

# NEBULEUSES



*Invités:*

**J.P. LUMINET et N. PRANTZOS**

## **La matière noire enfin dévoilée !**

Découvrez le ciel avec vos orbites

Voyagez vers l'étoile la plus proche

La poésie et la science réconciliées

*Sommaire complet en dernière page.*

# Avant - Propos

*Souvenons-nous du magicien :*

- Que d'étoiles ! Des millions et des millions !
- Mais comment ça tient tout ça ?
- Pour faire une maison, au fond c'est simple :  
on pose des briques, on met de la chaux,  
mais là-haut ?!
- Où sont les fondations ?

Dialogue tiré de *Amarcord*,  
Federico Fellini.

---

## La Grande Ourse

*Nébuleuses* est une revue de l'association  
Le Pulsar du Voile 18 rue Paul Bert 75011 Paris.

Directeur de la publication: Pascal HONVAULT  
Rédacteur en chef: Ludovic LOREAU  
Chef de rubriques: Jean-Marc BONIFACE  
Assistante: Béatrice BUSSERY  
Chargés de rubrique: J.M. Boniface, A. Hichem, P.Honvault,  
L. Loreau, M. Ramillon.

Ont collaboré à ce numéro: Jean-Pierre LUMINET, Nicolas  
PRANTZOS.

Abonnement et adhésion: voir page 19  
Dépot légal: 1<sup>er</sup> trimestre 1994.  
No ISSN: en cours.  
Commission paritaire: en cours.

Les documents reçus ne sont pas rendus et leur envoi implique  
l'accord de l'auteur pour leur libre publication. La reproduction  
des textes ou des photos de *Nébuleuses* est strictement interdite  
sans l'autorisation du directeur de la publication.

Imprimé en France chez IDG, 4 bis rue d'Oran 75018 Paris.  
Photo de couverture: la nébuleuse *la Tarentule* dans la constellation de  
*la Dorade*, IAP/CNRS-ESO.



# IMPULSION

***Nébuleuses* est née ! Bienvenue à tous.**

**L'**époque actuelle est confrontée, tous les jours, de plus en plus, à l'accélération du progrès technique et scientifique. En outre, le phénomène récent de prise de conscience de la fragilité de la planète Terre (couche d'ozone, pollution, déforestation...) se traduit par une vulgarisation scientifique accrue. Les magazines fleurissent pour tous les âges, pour tous les niveaux; des émissions de radio ou de télé existent quoiqu'en nombre encore insuffisant et de qualité inégale.

L'astronomie englobe la plupart des autres sciences et tente de répondre aux questions fondamentales sur le passé, le présent et le futur de l'Homme et de sa planète la Terre, par un échange constant entre théorie et expérience. Par ses réflexions riches et nombreuses, l'astronomie touche un large public intéressé, de manière générale, par la science.

*Nébuleuses* évoque l'astronomie en des termes compréhensibles par toute personne, même celle qui n'a pas la culture scientifique et astrophysique, mais qui est malgré tout attirée par la connaissance du ciel et de l'Univers, par leurs mystères et leurs beautés.

Le contenu de cette revue trimestrielle propose une interpénétration des deux domaines en apparence antagonistes, les domaines scientifique (astrophysique) et littéraire. Nous souhaitons réunir les lecteurs de ces deux univers, qui aujourd'hui ne doivent plus se tourner le dos, mais au contraire se parler pour s'enrichir les uns les autres.

A travers ses différentes rubriques, *Nébuleuses* vous fera découvrir le monde quotidien de l'astronomie, vous initiera à l'observation du ciel (cette fois-ci avec votre oeil !), traitera d'un sujet d'actualité (dans ce premier numéro: la matière noire). Vous trouverez des articles scientifiques et de réflexion d'astronomes professionnels, de la prose ou poésie, une revue des magazines spécialisés...

Assez de discours. Je vous souhaite une bonne lecture, joyeuse et enrichissante.

