

# les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



N° 69 - PRINTEMPS 1995

ISSN 0758-234 X

# **Le CLEA – Comité de Liaison Enseignants et Astronomes**

Le CLEA, Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, est une association déclarée (loi de 1901). Elle réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement et dans les organismes de culture populaire. **En particulier, ils agissent dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants.**

Le CLEA organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux dans le cadre des MAFPEN. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège et du lycée. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (observations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc).

Aussi bien au cours de ces stages que dans ses diverses publications, le CLEA favorise les échanges directs entre enseignants et astronomes hors de toute contrainte hiérarchique.

## **La liste des publications du CLEA figure en pages 3 et 4 de la couverture**

### **Bureau du CLEA pour 1995**

<i>Présidents d'honneur</i>	Jean-Claude PECKER Evry SCHATZMAN
<i>Présidente</i>	Lucienne GOUGUENHEIM
<i>Vice-Présidents</i>	Agnès ACKER Marie-France DUVAL Hubert GIE Jean RIPERT Jacques VIALLE
<i>Secrétaires-trésoriers</i>	Catherine VIGNON Gilbert WALUSINSKI

**Comité de rédaction des Cahiers Clairaut** : Daniel Bardin, Lucette Bottinelli, Jacques Dupré, Michèle Gerbaldi, Lucienne Gouguenheim, Jean-Paul Parisot, Georges Paturol, Jean Ripert, Daniel Toussaint, Victor Tryoën, Jacques Vialle, Gilbert Walusinski.

## Index des Cahiers Clairaut – Dix-septième année 1994, du n°65 au n°68

Pour chaque référence, le premier nombre donné est le numéro du Cahier, le deuxième indique la page.

### INDEX ALPHABETIQUE DES AUTEURS

- BARDIN Daniel : Eléments de réponse aux problèmes posés par la couverture (65.11)  
BERTHOMIEU Francis : Quand le Soleil et la Lune (68.12)  
BIRAUD François : Zéro-g (66.14)  
BOBIN Martine : Découverte de la vitesse finie de la lumière par Roemer (67.3)  
BOTTINELLI Lucette : Le ciel en rayonnement gamma (65.29)  
Les Céphéïdes lointaines et le télescope spatial Hubble (68.19)  
CHAPPELET Jeanine : Les exposciences (65.37)  
DAHRINGER Frédéric : Il ne suffit pas d'une horloge pour mesurer la distance Soleil-Vénus (67.19)  
DEBARBAT Suzanne : Le cercle répéteur de Borda (67.32)  
GOUGUENHEIM Lucienne : Juillet 1994 au col Bayard (67.2)  
HEIDMANN Jean : SETI et la bioastronomie - I (68.2)  
IWANISZEWSKA Cecilia : Une lettre de La Haye (68.14)  
LANCIANO Nicoletta : Méridienne de la Loggia de San Giovanni de Udine (66.18)  
LERICH Pierre : Petite mécanique céleste (67.26)  
Querelle de chiffres (68.22)  
MARCHAT Claude : Cratère d'impact météoritique de Rochechouart (66.2)  
MIZAR K : En attendant 1996... (67.23)  
Sur les pas d'Arago (68.18)  
PERBOST Paul : Le cadran bifilaire (65.30)  
A propos du cadran bifilaire (66.37)  
Un circuit olympique (67.35)  
RIPERT Jean : Activités pour l'option de 1ère S U<sub>3</sub> (65.3)  
TOULMONDE Michel : L'éclipse du 10 mai 1994 (65.17)  
VIALLE Jacques : Le projet Arès (67.15)  
WALUSINSKI Gilbert : Pour préparer un guide de l'enseignant en astronomie (65.20)
- 

### TABLE ALPHABETIQUE DES ARTICLES

- ACTIVITES pour l'option de 1ère S U<sub>3</sub> (J.Ripert ; 65.3)  
ARAGO (Sur les pas de-) (K.Mizar ; 68.18)  
ASSEMBLEE Générale CLEA Orsay 1994 (68.30)  
CADRAN bifilaire (P.Perbost ; 65.30 ; 66.37)  
CEPHEIDES lointaines et télescope spatial Hubble (L.Bottinelli ; 68.19)  
CERCLE répéteur de Borda (S.Débarbat ; 67.32)  
CIEL en rayonnement gamma (L.Bottinelli ; 65.29)  
CIRCUIT olympique (P.Perbost ; 67.35)  
COMMENT nourrissait-on les chevaux à Magdebourg ? (67.34)  
CORPS noir (65.5)  
COUVERTURE (Eléments de réponse aux problèmes posés par la -) (D.Bardin ; 65.11)  
CRATERE d'impact météoritique de Rochechouart (C.Marchat ; 66.2)  
DECOUVERTE de la vitesse finie de la lumière par Roemer (M.Bohin ; 67.3)  
ECLIPSE du 10 mai 1994 (M.Toulmonde ; 65.17)  
EN ATTENDANT 1996 (K.Mizar ; 67.23)  
EXPOSCIENCES (J.Chappelet ; 65.37)  
GUIDE de l'enseignant en astronomie (Pour préparer un -) (G.W. ; 68.20)  
JUILLET 1994 au col Bayard (L.Gouguenheim ; 67.2)  
KEPLER (Une page de -) (65.36)  
LETTRE de La Haye (C.Iwaniszewska ; 68.14)  
MERIDIENNE de la Loggia de San Giovanni de Udine (N.Lanciano ; 66.18)  
MESURER la distance Soleil-Vénus (F.Dahringer ; 67.19)  
NOUVELLES publications du CLEA (65.2)

PETITE mécanique céleste (P.Lerich ; 67.26)  
PETITS mensonges du thème astral (P.Lerich ; 65.14)  
PROJET ARES (J.Vialle ; 67.15)  
QUAND le Soleil et la Lune (F.Berthomieu ; 68.12)  
QUERELLE de chiffres (P.Lerich ; 68.22)  
RETROGRADATION de Mars (65.19)  
TEMPERATURE du Soleil (65.9)  
ZERO - g (F.Biraud ; 66.14)

---

### LISTE ALPHABETIQUE DES TITRES DES OUVRAGES RECENSES

CALENDRIER républicain (Bureau des Longitudes ; 65.27)  
CHRONIQUE de l'espace-temps (A.Mazure, G.Mathez, Y.Mellier ; 67.30)  
COMMENT utiliser un planétarium (67.28)  
DERNIERES nouvelles du cosmos (H.Reeves ; 68.27)  
EINSTEIN oeuvres complètes choisies (65.21)  
ELEMENTS de mécanique céleste (G.Pascoli ; 66.33)  
ESPACE milieu violent et hostile (J-P.Penot ; 65.27)  
HISTOIRE de la physique moderne (M.Biezunski ; 66.34)  
IL ETAIT une fois l'Univers (R.Abbal ; 68.29)  
LETTRES d'amour et de science (A.Einstein et Mileva ; 65.25)  
METHODES de calcul d'orbites (C.Dumoulin ; 68.28)  
METRE et système métrique (S.Debarbat et A.Ten ; 65.25)  
OEUVRES pédagogiques (C.Freinet ; 68.28)  
ORIGINES de la physique moderne (B.Cohen ; 66.34)  
PASSION des astres au XVII ème siècle (M.Grenet ; 67.27)  
POUSSIÈRE d'étoiles (H.Reeves ; 67.29)  
PREMIER demi-siècle de l'UAI (A.Blaauw ; 68.25)  
RECHERCHE du pôle céleste Nord (A.Simon ; 65.27)  
RELATIVITE d'Einstein aujourd'hui (R.Schaeffer ; 66.33)  
SOLEIL (P.Lantos ; 66.32)  
TETRABILE (Ptolémée ; 65.26)  
TEXTES essentiels en astronomie et en astrophysique (J-P.verdet ; 66.31)  
TOUT ce que vous devriez savoir sur la science (H.Collins et T.Pinch ; 66.35)  
L'UNIVERS des étoiles (L.Bottinelli et J-L.Berthier ; 65.26)  
L'UNIVERS et la lumière (L.Nottale ; 68.23)  
VAGABONDS de l'espace (K.Lang et C.Whitney ; 65.26)  
VOLCANS du système solaire (C.Frankel ; 67.29)

---

### QUELQUES ARTICLES DANS DES NUMEROS PLUS ANCIENS

Suzy COLLIN : Les noyaux actifs de galaxies (47.2)  
J.NUSSBAUM : La perception par les élèves des concepts astronomiques (du Cahier 52 au 55)  
Evry SCHATZMAN : La rotation des étoiles (53.2)  
Roland SZOSTAK : Observation de la marche du Soleil au cours de la journée (58.7)  
François BIRAUD : Les pulsars millisecondes (60.2)  
André BRAHIC : Le système solaire aujourd'hui... (64.2)

# LES CAHIERS CLAIRAUT

Printemps 1995

	page
L'Association Européenne pour l'Education en Astronomie.....	2
Mars ... sur orbite !.....	10
SETI et la bioastronomie (II).....	17
Lectures pour la Marquise et pour ses Amis .....	22
En attendant 1996 (2) .....	29
L'apparition de la Corse au large de Nice est-elle un mirage ?.....	32
Les tribulations du kit : "Mesure de la constante solaire" .....	39
Courrier des lecteurs .....	40

## EDITORIAL

Nous ouvrons ce numéro des Cahiers sur un évènement qui nous semble important : à l'initiative de l'Observatoire Européen Austral, une Association Européenne pour l'Education en Astronomie vient de se constituer. Cela s'est fait en novembre dernier, à l'issue d'une réunion de plus de cent enseignants européens, provenant de 17 pays différents. Josée Sert relate pour les Cahiers le déroulement de la rencontre. Les participants ont adopté une "Déclaration" d'intentions, que nous publions ensuite in-extenso.

Cette priorité nous a conduits à reporter au numéro prochain plusieurs des articles qui nous ont été adressés. Que J.L. Colas veuille bien nous excuser de différer la publication de son "Compass à ellipses" ; il faudra aussi que nos lecteurs attendent l'été pour apprendre - s'ils l'ignorent encore - ce qu'est le "Cercle Zététique".

Nous continuons le feuilleton SETI (merci à Jean Heidmann), celui de K. Mizar sur Kepler, et en entamons un nouveau, proposé par Francis Berthomieu aux élèves de l'option "Sciences Expérimentales" en 1ère. Merci encore à tous ceux qui ont bien voulu alimenter la rubrique de la Marquise, ainsi qu'à Paul Perbost pour sa collaboration fidèle.

Au cours de l'été dernier, comme nous vous l'avons relaté dans le numéro 68 des Cahiers, le GRP-CLEA a mis en chantier un ensemble de nouvelles productions, que nous avons annoncées dès la rentrée, calculant les prix, comme le fait toujours le CLEA, au plus bas. Un certain nombre de difficultés sont survenues. Tout d'abord, nous avons dû réévaluer à la hausse le prix du hors série n°6, qui propose un travail sur le spectre solaire et fournit un ensemble de 12 reproduction de très bonne qualité du spectre que Daniel Bardin a réalisé pour le CLEA. La réalisation du kit destiné à la mesure de la constante solaire a pris du retard : Michèle Gerbaldi vous explique ici pourquoi, et vous présente les nouvelles conditions de vente.

Enfin, nous souhaitons un bon anniversaire à notre cher secrétaire-trésorier-rédacteur en chef des Cahiers. Si vous voulez savoir combien de fois il a fait le tour du Soleil, il vous faudra résoudre le rébus de la page 13.

La Rédaction

*Note de la Rédaction : Un évènement important concernant l'enseignement de l'Astronomie en Europe vient de se produire ; il nous a conduits à ouvrir ce numéro des Cahiers par les deux textes suivants. Le premier est le compte rendu écrit par Josée Sert au nom de la délégation française, de l'Atelier qui s'est déroulé à Garching. Le second est la version française, due à Jacques Vialle, et adoptée par les participants francophones, de la déclaration issue de cet Atelier.*

Du 25 au 30 Novembre 1994 s'est déroulé, dans le cadre de la semaine européenne de la culture scientifique, l'Atelier EU/ESO (Union Européenne / Observatoire Européen Austral), intitulé "Astronomie : Science, Technologie, Culture". Il rassemblait à Garching, près de Munich, au siège central de l'ESO, une centaine d'enseignants en Astronomie, la plupart au niveau Secondaire, venus de 17 pays.

Pour la France, nous étions 11: tout d'abord Lucienne Gouguenheim, co-organisatrice de la troisième journée, et ensuite Francis Berthomieu, Frédéric Darhinger, Didier Demarque, Bernadette Durieux, Jean-Luc Fouquet, Edith Hadamcik, Sophie Rémy, Jean-Paul Rosenstiehl, Josée Sert et Catherine Vignon.

Nous avons été accueillis très chaleureusement par Richard West au nom de l'ESO, et ce séjour s'est pour nous très bien déroulé (exceptées au début nos difficultés à comprendre, puis à arriver à parler l'Anglais...).

### LES CONFERENCES : Science, Technique, Culture

Le Samedi, nous avons écouté plusieurs conférences données par des spécialistes dans des domaines de recherche très vivants aujourd'hui :

- **Les petits corps célestes du système solaire** par Richard West (très nombreux, très divers, ils gardent les traces de l'origine et de l'évolution du système solaire ; on les classait soit comme des planètes mineures, soit comme des comètes, mais on a découvert récemment des objets intermédiaires, et des transitions dans les deux sens ; le développement des moyens d'observation a permis d'en détecter beaucoup plus qu'on ne pensait près de la Terre, et depuis deux ans, 17 au-delà de Neptune - avec la perspective de deux au moins par nuit avec le VLT! - et le soupçon d'un nuage de comètes plus proche que celui de Oort...), avec un complément écrit synthétisant rapidement les différentes observations de la collision Shoemaker-Levy 9/Jupiter

- **La nucléosynthèse dans les étoiles et les supernovae** par R. Kippenhahn (les éléments légers ont été formés quelques minutes après le Big Bang ; plus tard, au sein des étoiles, les réactions nucléaires en ont produit de plus lourds jusqu'au Fer, tandis que de plus lourds encore se formaient par capture d'un neutron par des noyaux subissant ensuite une désintégration  $\beta$  ; tout ceci étant répandu dans l'espace interstellaire par l'explosion de supernovae, au cours de laquelle se forment encore des éléments lourds ; tous les éléments connus doivent leur existence à des événements que nous pouvons observer dans l'Univers).

- **La chimie du milieu interstellaire** par Michel Guélin (contrairement à ce à quoi on pouvait s'attendre, on observe de nombreuses et grosses "molécules" dans le milieu interstellaire...).

- **L'Univers Physique** par Vincent Icke (ou comment, à travers l'Astronomie, expliquer "les idées de base de la Physique à un enfant de 8 ans"... On explore l'Univers en 40 pas - les puissances de 10 - et on découvre tout ce qui le constitue : des particules, de l'espace et du temps - résumé de 50 siècles de Physique! -).

Le soir était prévue une démonstration d'observation à distance : c'est en effet le centre de Garching qui pilote l'observatoire de La Silla et qui en recueille les données. Malheureusement, certains ordinateurs étaient à ce moment-là en panne et nous avons dû nous contenter d'une rapide visite de la salle où tra-

vaillent les astronomes pour effectuer leurs observations.

Le Dimanche était consacré à deux séries de conférences : le matin, quatre portaient davantage sur l'aspect "Technologie" :

- **L'impact industriel des technologies en Astronomie** par F. Merkle de l'entreprise Zeiss (dernières nouvelles des télescopes en construction, entre autres).

- **Les optiques adaptatives** par G. Rousset (ou comment corriger à chaque instant les irrégularités dues à l'atmosphère : par l'intermédiaire d'un détecteur, un système informatique analyse en temps réel l'atmosphère dans la direction de visée puis compense à chaque instant en changeant la forme du miroir par un système de vérins).

- **Le traitement des images** par Hans Martin Adorf (ou comment, à partir de l'expérience de Hubble, on arrive à traiter des images pour obtenir une précision bien meilleure que celle de l'image initiale : les "lunettes" COSTAR corrigent l'"aberration sphérique", mais cette correction donne des images trop fines pour la taille des pixels du détecteur, et les détails sont perdus. C'est là qu'intervient le traitement informatique, pour combiner deux ou plusieurs images décalées, et restaurer l'image avec la qualité optimale : cela nécessite "beaucoup de transformations de Fourier... et surtout des ordinateurs à horloge très rapide et à très grande mémoire" !).

- **Le maniement des données et de l'information** par Miguel Albrecht (ou comment se retrouver dans la jungle de toutes les données et publications disponibles, et comment les archiver, les conserver, les mettre rapidement à disposition des chercheurs qui en ont besoin...).

Plusieurs d'entre nous, qui a priori pensaient être moins intéressés par cet aspect que par la recherche théorique, ont été émerveillés de voir les recherches et les changements considérables effectués ces dernières années, dus aux progrès technologiques, mais surtout au développement sans cesse croissant de l'outil informatique : arriver à quasiment supprimer les inconvénients de l'atmosphère pour les télescopes au sol est assez difficilement imaginable, partir d'un télescope avec de très gros défauts - Hubble - pour en arriver à obtenir des images avec une meilleure précision que celle prévue initialement laisse très admiratif devant les chercheurs qui ont travaillé pour en arriver là... Et on a l'impression que les pas de géant continuent...

L'après-midi, c'était l'aspect "Culture" à travers deux conférences :

- **Astronomie et société** par N. Calder (ou comment se sentir une partie de l'Univers : dans les conceptions anciennes, l'Univers était un tout, chaque partie étant reliée aux autres ; après Copernic, il s'est sans cesse agrandi, la Terre et l'être humain se détachant de plus en plus des planètes et des étoiles, les sciences évoluant chacune indépendamment dans leur domaine spécifique ; depuis 30 ans, nous comprenons mieux la "chimie cosmique" sur laquelle se base la vie, et les sciences retrouvent une unité - les objets cosmiques sont tous utiles pour comprendre notre propre existence - ; il est important d'enseigner aux enfants très tôt les conceptions qui prévalent aujourd'hui, et il est regrettable que la plupart du temps cette information sur l'Astronomie et les autres sciences se fasse de manière éclatée, sans aucun concept d'ensemble : ceci afin qu'ils acquièrent une vision de la place de l'Homme dans l'Univers qui les empêche par exemple de se tourner vers les "fausses sciences").

- **Astronomie et société** par Hubert Reeves (exposé des idées qui sont présentes dans ses livres, que les Français connaissaient bien : nous, espèce humaine, sommes ce que l'Univers a, à notre connaissance, produit de plus original et de plus complexe ; cela nous donne la responsabilité de protéger la Terre comme lieu unique de son développement, ce qui induit une dimension nouvelle à notre citoyenneté, européenne par exemple).

Après chacune de ces conférences était prévu un temps de discussion où l'on pouvait poser des questions, faire des remarques, demander des précisions.

Nous avons donc tous vécu ces moments comme exceptionnels, même si les exposés n'étaient pas tous du même intérêt (un chercheur de pointe n'est pas toujours très clair pour un auditoire profane, exposer un ensemble d'idées complexe en peu de temps peut laisser une impression de confusion et d'insatisfaction, par exemple...). Mais nous avons tous ressenti comme un privilège extraordinaire l'occasion de pouvoir

écouter, questionner, et même côtoyer aux moments de pause, des chercheurs venus parler de leurs avancées, des nouvelles questions qui se posent à eux de ce fait, de leurs projets et de leurs espoirs...

