de dire si le navire avance ou si nous sommes à l'ancre. D'une manière plus moderne, les mécaniciens disent, de nos jours: les lois de la mécanique sont identiques par rapport à tous les repères en mouvement de translation rectiligne et uniforme les uns par rapport aux autres. Cela semble rendre inaccessible l'espace absolu.

Pendant longtemps la géométrie fut l'étude des objets (ou figures) situés dans l'espace euclidien à trois dimensions qui est un bon modèle mathématique de l'espace physique de la vie courante. Au XIX<sup>ème</sup> siècle, les mathématiciens élaborèrent une notion de géométrie beaucoup plus générale: édifier une géométrie, c'est se donner a priori un certain nombre de définitions et d'axiomes, puis à partir de ceux-ci, démontrer des théorèmes en respectant les règles de la logique et en utilisant l'outillage fourni par les mathématiques. Une géométrie est-elle plus vraie qu'une autre? Evidemment non, elles sont toutes vraies dans la mesure où les résultats qu'elles fournissent ont été prouvés en respectant les règles de la logique. Que dire alors de leur application à des situations physiques? Cela dépend de la situation physique considérée: si l'on veut dresser le plan de son jardin on utilisera la géométrie euclidienne à deux dimensions; si l'on veut, sur une mappemonde, mesurer des distances ou comparer la taille de divers pays, on utilisera la géométrie sphérique à deux dimensions ( qui est non

euclidienne). De plus, l'ancienne géométrie s'attachait à l'étude des propriétés des figures, ou, si l'on préfère, des objets placés dans l'espace tandis que ces nouvelles géométries vont étudier les propriétés de l'espace en lui-même (par exemple sa courbure). Cela fait donc s'éloigner un peu plus l'idée d'un espace absolu.

La notion d'un temps mesurable objectivement, s'écoulant de la même manière pour tous les observateurs, fut longue à être élaborée. C'est sur l'astronomie que s'appuya la définition d'une telle notion. Elle fut suffisamment bonne pour permettre les formidables succès de la mécanique céleste. Ce temps peut aussi être mesuré par des phénomènes périodiques: succession des jours, oscillations d'un pendule, etc. On postula donc l'existence d'un temps absolu à propos duquel Newton écrivait; "Le temps absolu, vrai et mathématique, sans relation avec rien d'extérieur, s'écoule uniformément."

En mécanique on étudie le mouvement d'un corps par rapport à un autre que l'on appellera repère ou référentiel. Plus précisément, le physicien attache à cet autre corps un système de trois axes de coordonnées deux à deux orthogonaux et c'est ce dernier que l'on qualifie de repère. On étudie par exemple le mouvement d'un train par rapport à la Terre ou le mouvement de la Terre par rapport au Soleil ou le mouvement du Soleil par rapport au plan galactique, etc. La mécanique rationnelle classique s'appuie sur un petit nombre de postulats suggérés par l'expérience. La première loi de Newton (loi de l'inertie) dit qu'un point matériel libre demeure au repos ou se meut d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme. La deuxième loi de Newton dit qu'un point matériel de masse  $m$  soumis à une force  $F$  a un mouvement dont l'accélération  $\gamma$  est reliée à  $F$  par la formule  $F = m \cdot \gamma$ . Tout repère dans lequel ces postulats sont valables s'appelle un repère galiléen ou inertiel. Le référentiel de Copernic dont l'origine est au centre de gravité du Système solaire et dont les axes ont des directions fixes par rapport aux étoiles est un repère galiléen. Tout référentiel animé d'un mouvement de translation rectiligne et uniforme par rapport à un référentiel galiléen est un référentiel galiléen. Les équations de la mécanique ont la même forme dans tous les repères galiléens, c'est le principe de relativité de Newton (ou de Galilée).

Afin d'expliquer les mouvements des planètes par rapport au Soleil, Newton énonça sa célèbre loi de la gravitation (ou de l'attraction) universelle: deux points matériels s'attirent mutuellement par une force proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance. A priori, on devrait distinguer, pour un même corps, deux masses: une masse dite inerte, coefficient de proportionnalité entre la force et l'accélération dans la deuxième loi de Newton et une masse grave, caractéristique intrinsèque du corps, sorte de mesure de la quantité de gravitation possédée par le corps. Newton admit l'équivalence de ces deux masses, équivalence mesurée expérimentalement par Eötvös en 1922 à  $10^{-9}$  près.

En 1864, Maxwell publia une des plus belles et des plus fécondes théories de la physique classique, théorie qui unifiait l'électromagnétisme et l'optique. Conformément à cette théorie, la lumière est une onde électromagnétique et les physiciens du XIX<sup>ème</sup> siècle pensaient que, comme les ondes acoustiques, cette onde avait besoin d'un milieu matériel pour se propager, milieu que l'on baptisa éther. Comme la lumière se propage dans le vide on devait admettre que cet éther remplissait tout l'espace. De plus, la vitesse  $c$  de la lumière dans le vide était la vitesse de la lumière par rapport à l'éther. Depuis 1676 on avait une idée de la valeur de  $c$ : à cette date, Roemer l'avait mesurée en utilisant les satellites de Jupiter. En 1927, Michelson la déterminera à 4 Km/s près:  $c = (299\ 796 \pm 4) \text{ Km/s}$ . L'éther, s'il existait, devenait un bon candidat à être l'espace absolu, notion de laquelle, on l'a vu, on s'était de plus en plus éloigné.

