

**Le planétarium Peiresc est une réalisation de  
l'association des Amis du Planétarium  
d'Aix en Provence,**

avec le soutien de :



Ville  
d'Aix-en-Provence



Conseil Général  
des Bouches du Rhône



Conseil Régional  
P.A.C.A.

et la participation de :



D.R.A.C.



Académie  
d'Aix-Marseille



Laboratoire  
d'Astrophysique  
de Marseille

Planétarium Peiresc Parc Saint-Mitre 7, rue des Robiniers 13090 AIX EN PROVENCE  
Entrée du public : avenue Jean Monnet  
Tél/fax/rép. : 04 42 20 43 66 <http://aix.planet.free.fr> E-mail : [aix.planet@free.fr](mailto:aix.planet@free.fr)

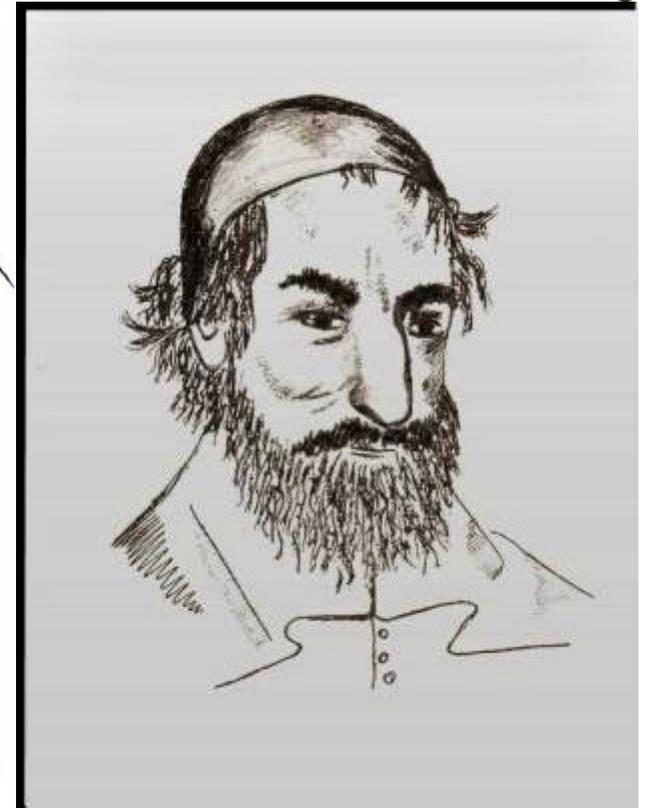
Été 2005



numéro 2

Peiresc

Les Cahiers



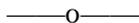


L'association des Amis du Planétarium d' Aix en Provence,  
(A.P.A.P.),  
a été fondée en Novembre 1989 avec pour objectif :

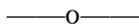
**« la diffusion, en milieu scolaire et auprès du public en général,  
des théories scientifiques qui constituent  
l'Astronomie, l'Astrophysique et les sciences de la Terre,  
en utilisant comme outil pédagogique privilégié  
un planétarium fixe. »**  
*(article 2 des statuts)*

*Sans l'astronomie, l'homme ignore  
la place qu'il occupe.*

Aristote



*Informations : <http://aix.planet.free.fr>  
Contacts, réservations : 04 42 20 43 66*



L' A.P.A.P. est membre de

***L'Association des Planétariums de Langue Française,  
(A.P.L.F.),***

dont le siège est :

Planétarium de Strasbourg  
Rue de l'Observatoire  
67 000 STRASBOURG



## AVANT-PROPOS

### **H**abemus directorem !

*Le nombre de visiteurs, scolaires et adultes, venant au planétarium étant en forte croissance, l'association des amis du Planétarium d'Aix-en-Provence a estimé nécessaire de créer un poste de directeur responsable du fonctionnement interne du planétarium, en charge de la programmation et de l'organisation des séances.*

*Sur proposition du Conseil d'Administration, c'est Henri Marnet-Cornus, 57 ans, ancien pilote de ligne et commandant de bord, (du Mirage III à l'Airbus A-340), titulaire d'un diplôme universitaire d'astronomie-astrophysique, membre fondateur du club d'astronomie de Ventabren, qui a été nommé à ce poste.*

*Animateur, créateur d'images et de diaporamas éducatifs destinés aux séances sous la coupole, Henri Marnet-Cornus s'est déjà fortement impliqué depuis deux ans dans le fonctionnement du planétarium.*

*Nous lui souhaitons bonne chance et pleine réussite dans sa nouvelle fonction.*

*Pierre Fernandez  
Juillet 2005*

affirmer que la comète ne percutera pas la Terre (au moins avant plusieurs millénaires) car son orbite ne croise pas celle de la Terre.

Les débris éjectés lors de l'impact de la sonde sur le noyau resteront groupés sur une orbite proche de celle de la comète. Il n'y a donc rien à craindre de ce côté-là non plus.

Il n'en reste pas moins qu'un cratère a été créé par l'homme sur cette comète. A-t-on le droit de perturber ainsi les corps célestes ?

La NASA a considéré que la contribution de cette mission à la connaissance que nous aurons des comètes dépassait de loin toute préoccupation que nous pourrions avoir sur le sort de la comète elle-même. Et il existe de très nombreuses comètes dans notre Système Solaire... ☞

### La comète 9P/Tempel 1

Découverte le 3 avril 1867 par Ernst Wilhelm Leberecht Tempel, cette comète périodique tourne autour du Soleil en 5,5 ans. Son périhélie est situé à environ 1,5 UA du Soleil. Son excentricité est de 0,519, et son inclinaison sur le plan de l'écliptique de 10,5°. Le noyau a la forme d'une poire de 6 km de diamètre et de 11 km dans sa plus grande dimension. Il est animé d'un mouvement de rotation de période 41,85 heures.



P. FERNANDEZ

Sources : publications de la NASA et de L'ESA  
Crédit photographique : NASA/JPL-Caltech/UMD

## RÉSULTATS ATTENDUS

La mission a été programmée dans le but d'approfondir les connaissances sur les comètes et, par suite, de mieux connaître le processus de formation du système solaire. Les scientifiques vont désormais s'atteler à décoder et analyser les milliers de données recueillies par le projectile et par la sonde, qui va rester opérationnelle jusqu'en fin août. Des données complémentaires sont également fournies par d'autres sondes ou par les télescopes spatiaux et terrestres qui continuent d'observer la comète :

Tempel 1 a ainsi été observée par la sonde européenne Rosetta. On trouve sur le site de l'ESA des animations et graphiques composés à partir d'images prises par l'instrument OSIRIS de Rosetta et qui montrent le développement de la luminosité de la comète après l'impact.