### LES ECHANGES : enseigner l'Astronomie

Le troisième jour, animé par Lucienne Gouguenheim, commençait par la présentation de la situation de l'enseignement de l'Astronomie dans chaque pays. Chaque pays, ou parfois "région", a présenté une contribution écrite<sup>1</sup> qui a été distribuée à tous les participants, un exposé oral d'une dizaine de minutes le synthétisait ou le complétait. Il est très difficile de faire une synthèse à ce sujet, d'abord parce que les cursus varient suivant les pays, et même très souvent à l'intérieur d'un même pays (beaucoup de "minorités" ont tenu à se démarquer de la situation majoritaire du pays, et certains orateurs prenaient de très grandes précautions pour retransmettre toute la diversité présente chez eux), ensuite parce que l'Astronomie est très rarement enseignée en tant que telle, mais au sein d'autres matières (notable exception : la Grèce, mais cela peut aussi être le cas localement en Espagne, au Royaume Uni, par exemple). Présentations très diverses aussi dans l'esprit : certaines avec beaucoup d'enthousiasme et de dynamisme, d'autres un peu ronronnantes et ne paraissant pas issues d'une pratique très étendue.

Je ferai donc seulement une constatation générale et citerai deux exemples :

- Tous les pays européens ont au cours des dernières années vu leur système éducatif subir une, voire plusieurs réformes, un des principaux objectifs étant d'accueillir un plus grand nombre d'élèves au niveau secondaire. Les cursus ont été profondément modifiés, et l'impression générale qui en ressortait était que souvent les enseignants étaient assez désarmés : peu préparés au changement, certains ne voyaient pas très bien la finalité de ces réformes et parfois se retrouvaient perdus dans l'incohérence des vagues successives. Les déléguées du Portugal ont même refusé de présenter une contribution, affirmant que ce qu'elles pourraient dire ne serait absolument pas représentatif de ce qui était en train de se passer dans leur pays. Cependant, ces réformes pouvaient aussi être l'occasion de donner une plus grande place à l'Astronomie dans les programmes, et la tenue de cette réunion européenne pouvait apparaître comme une aide pour faire avancer les choses dans certains pays.

- L'Italie a remporté un très grand succès en présentant un dessin : l'Astronomie y était représentée comme une pizza, la pâte et la sauce tomate étant la Physique et les Mathématiques, les autres condiments et assaisonnements étant la Chimie, la Biologie, la Géographie, l'Histoire, la Philosophie, etc... Il a été décidé de mettre ce dessin en première page du compte-rendu à paraître.

- L'enseignement de l'Astronomie en Allemagne a profité de la réunification : en effet, il y avait beaucoup d'observatoires en ex-RDA, et l'Astronomie était très présente dans les cursus ; après d'assez vigoureuses batailles, il a été gagné que cet acquis y soit maintenu, et non qu'il y ait alignement sur la situation en RFA, beaucoup moins favorable, ce qui constitue maintenant une situation de référence intéressante pour tous les "lander".

La matinée s'est achevée sur la constitution de quatre groupes de travail qui ont fonctionné l'après-midi : le premier pour faire un état des programmes dans les différents pays, le second pour déterminer ce qui serait souhaitable comme enseignement en Astronomie, le troisième pour présenter et échanger des matériels didactiques, le quatrième pour envisager la création d'un réseau informatique pour les enseignants en Astronomie (par l'intermédiaire d'Internet).

Beaucoup d'entre nous ont participé au troisième, pour présenter des travaux du CLEA : mesure de la constante solaire, la précession des équinoxes présentée à travers divers modèles (sphériques, plans), les taches solaires et la rotation du Soleil, la rétrogradation de Mars avec les diapositives, deux activités à partir des calendriers, la présentation des logiciels de Francis Berthomieu (qui sont apparus comme originaux par

---

<sup>1</sup> Je peux éventuellement pour un pays donné en fournir une photocopie (en Anglais, bien sûr) contre une grande enveloppe à votre adresse timbrée à 6,70 F : demande à faire par écrit à Josée Sert, 1bis, rue de Belfort 31000 Toulouse.

rapport aux autres présentés, par le fait qu'ils demandent une attitude active de la part des élèves et touchent à la Physique, à l'histoire de l'Astronomie, aux modèles...). La richesse du travail et de l'expérience du CLEA nous a valu beaucoup de contacts et de questions sur le fonctionnement d'une telle association, et les documents présentés dans le hall des pauses café ont eu beaucoup de succès. Nous avons aussi retrouvé à Garching un grand "supporter" du CLEA, Roland Szostak, qui a présenté, entre autres, le saladier et les boules thermocoloriques que nous connaissons bien. D'autre part, l'ESO a fait la proposition d'un travail commun avec des enseignants pour élaborer à partir de documents d'observation qu'ils fourniraient des documents pédagogiques directement utilisables en classe, ce qui est vraiment très intéressant : à suivre... Les contributions ont été nombreuses, diverses, et il a manqué beaucoup de temps pour pouvoir échanger et approfondir entre nous : c'est en fait à ce moment-là que nous sommes sortis réellement de notre petit groupe Français (et que nous sommes passés par dessus nos difficultés linguistiques!).

Les compte-rendus de ces groupes ont été présentés le mardi matin par les animateurs, et il était frappant de voir leur convergence sur des points soulignés comme importants : la nécessité de commencer à enseigner l'Astronomie très tôt aux jeunes enfants, avec un accent mis sur l'observation et des pratiques concrètes, le constat de la carence de la formation des enseignants et donc le souhait pour ceux-ci à tous niveaux et dans toutes les matières concernées d'une réelle formation, initiale et continue, enfin le désir d'un lieu où les enseignants européens pourraient obtenir des informations, échanger des pratiques ou des outils, se rencontrer pour des stages... Un premier texte préparatoire issu de ces groupes a été présenté par Richard West, puis discuté et corrigé paragraphe par paragraphe en assemblée générale : c'était un moment assez impressionnant par la tenue des débats, car il y avait beaucoup d'interventions, sur le fond ou la forme, et Richard West étant à l'écoute des remarques qui pouvaient être émises, modifiant ou reformulant le texte en conséquence, structurant le débat quand il y avait des désaccords, la déclaration se construisait peu à peu, émanation véritable de cette assemblée qui commençait, à travers - ou grâce à ? - sa diversité à se découvrir une unité. C'est là qu'est née l'idée de l'EAAE (Association Européenne pour l'Enseignement de l'Astronomie).

L'après-midi a vu la rédaction presque définitive du texte par un petit groupe, tandis que l'assemblée plénière discutait de la future association, sous la conduite efficace et haute en couleurs du futur président, le Docteur Simopoulos (la Grèce a une longue tradition de rhétorique et de conduite de débats d'assemblées de citoyens...).

Une dernière révision collective de la déclaration a été effectuée, avant l'élection du comité exécutif provisoire de l'Association, qui devrait voir le jour en Grèce l'année prochaine. La séparation a eu lieu sur la remise de cadeaux aux organisateurs en remerciement de tout le travail d'organisation et d'animation effectué. Et bien sûr avec le regret d'interrompre si rapidement les contacts noués...

En guise de conclusion, pour faire de l'Astronomie au niveau européen, apprenons et faisons apprendre à nos élèves, scientifiques ou non, des langues! L'Anglais, bien sûr, pour avoir une langue commune à beaucoup, et pour se faire entendre (s'exprimer avec aisance en Anglais donne un pouvoir important par rapport à ceux qui le maîtrisent mal), mais aussi l'Espagnol, l'Italien, l'Allemand, le Grec moderne... pour pouvoir échanger, partager : nous sommes souvent très paresseux à cet égard, et à Munich, nous l'avons beaucoup regretté : n'attendons donc pas qu'il y ait des ateliers de langue dans les écoles d'été!

Et n'oubliez pas de verser votre cotisation, en écus bien sûr, à l'EAAE dès que notre trésorier Ecossais nous signifiera qu'il peut légalement veiller sur les fonds pour l'enseignement de l'Astronomie en Europe!

Josée SERT  
(correspondante française auprès de AEEA)

## DECLARATION

Adoptée à l'unanimité par les participants au Séminaire EU/ESO  
sur l'Enseignement de l'Astronomie dans le Cycle Secondaire en Europe  
Garching, 25-30 novembre 1994

### 1. Introduction

L'astronomie est la plus ancienne des sciences. Depuis des millénaires, elle a fortement influencé la perception que l'homme a de lui-même et de son environnement. Plus récemment, l'astronomie et l'astrophysique ont joué un rôle fondamental dans les sciences de la nature, par ses liaisons directes avec de nombreuses autres sciences (par exemple dans de nombreux domaines de la physique, des mathématiques, de la chimie et des sciences de la Terre). Astronomie et astrophysique sont porteuses d'une très forte charge culturelle, qui englobe nos lointaines origines, la prise de conscience de notre situation dans l'Univers et de l'étroitesse de la niche que nous occupons dans l'espace et dans le temps, considérations d'ordre cosmologique aussi bien que philosophique. Les récents succès de l'astronomie dépendent largement de technologies et de méthodologies avancées, par exemple, l'optique, l'électronique, les techniques de détection sur l'ensemble du spectre, les techniques informatiques telles que le traitement d'images et le transfert, le stockage et l'extraction de très grandes quantités de données.

L'astronomie est sans nul doute une des sciences pour lesquelles le public manifeste le plus d'intérêt, comme en témoignent le très grand nombre, dans tous les pays, de revues d'astronomie populaire, de planétariums, de clubs d'astronomie et d'amateurs qui la pratiquent à titre individuel. Elle est aussi très populaire auprès des médias, en partie à cause de son côté "exploratoire" ("aventurier") et de sa capacité à produire des images spectaculaires. Avec un public de plus en plus conscient de la fragilité des écosystèmes terrestres et de l'influence évidente de forces extérieures, c'est-à-dire d'origine "astronomique" (le rayonnement solaire, les variations de l'orbite terrestre, les collisions avec d'autres corps, les effets de rayonnement résultant d'explosions cosmiques proches), cette science a pris une importance nouvelle dans l'esprit de nombreuses personnes.

Toutefois, l'enseignement de cette science multidisciplinaire dans les établissements d'enseignement secondaire européens a connu des fortunes diverses au cours des dernières décennies. Dans plusieurs pays, l'astronomie n'est pas enseignée du tout ou au mieux, le contenu enseigné reste élémentaire et dépassé. Dans d'autres pays, quelques éléments d'astronomie sont inclus dans le cursus, mais le plus souvent selon un ordre en apparence peu cohérent. Il est rare qu'une vision globale et universelle soit présentée. Cela en dépit du fait évident que de nombreux domaines de l'astronomie sont relativement faciles à comprendre (au moins sur le plan qualitatif) et que ce sujet constitue un excellent exemple de l'interaction entre la science, la culture et la technologie, dans tous ses aspects historiques et contemporains. Elle démontre de plus l'unité de la science, offre une multitude d'exemples exploitables sur le plan pédagogique de ce qu'est la démarche scientifique, et peut aussi servir de tremplin pour accéder à de nombreux autres domaines de la connaissance et des activités humaines.

C'est dans cet esprit que le Séminaire EU/ESO sur l'enseignement de l'astronomie s'est tenu au siège de l'ESO, à Garching près de Munich (Allemagne) du 25 au 30 novembre 1994 avec la participation de plus de 100 professeurs européens ayant une expérience particulière de l'enseignement de l'astronomie et de l'astrophysique au niveau de l'Enseignement secondaire. Plusieurs représentants des instances éducatives des pays présents et du pays d'accueil ont également participé aux travaux, ainsi que des astronomes professionnels.

Ce document présente un certain nombre de recommandations importantes pour un futur enseignement de l'astronomie dans les Ecoles européennes, recommandations qui découlent des discussions très approfondies qui ont eu lieu au cours de cette rencontre. Si ces recommandations sont adoptées, elles contribueront de façon significative à mettre l'enseignement de l'astronomie et des sujets connexes plus en conformité

avec l'état actuel de cette science. Cela permettra d'améliorer la compréhension par les étudiants du rôle important que joue l'astronomie dans de nombreux domaines de l'activité humaine et de garantir que ces étudiants comprennent ce qu'est notre place dans l'Univers avec tout ce que cela implique sur le plan culturel.

Le participants à cette conférence ont adopté à l'unanimité les objectifs suivants et les actions initiales à mener pour les atteindre.

## **2. Buts de l'enseignement de l'astronomie**

L'astronomie devrait contribuer à la prise de conscience du fait que, dans une société complexe où science et technologie sont omniprésentes, une éducation scientifique est indispensable à chaque citoyen pour qu'il puisse décider des grands problèmes en toute connaissance de cause, comme il est de règle en démocratie. De plus, les élèves devraient sentir que la Terre est un extraordinaire point singulier de l'Univers et qu'on doit en prendre soin et le préserver.

Il est considéré comme souhaitable d'atteindre les objectifs particuliers suivants :

(i) L'enseignement de l'astronomie devrait commencer dès que possible à l'école primaire et se développer au cours des années suivantes. Par l'intermédiaire des médias, les élèves sont de nos jours exposés à une foule d'impressions en général peu structurées concernant les sciences de l'espace et les domaines connexes: l'enseignement de l'astronomie à l'école permettra d'organiser ces impressions disparates et de structurer les concepts essentiels.

(ii) A la fin de la scolarité obligatoire, les élèves devront avoir été impliqués dans des activités d'observation, d'expérimentation et de discussion des notions d'astronomie suivantes:

- a. notre situation dans le système solaire, avec pour objectif final notre situation dans l'Univers;
- b. la nature des objets que nous observons dans le ciel, par exemple: les planètes, les comètes, les étoiles et les galaxies;
- c. l'histoire, depuis l'Antiquité jusqu'à l'époque contemporaine, de nos conceptions sur le caractère, l'origine et l'évolution de la Terre, des autres planètes, des étoiles et de l'Univers.

(iii) Les points (ii a-c) devraient être inclus et approfondis dans la formation initiale des enseignants et dans la formation continue qui lui succède. Les récentes études sur les représentations erronées et les idées des élèves en matière d'astronomie constituent une base de travail utile pour le développement ultérieur des méthodes d'enseignement.

(iv) Parce qu'elle offre une occasion unique d'activités passionnantes à tous les niveaux d'enseignement, on devrait soutenir la mise en place d'options ou d'activités extra-scolaires fondées sur l'astronomie.

(v) l'enseignement de l'astronomie peut contribuer à la compréhension des lois physiques, aussi bien à l'échelle humaine qu'à celle du macro-Cosmos, afin de donner une vision structurée et scientifique de notre monde et d'apprécier le caractère unique de la Terre pour l'espèce humaine. L'astronomie permet de situer dans l'espace et dans le temps la niche que nous occupons. Les élèves devraient prendre conscience des menaces que font peser la pollution lumineuse et les interférences radio sur notre capacité d'observer le ciel nocturne.

(vi) l'enseignement de l'astronomie porte en lui les caractères fondamentaux de la démarche scientifique, avec ses doutes et ses réponses en suspens, et l'interaction entre expérimentation et théorie, obligeant ainsi les élèves à adopter une attitude critique envers les nombreuses pseudo-sciences.

(vii) L'astronomie ne connaît pas de frontières nationales (le ciel est le même pour tous dans toute l'Europe) et l'enseignement de l'astronomie contribue par conséquent à une collaboration internationale entre élèves et professeurs de tous pays.

## **3. Actions initiales**

### **3.1. Création d'une Association Européenne pour l'Enseignement de l'Astronomie**

Afin de réaliser ces objectifs, les participants ont à l'unanimité décidé de créer une "Association Euro-

péenne pour l'Enseignement de l'Astronomie" (AEEA), regroupant des membres individuels ou au titre d'associations, selon les dispositions suivantes:

(i) un Comité exécutif provisoire est créé avec pour mission la préparation des statuts et dispositions particulières (ces dernières portant sur des propositions particulières quant aux buts et aux objectifs de l'association, sur les procédures d'élection des membres du bureau et sur les conditions d'adhésion). Ce comité se compose d'un Président, d'un Secrétaire, d'un Trésorier et d'un Directeur des publications.

(ii) Tous ceux qui participent à l'enseignement de l'astronomie en Europe ont qualité pour adhérer à l'Association. Chaque adhérent versera une cotisation de membre fondateur de 5 ECU couvrant les premiers frais d'organisation.

(iii) Le Comité exécutif provisoire travaillera à l'organisation d'une assemblée constitutive à réunir dans un délai maximum de 12 mois en un lieu et avec les moyens qui seront jugés appropriés.

(iv) Tous les membres sont instamment invités à soumettre au Directeur des publications tout article ou matériel qu'ils estiment être utiles aux autres membres.

(v) Le Directeur des publications aura la charge de publier un bulletin à intervalles réguliers (édition papier et édition électronique) dont le premier devrait paraître en mai 1995. En même temps, il devra étudier la possibilité de mettre en oeuvre d'autres moyens de communication et de collaboration entre les membres de l'Association, y compris le courrier électronique.

L'ESO s'est engagé à soutenir les buts et idéaux de l'AEEA.

### **3.2. Formation des professeurs européens**

Tous les enseignants, qu'ils appartiennent à l'enseignement primaire ou à l'enseignement secondaire, qu'ils enseignent la physique, les mathématiques, les sciences de la Terre ou la géographie devraient recevoir un enseignement de l'astronomie pendant leur cursus universitaire. Ils devraient recevoir une formation scientifique aussi bien qu'une formation pédagogique à l'enseignement de cette science.

Les enseignants devront recevoir une formation continue qui les rende aptes à enseigner l'astronomie. On devra leur assurer une formation spécifique, des possibilités d'accès à la recherche scientifique et aux nouveaux matériels pédagogiques et des possibilités d'échanger leur expérience.

Cela peut se faire au cours de journées pédagogiques, d'écoles d'été, par enseignement, à distance aussi bien que par un bulletin spécialisé. Cette formation pourra être organisée par les instances éducatives nationales aussi bien que par l'Association Européenne pour l'Enseignement de l'Astronomie. L'enseignement sera assuré par des astronomes professionnels aussi bien que par des enseignants ayant une grande expérience en ce domaine. Il est souhaitable que ces contacts aient lieu de temps en temps dans un Observatoire.

### **3.3. Activités spécifiques en direction des élèves européens**

En ce qui concerne les élèves, des Olympiades Astronomiques, des écoles d'été, des camps d'astronomie ou des échanges d'expérience par voie télématique contribueront à développer l'intérêt pour l'astronomie et à favoriser les prises de contact au niveau européen, éventuellement grâce à un satellite spécialisé.

### **3.4. Développement de cours d'astronomie**

L'objectif principal de l'enseignement de l'astronomie est de faire prendre conscience aux étudiants de la place qu'occupe l'humanité dans l'Univers et quelles conséquences cela implique sur le monde réel, dans lequel ils vivent. Ainsi les élèves pourront-ils apprécier le caractère singulier de la Terre dans l'Univers et l'importance de sa préservation. A l'heure actuelle, cependant, cet objectif ne peut être totalement réalisé parce que les notions correspondantes sont éparpillées dans de nombreuses disciplines telles que la géographie, les mathématiques, la physique, la chimie, la biologie et la philosophie. De la même manière, les programmes actuels en Europe n'exploitent pas à fond la curiosité naturelle des jeunes pour les thèmes liés à l'astronomie, imposant ainsi une limite à ce qui peut être réalisé à un âge plus avancé.

Afin de remédier à la situation actuelle, nous faisons les propositions suivantes:

Afin de tirer parti de la curiosité naturelle des jeunes enfants, l'enseignement de l'astronomie devrait commencer dès l'école élémentaire. A ce niveau, l'enseignement devrait être centré sur la place de la Terre dans le système solaire car la plupart des questions liées à l'astronomie que les enfants se posent découlent de leur expérience quotidienne des effets des mouvements de la Terre, du Soleil et de la Lune. Pour aboutir à une bonne compréhension, les points suivants sont considérés comme essentiels:

1. on devrait utiliser des modèles de façon intensive pour aider les élèves à acquérir une vision tridimensionnelle du monde qui nous entoure.