La vitesse de la lumière par rapport à l'éther mesurée dans un référentiel en mouvement par rapport à l'éther doit dépendre de la vitesse de ce référentiel par rapport à l'éther: si le référentiel a une vitesse  $v$  par rapport à l'éther, la lumière doit se propager à la vitesse  $c + v$  ou  $c - v$  par rapport à l'éther selon qu'elle est émise en direction du mouvement du référentiel par rapport à l'éther ou en sens inverse. Mieux, la mesure de ces deux vitesses (si on parvient à la réaliser!) doit fournir la vitesse  $v$  du référentiel par rapport à l'éther. Donnons une comparaison: un train (le référentiel) roule à  $v = 100 \text{ km/h}$  par rapport à la Terre (l'éther): un voyageur (la lumière ou, si l'on veut, un photon!) marche dans les couloirs du train à  $c = 5 \text{ km/h}$ . S'il va de la queue vers la tête du train sa vitesse par rapport à la Terre est  $105 \text{ km/h}$ ; s'il va dans le sens contraire, sa vitesse par rapport à la Terre est  $95 \text{ km/h}$ . Si par un moyen quelconque on a pu mesurer ces deux vitesses, on peut retrouver, connaissant la vitesse de



marche du voyageur  $c=5\text{km/h}$ , la vitesse  $v$  du train par rapport à la Terre puisque  $v+5+v-5=105+95$ .

On a donc tenté d'imaginer des expériences permettant de réaliser de telles mesures. En 1881, Michelson élaborait pour la première fois une expérience (s'appuyant sur le déplacement de franges d'interférences) destinée à mettre en évidence le mouvement de translation de la Terre sur son orbite ( $v \approx 30\text{km/s}$ ) en mesurant la vitesse  $c+v$  de la lumière dans le sens du mouvement de la Terre et sa vitesse  $c-v$  en sens contraire: quelle que soit la direction de la lumière, on trouva toujours la même valeur, égale à la vitesse  $c$  de la lumière dans le vide. c'est un peu, comme si dans l'exemple concret précédent, on trouvait que la vitesse du voyageur marchant dans le train était, par rapport à la Terre, de  $5\text{km/h}$ , quel que soit son sens de marche (au lieu de  $105\text{km/h}$  et  $95\text{km/h}$ !). Cette expérience renouvelée bien des fois et de façon très précise: le résultat a toujours été le même. Il devenait urgent de trouver une explication à cela. De plus, on remarquait que les équations de Maxwell étaient valables dans tous les référentiels galiléens puisqu'elles expriment les lois de l'électromagnétisme et de l'optique et que celles-ci restent vraies au cours du mouvement de rotation de la Terre autour du Soleil, pendant que la Terre coïncide successivement avec une infinité de repères galiléens. Par conséquent, leur forme mathématique aurait dû rester la même quand on leur applique les formules permettant de passer d'un référentiel galiléen à un autre. Un calcul simple montre qu'il n'en est rien.

Il devenait donc nécessaire de trouver une explication à cela. On en proposa un certain nombre dans le détail desquelles nous n'entrerons pas. Il faut néanmoins parler de celle du physicien hollandais Lorentz puisqu'elle ouvre la voie à la relativité restreinte. Il déduisit des équations de Maxwell que si un objet de longueur au repos  $L_0$  se déplace à la vitesse  $v$  (d'un mouvement rectiligne et uniforme) par rapport à un observateur, la vitesse  $v$  étant dirigée dans le sens de cette longueur, l'observateur qui mesurera l'objet lui trouvera une longueur égale à  $L = L_0 \cdot \alpha$  ou  $\alpha = \sqrt{1-v^2/c^2}$  donc  $L < L_0$ : c'est le phénomène de contraction des longueurs. Il en déduisit aussi (avec le grand mathématicien Henri Poincaré) le phénomène de dilatation des temps (ou de ralentissement des horloges): si dans un repère se déplaçant à la vitesse  $v$  par rapport à l'observateur se déroule une expérience de physique, sa durée  $T_0$  mesurée dans le repère où celle-ci a lieu et sa durée  $T$  mesurée par l'observateur sont reliées par  $T_0 = T \cdot \alpha$ , donc  $T > T_0$ . Enfin on en tira que, si un objet se déplace par rapport à l'observateur avec la vitesse  $v$ , sa masse  $M_0$  mesurée dans un repère lié à l'objet (masse au repos) et sa masse  $M$  mesurée par l'observateur sont reliées par  $M_0 = M \cdot \alpha$ . Mais la théorie de Lorentz apparaît insatisfaisante parce que s'appuyant sur des concepts inaccessibles à l'expérience: éther, longueur vraie, temps absolu,...

C'est en 1905 qu'Einstein publia sa théorie de la relativité restreinte. Elle est fondée sur le principe suivant (qui est une généralisation du principe de relativité de Newton): toutes les lois de l'électromagnétisme et de la mécanique ont les mêmes expressions mathématiques dans tous les référentiels galiléens (les physiciens disent: les équations de l'électromagnétisme et de la mécanique sont invariantes par les changements de repère galiléen). Autrement dit, on ne peut mettre en évidence un mouvement de translation rectiligne et uniforme ni par une quelconque expérience de mécanique (ce que l'on savait déjà) ni par une quelconque expérience d'électromagnétisme (c'est ce qu'a rajouté la relativité restreinte). Il en résulte en particulier que la vitesse de la lumière est la même dans tous les repères galiléens, ce qui explique le résultat négatif de l'expérience de Michelson.