Le satellite XMM-Newton de l'ESA a, quant à lui, détecté des signes de présence d'eau sur la comète Tempel 1. Il a également montré que cette comète était une faible source de rayons X.

Des observations effectuées par le télescope OGS de l'ESA (situé aux Canaries) semblent indiquer que la direction dans laquelle les particules ont été éjectées du noyau de la comète après l'impact dépend de la taille de ces particules.

Des observations réalisées à l'aide des télescopes de l'ESO (European Southern Observatory) et du télescope spatial Hubble montrent également l'augmentation de luminosité de la comète suite à l'impact.

L'étude détaillée des images et des mesures spectroscopiques obtenues par l'ensemble de ces moyens d'observation permettront d'apporter des réponses aux questions que se posent les astrophysiciens sur les comètes et d'enrichir ainsi nos connaissances sur la formation du système solaire.

## QUESTIONS SUBSIDIAIRES

L'impact modifiera-t-il la trajectoire de la comète ? Risque-t-elle de venir percuter la Terre ? Des débris éjectés lors de l'impact pourraient-ils tomber sur Terre ?

La réponse à toutes ces questions est NON.

Pour être tout à fait exact, la trajectoire de la comète est modifiée par l'impact mais de façon si faible que cette modification est négligeable par comparaison aux effets gravitationnels dus aux planètes (surtout Jupiter). En effet, la comète 9P/Tempel 1 s'approche de temps en temps de Jupiter et l'influence gravitationnelle de cette planète massive entraîne des variations de la trajectoire de la comète beaucoup plus importantes que la modification qui est causée par l'impact.

Quant aux dangers de collision entre 9P/Tempel 1 et la Terre, on peut

## SOMMAIRE

La vie de l'association	6
Pierre BARGE : La quête des origines et des mondes nouveaux	10
André VASCHALDE : Cadrans solaires	16
DEEP IMPACT, La comète touchée en plein vol	22

## LA VIE DE L' ASSOCIATION

*L'assemblée générale des adhérents de l'APAP s'est tenue au planétarium le 27 avril 2005. Nous donnons ici un compte-rendu succinct des éléments marquants du rapport moral présenté en séance par le Président Philippe Malburet.*

### PRÉSENTATION GÉNÉRALE.

Je voudrais commencer par remercier très chaudement tous ceux qui nous ont rejoints et tous ceux qui se sont maintenant investis dans le fonctionnement effectif du Planétarium ; je pense notamment à ceux qui régulièrement assurent les permanences téléphoniques des lundis, mercredis et jeudis matin, sans oublier les membres du Bureau. Je voudrais aussi remercier, en notre nom à tous, ceux qui se sont impliqués en 2004 dans l'animation des séances, ce qui n'est pas forcément très simple. Grâce à un nouvel adhérent qui s'est très fortement impliqué nous avons pu ouvrir régulièrement au public (second samedi de chaque mois). Nous disposons également d'un webmestre qui, très régulièrement, met à jour notre site Internet (près de 5050 connexions depuis juin 2000).

La caractéristique essentielle de l'activité passée est que désormais le Planétarium existe et qu'il correspond à une demande.

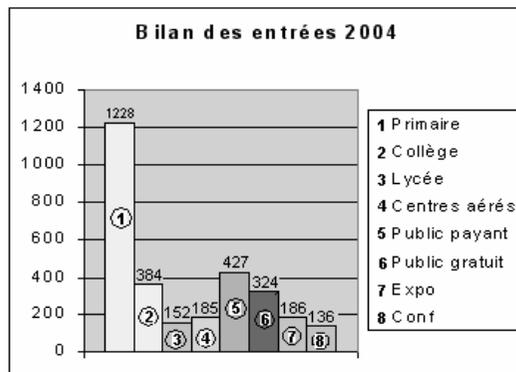
### RAPPORT D'ACTIVITÉ

#### *Fonctionnement du Planétarium.*

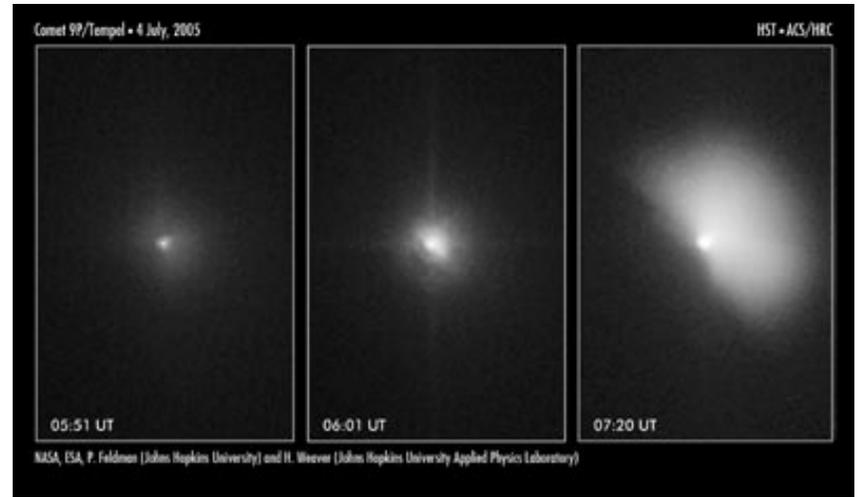
Pour l'année 2004, nous avons été amenés à recevoir **3002** personnes, ce qui représente une forte augmentation sur 2003 (+ 711).