2. il faut faire procéder à des observations simples pour relier l'enseignement au monde réel.

Dès 14 ans, les élèves devraient avoir acquis:

- une bonne connaissance et une bonne compréhension de ce que sont le Soleil, la Lune et la Terre et des relations qui les unissent (les saisons et leurs effets, les mouvements dans le ciel et dans l'espace, la nature de ces corps, etc):

- une première idée de ce qu'est le Système Solaire.

En outre, ils devraient:

- avoir acquis une compréhension élémentaire de ce que sont les étoiles;

- et avoir pratiqué des observations élémentaires du ciel diurne et du ciel nocturne.

Nous sommes convaincus qu'il s'agit là du minimum de connaissances astronomiques que chacun devrait acquérir.

Au delà de 14 ans, nous proposons également la poursuite de l'étude de l'astronomie pour tous les élèves qui continuent leur cursus. L'enseignement de l'astronomie à ce niveau peut être fondé sur le concept des "puissances de 10" (un étude de l'Univers et de ses composants par étapes successives, chaque étape représentant un saut d'échelle d'un facteur 10) afin d'obtenir une vue globale de la place qu'occupe l'homme dans l'Univers. On peut ainsi traiter quelques-uns des aspects les plus importants de l'astronomie, tels que:

- la physique du Soleil, du système solaire et des étoiles;

- l'évolution stellaire;

- la mesure des distances;

- les outils de l'astrophysique (instruments et méthodes);

- l'utilisation des satellites artificiels et des sondes spatiales;

- l'évolution de l'Univers

L' AEEA se fixe comme objectif à long terme la création d'un cours d'astronomie universel fondé sur ces thèmes.

Au début de chaque cycle, on pourrait commencer par un survol rapide ayant pour but de donner une vue globale du sujet et de s'assurer que ceux qui quittent le système scolaire avant terme auront eu un contact avec ces concepts fondamentaux.

Avec l'acquisition d'un corpus de connaissances scientifiques plus développé, le même type de cours mais plus complet et plus approfondi pourrait être donné vers la fin du cursus.

Ce cours mettrait en pleine lumière l'astronomie en tant qu'entreprise humaine, avec ses doutes et ses réponses en suspens, l'interaction réciproque entre expérimentation, observation et théorie, la philosophie de la science, la démarche scientifique et l'interaction entre science, technologie et société.

---

*Un Comité Exécutif provisoire de l'AEEA a été élu et publiera bientôt un Bulletin Européen sur l'Enseignement de l'Astronomie ; il travaillera à l'organisation d'un assemblée constitutive qui doit se tenir avant la fin de l'année prochaine. Le Président de ce Comité est D.P. Simopoulos (Grèce) aidé de : L. Abati (Italie), A.M. Cohen (Royaume Uni), L. Gouguenheim (France), J.G. More (Royaume Uni, Trésorier), M. Reichen (Suisse, Directeur de publication du Bulletin de l'AEEA), R. Szostak (RFA, Secrétaire) , R. West (Président d'Honneur, ESO) et M. Winther (Danemark).*

# Mars... sur orbite!

par Francis BERTHOMIEU  
Lycée Jean Moulin - Draguignan

Depuis la mise en place de l'option Sciences Expérimentales, la planète Mars semble passionner les enseignants de sciences physiques... Objet de multiples tentatives, et sur la base de simplifications plus ou moins rigoureuses, elle sert de support à l'étude de la relativité des mouvements pour l'unité U1 de ces nouveaux programmes.

L'étude que je propose ci-après se base sur les mouvements réels de la planète. Elle peut être menée en deux séances de 3 heures, et passionne les élèves: A partir de véritables mesures, et affranchis de sérieuses difficultés mathématiques par l'utilisation de l'informatique, ils vont en effet vivre, en raccourci, les joies de l'Observation, puis celles de la Découverte, en se sentant peut-être, pendant ces quelques heures de nouveaux Tycho Brahé ou Johannes Kepler...

## Premier Acte (séance de 3 heures):

La séance commence par la projection sans commentaires des diapositives de Daniel Toussaint. "Retrogradation de Mars", diffusées par le Comité de Liaison Enseignants Astronomes (C.L.E.A.). On peut même créer une atmosphère propice avec un environnement musical approprié à l'auditoire... Le plaisir esthétique est évident!

Suit un court débat: la constellation du Taureau est connue de quelques élèves qui la décrivent aux autres, les Pléiades sont une fois de plus repérées comme les "stars" des nuits d'hiver, et nombreux sont ceux qui s'engagent à les observer de leurs propres yeux dès la nuit tombée...

Bien sûr, un Objet Volant Bien Identifié a été repéré par les plus observateurs, et chacun peut se convaincre de son mouvement par une nouvelle projection des diapositives...

Plusieurs groupes sont alors constitués, selon les disponibilités en matériel...

### Activité 1: exploitation de diapositives.

Un agrandisseur photographique permet de projeter les diapositives sur le document 1. C'est une reconstitution, réalisée informatiquement à partir des coordonnées des étoiles, de l'image du ciel que l'on obtiendrait avec un objectif idéal de 50mm de focale en le braquant vers la constellation du Taureau. Y figurent bien entendu les principales étoiles, mais aussi, et surtout les "graduations" en ascension droite et déclinaison...

Il faut alors mettre en coïncidence les principales étoiles de la diapositive projetée sur ce document, et y positionner la planète Mars, en notant la date de la prise de vue réelle ou le numéro de la diapositive... On reconstitue ainsi pas à pas la trajectoire de Mars sur le fond du ciel. Les petits écarts entre l'image théorique et les photographies sont dus, bien entendu, aux distorsions qu'introduisent les objectifs utilisés pour la prise de vue et pour la projection, mais ils n'empêchent pas d'obtenir des résultats convenables.

Comme il y a une quinzaine de diapositives, il est possible de travailler en les faisant circuler de groupe en groupe... et si l'on manque d'agrandisseurs, des projecteurs de diapositives peuvent tout aussi bien faire l'affaire...

Les élèves sont ensuite invités à évaluer, sur la carte, les coordonnées de Mars (Ascension Droite en heures et minutes et Déclinaison en degrés décimaux), et à rassembler leurs résultats dans un tableau.

**Document 1**

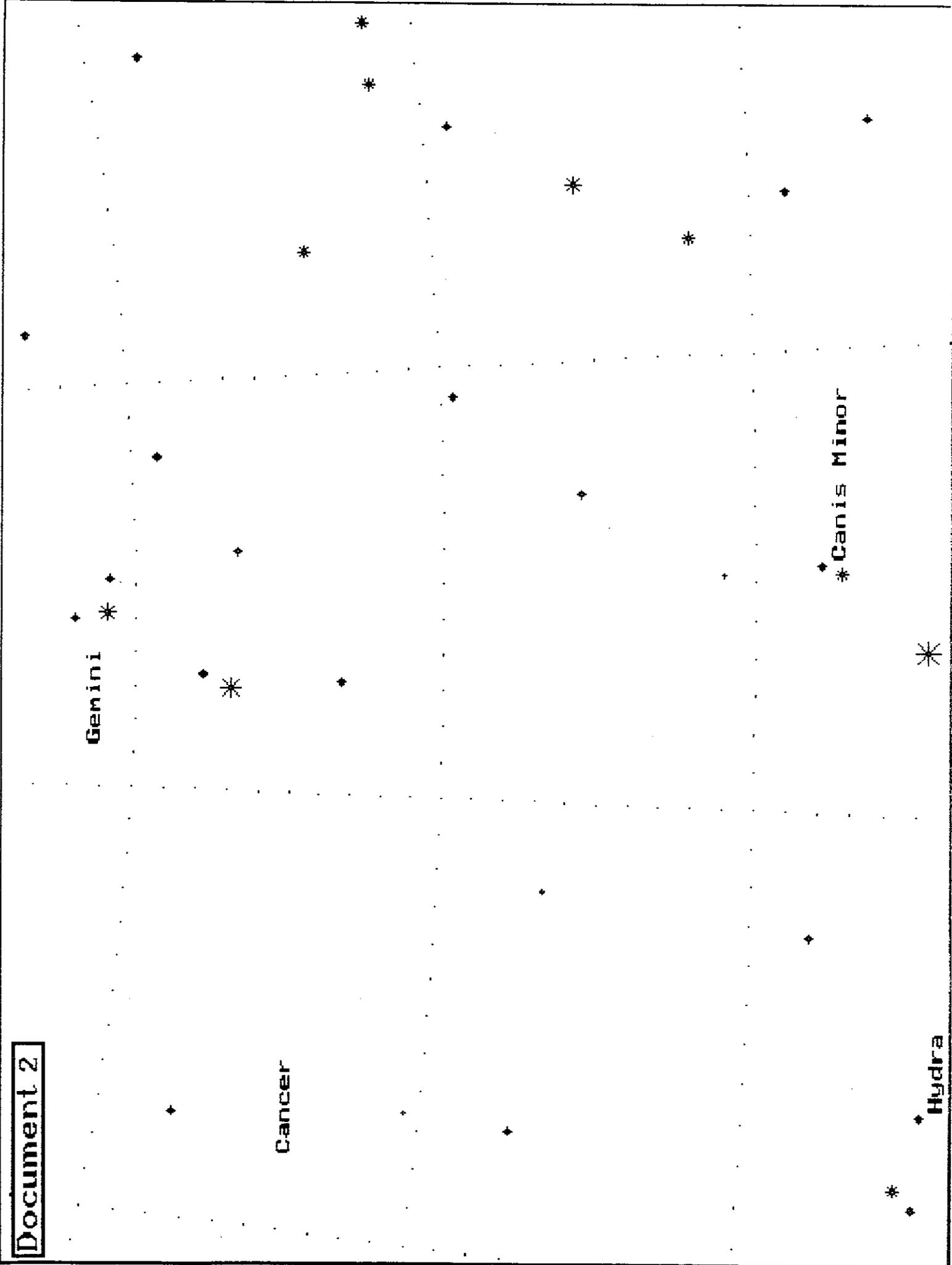
◆ Perseus

\* Auriga

Taurus

\* Orion

**Document 2**



## Activité 2 et 3: Exploitation des éphémérides.

Munis d'un ordinateur et d'un logiciel d'éphémérides astronomiques (en l'occurrence le logiciel "éphémérides" de l'A.F.A.) trois groupes différents seront chargés de rechercher les coordonnées équatoriales de la planète à diverses dates.

Le premier groupe se charge des dates correspondant aux prises de vue. Le deuxième groupe se charge d'une période s'étalant sur 1990 et 1991. Le troisième se consacre aux années 1992 et 1993.

En pratique, il suffit de donner aux élèves un tableau de dates, correspondant aux dates t des photographies pour le premier groupe et à des dates convenablement choisies pour les groupes 2 et 3, le travail consistant simplement à relever les coordonnées de la planète à ces instants...

Ces élèves doivent ensuite placer successivement la planète sur les cartes du ciel, cette fois à partir de la connaissance des coordonnées calculées par des astronomes...

Résultats:

Une trajectoire avec rétrogradation en "Z" dans le Taureau (hiver 1990-1991...pour le document 1)

Une trajectoire en boucle dans les Gémeaux (hiver 1992-1993... à tracer sur le document 2).

## Activité 4: mise en commun des résultats des 3 ateliers

La confrontation des résultats des arpenteurs photographiques du ciel et des théoriciens de l'A.F.A. est alors effectuée... La coïncidence est souvent excellente, tant au point de vue numérique que graphique... Tableaux de nombres ou tracés de trajectoires sont pratiquement superposables!

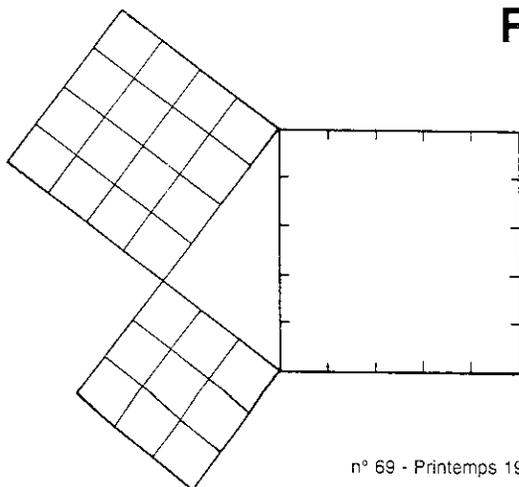
Le document 3 donne les coordonnées de Mars pour les deux "saisons" citées, mais on peut envisager des dates différentes, par exemples celles de l'hiver prochain, pour préparer et motiver une observation ultérieure d'un phénomène intéressant!

Une discussion s'engage alors qui permet de dégager l'idée qu'il serait bien utile de connaître la trajectoire spatiale de Mars autour de la ... Terre, ou autour du Soleil! Coperniciens et Ptoléméens peuvent s'affronter et chacun est invité à émettre des idées sur les allures qu'auraient les trajectoires avec l'un ou l'autre point de vue.

C'est alors qu'arrive entre leurs mains le logiciel "COPERNIC": Il permet de concrétiser les choses, en "matérialisant" ces points de vue, avec les hypothèses simplificatrices de trajectoires circulaires et de mouvements uniformes: Il permet de voir simultanément la trajectoire des planètes et l'aspect du ciel depuis un point d'observation donné, "planétocentrique" ou héliocentrique...

Convaincus que la rétrogradation observée peut s'expliquer par ce changement de repère, les élèves peuvent alors s'envoler vers de nouvelles aventures en attendant le deuxième acte.

## REBUS



$$\times 2^8 = ( ? )^2$$

# DOCUMENT : Coordonnées équatoriales de la planète MARS (aux dates des photographies CLEA)

date	A. D. h:min:sec	dec. °:':"	lon.ec.g.M. °	lat.ec.g.M. °	l.g.S °
15/09/90	4:19:58	18:55:53			171,9
25/09/90	4:35:01	20:43:09			181,7
9/10/90	4:49:49	21:37:38			196,3
21/10/90	4:53:12	22:08:55			207,3
7/11/90	4:43:29	22:41:16			224,3
27/11/90	4:13:56	22:39:07			244,5
14/12/90	3:49:43	22:09:52			261,7
1/01/91	3:39:39	21:56:24			280,1
15/01/91	3:44:14	22:14:02			294,3
29/01/91	3:57:35	22:52:40			308,5
17/02/91	4:25:51	23:57:46			327,9
3/03/91	4:52:14	24:49:50			342,0
13/03/91	5:12:55	25:05:11			352,0
30/03/91	5:50:52	26:22:23			8,9
5/04/91	6:04:36	25:20:23			14,8
22/06/91	9:14:17	17:21:50			90,1

Le passage des coordonnées équatoriales aux coordonnées écliptiques est un problème purement mathématique, à confier sans soucis à un calculateur



En posant :

- $\alpha$  = ascension droite
- $\delta$  = déclinaison
- $E = 23,442^\circ$
- $\lambda$  = longitude écliptique
- $\beta$  = latitude écliptique



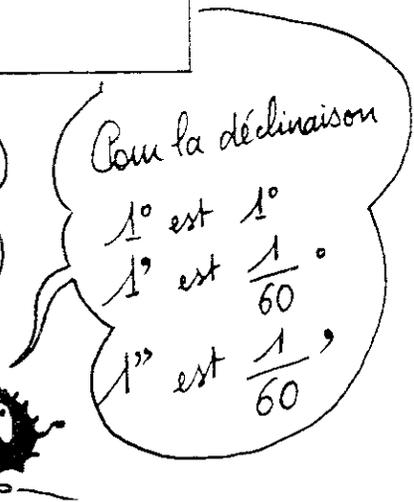
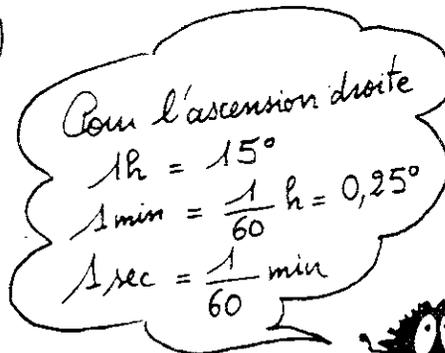
On peut écrire :

$$\tan \lambda = \frac{\sin \alpha \cdot \cos E + \tan \delta \sin E}{\cos \alpha}$$