Le modèle mathématique pour l'espace physique permettant le développement de la théorie de la relativité restreinte est ce que l'on appelle l'espace de Minkowski: c'est un espace pseudo-euclidien de dimension 4. Nous ne pouvons en dire plus ici mais examinons plutôt les conséquences que, à l'aide d'un peu de mathématiques relativement élémentaires, on peut tirer du principe de relativité restreinte énoncé précédemment.

Il n'y a ni espace absolu ni temps absolu. Les formules permettant le changement de repère galiléen mêlent l'espace et le temps. La formule simple, dite de Galilée, donnant la vitesse  $v^1$  d'un point par rapport à un repère  $n^{\circ}1$  en fonction de sa vitesse  $v^2$  par rapport à un repère  $n^{\circ}2$  et de la vitesse  $v^3$  de ce repère  $n^{\circ}2$  par rapport au repère  $n^{\circ}1$ ,  $v^1 = v^2 + v^3$ , est remplacée par une formule plus compliquée. La simultanéité est une notion relative: autrement dit, deux événements ayant lieu au même instant dans un repère, peuvent n'avoir pas lieu au même

instant dans un autre. Néanmoins tous les observateurs utilisent la même direction passé-avenir: si un événement  $A$  a lieu avant un événement  $B$  dans un certain repère, alors  $A$  a lieu avant  $B$  dans tout autre repère.

Les lois de contraction des longueurs, de dilatation des temps et de variation de la masse en fonction de la vitesse dont nous avons parlé précédemment sont aussi des conséquences du principe de relativité restreinte. Aucun corps de masse non nulle ne peut atteindre et a fortiori dépasser la vitesse de la lumière dans le vide. La mécanique relativiste permet d'établir la célèbre égalité  $E = mc^2$  montrant l'équivalence de la masse et de l'énergie et donnant la quantité d'énergie  $E$  que fournirait un corps de masse  $m$  en se dématérialisant. Une illustration de ceci: le Soleil brille et nous chauffe parce qu'en son sein, comme dans les autres étoiles, de l'hydrogène fusionne en hélium. Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène fusionnent en 560 millions de tonnes d'hélium; quand aux 4 millions de tonnes qui ont disparu ils ont été convertis, selon l'égalité précédente, en  $10^{20}$  kWh (le Soleil perdra ainsi un millième de sa masse en 15 milliards d'années!).

Il existe des vérifications expérimentales, devenues classiques, des résultats établis par la théorie de la relativité restreinte. Nous avons, par exemple, dit que la relativité imposait que la vitesse  $c$  de la lumière (dans le vide) était la vitesse limite maximum à laquelle peuvent se propager des particules. Dans un accélérateur de Van de Graaff, on accélère des électrons en les soumettant à une différence de potentiel. Mesurer leur vitesse revient à mesurer leur énergie cinétique puisqu'on connaît leur masse. Leur énergie cinétique peut se mesurer en faisant tomber ces électrons sur une cible dont on mesure l'échauffement avec un thermocouple. Augmenter la différence de potentiel  $V$  provoque une augmentation de la vitesse  $v$  des électrons. On constate alors que  $v$  augmente de moins en moins vite avec  $V$  et tend précisément vers la vitesse limite  $c$ . La loi de dilatation des temps est confirmée par la durée de vie des mésons  $\mu$  de la haute atmosphère. Les mésons  $\mu$  sont des particules instables créées par les rayons cosmiques dans les parties supérieures de l'atmosphère, à une altitude d'environ 20 km. Leur durée de vie moyenne est de l'ordre de  $2,2 \times 10^{-6}$  sec. Si l'on fait un calcul non relativiste on trouve que seule une fraction de l'ordre de  $(2,7)^{-30}$  de mésons  $\mu$  non désintégrés doit atteindre le sol. Or, expérimentalement, on constate qu'une fraction de 0,01 des mésons  $\mu$  atteint le sol. C'est précisément le résultat que donne le calcul relativiste qui tient compte du fait que la durée de vie moyenne du méson  $\mu$  doit être mesurée dans un référentiel où celui-ci est au repos. Dans l'accélérateur de particules appelé cyclotron, on accélère des électrons à l'aide d'un champ magnétique. Leurs trajectoires sont des spirales et la théorie non relativiste implique que le temps mis par un électron pour décrire une boucle de spirale est constant, quelle que soit la vitesse (c'est bien sûr la dimension de la boucle qui varie), ce qui est contredit par l'observation. Par contre, le calcul relativiste tenant compte de la variation de la masse avec la vitesse donne un résultat correct. Enfin le bilan énergétique des réactions nucléaires montre la légitimité de la formule  $E = mc^2$ .

### Appendice sur la dilatation du temps

Le ralentissement des horloges est souvent mal compris et donne lieu à des interprétations fantaisistes. Nous avons vu que la durée d'un phénomène physique paraît plus grande à un observateur  $M$  en mouvement (de translation rectiligne et uniforme) par rapport à ce phénomène qu'à un observateur  $R$  au repos par rapport à ce phénomène. Une conclusion rapide et complètement erronée est la suivante: l'horloge de  $M$  retarde par rapport à celle de  $R$  parce que  $M$  est en mouvement. Mais alors on pourrait mettre en évidence le mouvement de translation rectiligne uniforme de  $M$  par rapport à  $R$ , ce qui est une contradiction flagrante avec le principe de relativité! En réalité, la loi de dilatation des temps ne dit pas du tout cela. Essayons de l'analyser en détail.