Le tableau ci-dessous indique la répartition du public, suivant différents types (scolaires, non scolaires) et suivant qu'il s'agissait d'entrées payantes ou non, d'exposition ou de conférences. Précisons encore que les entrées non payantes se regroupent en deux catégories :

? Entrées faites dans le cadre de la " Fête de la Science " (11 au 17 octobre) : 758 (plus du double de l'année précédente), ainsi que notre participation aux Journées du Patrimoine (18 et 19 octobre), soit 186 personnes.  
? Désormais les entrées payantes dépassent celles qui sont gratuites.



poussières provoqué par la collision (fig. 2 et 3). Les matières éjectées sont analysées par le spectromètre infra-rouge associé à la caméra à haute résolution (HRI) de la sonde. L'impacteur a été fabriqué en cuivre et aluminium afin que les résidus volatilisés lors de l'impact soient facilement identifiables et séparés à l'analyse spectroscopique.



**Fig. 2 :** La collision filmée par le télescope spatial Hubble. La première vue est prise une minute avant le choc, la suivante 10 minutes après et la troisième 90 minutes après. Le nuage de particules s'est développé en forme d'éventail, la vitesse d'éjection des particules est estimée à 1800 km/h.



**Fig. 3 :** Cette image spectaculaire de la comète a été prise 67 secondes après l'impact. La photographie est prise par la caméra à haute résolution de la sonde (HRI). L'éclat très lumineux du point d'impact a saturé le détecteur de la caméra, formant la tache blanche élargie que l'on voit ici.

A une distance de 700 km du noyau de la comète, la résolution de la caméra HRI est de moins de deux mètres par pixel.

# DEEP IMPACT

## La comète touchée en plein vol

*La NASA (agence spatiale américaine) a réalisé un exploit technique inédit en projetant un projectile sur une comète à 133 millions de kilomètres de la Terre, une expérience qui devrait déboucher sur une meilleure connaissance de la formation du système solaire.*

### LA MISSION

Lancée de Cap Canaveral le 12 janvier, la sonde Deep Impact a effectué en 173 jours un parcours de 431 millions de kilomètres pour s'approcher de la comète 9P/Tempel 1 (voir encadré page 25). Le projectile en cuivre et aluminium de 364 kg, appelé « impacteur », s'est séparé de la sonde le 3 juillet à 6h07 UT/GMT. Après trois corrections de trajectoire, il a percuté le noyau de la comète le 4 juillet à 05h52 à la vitesse de 36700 km/h (10 km par seconde), sous un angle de 25°. Pendant sa course vers la comète, et jusqu'à trois secondes avant de s'écraser, l'impacteur a pris des photographies du noyau, montrant des détails de plus en plus fins (fig. 1).

La collision et ses conséquences ont été observées et filmées par les instruments de mesure et les caméras de la sonde.

*Fig. 1 : Détail du noyau de Tempel 1, photographié par l'impacteur 20 secondes avant la collision. L'aspect du « terrain » montre des matériaux clairs et sombres de natures différentes. Leurs compositions seront analysées par le spectromètre embarqué sur la sonde.*



### L'IMPACT

L'impact a produit un cratère dont le diamètre est estimé à 250m, soit une valeur haute par rapport aux prévisions des scientifiques de la mission qui s'attendaient à un cratère de 50 à 200m. Mais le plus impressionnant a été la luminosité du point d'impact et l'importance du panache de gaz et de

### **Analyse du tableau précédent.**

Comme l'an dernier, ce bilan ne nous permet toujours pas d'envisager le recrutement d'un animateur rétribué.

Les aspects positifs ont été pour nous :

- ? la très bonne participation à la " Fête de la Science ",
- ? la participation aux Journées du Patrimoine,
- ? le bon succès remporté par nos programmes pédagogiques en direction des scolaires (essentiellement les classes primaires). C'est ainsi que nous avons pu mettre en œuvre (pour l'année scolaire 2004-2005) deux Plans d'Action Culturelle (P.A.C.) avec deux classes de CM<sub>2</sub> d'un établissement primaire d'Aix. Par contre, pour 2004-2005, il n'y a plus eu aucun Itinéraire de Découverte (collèges),
- ? des groupes scolaires venant d'Aix et d'alentours : les Milles, Luynes,
- ? des groupes (scolaires ou non) venant d'en dehors d'Aix nous ont rendu visite en diverses occasions : Belgentier, Callas, Carnoux, Istres, Marseille, Rognes, Salon, Velaux.

### **Activités spécifiques.**

Les principales manifestations auxquelles nous avons participé ont été les suivantes :

- ? Semaine de la Francophonie en mars 2004,
- ? Passage de Vénus le 8 juin 2004 (sur 2 sites),
- ? Fête de la Science (animations, conférences) en octobre 2004,
- ? Les Journées du Patrimoine (exposition sur les cadrans solaires),
- ? Séminaires présentés dans le cadre de l'Université du Temps Disponible, avec une nouveauté pour 2004-2005 : à la demande d'auditeurs de l'année précédente nous avons ouvert un second cycle.

### **Aspects positifs de notre activité**

Par rapport à l'année précédente on notera :

- ? notre participation à l'Université du Temps Disponible: 13 séances sont programmées sur l'année universitaire 2004-2005 (en collaboration avec les Astronomes Aixois) pour le cycle d'initiation (14 stagiaires). Pour le second cycle (5 stagiaires) nous avons proposé 6 séances, souvent réalisées avec la collaboration d'astronomes professionnels.
- ? Nous avons été amenés à accueillir au mois de juin 2004 une élève de fin de Seconde du lycée de Luynes pour un stage en entreprise.
- ? Nous avons établi de très bonnes relations avec l'association des Amis de Peiresc (dont le siège est à Belgentier, dans le Var). Ceci nous a permis de prêter notre exposition sur les cadrans solaires pour les journées dédiées à Peiresc qu'ils organisent chaque année en novembre.
- ? Cette même exposition a également été prêtée, dans le cadre de la Fête de la Science, aux manifestations spécifiques organisées par les communes de Velaux et de Coudoux.
- ? A plusieurs reprises nous avons rencontré des responsables du CCSTI de Marseille.

- ? À l'initiative de M. Jean CHORRO, Premier Adjoint, une convention officielle nous lie désormais à la Ville pour l'occupation du bâtiment.
- ? Le Conseil Général nous a donné une subvention de fonctionnement de 3000€ ce qui nous a permis de rétribuer un jeune animateur et de payer une association d'aide à l'emploi pour venir faire le ménage de la salle une fois par semaine.