$$\sin \beta = \sin \delta \cos E - \cos \delta \sin E \sin \alpha$$

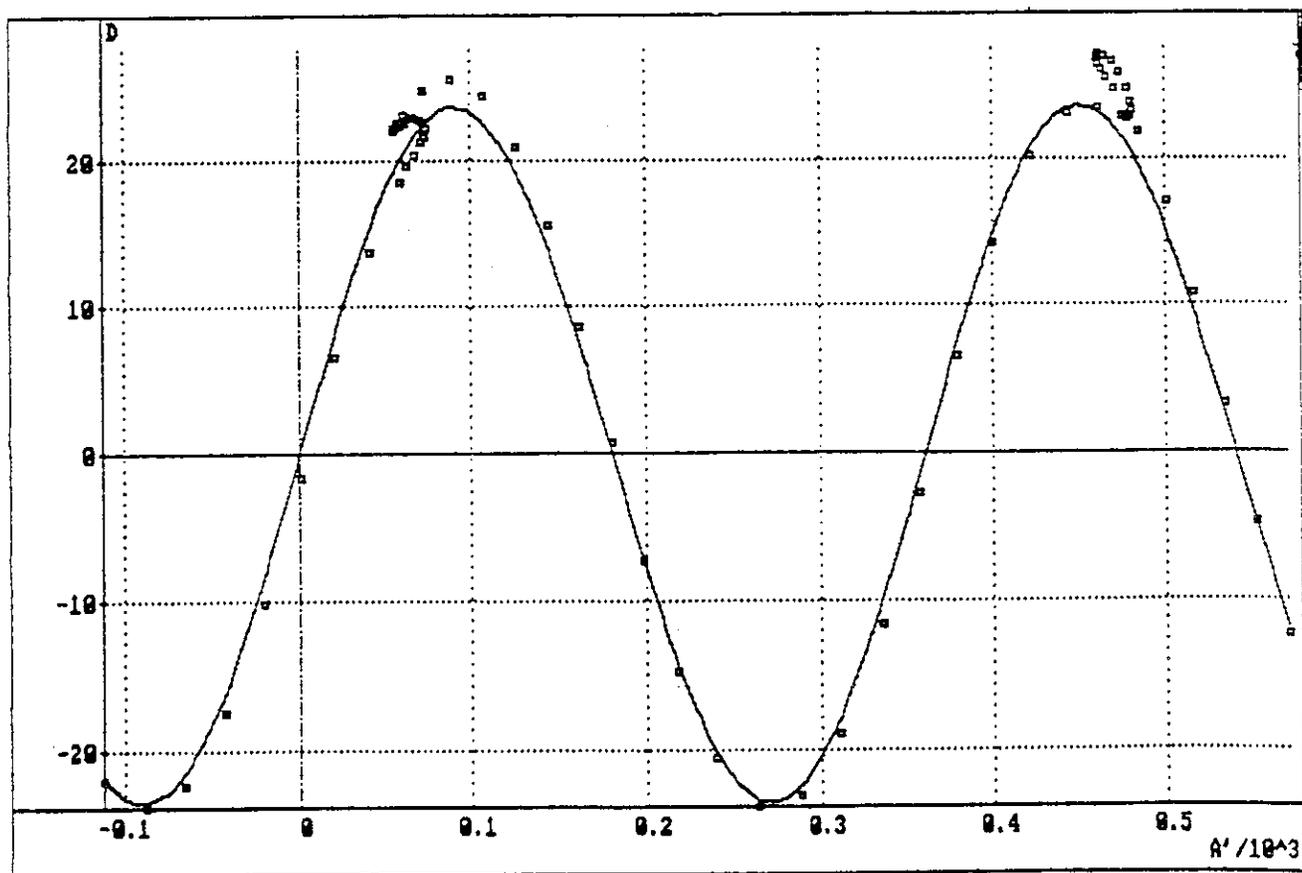
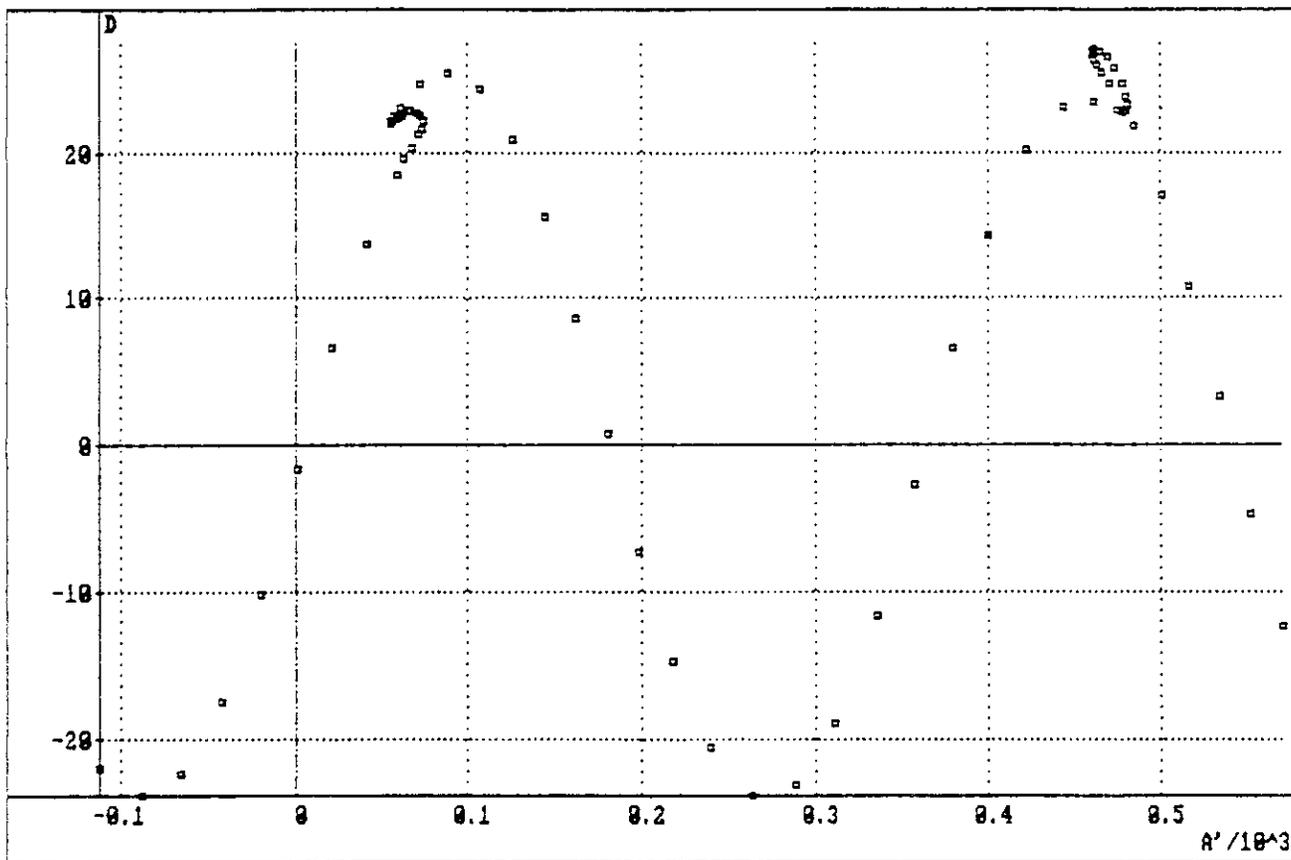
# DOCUMENT : Coordonnées équatoriales de la planète MARS de Janvier 1990 à Octobre 1993... (à suivre...)

date	A.D.	dec.	date	A.D.	dec.
h:min:sec °:':"			h:min:sec °:':"		
1/01/90	16:31:57	-21:55:31	1/01/92	17:32:52	-23:45:25
1/02/90	18:07:36	-23:49:15	1/02/92	19:13:49	-23:08:11
1/03/90	19:36:11	-22:22:14	1/03/92	20:47:09	-18:59:13
1/04/90	21:11:46	-17:26:05	1/04/92	22:21:45	-11:32:51
1/05/90	22:39:16	-10:12:04	1/05/92	23:48:18	-2:43:24
1/06/90	0:04:52	-1:31:38	1/06/92	1:15:11	6:32:59
1/07/90	1:24:30	6:40:21	1/07/92	2:39:17	14:20:25
1/08/90	2:43:19	13:42:12	1/08/92	4:06:38	20:05:08
1/09/90	3:53:52	18:30:14	1/09/92	5:31:13	22:58:43
10/09/90	4:11:14	19:28:08	1/10/92	6:43:57	23:24:41
20/10/90	4:27:56	20:20:49	1/11/92	7:39:56	22:45:47
1/10/90	4:42:12	21:07:02	10/11/92	7:50:31	22:40:15
10/10/90	4:49:13	21:37:54	20/11/92	7:58:15	22:45:04
20/10/90	4:53:12	22:08:55	1/12/92	8:00:50	23:08:43
1/11/90	4:48:59	22:32:32	10/12/92	7:57:44	23:43:39
10/11/90	4:39:59	22:44:12	20/12/92	7:48:34	24:35:41
20/11/90	4:25:26	22:45:42	1/01/93	7:30:53	25:43:08
1/12/90	4:07:27	22:33:08	10/01/93	7:15:18	26:24:29
10/12/90	3:54:25	22:16:54	20/01/93	6:58:58	26:54:16
20/12/90	3:44:15	22:01:18	1/02/93	6:44:49	27:01:12
1/01/91	3:39:39	21:56:24	10/02/93	6:39:37	26:54:45
10/01/91	3:41:28	22:05:11	20/02/93	6:39:20	26:39:46
20/01/91	3:48:06	22:26:13	1/03/93	6:43:33	26:21:22
1/02/91	4:01:22	23:02:31	10/03/93	6:51:18	25:58:44
1/03/91	4:48:04	24:35:55	20/03/93	7:03:14	25:25:58
1/04/91	5:55:15	25:22:14	1/04/93	7:21:08	24:41:16
1/05/91	7:07:23	24:14:18	1/05/93	8:16:35	21:44:43
1/06/91	8:23:31	20:51:30	1/06/93	9:21:33	16:59:54
1/07/91	9:35:44	15:36:42	1/07/93	10:26:54	10:52:17
1/08/91	10:48:22	8:38:39	1/08/93	11:35:49	3:22:20
1/09/91	12:00:29	0:43:15	1/09/93	12:47:27	-4:42:55
1/10/91	13:12:23	-7:11:26	1/10/93	14:01:50	-12:22:00
1/11/91	14:32:01	-14:47:10			
1/12/91	15:56:49	-20:34:31			



# DOCUMENT : PLANETES... Astres errants!

Graphes N°1



**SETI ET LA BIOASTRONOMIE (II)**  
Jean Heidmann, Observatoire de Paris

Nous présentons ici pour la seconde fois quelques extraits, remis à jour ponctuellement, du manuscrit original du livre de Jean Heidmann *Intelligences Extra-Terrestres*, publié par les Editions Odile Jacob en octobre 1992 (copyright 1994 J.Heidmann & O.Jacob).

## **UNE BIOLOGIE PRIMITIVE SUR MARS?**

Cette planète a toujours exercé un attrait puissant sur l'humanité. Tous les deux ans elle disparaît complètement du ciel, pour redevenir, dans une résurrection spectaculaire, l'astre rouge le plus lumineux du firmament. Cet éclat couleur de sang a inspiré la terreur, la guerre.

Ce n'est que depuis les travaux théoriques de Copernic et les observations de Galilée, au début et à la fin du XVIème siècle, que Mars est entré dans le monde des autres mondes. Copernic a montré qu'en fait, cette "étoile" rouge tournait autour du Soleil, tout comme notre Terre, selon une orbite qualifiée maintenant de planétaire, et Galilée, en appliquant à l'observation céleste les premières lunettes, a vu que Mars était un globe, tout comme notre demeure.

Alors cet astre devint une planète à part entière, soulevant la question fondamentale et primordiale de son habitabilité. Amateur de livres astronomiques anciens, mais très limité par leurs prix astronomiques aussi, j'ai sous la main la traduction française du "Nouveau Traité de la Pluralité des Mondes par feu Mr Hughens, cy-devant de l'Académie Royale des Sciences".

Cette traduction de 1702 est préfacée par Monsieur de Fontenelle, de l'Académie Française, qui y écrit une approbation élogieuse: "J'ai lu par ordre de Monseigneur le Chancelier, le présent Manuscrit & j'ai cru que le public ne pouvoit manquer de recevoir avec plaisir & utilité, la Traduction du dernier Ouvrage d'un aussi grand homme que feu Monsieur Hughens." Fontenelle lui-même avait publié en 1686 ses fameux "Entretiens sur la Pluralité des Mondes" et il est agréable de voir qu'un grand philosophe reconnaisse sans ambages les mérites d'un grand astronome.

Cet attrait de Mars du point de vue de l'habitabilité a été renforcé au cours du XIXème siècle par l'entrée en service des grandes lunettes. Celle de Meudon, la quatrième du monde par le diamètre de son puissant objectif, 83 cm, en est un exemple parfait. Dans la séance publique des Cinq Académies du 24 octobre 1896, son Directeur, Jules Janssen, a traité de "la vie extraterrestre et de l'existence, en dehors de la Terre, de mondes plus ou moins semblables au nôtre. () C'est par l'étude des Planètes que doit commencer toute enquête scientifique sur la vie extraterrestre. () Leurs disques présentent des indices de continents, de nuages, d'atmosphères. () Ces similitudes de constitution physique sont des faits palpables et démontrés. () La découverte inattendue d'une nouvelle méthode d'investigation vint nous permettre de faire un pas nouveau et décisif dans la question. Nous voulons parler de la découverte de l'analyse spectrale.() Un physicien français (en fait, c'est lui-même), dans un voyage à l'Etna, entrepris en vue de s'affranchir des actions troublantes de l'atmosphère terrestre, constata la présence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère de Mars. () Cette similitude témoigne d'une similitude plus générale encore que la constitution physique toute entière de ces astres".

Et voilà lancée par ce pionnier de la spectroscopie des atmosphères planétaires, l'idée que l'eau, élément fondamental pour la vie, peut exister sur Mars. Dans le premier tome des Annales de l'Observatoire de Meudon, Janssen, rappelant "la possibilité d'aborder l'étude de la composition chi-

mique des atmosphères planétaires et par elle, de faire un pas nouveau et décisif dans la grande question de l'habitabilité des mondes et de la vie extraterrestre", écrit : "La France ne saurait donc s'arrêter dans une voie où elle s'est si heureusement engagée. () Nos Pouvoirs publics l'ont compris et, soucieux de l'honneur de la Science française, ils ont décidé la création d'un observatoire spécialement consacré à l'Astronomie physique".

Ainsi donc naquit, pour les beaux yeux des extraterrestres, il y a un siècle, sur les coteaux de Meudon, un des plus grands observatoires du monde, où travaillent maintenant 500 personnes!

Pour terminer cette saga martienne qui nous conduit si loin dans l'espace et si loin dans le futur, savez-vous qu'on a peut-être trouvé sur terre des morceaux de Mars? Avez-vous déjà entendu parler des SNC, où C signifie Chassigny? Prenez le code postal; il y a deux Chassigny ; l'un en Haute-Marne, 313 habitants, en 1950 ; l'autre en Saône et Loire, 658 habitants. En fait , j'ignore lequel est le bon mais je sais, par des collègues sérieux, que c'est dans un de ces deux villages qu'a été ramassé un caillou pouvant venir de la planète Mars!

A ce jour, on dispose de 9 météorites SNC venant de Mars. Une fabuleuse histoire de détective a conduit à ce coup de maître. Ces dix dernières années, on a repéré dans la collection de plusieurs milliers de météorites dont nous disposons, un petit groupe où l'analyse des isotopes de l'oxygène et de rapports d'éléments traceurs, prouve une origine à partir d'un même astre parent.

De plus, les âges de cristallisation de ces météorites sont étonnamment faibles, situés entre 160 millions et 1,3 milliard d'années, alors que toutes les météorites se sont cristallisées il y a 4,5 milliards d'années, époque de leur formation. La formation récente des SNC implique que leur corps parent n'est pas un astéroïde, car aucun n'a pu subir un processus de fusion important si récemment; ni la Lune non plus, dont les roches les plus jeunes ont plus de 3 milliards d'années. Le corps parent est donc de la taille d'une planète, de type tellurique de plus, les grosses planètes étant gazeuses.

A l'intérieur des SNC on a découvert des inclusions où les rapports des isotopes de l'argon et du xénon sont caractéristiques de ceux mesurés dans l'atmosphère de Mars. Les SNC viennent donc de là! De plus, leur composition chimique est semblable à celle du sol au voisinage des landers Viking. Enfin, dernier fait, on y a découvert des indices d'effets d'ondes de choc, probablement produits par des impacts, dont certains datent de moins de 30 millions d'années.

Et l'enquête continue : comment ces petits morceaux de Mars sont-ils arrivés sur la Terre? La meilleure explication est que, sous l'impact relativement récent de grosses météorites sur Mars (quelques dizaine de millions d'années), des morceaux de sa surface ont été éjectés dans l'espace, où ils ont circulé comme de toutes petites planètes autour du Soleil. Certains d'entre eux ont fini par tomber sur Terre et y être récoltés.

Leurs âges faibles de cristallisation (quelques centaines de millions d'années) et leur composition de roche ignée, indiquent qu'ils proviennent d'épanchements volcaniques ayant les mêmes âges que ceux de la croûte de Mars. Il s'agit donc d'une sérieuse affaire, tout à fait étonnante en plus.

Pour aller encore plus loin on a recherché, parmi les photographies des orbiteurs Viking, des cratères d'impact allongés, car pour être projetés dans l'espace, ces morceaux ont dû être arrachés du sol par un choc sous incidence faible. Le plus extraordinaire est que P.J. Mouginiis-Mark, de l'Université de Hawaii, en a repéré 8, tous dans la région volcanique de Tharsis.

Le site le plus intéressant se trouve au pied du flanc nord de Ceraunius Tholus, un volcan de 120 km à la base et de 6 000 m d'altitude.

Cet impact a laissé un cratère oblong de 18 km sur 34, qui d'ailleurs est lobé, indiquant la présence de permafrost en sous-sol. Cette intéressante particularité semble renforcée par une étude de la

quantité de composés volatils contenus dans les SNC. En 1990, J.L.Gooding, du Johnson Space Center de la NASA, a déduit de ses mesures que des processus géochimiques en phase aqueuse ont dû se produire sur le corps parent, et ont oxydé les minéraux pour former des carbonates et des sulfates. La "water connection" est ici encore renforcée.

Cette incroyable affaire d'espionnage s'arrête-t-elle ici? Non, et elle nous fait rejoindre la bioastronomie. M.V.Ivanov, de l'Institut de Microbiologie de Moscou, prétend encore plus.

Utilisant les mesures des rapports d'isotopes de  $^{13}\text{C}$  et de  $^{18}\text{O}$  faites sur les SNC, comme Shidlowky l'a fait pour les stromatolites, il fait un rapprochement avec ses propres études de la méthanogénèse, ou la méthanobactérie formicum transforme, dans son métabolisme, le méthane en gaz carbonique. Il en déduit que cette méthanogénèse microbienne peut rendre compte des compositions isotopiques des SNC.

Cette sensationnelle nouvelle, qui demande à être corroborée par d'autres laboratoires, serait d'une importance capitale pour l'existence de la vie sur Mars, à tel point, qu'à l'atelier sur la simulation martienne de 1992, L.M.Mukhin, de l'Institut de Recherche Spatiale de Moscou, a proposé que le titre de la communication d'Ivanov devrait se lire : "Première évidence de vie sur Mars"!

## L'INTELLIGENCE

Avec la planète Mars et l'espoir d'y trouver des traces de vie primitive, nous quittons le quatrième volet de la recherche de la vie dans l'univers, celui de la vie biologique primitive, suite aux stades cosmique, organique et prébiotique. Nous voici prêts à aborder le dernier, celui de la recherche de vie "avancée".

Pour illustrer ces cheminements inattendus par lesquels nous sommes passés, quoi de mieux que de nous tourner vers Yves Coppens, Professeur au Collège de France : il y a une dizaine de millions d'années, la forêt équatoriale s'étendait à travers toute l'Afrique, de l'Atlantique à l'Océan Indien. Puis la grande cassure du Rift, par le relèvement de ses bords dû à l'extrusion du magma interne, a perturbé le régime des pluies, entraînant la disparition de la forêt du côté est. "Gorilles et Chimpanzés pourraient représenter les descendants de ceux de nos ancêtres qui se seraient trouvés maintenus dans un paysage couvert ; Australopithèques et Hommes ceux de nos ancêtres qui, isolés par un accident tectonique devenu peu à peu une barrière écologique, se sont trouvés confrontés à un climat qui se dégradait sans cesse, et ont dû s'adapter à un paysage ouvert." Jouant sur des titres de livres publiés aussi par Odile Jacob, Coppens conclut : "C'est l'Ecume de la Terre qui aurait rendu l'Homme Neuronal, cet Homme qui est apparu parce que la Terre s'est cassée, parce que le climat s'est asséché." N'est-ce pas là encore une belle, extraordinaire et inattendue histoire?

Je voudrais revenir sur la durée de la technologie de Homo Erectus que j'ai déjà évoquée. Dans son livre, Y.Coppens note que "le biface, invention d'Homo Erectus, va prendre une place grandissante, qu'il va se maintenir plus d'un million d'années. () Bien que cet outil se transforme au long des millénaires, () il ne faut pas oublier que ce progrès est celui de 10 000 siècles!"

La lenteur de cette évolution, ou la longue durée de cette technologie, ont été particulièrement bien documentées par une fouille systématique, de fond en comble, de la grotte de Choukoutien, près de Pékin, entreprise depuis 1978 par des scientifiques chinois. Elle a été occupée par des Erectus, les sinanthropes, de -460 000 à -230 000 ans ; 20 000 pièces lithiques ont été analysées, montrant un outillage simple, basé sur des éclats plus ou moins aménagés, conduisant à des choppers, des racloirs; le matériau est peu à peu passé du grès, facile à travailler, au quartz surtout, puis en partie au silex,

plus difficile ; une progression assez modeste.

En fait, le seul progrès enregistré l'a été sur les grosseurs des outils qui, du début à la fin, sont passées, en moyenne, d'un poids de plus de 50 g et d'une longueur de 6 cm à moins de 20 g et 4 cm. Ces gens avaient pourtant déjà une vie relativement décente, utilisaient le feu dès le début, avec une alimentation carnée énergétique, des grottes aménagées. Une si petite évolution au cours d'un intervalle de temps de 200 millénaires, ou de 2 000 siècles si on veut, au cours de 7 000 générations successives, laisse rêveur...