L'observateur  $R$  est situé au point où commence, se déroule et s'achève le phénomène physique dont nous voulons mesurer la durée. Il est muni d'une horloge. Une droite (un chemin rectiligne de longueur indéfinie si l'on veut être concret) passe par cet observateur  $R$ . Le long de cette droite sont disposées des horloges toutes synchronisées avec celles de  $R$ . L'observateur  $M$ , muni d'une horloge qui lui est liée (par exemple sa montre), se déplace à vitesse constante le long de la droite. Pour simplifier, supposons qu'au moment où commence le phénomène,  $M$

se trouve passer en  $R$ . L'horloge de  $M$  et celle de  $R$  indiquent  $O$ . Lorsque le phénomène s'arrête,  $M$  se trouve à la distance  $d$  de  $R$ .  $M$  regarde sa montre (donc la même horloge que celle qui lui avait donné le temps du début) et il voit qu'elle indique un temps  $t^1$ . Il regarde aussi l'horloge de la droite sur laquelle il circule (qui est donc une horloge du repère fixe par rapport au phénomène) située près de lui et, conformément à la loi de dilatation des temps, il constate qu'elle indique un temps  $t^2 = t^1$ . Remarquons que cette horloge du repère fixe n'est pas celle qui lui a donné le temps du début du phénomène dans le repère fixe (celle-ci était en  $R$  et y est restée!). Autrement dit,  $M$  compare son unique horloge avec des horloges différentes (mais synchronisées) du repère fixe.

Les situations de  $R$  et de  $M$  sont parfaitement symétriques (comme le veut le principe de relativité). Imaginons en effet l'expérience fictive suivante. Supposons que  $M$  traîne derrière lui une longue ficelle (qui va donc suivre la droite sur laquelle il se déplace) sur laquelle sont fixées des montres synchronisées avec la sienne. Supposons que  $M$  se livre à une expérience de physique tout en se déplaçant et supposons encore que celle-ci débute au moment où  $M$  passe au point où se trouve l'observateur  $R$ . L'horloge de  $R$  et la montre de  $M$  indiquent  $O$ . Quand l'expérience de  $M$  est terminée,  $R$  regarde son horloge qui indique un temps  $t^3$  et en même temps il regarde la montre de la ficelle qui se trouve passer devant lui et il y lit le temps  $t^4 = t^3$ . Cette fois-ci, c'est lui qui a comparé son horloge avec des horloges du repère dans lequel le phénomène physique étudié est fixe.

## RELATIVITE GENERALE

La relativité restreinte fait intervenir de façon essentielle les repères inertiels: par rapport à un tel repère, un point matériel qui n'est soumis à aucune force a un mouvement rectiligne et uniforme. Par suite de l'universalité de la gravitation, l'existence rigoureuse de tels repères est impossible. Dans un repère réel on doit faire intervenir des forces de gravitation et des forces d'inertie. Rappelons que ces dernières, dites aussi forces fictives, ne sont pas de véritables forces parce qu'elles ne sont pas exercées par des corps matériels et qu'elles dépendent du repère dans lequel on travaille, provenant précisément de l'accélération de celui-ci par rapports aux repères galiléens. Un exemple bien connu est la force centrifuge.

Nous avons vu que les mouvements rectilignes uniformes ne pouvaient être décelés par aucune expérience de mécanique. Qu'en est-il des autres mouvements, c'est-à-dire des mouvements accélérés? A priori il semble qu'on puisse les mettre facilement en évidence par des expériences de mécanique internes au système: il suffit de penser aux bagages qui se promènent dans le coffre de votre voiture quand celle-ci accélère, freine ou vire. La réponse d'Einstein est que l'on ne peut pas distinguer ces effets dus à l'accélération du repère (forces d'inertie) d'effets dus à la présence d'un champ de gravitation (forces de gravitation). Pour le comprendre imaginons les expériences suivantes. Sur la Terre un homme lâche une bille: sous l'effet de son poids, c'est-à-dire de la force de gravitation exercée par la Terre, elle tombe aux pieds de l'observateur en ayant un mouvement rectiligne dont l'accélération est  $g$  ( $\approx 9,81 \text{ m/s}^2$ ). Imaginons le même homme, hors du champ de pesanteur terrestre, dans un vaisseau spatial. Si des propulseurs situés sous le plancher de la cabine du vaisseau donnent à celui-ci une accélération égale à  $g$  et si l'observateur lâche sa bille, elle tombera à ses pieds avec un mouvement rectiligne d'accélération  $g$ . On a remplacé la force de gravitation par une force d'inertie dont l'effet, mécaniquement parlant, est identique. Par ailleurs on peut, en employant un repère convenablement accéléré, supprimer l'effet produit par une force de gravitation. Imaginons par exemple un homme, sur Terre, dans un ascenseur: il y est soumis à la pesanteur. Si l'on coupe le câble de l'ascenseur, ce dernier prend un mouvement accéléré, d'accélération  $g$ , et l'homme se trouve en état d'apesanteur comme s'il avait été soustrait au champ de pesanteur, comme s'il se trouvait dans un vaisseau spatial (on peut parier qu'il n'aura pas envie de recommencer l'expérience!). En résumé on ne peut pas distinguer les effets des forces d'inertie de ceux des forces de gravitation.