### **Problèmes rencontrés**

#### Animateurs

- ? Il n'est toujours pas question, concrètement, que les Collectivités locales (Ville, Département et Région) financent un poste d'animateur.
- ? L'animateur payé par le Rectorat n'a pas souhaité poursuivre en 2004-05 pour des raisons personnelles.,

#### Le bâtiment.

Je rappelle que dès le départ il avait été convenu que ce bâtiment n'était que **provisoire** (il doit pouvoir être démonté par la suite, lorsqu'une solution définitive sera trouvée pour le Planétarium). Certains problèmes soulevés depuis le début demeurent :

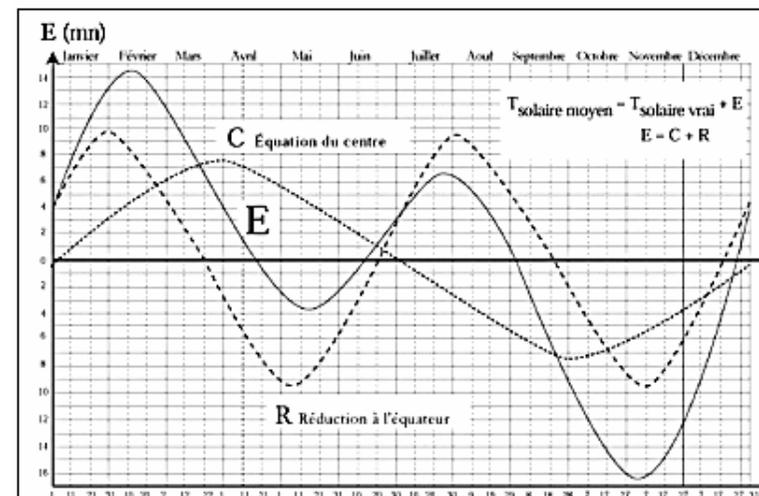
- ? il s'agit d'une construction de type " serre ", donc peu isolée en ce qui concerne la température (très chaud en été, et très froid en hiver) et le bruit,
- ? de sérieux problèmes d'étanchéité continuent de se poser,
- ? les accès du public sont limités par les horaires d'ouverture du Parc, ce qui rend difficile d'organiser de façon régulière des conférences en fin de journée (ainsi que cela se fait dans les autres planétariums),
- ? la dalle a été recouverte d'un revêtement,
- ? une climatisation a été installée au début de l'été par les services techniques de la Ville,
- ? nous avons utilisé une grande partie de la subvention municipale pour acheter les chaises dont est désormais équipée la salle d'accueil.

### **LA VIE DE L'ASSOCIATION.**

La vie de notre association a été, comme à l'habitude, rythmée par les réunions de notre Conseil d'Administration. Au cours de l'année 2004, le Conseil d'Administration s'est réuni 4 fois : les 23 janvier 2004, 13 mai 2004, 2 septembre 2004, 16 décembre 2004. Des comptes-rendus des réunions du Conseil ont été adressés après chaque réunion. Ces réunions ont été (et c'est nouveau par rapport aux années précédentes) centrées sur le fonctionnement du Planétarium. Cependant assurer à la fois le fonctionnement de l'association et celui du Planétarium devient une tâche de plus en plus difficile à porter. Je renouvelle un souhait déjà exprimé lors des deux précédents AG : il serait bon de réfléchir au renouvellement du poste de Président de l'APAP.

#### **L'APLF.**

Nous avons également participé aux rencontres annuelles de l'APLF à St Etienne et Vaulx-en-Velin. Nous avons acheté un spectacle préparé par nos collègues allemands, sur la mission Cassini.



**Fig. 7** Composantes de l'équation du temps.

### **3. CONCLUSIONS**

#### **1. Conditions** à respecter pour un cadran précis.

- Connaître exactement la latitude du lieu. F
- Connaître exactement l'orientation du mur. d
- Calcul à l'aide des formules de trigonométrie.
- Orientation précise du style.

#### **2. Complexité des calculs.** Science difficile.

#### **3. Validité** des cadrans du commerce. Commentaires.

#### **4. Esthétique.** Grande variété des réalisations.

#### **5. Intérêt** historique, artistique, scientifique.

Intérêt pour la formation intellectuelle.

Liaison avec les problèmes généraux (géographie, mouvements de la Terre, astronomie). ☞

Rappel des lois de Képler :

? Trajectoire elliptique. Commentaires.

? Loi des aires :  $V$  aréolaire constante.  $\frac{dA}{dt} ? Cte$  Commentaires

?  $\frac{T^2}{a^3} ? Cte$  ? ?

Existence d'un Soleil fictif (Soleil fantôme, Soleil moyen) animé d'un mouvement circulaire uniforme et dont la position coïncide 4 fois par an avec celle du Soleil réel.

Soleil fantôme tantôt en avance tantôt en retard par rapport au Soleil réel. Courbe dite "d'équation du temps" (avance algébrique).

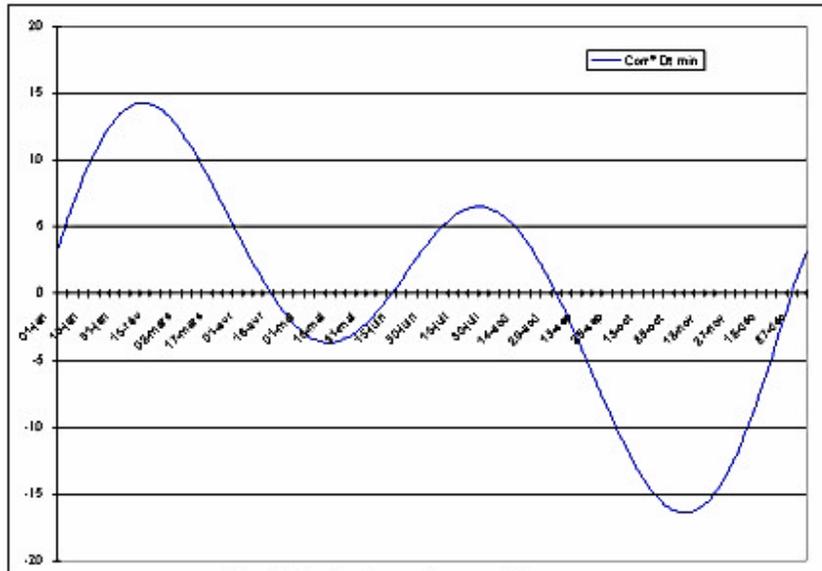


Fig. 6 Courbe dite « équation du temps ».