A mon sens, un tel état de fait a pour SETI une grande importance vis-à-vis de la durée des civilisations que l'on cherche. Cette durée est un paramètre primordial car, plus une civilisation dure longtemps, plus on a de chances de la détecter (si elle est détectable). Le rythme actuel de notre développement technologique se mesure à l'unité d'une génération, disons de 10 à 100 ans. Une si courte échelle ne nous aide pas à imaginer des civilisations s'étendant sur le million d'années. La grotte de Pékin est là pour nous montrer que cela est possible, malgré la perspective de course à une perte catastrophique ultra-rapide que nous donne notre civilisation actuelle.

Des arguments ont été évoqués dans le cadre de SETI pour tenter de justifier de longues durées de civilisations extraterrestres, tels que le désintéressement vis-à-vis du progrès ou la décision de croissance zéro. Peut-on en imaginer d'autres, comme le passage régressif d'une culture acquise vers le domaine de l'inné, stoppant ainsi l'évolution technologique intelligente et la livrant à une beaucoup plus lente évolution génétique darwinienne, ainsi par exemple dans la construction des nids ou des termitières?

Ou bien, une culture peut-elle atteindre un plafond conceptuel infranchissable? Après tout, revenant à Choukoutien, il était peut-être hors de l'entendement d'Erectus que l'on puisse faire des outils encore meilleurs; il manquait tout simplement à sa tête la "case" ou la "bosse" correspondante dont son successeur, Néanderthal, a été doué après une longue attente.

A tout le moins, ils fournissent à SETI un exemple de civilisation s'étendant sur le million d'années, fruste il est vrai, mais intelligente et technologiquement engagée.

## **LES TROIS HYPOTHESES DE BASE DE SETI**

Comme dans toute entreprise scientifique sérieuse, SETI émet quelques hypothèses de travail raisonnables, en tire des conséquences, puis tente de les vérifier, par l'observation ou l'expérimentation, avant de pousser plus avant, évitant, par cette méthodologie, les funestes écueils de la spéculation gratuite, trop souvent oiseuse et malfaisante.

### **PREMIERE HYPOTHESE**

"La vie sur terre est le résultat d'une évolution naturelle de processus physiques du cosmos."

Je pense que les développements rapportés au début montrent le caractère raisonnable de cette hypothèse, physique étant pris dans son sens large de science naturelle : chimie, biologie... De toute façon, hypothèse ne signifie pas dogme, ou axiome, ou principe, ou vérité révélée.

### **DEUXIEME HYPOTHESE**

"Ce qui est arrivé sur Terre a pu arriver ailleurs."

Il y a en moyenne des dizaines de milliards d'étoiles dans chaque galaxie, et dans l'univers observable, jusqu'à l'horizon cosmologique à 15 milliards d'années lumière, il y a cent milliards de ga-

laxies. Parmi ces cent milliards de dizaines de milliards d'étoiles, soit  $10^{21}$  étoiles, 10% sont semblables à notre Soleil.

De plus, notre Terre n'existe que depuis 4,5 milliards d'années, alors que l'univers a débuté avec le Big Bang il y a 15 milliards d'années et que la plupart des galaxies l'occupent depuis une bonne douzaine de milliards d'années, soit le triple de l'âge de la Terre. Les "ailleurs" potentiels ne manquent donc pas.

### TROISIEME HYPOTHESE

"L'intelligence humaine n'est pas le nec plus ultra de ce que le cosmos a pu produire."

Notre étape humaine d'aujourd'hui a mis 4,5 milliards d'années pour apparaître sur Terre. Mais d'autres étoiles de type solaire existent depuis bien des milliards d'années auparavant ; cependant, à des époques très reculées, les étoiles, n'ayant pas d'éléments plus lourds que l'hélium, ne pouvaient avoir de planètes telluriques. Une estimation raisonnable permet de dater les étoiles (avec éléments lourds) de type solaire les plus anciennes à une dizaine de milliards d'années dans le passé. Ces étoiles ont donc une avance de 5 milliards d'années sur nous.

Souvenons-nous de l'évolution gigantesque accomplie depuis Australopithèque jusqu'à nous en seulement 3,7 millions d'années: qu'est cela comparé à 5 milliards? Le mille trois centième! Comment rejeter que, pendant des milliards d'années, dans des milliards de galaxies, contenant des milliards d'étoiles, des processus évolutifs physiques aient pu aboutir à des résultats plus avancés que ceux de notre petite Terre en cette fin de cet anodin XXème siècles? Personne ne peut raisonnablement, a priori, refuser cette éventualité.

### CONSEQUENCE EVENTUELLE

"Il pourrait exister dans le cosmos des étapes plus avancées que la nôtre."

Que ces étapes correspondent à des petits hommes verts ou aux supercivilisations de Kardashev, qu'elles soient d'origine planétaire et biologique comme pour nous, ou d'origine nébulo-magnéto-intersidérale comme dans le roman "le Nuage Noir" de Fred Hoyle, ou qu'elles soient le produit de développements artificiels basés sur une technologie d'ordinateurs ressemblant à une étape évoluée de la nôtre, qu'elles correspondent à des sociétés d'organismes multiples ou à des organismes uniques qu'il faille appeler êtres, gens, sociétés, technologies, civilisations, colonies, personnes, individus, nous n'en savons strictement rien.

La seule caractéristique que nous puissions associer à ces étapes avancées est d'être extraterrestres, dans son sens nominatif ou adjectif. Aussi appellerons-nous ces "autres" des extraterrestres, simplement.

### TEST OBSERVATIONNEL

"Entreprendre SETI."

SETI est en effet le seul moyen à notre disposition pour tenter de vérifier par l'observation l'existence d'extraterrestres. On peut tenter d'en recevoir des émissions, intentionnelles ou non, par le truchement d'ondes électromagnétiques, qui sont des vecteurs d'information relativement accessibles à notre technologie actuelle et qui se propagent à la vitesse maximale possible, celle de la lumière, à 300 000 km/s. Si on en reçoit, et si on prouve leur nature artificielle, on aura démontré que les hypothèses et leur conséquence sont valables, et que de plus nous ne sommes pas seuls dans l'univers...

(à suivre ...)

# Lectures pour la Marquise et pour ses Amis

**L'Univers et la lumière** - Cosmologie classique et mirages gravitationnels - par Laurent Nottale ; collection "Nouvelle Bibliothèque scientifique", 288 p. ; éd Flammarion 1994 (140 F).

Sans avoir mené à son terme la lecture de ce livre, j'avais désiré dire tout le plaisir et le profit que j'avais puisés dans sa première partie "Relativité et Cosmologie". Son entrée en matière, "Fondements logiques de la cosmologie", m'avait aussitôt séduit. La poursuite de la lecture ne tarit pas mon enthousiasme malgré les difficultés rencontrées - mais celles-ci tiennent au sujet non au présentateur. Parvenu au bout du livre, je dois reconnaître que toute sa lecture fut jubilatoire, même aux pires moments pour le non-spécialiste que je suis.

J'avais interrompu ma lecture au chapitre 2 Cosmographie, comme si j'avais été retenu par le fumet nostalgique du mot. Le livre de Nottale est bien d'aujourd'hui et n'a donc rien à voir avec ce que, sous ce mot de cosmographie, on enseignait dans les lycées, il y a soixante ans (et je serai le dernier à décrier cet enseignement qui amorça, dans mon cas, ma curiosité astronomique). Ici, nous trouvons les données objectives de la cosmologie moderne. Je ne peux résumer, je retiens quelques traits frappants. Il y a eu des révisions déchirantes successives sur les mesures de distances, vers les très grandes jusqu'à  $10^{27}$  m pendant que les questions relatives à la formation de la matière nous entraînent jusqu'à  $10^{-18}$  m. Même grand écart dans les densités : *"Une galaxie possède dans 10 kpc une densité  $10^8$  fois supérieure à la densité moyenne de l'Univers, un amas riche mille fois plus dans 3Mpc alors qu'un superamas montrera une densité seulement dix fois supérieure."* Vide, où es-tu ?

Le chapitre III est évidemment le plus important, Modèles cosmologiques. Là je suis encore plus incapable de résumer, je relève des passages qui m'ont fait particulièrement réfléchir, vous en auriez relevés d'autres. Exemple : l'expansion de l'Univers ne peut se manifester que s'il existe des petites échelles où il n'y a pas d'expansion. Quand Einstein introduit dans ses équations la constante cosmologique  $\Lambda$  pour obtenir un univers statique, nous sommes en 1916 et l'Univers exploré paraît se limiter à la Galaxie et il n'y a pas d'expansion. On peut rêver, écrit Nottale, que Einstein ait annoncé dès ce moment, l'expansion ce qui aurait mis en évidence la situation hors Galaxie des autres "nébuleuses" à décalage vers le rouge découvertes en 1924-29 et on aurait fait l'économie du "grand débat". Autre exemple, bien distinguer l'effet Doppler pour les étoiles qui traduit un mouvement et le décalage spectral des galaxies qui traduit une dilatation de l'espace (*"chaque particule comobile est au repos. c'est l'espace dans son ensemble qui se dilate."*)

Il y aurait encore beaucoup à dire sur les paramètres cosmologiques - sur la mesure de la constante de Hubble, les méthodes indépendantes et précises de Lucette Bottinelli et Lucienne Gouguenheim sont sérieusement prises en compte (avec  $70 < H_0 < 80$  km/s.Mpc) -, sur le tableau magnifiquement dressé et résumé des particules élémentaires (p150 à 154 à ne pas manquer) avec cette remarque sur les laboratoires des hautes énergies : *"le laboratoire ultime, c'est l'Univers lui-même."* Surtout, à partir de la page 187, Nottale nous communique sa passion pour les lentilles gravitationnelles, de toute évidence, une nouvelle voie d'exploration.

Comment ne pas sortir d'une telle lecture émerveillé jusqu'à l'étourdissement. Nous sommes partis de l'Univers assimilé à un fluide parfait de galaxies. L'isotropie du rayonnement fossile à 2,73K mesurée à  $10^{-5}$  près paraissait confirmer cette hypothèse. Mais *"le rêve par trop simpliste d'un Univers transparent réductible à quelques paramètres et lois universelles, s'éloigne de plus en plus."* Perturbations du champ des vitesses, fluctuations de luminosités, nouvelle optique gravitationnelle surtout, on peut avoir l'impression d'un chaos. Sans oublier que 90% de la matière de l'Univers échapperait encore à nos observations.

Le livre de Nottale est donc à lire sans attendre, vous jubilerez, croyez-moi. Dans cinq ans, vous le relirez et vous corrigerez les pages où déjà des corrections seront indispensables. Ainsi, même si vous n'êtes qu'un spectateur de découvertes, vous participerez un tout petit peu à l'aventure merveilleuse de la science.

G.W.

**Forme et Croissance** – par D'Arcy Thompson ; traduit de l'anglais par Dominique Teyssié ; édition établie et présentée par John Tyler Bonner ; préface de Stephen Jay Gould ; avant-propos d'Alain Prochiantz ; collection "Sources du savoir", 334 p.; édition Seuil-CNRS 1994(310F)

Ce livre veut faire connaître, ou redécouvrir, le précieux *On Growth and Form* publié par D'Arcy Thompson en 1917. Oeuvre de ce zoologiste de culture multiforme, l'ouvrage, qui s'étendait sur 800 pages, puis sur 1100 à la deuxième édition (1942), restait hors de portée des intellectuels non biologistes. Même chez les biologistes, d'ailleurs, si nul n'en contestait la valeur, on ne fit pas grand chose pour en chanter les louanges ni pour l'ériger en référence dans les cycles universitaires.

On en connaît les raisons en lisant la version proposée cette année par le Seuil et le CNRS, condensée de l'original par John Tyler Bonner, de Princeton (1961), et récemment traduite de l'anglais par Dominique Teyssié, de l'Université de Cergy-Pontoise. Ce qui a été retranché de l'ouvrage initial était généralement obsolète, parfois inutilement difficile d'accès, et s'opposait donc à une approche satisfaisante pour les non-initiés.

Pour ces derniers, on a pris et multiplié les précautions en faisant précéder la matière d'une préface de S.J.Gould, d'un avant propos d'Alain Prochiantz, du CNRS, et d'une présentation de J.T.Bonner. Il le fallait et ces textes sont tout aussi riches que le corps même de l'ouvrage. Tous ces textes sont dotés de larges marges dans lesquelles abondent les notes, les références et les commentaires...

D'Arcy Thompson (1860-1948) est considéré comme un "esprit universel". Biologiste, en effet, il approfondit les mathématiques et les langues classiques au point d'utiliser les premières pour révéler sa conception des formes du vivant, et les secondes pour traduire *l'Historia animalia* d'Aristote. Mais son oeuvre est celle d'un zoologiste. Même si on a pu dire que des mathématiciens comme René Thom s'y sont intéressés, il y a loin entre le point de vue de D'Arcy et les modèles mathématiques de la morphogenèse proposés par Thom. Et il faut, en tout état de cause, souligner que les techniques mathématiques utilisées par D'Arcy ne sont jamais de haut niveau et n'ont aucune raison de l'être. On a pu dire qu'il s'agissait d'un traité de calcul des variations appliqué à la biologie ; c'est vrai si on parle des sources du calcul des variations (Fermat, Bernoulli, Maupertuis, Hamilton, problème de Plateau...), mais très incongru si on pense à ce qu'est devenu ce domaine, du vivant même de D'Arcy et *a fortiori* aujourd'hui.

On pourra être surpris, par ailleurs, sachant que D'Arcy perfectionna son oeuvre sa vie durant, de n'y trouver aucune trace des grandes révolutions biologiques dont il fut cependant le témoin : lois de l'hérédité, découverte des chromosomes, biochimie, etc... Il les admira et les enseigna, mais maintint avec constance le cap sur son idée directrice première, et la richesse de ses remarques donne à cet ouvrage unique la valeur d'une référence épistémologique de premier ordre.

L'honnête homme de notre temps doit donc le lire, qu'il soit biologiste ou mathématicien fût-ce à l'état de trace... en essayant de concevoir la biologie hors des chemins prestigieux de la science moderne, mais simplement, avec les yeux d'Henri Fabre, par exemple, dont D'Arcy Thompson fut d'ailleurs un admirateur vibrant.

Dès son introduction, il fixe clairement son intention : "*Mon seul objectif est de mettre en corrélation avec des énoncés mathématiques et des lois physiques certains des phénomènes extérieurs les plus simples de la croissance des organismes, de leur structure*

*et de leur forme.*" Mais il est tout à fait conscient que cette approche ne saurait être que partielle. *"Ce n'est pas au terme d'une vie entière consacrée à l'étude du vivant, que l'on se met à croire à la toute puissance de la physique et de la chimie dans l'explication de ce monde."*

L'ouvrage développe alors huit points d'observation et de discussion :

1 – La taille et les autres grandeurs : il commente le principe de similitude, subordonne à la taille la vitesse de déplacement, la chaleur du corps, le saut, la marche, le vol ... et aboutit, après examen des contraintes gravitationnelles sur certains organismes, à examiner ceux qui n'y sont pas soumis (bacilles, par exemple), mais qui subissent d'autres actions telles que la viscosité du milieu, le mouvement brownien ...

2 – La forme des cellules : surface de révolution d'aire minimale, problème de Plateau...

3 – Les formes des tissus : là, le fait que les cellules sont grégaires crée d'autres problèmes. Les ailes des libellules, les alvéoles du rucher des abeilles (travaux de Mac Laurin, Koenig, Réaumur, Swammerdam...), pavage de l'espace par les polyèdres...

4 – Spicules et squelettes des radiolaires : Haeckel est évidemment présent partout, avec ses milliers de minutieux dessins de diatomées, foraminifères, éponges,... fleurs de givre et cristaux de neige.

5 – La spirale équiangle ; mais aussi celle d'Archimède. L'étude est mathématique ( un peu... ) et passe aux spirales chez les plantes, les coquilles de mollusques, etc.

6 – Formes des cornes et des défenses : où l'on passe des spirales (planes) aux hélices (gauches) pour observer, outre les cornes, les becs, les griffes, les dents ... donc les défenses.

7 – Forme et efficacité mécanique : se déclarant incompetent pour étudier *"la forme d'un poisson, d'un insecte ou d'un oiseau"*, D'Arcy se consacre à la forme des os à partir de considérations de résistance des matériaux, mettant en parallèle la structure du squelette et celle des ponts.

8 – Théorie des transformations, comparaison des formes apparentées : là, l'appareil mathématique est une déformation des systèmes de coordonnées permettant à l'auteur de passer, par anamorphose, du crâne du chimpanzé à celui de l'homme et à celui du chien... Allusion est faite à la dimension trois, mais l'auteur ne s'y attarde pas.

Impression globale ? Celle de D'Arcy lui-même, qui écrit dans son épilogue : *"Toute l'harmonie du monde transparaît dans la forme et le nombre."* La traduction de Dominique Teyssié donne au texte un rythme satisfaisant pour des francophones (on lui aura gré d'avoir également traduit toutes les citations grecques ou latines dont D'Arcy a parsemé son texte). Il est seulement dommage que les correcteurs aient laissé passer certaines bévues : "Dieu a créée chaque plante.;"(p.31) ou encore "Une approche auquel les morphologistes" (p.319). Quant au mot alvéole, il est mis systématiquement au féminin (p.129 et ss). Tout cela n'est pas grave, mais ce livre est beau, il est cher, il méritait donc la perfection.

Maurice Carmagnole

**Philosophie de la science contemporaine** – par Roland Omnès ; 248 p. Folio-Essais n°256 ; éd Callimard 1994.

Un des agréments du métier d'enseignant, c'est qu'il a deux axes de préoccupation, l'un vers la discipline enseignée qui mérite toujours d'être approfondie pour elle-même ou pour sa didactique, l'autre sur la conscience qu'on voudrait avoir de toute la connaissance, du savoir humain dans son ensemble. Les exigences du métier favorisent le premier axe. D'où le prix

d'un livre comme celui de Roland Omnès qui nous invite à "voir large" ou comme le disait pathétiquement Lamennais (il est vrai qu'au temps du romantisme on ne fuyait pas l'expression de la grande émotion) : "*Fils de l'homme ! monte sur les hauteurs et annonce ce que tu vois !*"

Roland Omnès est un physicien théoricien. On sait aussi qu'il a pris, après le décès de Lagarrigue, la présidence de la commission ministérielle qui a lancé la rénovation de l'enseignement des sciences physiques au collège et au lycée. Le plan du livre est limpide. La première partie, L'héritage, dresse le tableau de la science classique jusqu'aux grands changements du 19<sup>ème</sup> siècle (logique, mathématiques, physique). Deuxième partie, La rupture, avec le développement des mathématiques formelles et de la physique formelle amorcée par Maxwell. Sachons gré à Omnès d'avoir évité le piège du mot "moderne" ; en insistant sur l'aspect formel des développements, il ouvre une compréhension nouvelles de la science contemporaine comme nous le constatons en lisant les deux parties suivantes, 3- Retour du formel au visuel, le cas quantique, et 4- Etat des lieux et perspectives. Là réside, à mon avis, l'intérêt particulier de ce petit livre, petit par le format, riche d'idées .

On n'échappe pas facilement à l'imprégnation des concepts acquis au cours de sa formation ; de là à considérer ces concepts comme bases définitives de la connaissance, il n'y a qu'un mauvais pas à franchir. Formés au lycée puis à l'université aux mathématiques classiques, certains enseignants ont été surpris par l'air un peu vif des espaces vectoriels. Le choc est encore plus violent avec la physique quantique, même si le très éloquent Richard Feynman était capable de nous faire partager son "émerveillement" devant les raisonnements de l'électrodynamique quantique.