Pascal HONVAULT

# Le côté sombre de la matière

Par Nicolas PRANTZOS

Astrophysicien à l'Institut d'Astrophysique de Paris

**M**algré l'extraordinaire progrès instrumental du dernier demi-siècle, qui a ouvert les "fenêtres" de l'invisible (rayons X et gamma, ultraviolet, infrarouge et radio) sur le Cosmos, les astronomes ont de sérieuses raisons de penser que la majeure partie de la matière de l'Univers échappe toujours à leur observation. En effet, une série d'indications leur fait croire qu'il y a beaucoup plus de *matière sombre* dans les galaxies, y compris dans notre Voie Lactée, que ce que l'on observe actuellement sous forme lumineuse. Deux grandes questions se posent alors: i) combien y a-t-il de matière sombre? et ii) sous quelle forme se trouve-t-elle?

La réponse à la première de ces questions est extrêmement importante pour pouvoir déterminer le destin ultime de notre Univers: selon la *cosmologie* moderne, si la quantité de matière dans l'Univers est inférieure à une certaine valeur critique, celui-ci continuera pour toujours son expansion actuelle; dans le cas opposé, l'expansion s'arrêtera un jour pour se transformer en effondrement global.

La réponse à la deuxième question est cruciale pour la détection éventuelle de cette matière sombre. En effet, si elle se trouve sous forme d'*objets macroscopiques* (planètes, petites étoiles ou trous noirs), les moyens à employer pour sa détection sont les moyens familiers de l'astronomie classique, c'est à dire les *télescopes*; par contre, si cette matière est sous forme des *particules exotiques*, comme le pensent certains physiciens, les moyens requis sont ceux de la physique de l'infiniment petit, les *détecteurs de particules*.

La chasse aux objets sombres est ainsi déclarée depuis quelques années par les astronomes et les physiciens des particules. Les premiers résultats positifs viennent d'être annoncés en Octobre dernier. Avant de les présenter et de discuter leurs implications, voyons d'abord quels indices possèdent les astronomes quant à l'existence de la matière invisible.

## Comment soupçonner une présence invisible

Ceux qui ont lu, ou vu au cinéma, *L'homme invisible* de H.G. Wells, se rappellent sans doute que la présence du héros ne passait pas toujours inaperçue: l'écrasement de l'herbe sous ses pieds ou encore le déplacement apparemment "magique" de certains objets, étaient des signes qui pouvaient le trahir (certes, de manière indirecte).

De la même façon, la présence d'un objet sombre peut être trahie par ses effets sur la matière environnante, à condition bien entendu que cette dernière soit directement visible. Les "effets" en question ne sont pas dûs à un contact direct, comme c'était le cas dans *L'homme invisible*, mais à la force d'*attraction gravitationnelle*, force de longue portée exercée par tout corps matériel, sombre ou lumineux. Comme toute autre force, la gravitation modifie le mouvement des objets qui se trouvent sous son emprise. En observant donc le déplacement d'un corps lumineux dans le ciel, on peut déduire la présence (ou l'absence) d'autres objets à son voisinage, ainsi que leur *masse*, car c'est d'elle que dépend le mouvement du corps lumineux.

Ce principe simple a été appliqué assez tôt, et avec succès, par les astronomes. C'est ainsi qu'en 1846, essayant de comprendre le mouvement "bizarre" de la planète Uranus, Leverrier a déduit la présence (et la position!) d'un autre corps dans le système solaire: il s'agissait de Neptune, la huitième planète, jusqu'alors ignorée. De la même manière, le mouvement de Neptune, perturbé manifestement par un autre objet, a permis à l'américain Tombaugh de déduire en 1930 l'existence de Pluton, neuvième planète du système solaire.

Dans ces exemples, l'effet du corps "invisible" sur le mouvement de l'objet lumineux est une perturbation mineure, ce qui implique que sa masse est relativement petite. Par contre, pour expliquer les observations que l'on détaillera par la suite, il faudra admettre que la masse sombre est beaucoup plus importante que la masse lumineuse.

## La rotation rapide des galaxies spirales

Depuis les années 70, les astronomes ont réalisé que les *galaxies spirales* tournent plus vite sur elles-mêmes que ce qui leur est "permis", compte tenu de leur masse lumineuse. Notre propre Voie Lactée, qui est une belle galaxie spirale, n'échappe pas à ce "paradoxe".