### 3.4. CORRECTION DÉFINITIVE

Somme des 3 corrections algébriques précédentes :  $H_c ? H_s ? H_a ? H_i ? E$

Exemple : Aix le 19 octobre 2003.  $H_c ? H_s ? 2h ? 22min ? 15min$   
 $H_c ? H_s ? 1h ? 23min$

Nécessité d'accompagner chaque cadran de son tableau de correction.  
 Le tableau fait partie intégrante du cadran.

### RAPPORT FINANCIER 2004

Le rapport financier présenté par Fabrice Souillard, trésorier, fait apparaître un solde positif de **3 726,52 €**

Les dépenses et recettes de l'exercice 2004 sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

LIBELLÉ DÉPENSES	DÉPENSES	
<b>1° Frais généraux</b> (Assurances, affranchissements, achats matériels, expositions, spectacles...)	<b>8 741,72 €</b>	
<b>2° Activités</b> (Colloque APLF, animations JP Coste)	<b>2 445,03 €</b>	
<b>3° Dépenses diverses</b> (Achats revues, abonnements, frais divers)	<b>630,42 €</b>	
<b>TOTAL DÉPENSES</b>	<b>11 817,17 €</b>	
LIBELLÉ RECETTES		RECETTES
<b>1° Cotisations adhérents</b>		<b>1 873,50 €</b>
<b>2° Divers</b> (Subventions, activités, entrées, ventes)		<b>8 471,01 €</b>
<b>3° Reliquat</b> (Caisse, épargne, comptes au 31/12/03)		<b>5 199,18 €</b>
<b>TOTAL RECETTES</b>		<b>15 543,69 €</b>
<b>SOLDE</b>		<b>3 726,52 €</b>

### ASSEMBLÉE GÉNÉRALE EXTRAORDINAIRE

Convoquée en même temps que l'AG annuelle, une AG extraordinaire s'est tenue le 27 avril dernier pour modifier les statuts de l'Association afin de créer un poste de Directeur. Après adoption des nouveaux statuts, le Conseil d'administration a nommé à l'unanimité Henri Marnet-Cornus Directeur de planétarium. La mission du directeur sera précisée dans le règlement intérieur. Il y aura désormais deux comptes financiers séparés : celui de l'association et celui du planétarium. ☺

# LA QUÊTE DES ORIGINES ET DES MONDES NOUVEAUX

**Pierre BARGE,**

astronome au Laboratoire d' Astrophysique de Marseille (C.N.R.S.)

*L'humanité se pose depuis longtemps la question de ses origines. Certains philosophes se sont aussi interrogés très tôt sur la possibilité d'existence d'autres mondes ou de vie ailleurs que sur la Terre. Par exemple dans la Lettre à Hérodote, en 300 avant Jésus-Christ, Épictète pense que : " Il y a une infinité de mondes semblables au nôtre ou différents " .*

*Idée que l'on voit réapparaître plus tard, par exemple exprimée par Bernard de Fontenelle dans les " Entretiens sur la pluralité des mondes " : " Il semble que rien ne devrait nous intéresser davantage que de savoir comment est fait ce monde que nous habitons, s'il y a d'autres mondes semblables, et qui soient habités aussi ; ... " .*

## Des premières hypothèses au " scénario standard "

La pensée scientifique s'est organisée tout d'abord autour du problème de la formation du Soleil et des planètes. Les différentes hypothèses envisagées peuvent être classées en deux catégories : les hypothèses dualistes telles que celle émise par Buffon ou Woolfson suivant lesquelles les planètes prennent naissance consécutivement à un évènement extérieur tel qu'une rencontre avec une autre étoile ; les hypothèses monistiques suivant lesquelles le Soleil et les planètes ont une origine commune tel que l'imaginait Descartes vers 1644. Les hypothèses monistiques ont connu un premier essor pendant le siècle des Lumières avec notamment une idée émergente défendue successivement par Swedenborg (1734), Kant (1754) et Laplace (1796) suivant laquelle le Soleil et les planètes prennent naissance au sein d'un nuage primordial de forme aplatie : la Nébuleuse Primitive.

De nos jours le problème s'exprime en termes différents et l'hypothèse de la Nébuleuse Primitive est la seule à avoir survécu car confirmée par l'existence des disques circumstellaires autour des étoiles jeunes, tels que ceux observés aujourd'hui par le télescope spatial dans la nébuleuse d'Orion.

Certains pays (USA, Russie, Chine ) s'étalant sur plusieurs fuseaux horaires, possèdent donc plusieurs heures légales.

Exemples : New York TU – 4    Chicago TU - 5  
Salt Lake City TU – 6    Los Angeles San Francisco TU – 7.

## 3.2. CORRECTION DE LONGITUDE

À une même latitude deux cadrans n'indiquent pas la même heure. Déphasage (algébrique).

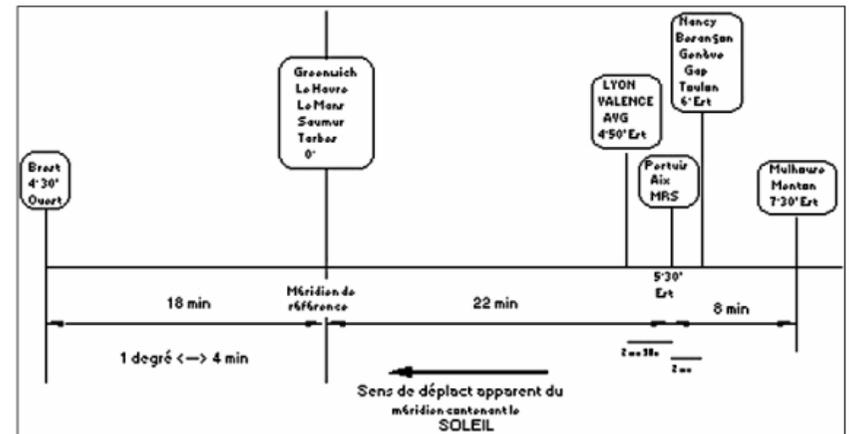
Celui situé à l'Est avance sur celui situé à l'Ouest.

Or à l'intérieur d'un même fuseau il n'existe qu'une seule heure légale. Commentaires sur l'historique.