Omnès reconnaît que la rupture, du classique au formel a donc eu lieu aussi bien en physique que pour les mathématiques et la logique. Cette logique – qui nous guide dans le domaine du sens commun (donc de la physique classique) a pris sa source dans l'expérience des lois de la nature à l'échelle humaine. Quand on passe à l'échelle de cette "merveilleuse électrodynamique quantique", le changement d'échelle entraîne un changement des lois de la nature fondatrice de la logique du développement à venir. D'où le principe "permettant de penser le monde et non plus seulement de le calculer : Toute description d'un système physique doit reposer sur des propositions appartenant à une logique quantique cohérente unique. Tout raisonnement affirmé à son sujet doit reposer sur des implications logiques démontrables." (p.280)

Nous voilà rassurés, les physiciens ne divaguent pas quand ils développent les conséquences de la théorie quantique pourtant si surprenantes qu'elles émerveillaient Feynman et nous déconcertent si souvent. L'accès à la compréhension du quantique reste difficile. Omnès nous propose une voie originale, aller en quelque sorte à rebours. c'est à dire du formel au sens commun. "*Le sens commun est conforme à la nature quantique des lois du monde matériel, tout au moins dans les conditions normales qui nous entourent et pour les objets à notre échelle (souvent même fort au-dessous de cette échelle), tout cela étant vrai à de rarissimes exceptions près. Il est évidemment impossible au sens commun de déterminer par lui-même quelles sont les exceptions qui le limitent, et c'est pourquoi la découverte de la mécanique quantique a pu le perturber profondément.*" (p.295)

Omnès semble persuadé que cette perturbation ne durera pas ; toute avancée de la science n'a-t-elle pas provoquée de semblables troubles ? Clairaut et Maupertuis devaient se battre pour faire comprendre Newton à leurs vieux confrères de l'Académie des Sciences. En 1994, Omnès nous fait guider par un ange supposé avoir une conscience quantique complète et qui veut avec le lecteur retrouver le sens commun. Dans vingt ou cinquante ans cet ange ne sera peut-être plus qu'une curiosité didactique. Aujourd'hui, pour les traînants de mon genre, cet ange me donne une fraîche et utile leçon de philosophie.

G.W.

**REMARQUE** : dans son livre, Roland Omnès fait souvent référence au livre de Niels Bohr Atomphysics and human knowledge, publié par Bohr, simultanément en anglais et en allemand

en 1958 et qu'il avait traduit en français avec Edmond Bauer en 1961 (éd Gauthier-Villars, épuisée depuis longtemps). Cette traduction a été reprise par Catherine Chevalley qui y a ajouté une longue introduction, *le dessin et la couleur* (125 p.) et de précieuses annexes,

1) Biographie de Niels Bohr, 2) la formation de la théorie quantique (avec en particulier une chronologie 1900-1928, 3) glossaire, 4) bibliographie et index des noms de personnes. Ce qui donne un livre fort précieux, n°157 de Folio-Essais, édition Gallimard 1991

**La résolution des paradoxes de Zénon** – par William Mc Laughlin , dans la revue *Pour la Science* n°207, janvier 1995

L'article, fort intéressant, remémore les paradoxes de Zénon et en propose une nouvelle réfutation, fondée sur la théorie mathématique de l'Analyse Non Standard (généralement abrégée en ANS) due à Abraham Robinson en 1961. On pourrait d'abord être déconcerté par les "nombres non standards" mais en remarquant qu'ils peuvent être définis en partant des inverses des "nombres transfinis" de la théorie de Zermelo, le recours à l'Encyclopaedia Universalis (nouvelle édition 1990) conduit de Zermelo à l'ANS, article rédigé par Robert Lutz et Michel Goze, de l'Université de Haute-Alsace. Se reporter à leur texte qui donne un exposé rigoureux de la théorie.

Le premier nombre transfini,  $\omega$ , défini dans la théorie de Zermelo-Fraenkel , comme le premier nombre supérieur à tous les ordinaux (qui sont des entiers), ne pouvait pas exister logiquement selon Henri Poincaré, invoquant à juste titre l'axiome d'Archimède : tout réel peut être dépassé en additionnant une quantité suffisante de nombres réels égaux à  $r$  (fini). Ainsi la théorie des ensembles ZF ne pouvait justifier celle des "infinitésimaux" de Leibniz, définissables comme inverses des transfinis.

On définit maintenant  $\omega$ , nombre réel transfini (infiniment grand) supérieur à tout nombre entier **particulier**; où le terme "particulier" est une notion **floue** qui englobe tous les nombres susceptibles d'être **effectivement** utilisés par une machine (ordinateur), et qu'on appelle nombres "concrets" ou standards. On peut alors construire, (en admettant l'axiome du choix) l'analyse non standard telle que l'expose l'article de R.Lutz et M.Goze, et justifier l'existence d'un ensemble F, fini et contenant néanmoins tous les nombres rationnels. L'ordinateur peut traiter, en effet, n'importe quel nombre entier ou fractionnaire, défini par un nombre fini de chiffres, de sorte que F contient tous les rationnels, quoique, dans un temps fini, il ne puisse en être traité qu'une quantité finie. Cela pourrait faire penser à un ensemble flou, mais F n'en est pas un : les ensembles flous – fondés sur une logique à trois termes, vrai, faux, indécidable – comportent des éléments pour une partie desquels l'appartenance à l'ensemble présente des taux divers d'incertitude.

Comme il est d'usage, l'analyse non standard ne fut pas admise, lors de sa création, tant que ses fondations axiomatiques ne furent pas établies. Il est légitime d'être alerté par des apparences contradictoires dans ses développements et d'être curieux de vérifier sa cohérence.

Roger Gouguenheim

**Les objets fragiles** – par Pierre-Gilles de Gennes et Jacques Badoz ; 272 p. ; éd Pion 1994 (120 F)

Un prix Nobel de physique rencontre des lycéens. Il leur parle de la "matière molle" et de quelques innovations. Il répond à leurs questions sur la recherche scientifique et le travail des chercheurs. Il en tire quelques conclusions sur l'enseignement et ses faiblesses.

Trop rares sont les occasions où des savants en activité de recherche prennent le temps de rencontrer des lycéens et de communiquer avec la jeunesse pour ne pas saluer et apprécier l'ouvrage actuel. D'autant qu'il en résulte ce livre, écrit avec l'aide technique de Jacques Badoz, grâce auquel le dialogue s'étend à un plus vaste public, pas seulement jeune mais

également curieux de mieux comprendre le mode de la recherche. La science ne doit pas rester le domaine réservé de quelques *happy few*, il faut que les scientifiques eux-mêmes se préoccupent de communication au sens le plus large. Ce livre est un bon signe d'un mouvement dans ce sens.

Dans cette entreprise Pierre-Gilles de Gennes a beaucoup d'atouts, la gloire du prix Nobel de Physique 1991 bien sûr, mais aussi un incontestable talent de communication, le charme d'une présence qui fait penser à ses auditeurs qu'ils sont capables de comprendre beaucoup plus de choses qu'ils ne croyaient pouvoir, seuls, en appréhender.

Dans la première partie du livre, il est beaucoup question de "matière molle". Dans ses entretiens avec les lycées, de Gennes tient une bonne recette : partir d'une découverte importante, si possible fortuite et ancienne et de son exploitation plus ou moins récente mais toujours ingénieuse. Par exemple, la botte de l'Amérindien directement faite du jus de l'hévéa et la transformation réalisée par un certain Goodyear qui n'était pas indien et qui dut mourir milliardaire. Ou bien, autre exemple, l'Egyptien astucieux qui introduit de la gomme arabique dans son encre au noir de fumée et invente ainsi ce qu'on appelle - à contre propos - l'encre de Chine. Dans tous les exemples développés, on retrouve ce que de Gennes appelle *l'esprit Benjamin Franklin* (EBF) fondé sur l'observation critique assortie du sens des applications pratiques. Cela convient à merveille au domaine de la matière molle sans laquelle, de Gennes nous demande de ne pas l'oublier, il n'y aurait pas de vie.

Sur la recherche, notre Auteur est évidemment de ceux qui souhaitent équilibrer recherche théorique et recherche appliquée. Là encore EBF s'oppose à la tendance que de Gennes qualifierait peut-être de polytechnicienne qui survalorise la théorie. En passant, il vante les mérites - incontestables, nous en sommes bien persuadés - de l'école de Physique et Chimie de Paris qu'il dirige et qu'il appelle, non sans malice, une "petite grande école" : petite pour échapper aux justes critiques que méritent les grandes écoles en général et spécialement les grandes-grandes, mais quand même grande école pour valoir mieux que ce qu'il appelle l'enseignement "mou" des universités. On ne peut pas ne pas regretter que de Gennes ait quitté les universités pour une petite grande école et ne puisse donc plus raffermir cet enseignement jugé trop mou.

De page en page, on s'écarte des bonnes histoires sur le siphon sans tube ou la soupe aux nouilles pour déboucher sur les questions d'enseignement et de société. L'Auteur n'échappe pas à certains poncifs, en particulier sur les "mathématiques modernes" dans l'enseignement ou sur la didactique dans les IUFM, poncifs qui servent un peu d'assurance de confort dans les profonds fauteuils de l'Académie des Sciences. On est très déçu que, dans ce domaine, EBF n'ait visiblement pas fonctionné.

Heureusement, le livre, pour conclure, recommande à la jeunesse deux axes d'activité susceptibles de provoquer un élan de société, l'un fondé sur *l'éthique de la connaissance* (dans l'esprit de Jacques Monod), l'autre sur *la solidarité planétaire*. Un magnifique programme que nous devrions tous reprendre et développer, sans hésiter sur toutes ses implications, alors qu'ici, sur le problème démographique de Gennes reste au bord des questions qu'il faut poser. Mais ne regrettons rien et retenons ces deux axes de réflexion, il y aura beaucoup à en tirer et la lecture de ce livre aura été finalement très stimulante, merci EBF.

G.W

**La Terre mandarine** - par André Balland - Journal d'un voyage au Nord pour déterminer la figure de la Terre par M.l'abbé Réginald Outhier. Préface de Jean-Pierre Luminet ; 288 p.; éd Seuil 1994 (120 F)

L'ouvrage comporte une introduction, *Avant le départ*, et une conclusion, *Au retour*, qui sont l'oeuvre d'André Balland entre lesquelles le *Journal d'un voyage au Nord* est la reproduction du texte de l'abbé Outhier qui fut en 1744 un succès de librairie. Une carte précise l'itinéraire de ce fameux voyage en Laponie, de Paris à Tornea, via Dunkerque et Stockholm.

Le mérite d'André Balland est de rappeler au lecteur quel était le problème justifiant une mission aussi lointaine : par la mesure de la longueur d'un arc de méridien sous haute latitude, vérifier ou infirmer la thèse de Newton sur l'aplatissement relatif du géoïde aux pôles. Balland fait jouer à Maupertuis, chef de mission, le rôle principal, si bien que Clairaut n'apparaît guère que comme un compagnon de voyage. De même, dans sa conclusion, il insiste sur les discussions de Maupertuis avec Voltaire si bien que la collaboration scientifiquement fructueuse de Maupertuis et Clairaut dans leur travail commun sur la figure de la Terre y est presque oubliée.

Quant au récit de Outhier, il est plus pittoresque que vraiment instructif, c'est un journal de bord qui nous fait revivre les péripéties d'un voyage certainement aventureux, à cette époque, dans des contrées aussi lointaines. Ne boudons pas notre plaisir à suivre le voyage et l'hivernage des jeunes savants qui firent du bon travail, sans oublier les relevés thermométriques réalisés par Celsius, le seul Suédois de l'équipe.

Quant au titre du livre, l'image de la mandarine fut en effet employée à l'époque mais nous savons que l'aplatissement polaire du géoïde est loin de celui du fruit.

K.Mizar

### DANS LES REVUES

Ciel et Espace – Février 1995 : L'Univers est-il trop jeune ? par Lucette Bottinelli et Lucienne Couguenheim.

Pour la Science – Décembre 1994 : La vie dans l'Univers (numéro spécial)  
Janvier 1995 : L'univers inflatoire autoreproducteur par Andrei Linde.

La recherche – Décembre 1994 : Les molécules des comètes par D.Bockelée-Morvan et E.Karsenti  
Février 1995 : Age de l'Univers, la cosmologie au pied du mur par Fabienne Casoli

L'Astronomie – Décembre 1994 : La vie et l'oeuvre d'Antoniadi par Richard McKim  
Janvier 1995 : Les grandes structures de l'Univers par Dominique Proust

### DANS LES LIBRAIRIES

- Sous l'atome, les particules par Etienne Klein ; 128 p. ; collection Dominos n°13, Flammarion
- La physique et l'infini, par J-P.Luminet de M.Lachièze-Rey ; 128 p? Coll Dominos 43
- Surprenante impesanteur par Jean-Pierre Penot, 48 p. ; BT n°1062
- Sources et évolution de la physique quantique textes fondateurs par José Leite Lopes et Bruno Escoubes, collection "Histoire des sciences", 328 p.; éd Masson 1994
- Introduction à la relativité générale par Jean-Claude Radix, 334 p. ; éd TED & DOC 1994
- Camille Flammarion par Ph de La Cotardière et P.Fuentes ; 376 p.; éd Flammarion 1994

## 1995 année ordinaire ?

$$\pi/2 = \arctg 1995 + \arctg 1/1995$$

$$1995 \equiv 0 \pmod{19}$$

$$1995 \equiv 0 \pmod{95}$$

En 1874, W.Shanks avait calculé 707 décimales de  $\pi$  dont les 527 premières furent bonnes. Si on calcule aujourd'hui les 707 bonnes décimales, on trouve au 704 ème rang 1, au 705 ème 9, au 706 ème 9 et au 707 ème 5, soit 1995 du 704 ème au 707 ème rang. Circonstance qui ne se reproduira qu'au 16 091 ème rang...

## En attendant 1996... (2)

Dans un premier feuilleton (CC n°67, automne 94), j'avais dit mon intention de commémorer le quatrième centenaire de la publication du premier ouvrage de Kepler, **Prodrome aux dissertations cosmographiques contenant le secret du monde, relatif à l'admirable proportion des Orbes célestes, aux causes authentiques et propres du nombre des ciex, de leurs grandeurs et de leurs mouvements périodiques démontré au moyen des cinq corps réguliers de la géométrie.** Titre très explicite mais un peu long, judicieusement raccourci en **Le Secret du Monde** dans sa récente traduction française que nous citerons souvent du signe SM.

Ayant rappelé qui était à la veille de 1586 ce jeune Kepler et comment son livre fut publié, entrons dans l'oeuvre. Avec l'idée de le citer souvent, de le paraphraser parfois et en cherchant toujours à comprendre sa pensée, même quand elle nous surprend ou nous choque parce que nous vivons quatre siècles plus tard au cours desquels le système des planètes a connu bien des révolutions...

### 2.1. LES HYPOTHESES DE COPERNIC SONT RAISONNABLES

SM paraît donc en 1596 et se présente dès l'abord comme un manifeste copernicien à une époque où cela demande un certain courage. Il faut donc prendre quelques précautions : *"Je promets, écrit Kepler, de ne rien dire qui fasse injure aux Saintes Ecritures, et s'il advient que Copernic soit convaincu avec moi de semblable chose, de tenir ce qu'il dit pour nul."*(SM p43)

Il juge d'ailleurs inopportun de mettre en branle la controverse sur la compatibilité des hypothèses de Copernic et des Ecritures. Dans un longue note, il revient sur la préface de Copernic au Souverain Pontife ; pour lui, là où Copernic a été censuré, on ne l'a pas compris. Il faut distinguer la langue de Dieu et le doigt de Dieu : *"Détourner la langue de Dieu dans les choses absolument évidentes pour qu'elle réfute le doigt de Dieu dans la nature, voilà ce que toute personne vraiment religieuse évitera le plus possible."*(SM p 57)

La fidélité affichée à Copernic n'empêchera pas Kepler de corriger certains détails des thèses du maître, *"ignorant qu'il était de ses propres richesses."* Lui, c'est à l'école de Mastlin qu'il a été formé, avec lui il suivait le mouvement de la comète de 1577 qui semblait suivre l'orbite copernicienne de Vénus : *"On en conclura que ce n'est pas à tort que l'on tire de cette circonstance seule un très fort argument en faveur de la, disposition copernicienne des orbites."* (SM p47) Kepler développe pourtant des arguments plus convaincants en faveur des thèses coperniciennes ; en particulier, elles expliquent mieux les positions des planètes supérieures lorsqu'elles sont en opposition ou en conjonction alors que chez Ptolémée, c'est incompréhensible. Mais Kepler passe rapidement à ce qui lui tient à coeur.

### 2.2. LA GRANDE IDEE

Le chapitre II s'intitule *"ESQUISSE DE MA DEMONSTRATION FONDAMENTALE"* Jeune chercheur enthousiaste et peut-être impulsif, il veut sans tarder présenter sa grande idée *"en reprenant les choses depuis le commencement."* Pour lui, cela signifie moult considérations métaphysiques sur les intentions du Dieu créateur, selon le principe : *"Il n'est pas permis et il ne l'a jamais été que le meilleur êtres ne produise pas la plus belle des oeuvres."*(SM p64) Ne nous attardons pas, nous ne sommes plus au seizième siècle, mais prenons quand même quelques minutes à relire ces pensées d'un autre âge.

*"Il est vraisemblable qu'au commencement de toutes choses, le Droit et le Courbe ont été choisis par Dieu en vertu d'une intention arrêtée."* (SM p63) Ce qui conduit à enfermer le monde entier dans une figure sphérique, la sphère des fixes ; Kepler, en bon géomètre est sensible aux riches symétries de la sphère. Quant aux droites, *"comme il convient que l'idée*

*du monde soit parfaite*"(SM p66). on pense aux solides platoniciens, les cinq polyèdres réguliers convexes, le tétraèdre, l'héxaèdre (vulgairement dénommé cube), l'octaèdre, le dodécaèdre et l'icosaèdre, dénommés d'après le nombre de leurs 4, 6, 8, 12 ou 20 faces qui sont des triangles équilatéraux, des carrés ou des pentagones réguliers à 3, 4 ou 5 côtés. Tant de simplicité est merveilleuse, elle a ébloui Platon et Kepler après lui mais la suite est plus merveilleuse encore et lire Kepler c'était, bien avant l'heure suivre Alice au pays qu'elle illustra.

Quel est donc le problème que s'est posé Kepler ? Tout simplement celui de concevoir un modèle qui décrive le mouvement des planètes de façon plus complète encore que ce que disait Copernic. Belle audace, de la part d'un jeune chercheur. Suivons son raisonnement. Mouvement signifie orbe, c'est à dire sphère puisqu'il faut bien une sphère support à la trajectoire de chaque planète que nous finirons par dénommer orbite. Planète signifie objet singulier, identifié, répertorié dans une collection finie où les Anciens dénombreraient tantôt 5 objets, tantôt 7 en y incluant les lumineaires, où Copernic dénombre exactement six corps. Et il ne vient jamais à l'esprit de Kepler qu'on pourrait en découvrir d'autres. D'abord la lunette astronomique n'existe pas et en bon savant de la Renaissance, Kepler fait entière confiance aux Anciens qui ont vu ce qu'il y avait à voir.