Cette idée est l'un des fondements de la théorie de la relativité générale qu'Einstein publia en 1915. Celle-ci est une théorie de la gravitation. L'idée fondamentale de la relativité

générale consiste à remplacer la notion d'action à distance de la gravitation newtonienne par celle de modification de la géométrie de l'espace et du temps au voisinage des corps matériels. Autrement dit encore, supposons que nous ayons un corps matériel  $n^{\circ}1$  placé en un point de l'Univers. Pour la théorie newtonienne il exerce sur un corps  $n^{\circ}2$  une action à distance, la force de gravitation, et cela permet d'expliquer le mouvement du corps  $n^{\circ}2$  par rapport au corps  $n^{\circ}1$ . Pour la relativité générale, le corps 1 provoque par sa présence une déformation de l'espace-temps et c'est celle-ci qui explique le mouvement du corps 2 par rapport au corps 1 : le corps 2 se déplace, non parce qu'il est soumis de la part du corps 1 à une force, mais parce qu'il suit les géodésiques de l'espace-temps et la forme de celles-ci est due à présence du corps 1. De plus, contrairement à la théorie newtonienne, la théorie relativiste prévoit que la gravitation a un effet sur la lumière. Le modèle d'espace-temps utilisé en relativité générale est ce que les mathématiciens appellent une variété riemannienne de dimension 4. Il n'est évidemment pas question de définir ici un tel objet que les étudiants en mathématiques ne rencontrent pas avant la quatrième année d'Université. Au passage, signalons que la géométrie différentielle riemannienne, c'est-à-dire l'étude des "espace riemanniens" à l'aide du puissant outil qu'est le calcul différentiel, a fait beaucoup de progrès depuis l'époque où Einstein élaborait sa théorie. On peut actuellement donner une présentation de la relativité générale (accessible à quelqu'un maîtrisant bien les techniques de géométrie différentielle) beaucoup plus claire et plus concise que ne l'étaient celles de la première moitié du siècle.

Essayons maintenant de donner quelques images intuitives de ce dont nous venons de parler: elles seront forcément un peu fausses mais néanmoins éclairantes. Une métaphore bien choisie en dit plus qu'un long discours. Tout le monde est familier avec une variété riemannienne de dimension 2 bien classique: la sphère. Sur une variété riemannienne, le plus court chemin d'un point à un autre s'appelle une géodésique. Si vous êtes sur une place publique et que vous voulez vous rendre d'un point à un autre en suivant le plus court chemin, vous suivez naturellement la ligne droite joignant ces deux points: dans l'espace euclidien de dimension 2 qu'est la place, les géodésiques sont des droites. Si maintenant vous voulez vous rendre de Paris à Melbourne, votre avion va suivre l'arc de grand cercle de la Terre joignant Paris à Melbourne (on fait bien sûr abstraction des contraintes d'altitude, d'escales, etc. auxquelles est soumise la navigation aérienne): dans l'espace riemannien de dimension 2 qu'est la Terre, les géodésiques sont des arcs de grand cercle. Supposons maintenant que vous ayez une grande membrane de caoutchouc tendue sur un cadre horizontal. Si vous disposez une bille sur cette membrane et si vous lui donnez une impulsion, elle va se propager en ligne droite. Supposons que vous disposiez en divers points de la membrane de petites masses: elles vont déformer localement la membrane en y formant de petits creux en forme d'entonnoirs. Si vous redéposez votre bille sur la membrane et si vous lui redonnez une impulsion, elle ne se propagera plus en ligne droite: lorsqu'elle passera près d'un creux elle va se mettre à tourner dans celui-ci. Dans le premier cas, nous avons un espace vide de matière, donc sans courbure, donc euclidien. Dans le deuxième cas, les masses ont déformé l'espace, lui ont donné de la courbure et celle-ci explique le mouvement non rectiligne de la bille.

L'idée que la géométrie de l'espace est déterminée par sa courbure s'appelle le principe de Mach (physicien autrichien). L'invention géniale d'Einstein a été de donner une forme mathématique à ce principe en écrivant les équations dites d'Einstein qui expriment l'égalité entre deux êtres mathématiques appelés tenseurs: le tenseur impulsion-énergie bien connu des mécaniciens des fluides (l'Univers peut être considéré comme un gaz de galaxies de pression nulle puisque les collisions entre galaxies sont rarissimes) et un certain tenseur dont la connaissance équivaut à celle de la géométrie de l'espace riemannien représentant l'Univers.

Parmi les diverses forces existant dans la nature, la gravitation joue, dans l'Univers, un rôle prépondérant puisque c'est elle qui gouverne les mouvements des astres. Aussi est-il très naturel, lorsqu'on fait de la cosmologie, c'est-à-dire lorsqu'on étudie l'Univers dans son ensemble, de s'appuyer sur les théories de la gravitation et, en particulier, sur la plus perfectionnée d'entre elles, la relativité générale. Dès 1917, Einstein appliqua sa théorie à l'Univers. Il introduisit à ce propos dans ses équations un terme supplémentaire appelé constante cosmologique afin d'obtenir un Univers statique tant était forte à l'époque la croyance en un Univers statique contrairement à ce que semblait impliquer la relativité générale, voire même un modèle très simplifié d'Univers newtonien! Lorsqu'en 1929 les observations de Hubble mettront en évidence l'expansion de l'Univers, on enverra aux oubliettes les modèles statiques. Einstein reconnut son erreur dont il dit qu'elle était l'une des plus grosses qu'il eût faites. Il faut signaler que, dès 1922, le mathématicien soviétique

Friedman avait construit des modèles non statiques (en s'appuyant sur la relativité générale) proches de ceux actuellement acceptés.