En effet, la cohésion d'une galaxie spirale en rotation est assurée uniquement par l'attraction gravitationnelle due à sa masse: sous son emprise, les étoiles et le gaz de la galaxie se voient obligés de tourner autour de son centre, à l'instar de notre système so-



## Le côté sombre de la matière

laire, ou l'attraction du Soleil maintient les planètes sur leurs orbites. Dans les deux cas, c'est la masse du système qui détermine la vitesse de rotation. Or, les observations montrent que la masse visible de ces galaxies spirales, qui se trouve essentiellement

rayon plus grand que celui du disque visible, et de densité décroissante du centre vers l'extérieur. Par exemple, le disque de la Voie Lactée s'étend jusqu'à environ 60.000 années-lumière du centre, ayant une masse totale d'environ 50 milliards de fois

qui "pèse" le plus est celle d'Andromède, à une distance de 2 millions d'années-lumière et de taille (visible) légèrement supérieure à celle de la Voie Lactée. Au lieu de s'éloigner, participant à l'expansion globale de l'Univers, Andromède se dirige vers nous à 90 km/sec, étant manifestement attirée par une masse évaluée à environ 1 trillion de masses solaires; ce chiffre est environ dix fois supérieur à la somme des masses visibles d'Andromède et de la Voie Lactée, et confirme la conclusion précédente: on ne voit qu'une petite partie de l'"iceberg" cosmique.



par courtoisie IAP/CNRS-ESO

*Depuis plusieurs années, les astronomes surveillent des millions d'étoiles dans le Grand Nuage de Magellan. Certaines donnent des indices sur la nature de la matière sombre.*

sous forme d'étoiles lumineuses, est insuffisante pour justifier leurs vitesses de rotation observées; il doit y avoir beaucoup plus de matière invisible, sinon les couches externes de ces galaxies seraient depuis longtemps éjectées par la *force centrifuge*.

La quantité de cette matière sombre est difficile à évaluer avec précision, car elle dépend de la manière dont elle est répartie dans (ou autour de) la galaxie. Les astronomes développent donc des *modèles* théoriques de la structure galactique dans le but de reproduire les observations, essayant diverses proportions de matière sombre. Dans les modèles les plus cohérents il y a environ cinq à dix fois moins de matière lumineuse que de matière sombre; cette dernière se trouve non pas dans le disque, mais dans une *couronne* sphérique, de

la masse du Soleil; pour expliquer sa vitesse de rotation, qui dépasse les 200 km/sec, il faut admettre qu'il se trouve plongé dans une *couronne* de matière sombre qui s'étend jusqu'à 200.000 années-lumière, avec une masse totale de 300 à 500 milliards de masses solaires.

### La cohésion des groupes et amas de galaxies

Il semble difficile d'admettre qu'il existe une telle quantité de matière "cachée" dans notre voisinage galactique. Mais d'autres méthodes, indépendantes, nous imposent quasiment cette conclusion. Ainsi, l'observation des mouvements des galaxies proches, qui appartiennent au *groupe local* nous permet de sonder la masse totale du système. La galaxie proche

A une échelle plus grande que les groupes, il y a les *amas de galaxies*; chaque amas s'étend sur plusieurs millions d'années-lumière et regroupe plusieurs centaines, voire des milliers de galaxies individuelles. Un cas bien étudié est celui de l'amas de Coma, à une distance d'environ 300 millions d'années-lumière, qui s'éloigne à 7000 km/sec, participant au mouvement global de l'expansion de l'Univers. En étudiant les mouvements des galaxies à l'intérieur de cet amas, l'astronome suisse F. Zwicky a déduit en 1933 la présence d'importantes quantités de matière invisible (sinon l'amas serait depuis longtemps dispersé). C'était la toute première indication de l'existence de matière sombre en abondance au niveau extragalactique. Des observations ultérieures de plusieurs autres amas ont confirmé qu'à cette échelle il y a environ vingt à quarante fois plus de matière que ce que l'on peut voir directement.