*"Nous avons un orbe à cause du mouvement et des corps à cause du nombre et des grandeurs ; qu'avons-nous à faire, dès lors, sinon à dire avec Platon que Dieu sans cesse fait de la géométrie."*(SM p67) L'invocation de Platon n'est pas innocente, même si elle est de rigueur à l'époque, mais il tire profit de la circonstance favorable, le fait que les planètes sont devenues au nombre de 6 depuis que Copernic a mis la Terre à sa place. *"Copernic offre six orbes et il les place deux à deux dans un rapport tel que ces cinq corps peuvent tous être intercalés le mieux du monde entre ces orbes ; voilà l'idée fondamentale de ce qui suit"*

Curieuse personnalité de Kepler, il soutient vigoureusement cette idée originale d'associer les orbes des six planètes aux cinq corps réguliers, mais il ne serait pas surpris qu'on l'accueille avec des éclats de rire. Alors, prenant les devants de la possible polémique, il rappelle qu'il eut des précurseurs : *"Pythagore, puisqu'il y a cinq figures solides (qui sont justement appelées mathématiques) dit que la Terre naît du cube, le Feu de la pyramide, l'Air de l'octaèdre, l'Eau de l'icosaèdre et la Sphère du tout du dodécaèdre... Mais il a manqué à Pythagore un Copernic pour lui dire ce qu'il y a dans le monde."* (SM p69)

C'est donc bien parce que Copernic a placé la Terre au rang des planètes que cette "grande idée" peut être soutenue, et c'est en suivant les données coperniciennes qu'elle va être complètement mise en forme. Calculons deux à deux les rapports des rayons des orbes

orbe de Jupiter / orbe de Saturne = 0,635  
 orbe de Mars / orbe de Jupiter = 0,333  
 orbe de la Terre / orbe de Mars = 0,757  
 orbe de Vénus / orbe de la Terre = 0,794  
 orbe de Mercure / orbe de Vénus = 0,723

Le plus grand écart se trouve entre les orbes de Mars et de Jupiter. *" Cherchons donc le corps qui suppose la plus grande différence entre l'orbe inscrit et l'orbe circonscrit."* Vous trouverez le tétraèdre. La méthode est trouvée, le plus grand écart entre les orbes est ensuite entre Jupiter et Saturne ; alors viendra le cube ; entre Mercure et Vénus, l'octaèdre. Restent alors les deux écarts très peu différents autour de la Terre vers Mars ou Vénus où se placeront dodécaèdre et icosaèdre, ce dernier pour occuper l'écart le plus faible entre la Terre et Vénus.

Pour renforcer sa thèse, Kepler énonce quelques remarques géométriques ; il range les cinq polyèdres en deux sous-ensembles, les primaires (tétraèdre, cube et dodécaèdre) et secondaires (octaèdre et icosaèdre) : les sommets des primaires sont des sommets de trièdres. Vous trouverez sans doute, après Kepler, bien d'autres manières de justifier cette dichotomie polyédrale. Lui, dans son chapitre III insiste sur le fait que l'orbe de la Terre est

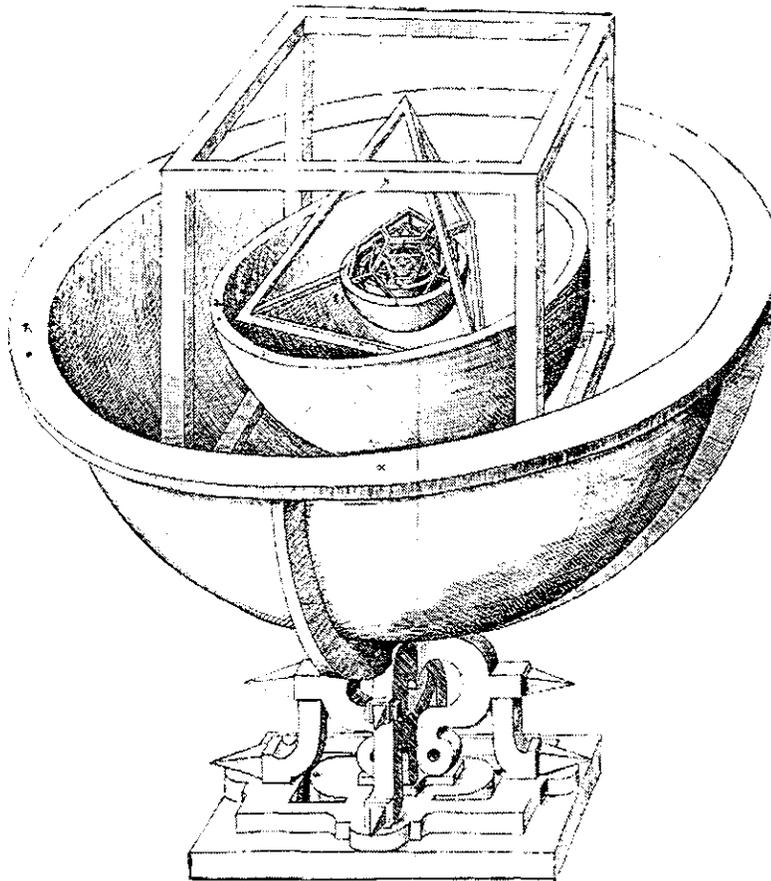
contenue dans trois primaires et contient les deux secondaires : " *Etant donné que contenir, en tant qu'il s'agit d'une action, appartient à quelque chose de plus parfait ; tandis qu'être contenu, en tant que passion, appartient à quelque chose de moins parfait, et puisque les corps primaires sont plus parfaits que les autres, il convenait que l'ordre formé de trois corps contînt la Terre et que les autres fussent contenus à l'intérieur de l'orbe terrestre. Ainsi tenons-nous immédiatement la raison pour laquelle trois planètes se meuvent à l'extérieur de l'orbe de la Terre et deux à l'intérieur. Et si cette raison n'agrée que peu au Lecteur, qu'il considère qu'on la lui offre comme un cadeau et non pas comme le principal.* "

Au lecteur de 1995 qui se prend à sourire devant ces fruits de l'imagination et de la culture (à base géométrique fort solide) de Kepler, demandons ce qu'il pense des constructions théoriques de notre temps. Certes, on ne mélange plus les genres comme ces considérations sur les passions et l'action, on ne considère plus les polyèdres comme parfaits parce que réguliers. Mais est-on bien assuré que dans certaines classifications comme par exemple celles des particules élémentaires, le vocabulaire ne fait pas intervenir quelques considérations intempestives (est-ce parce que sa charge électrique est positive que le quark u est placé plus haut que le quark d ? pour ne rien dire du "charme" des quarks) Mais cela c'est une toute autre histoire.

Il faut lire aujourd'hui Kepler en s'abandonnant au plaisir d'écouter un grand savant de la Renaissance nous étonner par les trouvailles d'un esprit libre.

(à suivre)

K. Mizar



# L'apparition de la Corse au grand large de Nice est-elle un mirage ?

**Paul Perbost** (Nice)

## 1. Crocker Land ou l'illusion perdue

En 1906, au cours de l'une de ses mémorables tentatives de conquête du pôle Nord, encore inexploré, l'officier de marine américain Robert Edwin Peary, tout près du but, aperçut à l'horizon glacé, par 83° N et 103° W et sur une étendue d'au moins 120°, une terre inconnue, creusée de profondes vallées et couverte de montagnes enneigées. La nommant par avance Crocker Land, avant même d'avoir pu l'atteindre, il dut pourtant renoncer à l'aborder, en raison de violentes intempéries. Apprenant la nouvelle, l'un de ses émules, Donald B. Mac Millan se rendit sur les lieux, en 1913, et il l'aperçut à son tour dans la direction annoncée par son prédécesseur. Il entreprit alors une longue marche vers cette Terre promise, dans l'intention de l'explorer. Mais, à mesure qu'il progressait elle s'estompait peu à peu, jusqu'à s'évanouir complètement. Crocker Land n'existait pas : ce n'était qu'un mirage. C'est à dire un de ces tours malicieux que la lumière joue parfois aux explorateurs. Parmi ces fantasmagories, citons la Fata Morgana, ou Fée Morgane qui, selon la légende, possédait le don magique de bâtir de somptueux châteaux suspendus dans les airs. Les Italiens, qui lui ont donné son nom, la connaissent bien, car, de temps à autre, elle leur construit de vapoureux palais aériens, qu'ils peuvent admirer au-dessus des côtes de la Sicile, à travers le détroit de Messine, depuis les plages de la Calabre, juste le temps d'une apparition. Le spectacle a été maintes fois décrit, depuis de nombreux siècles (Cf *Scientific American*, Jan 1976, Mirages, p.102).

## 2. Un essai de réflexion : réfractions terrestres ordinaires et extraordinaires

Les images gradioses engendrées par la Fata Morgana ne ressemblent en rien aux objets réels qui leur ont donné naissance et qui, le plus souvent, se réduisent à de plates étendues désolées ou à d'insignifiants accidents de terrain. Mais par ses sortilèges, la lumière sait faire surgir de l'horizon marin, en amplifiant leurs images, des terres bien réelles, que d'ordinaire on ne peut pas apercevoir, même avec le secours de puissantes jumelles. C'est précisément le cas de la Corse, qui apparaît fortuitement au grand large de Nice et de la Côte d'Azur, depuis le rivage ou les collines environnantes, quand le temps est clair et le Soleil bas sur la mer. La courbure du globe s'y oppose d'ordinaire à une vision de de l'île de Beauté, dont la distance moyenne au continent est de l'ordre de cent milles marins, soit 180 km. Cependant, avec un

ciel parfaitement limpide, lavé par le mistral, on pourrait apercevoir en droite ligne, théoriquement du moins les sommets principaux de son relief (par exemple le Monte Cinto qui culmine à 2707 m) ; mais en aucun cas la totalité de l'île, d'altitude moyenne 568 m, n'est apparente par vision directe.

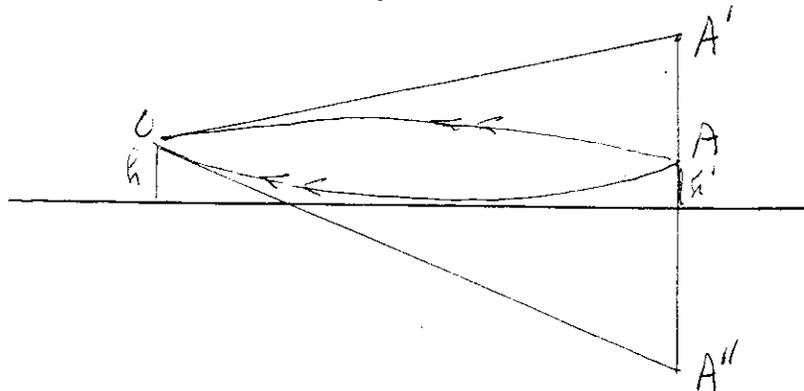
Certes, la réfraction atmosphérique terrestre habituelle, qui courbe les rayons lumineux à la manière d'une lentille géante où l'observateur est plongé, relève ce relief et accroît la portée du regard, en vertu du principe bien connu des astronomes, selon lequel la réfraction relève les astres. Mais cette réfraction courante ne suffit pourtant pas pour redresser en permanence la totalité de la Corse au-dessus de l'horizon visible, qui géométriquement devrait rester au-dessous de celui-ci. Le phénomène étant exceptionnel, il ne peut donc s'expliquer que par la conjonction de circonstances exceptionnelles. L'astronome Cassini de Thury (1714-1784) disait déjà que la variabilité de la réfraction permet de voir parfois depuis les rivages mêmes de Nice, les sommets de la Corse supérieurs à 2300 m (*La Description géométrique de la France*, 1784, p.175-776). Il arrive même que l'île apparaisse de la Côte d'Azur avant le lever du soleil "dans des conditions de visibilité compliquée d'un phénomène de mirage qui allonge beaucoup en hauteur les dentelures de la crête de l'île." (Heilbronner, *Description géométrique des Alpes françaises*, t.VIII, p.258, 1923). Inversement, selon certains observateurs dignes de foi, le littoral de Nice peut parfois apparaître depuis la Corse (*La France ignorée*, E.A.Martel, 1928, p.107).

La position du Soleil en azimut et hauteur, ainsi que les conditions hygrométriques de l'atmosphère et, surtout, l'état thermique du milieu marin et des terres émergées sont, à coup sûr, des paramètres variables qui affectent considérablement le facteur de transmission de l'air suivant les conditions météorologiques : leur conjugaison crée occasionnellement le phénomène de l'émergence de la Corse au grand large de Nice et explique cette apparition impressionnante.

En dépit des incertitudes inhérentes à la réfraction atmosphérique terrestre, de savantes études, dues essentiellement à l'illustre mathématicien Laplace (1749-1827) montrent que l'émergence de certaines îles, au petit matin principalement, se produit lorsque la mer a retenu sa chaleur pendant la nuit, tandis que la terre s'y est longuement refroidie. Ainsi au soleil levant, l'air froid de l'île se répandant à la surface de l'eau, subit un réchauffement par en bas, de telle sorte que la température de l'atmosphère, à ce niveau d'altitude, s'élève avec celle-ci. Dans ce cas, la concavité des rayons lumineux qui traversent cette partie basse de l'atmosphère, s'incurve vers le haut, alors que les rayons quasi-horizontaux qui parcourent en temps ordinaire des couches d'air plus élevées, en dehors de cette zone à gradient de température faiblement inversé, tournent leur concavité vers le bas. Ainsi un objet éloigné, par exemple un accident du relief, est vu doublé, comme par réflexion dans une nappe liquide.

Il y a mirage, parce que la lumière réfractée émanant de l'objet (colline, rocher, etc) peut parvenir à l'observateur en suivant deux trajets différents bien distincts : le trajet

ordinaire, infléchi vers le bas et le trajet exceptionnel courbé vers le haut. Il en résulte que l'observateur, O, peu élevé au-dessus de l'eau, aperçoit alors l'objet A qui paraît allongé verticalement par l'effet combiné de ces deux réfractions ; de telle sorte, par exemple, qu'un petit rocher prend l'aspect d'un pic abrupt...



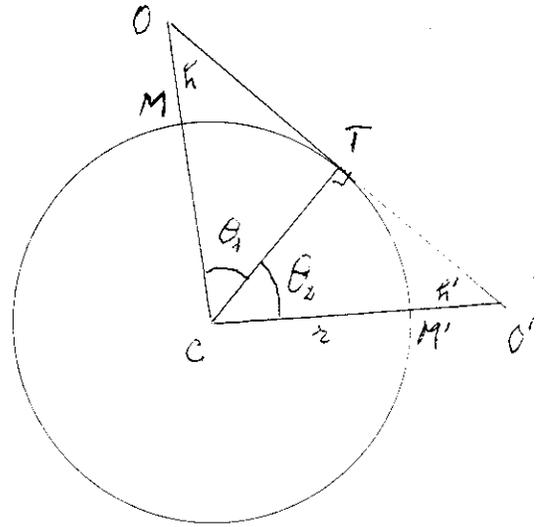
Cela explique, au moins en partie, la surrection éphémère de la Corse au grand large de Nice, par temps sec, clair et froid le plus souvent, surtout si, de plus, l'azimut du Soleil qui se lève derrière elle, est sensiblement le même que celui du centre de l'île, par exemple en certains matins clairs de février ou de novembre. Comme le phénomène est aussi rare que spectaculaire, les journaux locaux ne manquent pas d'en donner des reportages photographiques, accompagnés parfois de commentaires quasi scientifiques passablement brumeux.

Dans ce qui suit, nous examinerons la question de la visibilité directe de l'horizon sensible en supposant d'abord qu'il n'y ait pas de réfraction atmosphérique, puis en appréciant son effet, mais en tenant compte, dans tous les cas, de la courbure du globe supposé sphérique. Pour des distances plus élevées que celles qui séparent la Corse du continent, il faudrait tenir compte de la forme quasi ellipsoïdale de la Terre et de son aplatissement. Ici, de telles considérations seraient sans objet. Sans nous engager dans une théorie savante de la réfraction terrestre, d'ailleurs fort incertaine a priori, nous nous bornerons à quelques calculs géométriques élémentaires, quitte à admettre sans démonstration certaines propositions un peu plus élevées et à utiliser des renseignements numériques tirés de l'expérience des marins, pour montrer que les données ordinaires ne suffisent pas à justifier l'émersion insolite de la Corse à l'horizon de Nice et de sa région. Enfin nous consignerons dans des tableaux numériques, les distances de visibilité de l'horizon marin, selon l'altitude de l'observateur et celle de l'objet qu'il regarde. Un répertoire de quelques distances calculées entre divers points de la Côte et de la Corse, permettra d'utiles comparaisons.

### 3. Éléments de réflexion géométrique

#### a) Distance de visibilité, sans réfraction

La figure représente la section circulaire du globe, déterminée par les points C, M et M' désignant respectivement le centre de la Terre, supposée sphérique, et les pieds des verticales des points O et O', d'altitudes h et h'.



La droite OTO' est tangente en T au grand cercle ainsi défini, de rayon r. Dans ces conditions, le point O' émerge exactement à l'horizon sensible du point O, dans la direction (OT).

On voudrait connaître la distance OO', peu différente de la longueur de l'arc MM', car les altitudes h et h' que nous aurons à considérer sont faibles relativement à r. Il suffit donc d'évaluer les angles  $\theta_1$  et  $\theta_2$ , qui sont évidemment de petits angles. Nous effectuerons cette détermination par deux méthodes, identiques sur le fond, sinon sur la forme.

Première méthode : Le triangle rectangle TOC donne d'abord

$$CT = CO \cos \theta_1 \text{ ou } r = (r + h) \cos \theta_1 \text{ d'où}$$

$$(1) \quad \cos \theta_1 = \frac{r}{r + h} = \frac{1}{1 + h/r}$$

On connaît les développements en série de  $\cos \theta$  (pour  $\theta$  en radians) et de  $1/(1+x)$  pour  $|x| < 1$  de telle sorte qu'en négligeant les puissances supérieures de  $\theta_1$  et de  $h/r$ , de faibles valeurs, on puisse exprimer avec une précision suffisante la relation (1) par

$1 - \frac{\theta_1^2}{2} = 1 - h/r$  ; on en tire (2)  $\theta_1 = \sqrt{\frac{2h}{r}}$  l'angle étant en radians ; même calcul pour  $\theta_2$ .

Deuxième méthode : Reprenant l'égalité  $r = (r + h) \cos \theta_1$  et sachant que

$$\cos \theta = 1 - 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \text{ on trouve } r = r + h - 2r \sin^2 \frac{\theta_1}{2} - 2h \sin^2 \frac{\theta_1}{2}$$

Mais comme h est petit devant r, l'angle est lui-même petit et sa mesure  $\theta$  en radian se confond avec  $\sin \theta$  ; ainsi on peut négliger le dernier terme et ce qui reste redonne (2).

Finalement, on obtient la formule générale qui résout la question :

$$MM' = \theta_1 + \theta_2 = \sqrt{\frac{2}{r}} (\sqrt{h} + \sqrt{h'}) \text{ en radians}$$

Application : sachant que  $r = 6\,371\,000$  m et si l'on exprime l'arc MM' en minutes de degré, en rappelant qu'un arc de 1' vaut par définition 1 mille marin soit 1852 m, on obtient par un calcul très simple la formule générale

$$(I) \quad MM' = 1,93 (\sqrt{h} + \sqrt{h'})$$

qui résout complètement le problème à la précision requise.

(Voici l'opération qui donne le coefficient de la formule générale en minutes de degré

$$\sqrt{\frac{2}{r}} = \sqrt{\frac{2}{6\,371\,000}} \times \frac{180}{\pi} \times 60 = 1,926... \approx 1,93)$$

La formule générale donne la longueur de l'arc  $MM'$  en milles marins, connaissant les altitudes  $h$  et  $h'$ . Comme on l'a déjà dit, cette longueur représente sensiblement la distance  $OO'$ , c'est à dire la longueur du rayon lumineux rectiligne joignant  $O$  et  $O'$ . Pour l'évaluer en km; il suffit de la multiplier par 1,852.