D'où nécessité d'une correction "de longitude".

Rappel : 24 h ? 360°    1 h ? 15°

Décalage : 4 min par degré de longitude. Exemples :



**Fig. 5** Décalages horaires pour certaines villes.

## 3.3. ÉQUATION DU TEMPS

Hypothèse d'un Soleil fixe (abandonnée).

Hypothèse d'un Soleil animé d'un mouvement apparent circulaire uniforme (abandonnée).

Réalité du type de mouvement de la Terre autour du Soleil ?

## 2.4. CAS D'UN MUR VERTICAL DÉCLINANT

Pratiquement un mur vertical n'est jamais "Plein Sud". Le mur n'est jamais rigoureusement perpendiculaire au plan du méridien local.

Il est caractérisé par sa déclinaison  $d$  (algébrique).

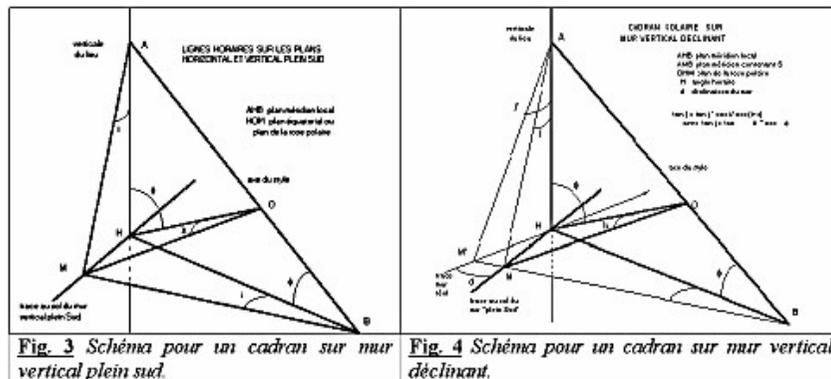
Convention :  $d$  positif si le mur est orienté vers l'Ouest.

D'où la nécessité d'une correction :  $\tan j' = \tan j \frac{\cos i}{\cos(i + d)}$

soit :  $\tan j' = \tanh \cos \frac{\cos i}{\cos(i + d)}$

Remarque. Limites physiques d'existence de l'ombre du style.

? Plage horaire réduite pour l'utilisation du cadran.



## 3. PASSAGE DE L'HEURE SOLAIRE (SUR LE CADRAN) À L'HEURE CIVILE (LÉGALE). TROIS CORRECTIONS

### 3.1. CORRECTION ADMINISTRATIVE

Chaque pays est libre d'adopter l'heure légale de son choix c'est à dire de se placer sur le fuseau horaire de son choix.

C'est un choix conventionnel.

En France (métropole) la correction est de :

+ 1 h en Hiver	heure GMT + 1	soit TU + 1
+ 2 h en Été	heure GMT + 2	soit TU + 2

Le questionnement scientifique actuel peut se résumer en quelques questions :

- ?? Quelle est la fréquence des systèmes planétaires ?
- ?? Sont-ils semblables au notre ?
- ?? Comment se forment-ils ?
- ?? Autour de quels types d'étoiles se forment-ils ?
- ?? Existe-t-il une forme de vie ailleurs ?

Après la découverte des disques circumstellaires autour des étoiles jeunes de type T-tauri par le satellite infra-rouge IRAS (1983), les modèles de formation planétaire se sont définitivement orientés vers un scénario standard comprenant deux étapes majeures (cf. Fig. 1)\*.

La première étape, dite "hydrodynamique", pendant laquelle le gaz domine l'évolution du disque et les poussières solides restent couplées au gaz. Les poussières en suspension dans le gaz tendent à sédimenter vers le plan équatorial du disque sous l'action de la composante verticale de la gravité de l'étoile. Elles forment dans le plan équatorial du disque une sous-couche dont la densité augmente dans le temps et qui est le siège, soit d'une croissance accélérée des particules solides par agglomérations successives, soit d'une instabilité gravitationnelle qui fragmente la sous-couche elle-même en de nombreux morceaux autogravitants. En fait, les disques proto-planétaires sont aussi le siège d'une turbulence qui peut tout aussi bien inhiber l'instabilité gravitationnelle qu'accélérer la croissance des particules au sein des structures cohérentes qu'elle génère elle-même. Cette étape est encore très mal comprise mais se termine par la formation d'une multitude de planétoïdes de taille kilométrique, briques élémentaires des futures planètes et que l'on appelle aussi planétésimaux.

La deuxième étape, dite "gravitationnelle", démarre avec un nuage d'un grand nombre de ces planétésimaux orbitant autour du Soleil au sein du gaz toujours présent. L'évolution du système est maintenant dominée par la force gravitationnelle qui assure également la croissance et la cohésion des planétésimaux. Ceux-ci grossissent et atteignent une taille analogue à celle de la Lune en environ cent mille ans. Le gaz ne joue plus qu'un rôle mineur durant cette phase et se trouve capturé par les plus gros pour former des embryons planétaires puis les planètes que nous connaissons aujourd'hui.

\* Les figures sont regroupées pages 14 et 15

## Premières découvertes – premières surprises

Après la confirmation de l'hypothèse de Kant et Laplace avec l'observation des disques protoplanétaires, une autre étape majeure a été la découverte des premières planètes extrasolaires, notamment avec le spectrographe ELODIE. En effet, il devenait enfin possible de tester les modèles de formation planétaire sur d'autres systèmes de planètes que le Système Solaire. Les nouveaux systèmes découverts, au nombre de 120 aujourd'hui, nous ont réservé tout un lot de surprises (cf. **Fig. 2 et 3**) : des planètes beaucoup plus massives que Jupiter, des planètes géantes dans la proche banlieue de leur étoile (les "Jupiter chauds"), des planètes géantes sur des orbites très excentriques. Les modèles ont été soumis à rude épreuve mais certains mécanismes, comme celui de la migration, échafaudés dans les années 80, ont revu le jour et semblent aujourd'hui en mesure de rendre compte de l'existence des Jupiter chauds. Le mécanisme de migration résulte de l'interaction d'origine gravitationnelle entre la planète et le disque de gaz au sein duquel elle s'est formée ; dans son mouvement autour de l'étoile la planète perd du moment angulaire au profit du disque et tend à migrer en direction de l'étoile. Les raisons pour lesquelles la migration semble s'arrêter à environ 0,05 UA (1 UA = la distance Terre-Soleil) sont encore incertaines, mais sans doute liées à l'effet de marée étoile/planète.