Einstein a proposé trois tests pour vérifier sa relativité générale: la déviation des rayons lumineux au voisinage du Soleil, l'avance du périhélie de Mercure et le décalage vers le rouge des raies spectrales atomiques dans un champs de gravitation.

Dès 1915 Einstein avait donné la valeur de la déviation des rayons lumineux au voisinage du Soleil. C'est lors de l'éclipse de 1919 qu'on la mesura et que l'on constata son accord avec la valeur théorique donnée par Einstein: 1,75". Actuellement on utilise l'occultation par le Soleil de l'émission radio de certains quasars. L'interférométrie radio à très longue base utilisant des radiotélescopes situés sur des continents différents permet de localiser une source radio à  $3 \times 10^{-4}$  secondes près. L'accord entre les mesures et la théorie a une précision de 1%.

S'il n'y avait qu'une planète dans le Système solaire, son orbite serait fixe par rapport au Soleil, mais il n'en est pas ainsi et les autres planètes induisent de légères déformations de l'orbite de la planète considérée calculables de façon très précise par la mécanique céleste newtonienne. Le Verrier, le fameux découvreur de Neptune par le calcul, s'aperçut le premier que le périhélie (point de l'orbite où la planète est la plus proche du Soleil) de l'orbite de Mercure présentait une légère avance inexplicable par la mécanique céleste; 43 secondes d'arc par siècle. Celle-ci est prévue par la relativité générale et l'accord de la valeur théorique avec les observations les plus récentes (mesures radar de Shapiro en 1976) se fait avec une précision de 0,5%.

D'après le principe d'équivalence de la relativité générale, un atome soumis à un champ de gravitation émet comme un atome au repos dans un référentiel accéléré. Ce principe implique qu'un photon de fréquence  $\nu$  émis par un atome à la surface d'un astre de masse  $m$  et de rayon  $r$  a sa fréquence diminuée de  $Gm/r c^2$  ( $G$ = constante de gravitation). Cet effet a été mesuré sur les étoiles appelées naines blanches. En 1960-1965, Pound et Rebka ont mesuré des différences de fréquence entre photons gamma ascendants et descendants dans une tour de l'Université de Harvard. L'accord des mesures et de la théorie se fait avec une précision de 0,8%. Plus récemment, en 1979-1980, Levine et Vessot ont vérifié le principe d'équivalence en utilisant une horloge avec maser à hydrogène d'une extrême stabilité. La précision a atteint 0,0002.

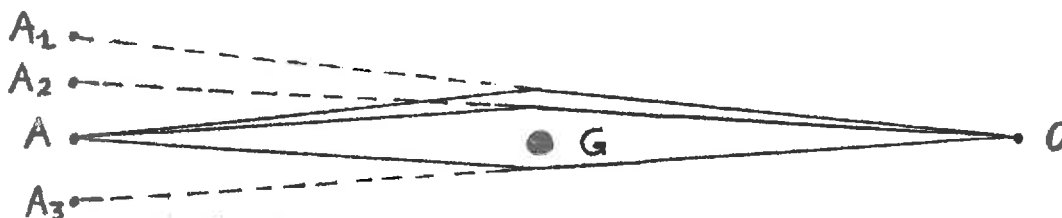
En 1964 Shapiro a imaginé un nouveau test portant sur le retard des échos radar. Lorsqu'une conjonction supérieure (alignement Terre - Soleil - planète) est sur le point d'être réalisée, un radar envoie des signaux radio sur la planète sur la surface de laquelle ils sont réfléchis. Les ondes radio, à l'aller comme retour, sont légèrement déviées lors de leur passage à proximité du Soleil. Les meilleures mesures ont donné, en 1979, un accord avec la théorie d'une précision de 0,1%.

En 1974 les radioastronomes américains R.A.Hulse et J.H.Taylor découvrirent un pulsar binaire que l'on baptisa PSR 1913+16. Celui-ci allait se révéler être un merveilleux outil pour tester la relativité générale. Un pulsar est une étoile à neutrons (donc un astre hyperdense de très petite taille, ayant une masse de l'ordre de celle du Soleil pour un rayon d'une quinzaine de km) en rotation très rapide sur elle-même envoyant un faisceau étroit de rayonnement radio; on peut imaginer un peu un pulsar comme un phare maritime qui tourne en envoyant un faisceau de lumière. PSR 1913+16 a une période de 0,059 sec. L'analyse de sa courbe de lumière a montré que sa fréquence de rotation variait périodiquement avec une période de 7,75h; Hulse et Taylor purent en déduire que ce pulsar faisait partie d'un système double et que son compagnon était un astre hyperdense, probablement une étoile à neutrons. Ce système double constitue un excellent laboratoire de vérification de la relativité générale car l'espace-temps est très courbé autour de lui puisqu'il est très dense.