### b) Distance de visibilité, avec réfraction

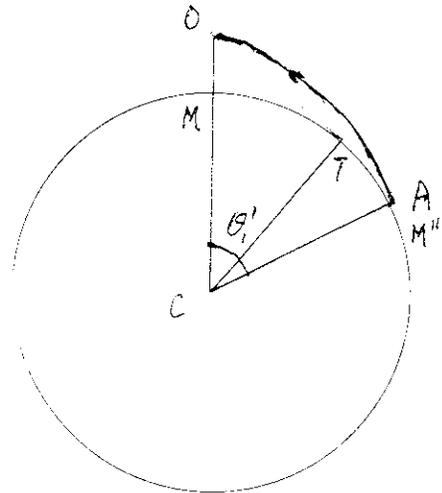
Soit  $AO$  l'arc réfracté décrit par le rayon lumineux qui va de  $A$  à  $O$ . Ce rayon, incurvé par la réfraction ordinaire, est tangent en  $A$  au cercle. Il est plus long que le segment rectiligne  $OT$ , tangent lui aussi au cercle, en  $T$ .

En supposant que le rapport  $h/r$  soit faible, les longueurs de l'arc  $AO$  et du segment  $TO$  sont sensiblement égales aux arcs  $AM$  et  $TM$ .

Or, à partir de considérations sur la courbure, dont l'exposé entraînerait de trop longs développements, on démontre que

$$\theta_1' = \angle ACO = \sqrt{\frac{2h}{r}} \frac{1}{\sqrt{1-k}} \text{ en radians}$$

où  $k$  désigne le rapport de la courbure  $c$  du rayon lumineux à celle de la Terre ; autrement dit  $k = cr$



Ce coefficient  $k$  est extrêmement variable selon les conditions atmosphériques ; les marins lui attribuent la valeur empirique  $k = 0,16$  que nous adopterons (Cf *Astronomie Générale*, André Danjon, p.160 et sq).

Bien que les valeurs observées pour  $k$  soient essentiellement changeantes et souvent très différentes du  $k$  des marins, la formule qui donne  $\theta_1'$  montre, en tout cas, que la réfraction accroît la portée visuelle.

Finalement, en prenant  $r = 6\,371\,000$  km et  $k = 0,16$ , on trouve pour valeur du coefficient, exprimé en minutes de degré, de  $\sqrt{h}$  :

$$\sqrt{\frac{2}{r}} \frac{1}{\sqrt{1-k}} = \sqrt{\frac{2}{6371000}} \times \frac{1}{\sqrt{\frac{84}{100}}} \times \frac{180}{\pi} \times 60 = 2',101...$$

donc  $MA = \theta_1' = 2',10 \sqrt{h}$ . D'où la portée totale (une nouvelle figure est inutile); compte tenu de la réfraction :

$$(II) \quad MM'' = 2',10 (\sqrt{h} + \sqrt{h'})$$

C'est aussi la longueur de  $MM''$  en milles marins.

### c) Tableau de quelques distances de visibilité

Pour un observateur posté à l'altitude  $h$ , le sommet d'une montagne de hauteur  $h'$ , visée au grand large, émergerait de son horizon sensible, soit à la distance  $d_1$ , soit à la distance  $d_2$ , selon que dans ses calculs il n'aurait pas tenu compte de la réfraction ou, au contraire, qu'il aurait pris en considération la valeur de son coefficient adopté par les marins. Les formules (I) et (II), adaptées à ces circonstances, fournissent les résultats consignés dans le tableau suivant, où sont inscrites certaines altitudes particulières. Par exemple, 568 (altitude moyenne de la Corse) ; 2707 (Monte Cinto, point culminant de l'Ile) ; 2300 (Cheval Blanc, 04), etc.

$h$ (m)	$h'$ (m)	$d_1$ (km)	$d_2$ (km)
16	0	14,21	15,55
100	0	35,74	38,89
200	0	50,54	55,00
1000	0	113	127
2000	0	159	173
2300	0	171	186
2500	0	178	194
2546	0	180	196
0	568	85	92
0	2707	186	202
100	568	121	131
100	2707	222	241
200	568	135	147
200	2707	236	257
2300	568	256	279
2300	2700	357	388

### 4. Calcul des distances de deux stations terrestres

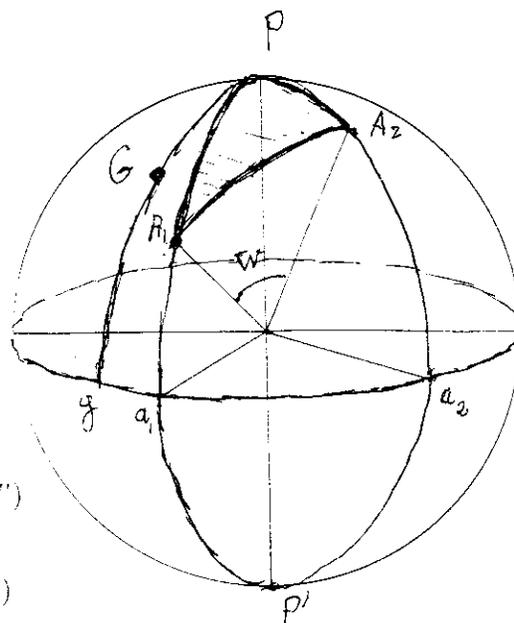
Voici d'abord quelques citations : "*La Corse se trouve à 160 km de la France* (sic) (Nouveau Larousse illustré, éd 1905-1906). "*Situées à 170 km des côtes françaises* (sic), *la Corse...*" (extrait d'un guide touristique récent). Ailleurs, on estime cette distance à 100 milles (environ 180 km). Toutes ces déclarations, que l'on appréciera comme on voudra, donnent des estimations du même ordre de grandeur. Mais, à coup sûr, elles sont singulièrement ambiguës, faute d'indiquer entre quels points ces distances sont considérées. On est donc naturellement conduit à examiner la question suivante : Calculer la distance des stations  $A_1(\phi_1, \lambda_1)$  et  $A_2(\phi_2, \lambda_2)$  définies par leurs coordonnées géographiques usuelles, la latitude  $\phi$  et la longitude  $\lambda$ , abstraction faite des altitudes.

La figure représente le globe terrestre supposé sphérique, les pôles P et P', les stations A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub> et Greenwich G. L'angle W = A<sub>1</sub>OA<sub>2</sub> est alors donné par la formule fondamentale de trigonométrie sphérique :

$$\cos W = \sin\phi_1 \sin\phi_2 + \cos\phi_1 \cos\phi_2 \cos(\lambda_1 - \lambda_2)$$

Application : Corse-continent

Ajaccio (41°55' ; -8°43') ; Bastia (42°41' ; -9°26')  
 Calvi (42°35' ; -8°45') ; Cap Corse (43° ; -9°23')  
 Capo Rosso(42°24';-8°42');Monte Cinto(42°23';-8°57')  
 Nice(43°42';-7°16'); Menton(43°47';-7°37')  
 Cap Roux(43°27';-6°54'); Cheval Blanc(44°05';-6°28')



La formule donne cos W puis l'angle W en degrés. Sachant qu'un arc de 1' représente 1 mille marin (1852 m), on forme le tableau suivant :

	Ajaccio	Bastia	Calvi	Cap Corse	Capo Rosso	Monte Cinto
Nice	241	208	172	187	177	200
M	214	191	161	167	170	189
CR	226	222	178	207	176	204
CB	302	285	248	264	251	276

(où M est l'abréviation de Menton, CR de Cap Roux et CB de Cheval Blanc). La comparaison de ces données avec le tableau des distances de visibilité fournira d'utiles indications sur la question examinée.

**5. Conclusion** (Cf A.Danjon, Astronomie générale, p.148)

Pour la commodité des calculs, on attribue à l'atmosphère une structure relativement simple et homogène qu'elle est loin de posséder. Elle est en effet le siège de phénomènes météorologiques complexes et de turbulences qui l'écartent notablement d'un état de régime stable. Les sondages aérologiques révèlent, suivant la verticale, des variations considérables de la teneur en vapeur d'eau, des changements souvent très importants du gradient de température, ainsi que de la direction et de la vitesse du vent. En conséquence, sous l'effet de brusques variations de l'indice de réfraction de l'air, liées essentiellement à des inversions de température, le rayon lumineux subit lorsqu'il traverse les couches atmosphériques, des déviations accidentelles dont l'observation est aisée quand elles se produisent, mais qu'il est malaisé de prévoir avec précision. Ce sont ces **réfractions accidentelles** qui expliquent l'apparition impressionnante, mais fugitive, de la Corse au grand large de Nice.

Nice, novembre 1994

A propos des kits : **Pour la mesure de la constante solaire**

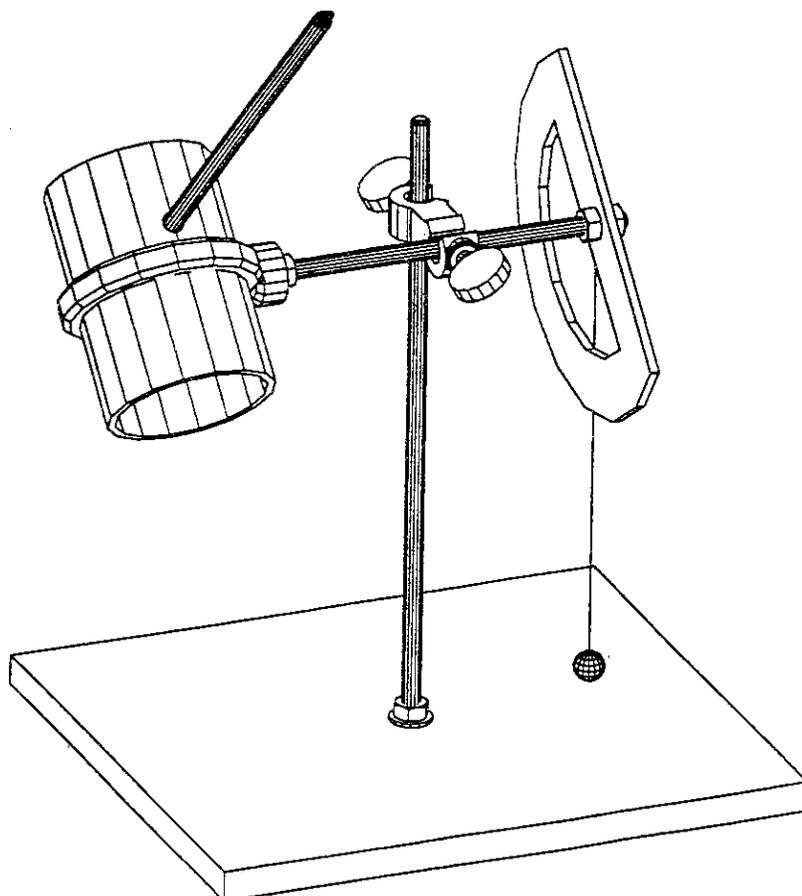
Les kits que nous avons entrepris de diffuser, devaient être réalisés en collaboration avec un lycée technique. Un certain nombre de difficultés ont surgi qui ont retardé les envois. Celles-ci sont d'ordre technique : reconfiguration des ateliers du lycée technique, ce qui a fini par totalement bloquer la fabrication lorsque, à ceci s'est ajouté un problème administratif de personnel. Nous avons alors décidé de prendre le relais pour assurer nous-mêmes la fabrication de vos (nombreuses) commandes. Nous comptons sur votre compréhension et votre indulgence pour les retards de livraison, importants pour certains d'entre-vous.

Nous avons maintenant réussi à résorber les commandes anciennes. Pour l'avenir, c'est-à-dire dès la publication de ce numéro, nous continuons à vous proposer les mêmes formules de kit c'est-à-dire : kit pour 12 groupes, kit pour 6 groupes ou bien kit pour un seul groupe. Mais nous avons dû ajuster les prix à une fabrication extérieure, avec bien sûr des délais normaux de livraison après réception de vos commandes. Ces prix sont calculés sur la base d'une réalisation en grand nombre, qui nous oblige à une mise de fonds importante. Nous comptons sur les lecteurs des Cahiers pour nous aider à assurer la publicité du produit.

Tarifs, frais postal inclus :

pour 12 groupes.....	1460 francs
pour 6 groupes.....	800 francs
pour un groupe.....	200 francs

Michèle Gerbaldi



## Chronique du CLEA - Courrier des Lecteurs

**NOTE DU SECRETARIAT** - Le présent numéro (69) des Cahiers Clairaut, printemps 1995, est servi à tous les abonnés mais pour ceux dont l'abonnement venait à échéance avec le n°68, et qui ne se sont pas encore réabonnés, le moment est venu d'utiliser sans tarder la feuille verte et merci d'avance d'y joindre le chèque au nom du CLEA.

**RECTIFICATIF** - Lors de l'impression de cette feuille verte, nous avons laissé échapper une faute : à la page III, dans la rubrique COURS POLYCOPIE D'ASTROPHYSIQUE, il manque une ligne :

S. Cours d'astrophysique solaire : le Soleil

Ce n'est pas une éclipse, c'est un fâcheux oubli.

**LA LONGUEUR DU METRE** - Manifestation pédagogique à l'Observatoire de Paris du 16 janvier au 14 avril 1995 (les dates de parution des Cahiers nous ont empêchés de l'annoncer plus tôt) : "La longueur du mètre et sa définition 200 ans après" sous la responsabilité de Mmes Suzanne Débarbat et N. Dalies. Exposition à visiter avec les élèves. (durée 1 h 30)

**UNIVERSITE D'ETE DE LIMOGES** - A la suite de l'article de Claude Marchat (CC n°66) "Le cratère d'impact météoritique de Rochechouart-Chassenon" et aux assises scientifiques mondiales sur les impacts de météorites qui se sont tenues à Limoges du 18 au 22 septembre 1994, un projet d'université d'été "L'astroproblème de Rochechouart : le seul grand impact météoritique de France" a été déposé dans l'académie de Poitiers. Elle devrait se dérouler à Limoges et sur le terrain du 28 août au 1 septembre 1995. Si vous êtes intéressé, consultez le BO spécial UE car la clôture des inscriptions est prévue pour avril.

**SUR LES PAS D'ARAGO** - Pour aider les promeneurs parisiens à retrouver les plaques ARAGO, le schéma ci-contre indique quelques repères : le méridien de Paris de la mire de l'observatoire à la mire du Nord.

**SATURNE EN 1995** - Bien observable durant cette année 1995 mais la Terre traverse le plan des anneaux du Nord au Sud le 22 mai et du Sud au Nord le 10 août. Ce n'est pas en 1995 que Huygens aurait découvert les anneaux.

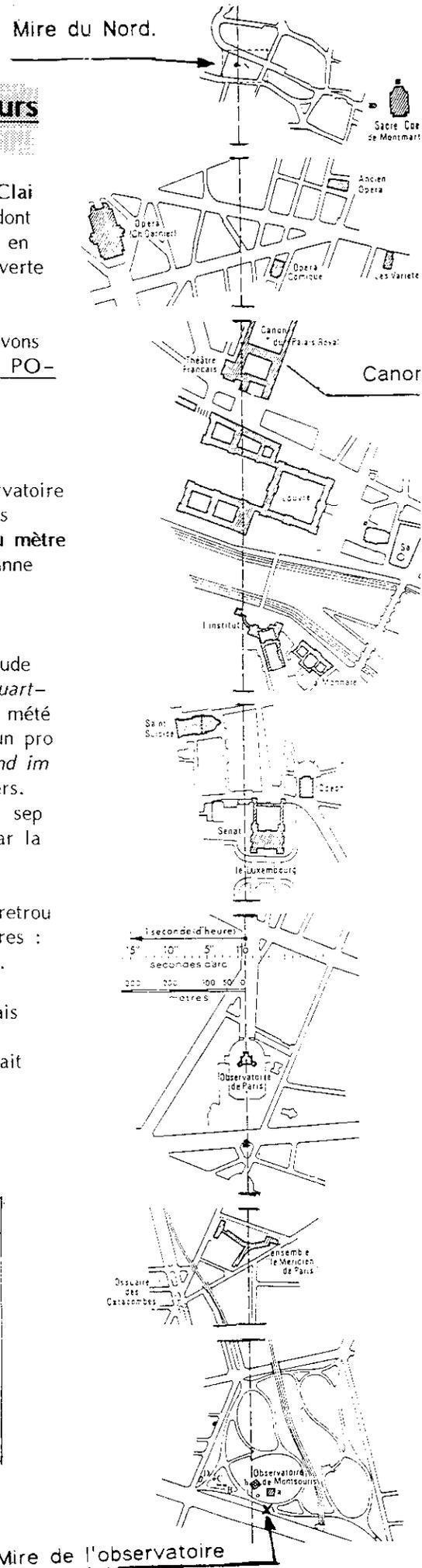
**1995** - Un millésime comme un autre mais  
 $1995 \equiv 0 \pmod{19}$

En 2002, l'abonnement aux CAHIERS CLAIRAUT donnera droit au numéro 100 Hiver 2002-2003 un numéro spécial dorzédéjà en préparation.

Mais si, aujourd'hui, vous oubliez de vous réabonner, vous risquez très fort de ne pas recevoir le numéro 70 Eté 1995

Manquer le n°70 serait mal se préparer à recevoir le n°100

Mire du Nord.



Mire de l'observatoire



## Le C.L.E.A. et les Cahiers Clairaut

### CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 1995. :

Cotisation simple au CLEA pour 1995	30 F
Abonnement simple aux <i>Cahiers</i> n° 69 à 72	120 F
Abonnement aux <i>Cahiers</i> n°69 à 72 ET cotisation au CLEA pour 1995	150 F
Contribution de soutien au CLEA (par an)	50 F
Le numéro des <i>Cahiers</i> (port compris)	40 F

Possibilité de cotiser ou de s'abonner pour deux ans en doublant les tarifs précédents.

### COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT

C1. Collection complète du n° 1 au n° 68 (990 F - 1100 F)

C88. C89. Collection 1988 ou 1989 (chaque 80 F - 90 F)

C90. à C94. Collection 1990, 91, 92, 93 ou 94 (chaque 90 F - 100 F)

N-B. Comme pour toutes les publications le deuxième prix indiqué est celui qui correspond au tarif port compris.

Adresser inscriptions, abonnements ou commandes au secrétaire du CLEA  
Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST CLOUD  
en joignant à votre envoi le chèque correspondant rédigé à l'ordre du CLEA.

## Autres publications de l'Institut de Recherche en Astronomie de l'Université de Strasbourg

### FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

N-B. Le stock de certains de ces fascicules est en voie d'épuisement ;  
avant de passer commande, s'assurer que le numéro désiré est  
encore disponible

1. L'observation des astres, le repérage dans l'espace et dans le temps (20F-25F)
2. Le mouvement des astres (25F - 30F)
3. La lumière messagère des astres (30F - 35F)
4. Naissance, vie et mort des étoiles (30F - 35F)
5. Renseignements pratiques, bibliographie pour l'astronomie (25F - 30F)
- 5 bis . Complément au fascicule 5 (25F - 30F)
6. Univers extragalactique et cosmologie (30F - 35F)
7. Une étape de la physique, la Relativité restreinte (60F - 68F)
8. Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie (60F - 68F)
9. Le système solaire (50F - 58F)
10. La Lune (30F - 35F)
11. La Terre et le Soleil (40F - 48F)
12. Simulation en astronomie sur ordinateur (30F - 35F)

### PUBLICATIONS DU PLANETARIUM DE STRASBOURG

LS0. Catalogue des étoiles les plus brillantes, toutes les données disponibles au Centre  
des Données Stellaires de l'Observatoire de Strasbourg  
concernant 2000 étoiles visibles à l'oeil nu (75 F)

Commandes à adresser au service librairie, Planétarium de Strasbourg.

Directeur de la publication : Lucienne Couguenheim  
Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff

Dépot légal : 1er trimestre 1979  
Numéro d'inscription CPPAP 61660