On connaît aujourd'hui, grâce la méthode des vitesses radiales, une dizaine de systèmes planétaires dont un système à trois planètes autour de Upsilon Andromède ; celui-ci est complètement différent de notre Système Solaire avec des planètes géantes orbitant dans des régions où nous avons l'habitude de trouver des planètes telluriques comme Mercure, Vénus, la Terre et Mars

La question de la nature de ces planètes géantes, gazeuse comme Jupiter ou rocheuse comme la Terre, s'est posée immédiatement. Elle a reçu une première réponse dans le cas de la planète HD209458b où la méthode des occultations est utilisable (système planétaire observé par la tranche) et qui a permis de montrer que cette planète a une densité analogue à celle de Saturne.

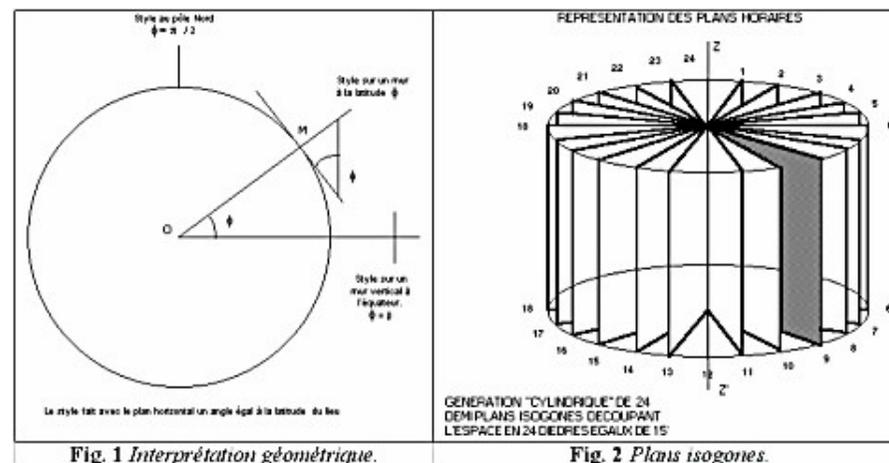
## La ruée vers les nouveaux mondes

Différentes méthodes de détection sont utilisables pour détecter des planètes autour d'autres étoiles que le Soleil :

- (1) la méthode astrométrique qui cherche à mesurer, sur le fond du ciel, les petites oscillations d'une étoile provoquées par la présence d'un compagnon obscur ;
- (2) la méthode de spectroscopie Doppler qui cherche à mesurer, dans le

### 2.1.4. Déclinaison ? du soleil.

Définition de ?. Variation annuelle:  $\sin ? = \sin ? \times \sin ?$



**Fig. 1** Interprétation géométrique.

**Fig. 2** Plans isogones.

## 2.2 CADRAN ÉQUATORIAL DE LATITUDE QUELCONQUE

**Principe.** La famille F des plans horaires méridiens vient sectionner n'importe quelle surface, plane ou quelconque.

- Tous les cadrans sur un même méridien sont synchrones.
- Variation avec la longitude. L'ombre garde la même direction par rapport à la direction Terre - Soleil. Mais c'est le milieu extérieur qui évolue avec la longitude. Ce problème sera traité plus loin.

## 2.3. CADRAN VERTICAL OU HORIZONTAL

**Principe.** La famille F des plans horaires méridiens vient sectionner n'importe quel plan ? Les intersections représentent les lignes horaires. Définition de H : angle horaire sur le cadran de référence. Par exemple de 15 en 15 degrés.

### Cas particuliers :

Intersection avec un plan horizontal à la latitude ? .

$$\tan i = \tan H \times \sin ?$$

Intersection avec un plan vertical "plein Sud" (orienté au 180) :

$$\tan j = \tan H \times \cos ?$$

# CADRANS SOLAIRES

par **André VASCHALDE**,  
Inspecteur honoraire de Sciences Physiques

*Tout ce que vous avez toujours voulu savoir ...  
Sans jamais oser le demander.  
(Enfin presque...)*

## **1. INTRODUCTION \***

### **1.1. UNE DES PREMIÈRES FORMES SOPHISTIQUÉES DE MESURE DU TEMPS.**

Horloges à eau, clepsydres, cadrans, gnomons.

### **1.2. BASÉ SUR LE PHÉNOMÈNE DE ROTATION APPARENTE DU SOLEIL AUTOUR DE LA TERRE.**

Rotation journalière de la direction de l'ombre du bâton vertical. Évolution annuelle de la longueur de cette ombre.

### **1.3. CARACTÈRE RÉPÉTITIF PARFAITEMENT PÉRIODIQUE**

? Source du Déterminisme scientifique. Quantification du phénomène.

### **1.4. AU XXÈME SIÈCLE.**

Arrivée de l'électronique. Aujourd'hui mesure du temps par référence à des phénomènes atomiques.

Les cadrans en Provence : Contexte climatique, historique.  
Intérêt intellectuel. Patrimoine culturel.

## **2. LES DIFFÉRENTES CATÉGORIES**

### **2.1. CADRAN ÉQUATORIAL "POLAIRE"**

#### ***2.1.1. Rotation apparente du Soleil à vitesse angulaire constante***

En fait : rotation parfaitement régulière de la Terre en 24 h devant un Soleil "fixe".

#### ***2.1.2. Maquette de plans isogones.***

Découpage dans l'espace d'une famille F de plans méridiens équidistants "isochrones".

$360^\circ ? 24 \text{ h}$      $15^\circ ? 1 \text{ h}$      $1^\circ ? 4 \text{ min.}$

#### ***2.1.3. Durée de fonctionnement du cadran :***

Fonctionne "jour et nuit" soit 24 h sur 24, mais pendant 6 mois.