On se livra à une analyse très complexe des temps d'arrivée des signaux du pulsar, ce qui permit de mettre en évidence six effets relativistes. L'avance du périastre du pulsar (analogue à l'avance du périhélie de Mercure) est de l'ordre de  $4^\circ$  et a été déterminée avec une précision de l'ordre de 0,1%. On a pu observer un effet Doppler transversal dû à la dilatation relativiste du temps. On a mesuré un décalage vers le rouge d'origine gravitationnel se produisant lorsque le pulsar se trouve au périastre et dû au fait que les atomes émetteurs se trouvent soumis à l'intense champ gravitationnel du compagnon. On a constaté un retard dans la propagation du faisceau radio analogue au retard des échos radar de Shapiro. La forme des équations

d'Einstein implique l'existence d'ondes de gravitation. On n'a encore jamais pu détecter directement celle-ci mais l'émission d'ondes de gravitation doit provoquer une diminution de la période de révolution du pulsar (et un rétrécissement de son orbite), effet qui a été mis en évidence chez PSR 1913+16. Enfin la relativité générale prévoit un mouvement de précession de l'axe de rotation du pulsar d'environ 1 degré par an (effet dit "couplage spin-orbite") et l'on pense l'avoir observé chez PSR 1913+16.

Les mirages gravitationnels sont une conséquence de la déviation des rayons lumineux par les masses. Supposons qu'entre un astre  $A$  et un observateur  $O$  se trouve un astre très massif  $G$ ; les rayons lumineux issus de  $A$  sont déviés par l'astre déflecteur  $G$  et l'observateur  $O$  voit plusieurs images  $A_1, A_2, A_3, \dots$  de l'astre  $A$ .



L'idéal serait bien sûr que  $A$ ,  $G$  et  $O$  fussent parfaitement alignés et que  $G$  fût très compact, auquel cas l'image de  $A$  vue par  $O$  affecterait la forme d'un anneau. Eddington qui mesura la déviation des rayons lumineux par le Soleil lors de l'éclipse de 1919 prédisait à cette époque la possibilité d'existence de tels mirages gravitationnels. Au contraire, Einstein lui-même, en 1936, douta fort que l'on pût observer un jour un tel mirage.

Pour que l'on ait un tel phénomène il faut que l'astre  $G$  soit très massif (galaxie géante, amas de galaxies) donc très éloigné et que l'astre  $A$  soit à la fois encore plus éloigné que  $G$ , très brillant et d'allure ponctuelle: les candidats parfaits sont bien sûr les quasars. En 1979 on découvrit deux quasars séparés de 6" et dont les spectres optiques, infrarouges et radio étaient parfaitement identiques; on avait observé le premier mirage gravitationnel. On découvrit aussi l'astre déflecteur qui est une galaxie elliptique géante. Depuis lors on a trouvé un petit nombre de mirages gravitationnels, en général des mirages doubles ou triples de quasars. Une équipe toulousaine a mis en évidence un mirage gravitationnel très spectaculaire: l'astre déflecteur est l'amas de galaxies Abell 370 et le mirage a la forme d'un bel arc de cercle de 60° (l'amas de galaxies Abell 370 est situé à environ 5 milliards d'années de lumière de nous).

## CONCLUSION

Le but de ce modeste exposé aura été atteint s'il a donné quelques lucurs sur la façon dont fonctionne la physique théorique. Une théorie physique est une tentative d'explication de faits observés dans la nature. Lorsqu'une théorie est bonne, voire excellente comme l'est la théorie newtonienne de la gravitation, elle n'est jamais parfaite et l'on découvre des phénomènes qu'elle ne peut expliquer (exemple: l'avance du périhélic de Mercure). Alors l'esprit humain essaie de construire une théorie plus générale qui explique ces nouveaux phénomènes et redonne, en première approximation, la précédente. Le prix à payer est une plus grande complexité de la nouvelle théorie par rapport à l'ancienne ce qui fait que cette dernière garde son intérêt pour l'étude de phénomènes qui sont de son ressort (exemple: la mécanique newtonienne pour faire de la mécanique céleste).

Une autre réflexion que peut susciter cet exposé concerne la différence entre la façon dont travaillait le scientifique du XVII<sup>ème</sup> siècle et celle dont travaille le scientifique du XX<sup>ème</sup> siècle. Newton était à la fois astronome, mathématicien et physicien. Pour expliquer des observations astronomiques il inventa sa théorie de l'attraction universelle et utilisa pour celle-ci le calcul différentiel et intégral dont il était l'un des pères. Einstein était un physicien génial mais n'était ni un mathématicien ni un astronome. Il se servit, pour sa théorie de la relativité, de mathématiques que des mathématiciens avaient créées (Riemann, Levi-Civita, Ricci, etc.) ou étaient en train de créer (Elie Cartan). Une fois la théorie de la relativité bien établie, les astronomes l'utilisèrent abondamment au point que l'on peut dire que l'astrophysique relativiste est l'une des branches de l'astronomie.

# REUNION DU CONSEIL DE LA S.A.L.

du jeudi 13 janvier 1994

## Compte rendu

### **Etaient présents :**

Mme Lunel

MM Beaudoin, Blanchard, Dubet, Ferrand, Joic, Maisonneuve, Marteau, Ribes, Sogno, Sondaz.

### **Excusés :**

MM Bergeat, Chevalier, Ciceron, Dumont, Goullioud, Gravina, Mulet, Paturel, Prud'homme.

### **Ordre du jour :**

- 
- 1 - Compte rendu de la réunion des correspondants régionaux de la S.A.F. du 30-11-93.  
Voir le compte rendu, paru dans le bulletin de la S.A.F. de janvier 1994.  
Monsieur Sogno nous informe que les conférences de la S.A.F. enregistrées sur cassettes audio, seront prochainement disponibles à la bibliothèque de la S.A.L.
  - 2 - Projet CCD.  
Une subvention de 33 000 Frs a été obtenue auprès de l'ANVAR.  
Voir article dans ce même bulletin.
  - 3 - Bulletin.  
Le prochain bulletin N°36, paraîtra courant mars 1994.
  - 4 - Projets d'achats pour 1994.  
Afin d'être plus autonome lors de nos conférences, un budget d'environ 4500 Frs est adopté pour l'achat d'un rétroprojecteur portable.
  - 5 - Questions diverses.  
Un groupe de travail va être constitué et proposera une 'plaquette' décrivant les activités et les actions de la S.A.L. Cette plaquette pourra être distribuée lors des manifestations de la S.A.L. afin de mieux la faire connaître.