\* [Note à l'attention du lecteur : Nous reproduisons ici avec l'aimable autorisation de l'auteur le plan et les données principales d'une conférence donnée lors de la fête de la science 2003]

spectre d'une étoile, les faibles variations de vitesse radiale d'une étoile dans son mouvement d'oscillation avec le compagnon ;

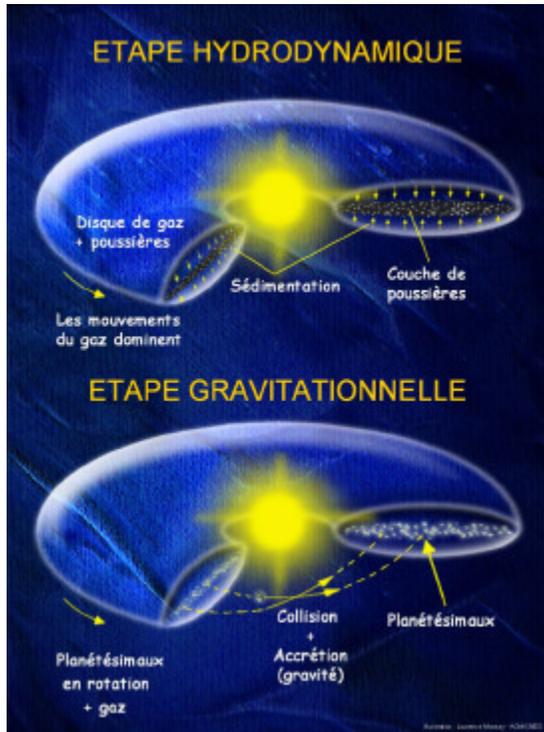
(3) la méthode des occultations qui cherche à mesurer les baisses de luminosité d'une étoile dues au passage d'une planète devant son disque ;

(4) la méthode d'imagerie qui consiste à repérer directement le mouvement de la planète autour d'une étoile après avoir atténué son éclat avec un coronographe à très haut rendement.

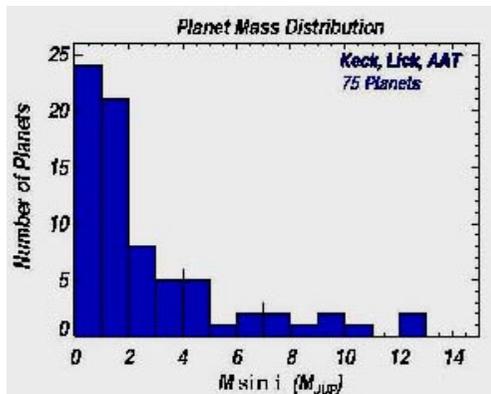
Détecter des planètes extrasolaires avec une de ces méthodes pose cependant de grandes difficultés techniques car il est nécessaire d'effectuer des mesures de très grande précision. Avec la méthode astrométrique il faut pouvoir détecter des angles très faibles, de l'ordre du millième ou du millionième de seconde d'arc<sup>2</sup>. Avec la méthode des vitesses radiales il est nécessaire de mesurer des vitesses aussi faibles que 1 à 10 m/s. Avec la méthode des occultations il faut pouvoir mesurer des variations relatives de luminosité des étoiles de l'ordre de 0,1% pour une planète comme Jupiter et de 0,01% pour une planète comme la Terre. Enfin, avec la méthode d'imagerie directe, le défi est de détecter une bougie à côté d'un phare, soit un objet 100 millions de fois moins brillant qu'une étoile et situé à seulement 0.1-1 secondes d'arc.

De nombreux projets sont actuellement à l'étude à travers le monde et seulement quelques-uns en phase de réalisation. La plupart d'entre eux sont développés à partir du sol pour découvrir des planètes géantes, notamment des " Jupiter chauds " qui sont les plus faciles à détecter ; c'est le cas du projet " Planet Finder " conduit au VLT (paranal/ESO). Dans l'espace, il sera possible de détecter des planètes telluriques avec des missions utilisant la méthode des occultations comme par exemple CoRoT (CNES) qui sera lancée en 2006 (**voir Fig.4**) ou comme Kepler (NASA) et Eddington (ESA). Avec ces projets c'est bientôt des millions d'étoiles qui seront surveillées pour y déceler le passage d'une planète devant le disque de son étoile et l'on attend la découverte de très nombreuses planètes géantes comme celles qui sont découvertes aujourd'hui mais aussi des planètes telluriques ressemblant à celles que nous connaissons et, peut-être, des planètes analogues à la Terre où l'eau est sous forme liquide et les conditions sont favorables à l'apparition de la vie.

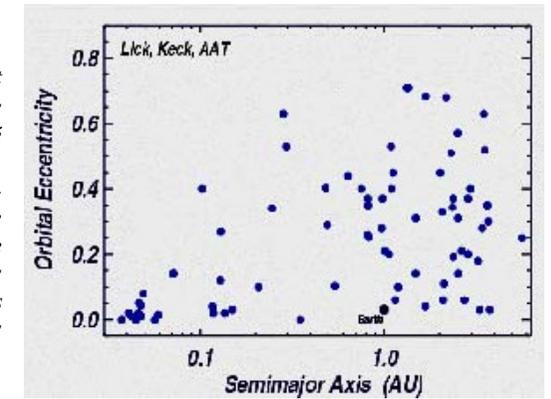
C'est uniquement avec les grands projets spatiaux comme DARWIN (ESA) ou TPF (NASA), à l'horizon 2020 ou plus, que l'exobiologie et le problème de la vie sur d'autres planètes pourront vraiment être abordés. ☞☞



**Fig. 1** : Le scénario standard de formation planétaire issu du modèle de Safronov (1969). Deux étapes majeures : la première dominée par l'écoulement du gaz qui entoure l'étoile après sa formation, la seconde dominée par la gravité et les collisions mutuelles (copyright CNES –David Ducros 2002).



**Fig. 2** : Distribution en masse des exoplanètes découvertes. On constate une forte proportion de planètes géantes de masse semblable à celle de Jupiter mais aussi l'existence de planètes beaucoup plus massives que Jupiter



**Fig. 3** : demi-grand axe et excentricité des exoplanètes découvertes. Une diversité inattendue d'orbites possibles : (1) des planètes géantes en orbite quasi-circulaire dans la proche banlieue de l'étoile (~ 0.05AU), les "Jupiter chauds", (2) des planètes géantes sur des orbites très excentriques (e ~ 0.6-0.7)



**Fig. 4** : Vue d'artiste du satellite CoRoT en orbite autour de la Terre