Le secrétaire général.  
C.FERRAND



## A l'étoile du soir

Pâle étoile du soir, messagère lointaine,  
Dont le front sort brillant des voiles du couchant,  
De ton palais d'azur, au sein du firmament,  
Que regardes-tu dans la plaine?

La tempête s'éloigne et les vents sont calmés.  
La forêt, qui frémit, pleure sur la bruyère:  
Le phalène doré, dans sa course légère,  
Traverse les près embaumés.  
Que cherches-tu sur la Terre endormie?

Mais déjà vers les monts je te vois t'abaisser;  
Tu fuis en souriant, mélancolique amie  
Et ton tremblant regard est près de s'effacer.

Etoile qui descends sur la verte colline;  
Triste larme d'argent du manteau de la nuit,  
Toi que regarde au loin le pâtre qui chemine,  
Tandis que, pas à pas, son long troupeau le suit,  
Etoile où t'en vas-tu, dans cette nuit immense?  
Cherches-tu sur la rive un lit dans les roseaux?  
Où t'en vas-tu si belle à l'heure du silence,  
Tomber comme une perle au sein profond des eaux?

Ah! si tu dois mourir, bel astre, et si ta tête  
Va dans la vaste mer plonger ses blonds cheveux  
Avant de nous quitter, un seul instant arrête!  
Etoile de l'amour, ne descends pas des cieux!

**Alfred de Musset**  
Le saule (fragment)

## HEURE SIDERALE

Comment l'obtenir et la conserver ?

G. LEFEBVRE.

Le calcul est en apparence compliqué mais il est très simple et rapide. Il est construit à l'aide du livre de Serge Bouiges "Calcul astronomique pour amateurs".

Prenons un exemple. Nous voulons avoir l'heure sidérale le 27/12/1993 à 19h 36m.

Nous commençons par transformer l'heure et minute en heure décimale, puis nous la transformons en jours décimaux.

$36/60 = .6$ ;  $19 + .6 = 19.6$ ;  $19.6/24 = .816666$ . Nous mettons cette heure en mémoire 1. Ensuite nous transformons cette heure décimale en secondes.

$19.6 * 3600 = 70560$ . En mémoire 2

Il nous faut calculer un nombre particulier qui est N, celui-ci est analogue au nombre julien. Il est d'une utilisation plus restreinte mais plus facile à calculer. Pour le 0 janvier 1993 il a pour valeur 33603. Pour trouver N au 27/12 vous ajoutez le nombre trouvé dans votre agenda 361. Donc  $33603 + 361 = 33964$ .

Un autre nombre à trouver est celui de votre longitude. Il faut prendre une carte l'IGN qui indique la longitude par rapport à Greenwich en degré notez là sur un carnet. Il faut également transformer cette longitude en secondes de temps. Exemple

$2^{\circ}16'$ .  $16/60 + 2^{\circ} = .2666/15 * 3600 = 544$  secondes, à noter également.

Premier calcul.

$33964 = 33964 + \text{mémoire 1} = 33964.81666$

$33964.81666 * 236.555362 + 23750.3 + 544 + \text{mémoire 2} = 8129413.801848$ .

C'est le nombre de secondes écoulées depuis le 0 janvier 1901. Il faut donc réduire celui-ci. 1° le mettre en mémoire

Divisez ce nombre par 86400 vous ne prenez que la partie entière 94 que vous multipliez par 86400.  $94 * 86400 = 8121600$ .

Vous soustrayez ce nombre du précédent vous devez obtenir 7813.801848. Le plus dur est fait. C'est l'heure sidérale en secondes. Il ne suffit plus que de les convertir en Heure minute et seconde.

$7813.801848/3600 = 2.1705005$ . Donc 2h;

$2.1705005 - 2 = 0.1705005 * 60 = 10.230030$

$10.23003 - 10 = 0.230030 * 60 = 13.80$

Le 27/12/1993 à 19h36m l'heure sidérale est 2h 10m 13s.

Le moyen de la conserver est très simple. Il suffit de prendre une pendule électrique, pas Quartz, car il faut la faire avancer de 3m 21s par jour. Derrière il y a une vis de réglage tournez là d'un tour vers l'avance. Puis faites le calcul pour dans 10 minutes afin d'avoir du temps et mettez la pendule à l'heure vous referez le réglage de l'avance et le calcul le lendemain. En quelques jours vous obtiendrez un bon réglage.

Une difficulté se présente, la lecture de l'heure serait plus facile si la petite aiguille faisait un tour en 24h. Mais ce n'est pas le cas.

Ex: Votre pendule indique 3h vous ne savez pas si c'est 3h ou 15h. Vous prenez 3h et si votre instrument regarde vos pieds c'est qu'il est 15h.

J'ai élaboré un petit programme en QBasic que je peux vous fournir. Vous m'envoyez une disquette 3.5 avec 5f en timbres pour le retour.

G. LEFEBVRE St Foy lès Lyon