Une autre méthode, plus récente, permet de confirmer ce résultat de manière indépendante. En effet, depuis quelque temps, les astronomes détectent à l'intérieur des amas de galaxies la présence d'importantes quantités de *gaz chaud*, à des températures de plusieurs millions de degrés. A ces températures là, le gaz rayonne surtout des photons X; cela explique pourquoi il a fallu attendre le développement de l'astronomie spatiale pour le détecter (les rayons X ne pénètrent pas l'atmosphère terrestre). Pour qu'un gaz aussi chaud ne se disperse pas à l'extérieur de l'amas, il faut que celui-ci abrite



## Le côté sombre de la matière

des quantités de matière sombre très supérieures à sa masse visible ou à la masse du gaz chaud: en effet, seule l'attraction gravitationnelle d'une masse aussi importante peut confiner le gaz, en dépit de sa pression extraordinaire.

### Le Grand Attracteur

A plus grande échelle on rencontre les *superamas de galaxies*; chacun de ces systèmes est composé de plusieurs dizaines d'amas et de groupes et s'étend sur plusieurs dizaines de millions d'années-lumière. Notre groupe local de galaxies se trouve au bord du superamas local, dont le centre est occupé par l'amas de la Vierge, à 50 millions d'années-lumière environ. Depuis quelques années les astronomes pensent que derrière l'amas de la Vierge se "cache" une énorme concentration de masse. En effet, les mouvements de notre superamas local et des superamas voisins ne sont pas tout à fait conformes au mouvement de l'expansion globale de l'Univers, mais semblent être perturbés par quelque chose de très massif.

Une manière de visualiser cette situation est d'imaginer des fourmis, chacune représentant un superamas, distribuées uniformément à la surface d'un ballon en expansion. Si les fourmis ne bougent pas, leur densité à la surface du ballon diminue et leurs distances augmentent à un taux régulier dicté uniquement par l'expansion du ballon. Par contre, si on voit que la densité des fourmis à un certain endroit diminue plus lentement que le reste, on déduit que les fourmis à son voisinage ont des *mouvements propres* vers ce point, étant manifestement attirées par quelque chose. De manière analogue notre superamas local, ainsi que les superamas voisins de l'Hydre et du Centaure, tout en participant à l'expansion universelle, "tombent" à plusieurs centaines de km/sec vers une concentration de masse estimée à trente fois supérieure à celle d'un superamas; ce "monstre", auquel les astronomes ont donné le nom de *Grand Attracteur* se trouverait caché à 150 millions d'années-lumière de nous, derrière l'amas de la Vierge.

### Le poids du passé lointain

A toutes les échelles donc, depuis celle d'une galaxie individuelle comme la nôtre, en passant par les groupes et les amas de galaxies, et jusqu'à celle des superamas, il y a des indications nettes en faveur de l'existence de matière sombre. Les astronomes ont même constaté que, plus l'échelle est grande, plus le rapport matière sombre sur matière lumineuse est élevé. Il est intéressant alors de comparer les quantités de matière sombre déduites par les observations à la valeur de la *densité critique*, pour voir si notre Univers finira dans un froid glacial (si l'expansion actuelle se poursuit éternellement) ou dans une chaleur infernale (si l'expansion se transforme en contraction).

La densité de *matière lumineuse* dans l'Univers est actuellement évaluée à un peu moins d'un centième de la densité critique, ce qui signifie qu'à elle seule la matière lumineuse est insuffisante pour "fermer" l'Univers. A l'échelle des galaxies spirales, nous l'avons vu, la matière sombre est environ dix fois plus abondante que la matière lumineuse, ce qui nous amène à dix pour cent environ de la densité critique. A des échelles plus grandes il semble qu'il y ait encore plus de matière sombre mais, malheureusement, il devient de moins en moins facile de l'évaluer de manière précise. Ainsi, au niveau des groupes et amas de galaxies il y aurait entre dix et trente pour cent de la densité critique, tandis qu'à l'échelle la plus grande jusqu'ici explorée, ce chiffre pourrait même atteindre le cent pour cent; mais il pourrait également être cinq fois inférieur, tant les incertitudes sont encore grandes...

Impossible, donc, de connaître actuellement le destin ultime de notre Univers. Impossible, aussi, de connaître la nature de la partie cachée de l'iceberg cosmique avec les indices observationnels que l'on vient de voir. En effet, notre "indicateur" de la masse sombre (la force de gravitation) ne peut pas distinguer entre matière composée des particules "habituelles" (protons, neutrons et électrons) et concentration des parti-

cules "exotiques"; ces dernières sont prévues par les théories de la physique moderne, mais n'ont jamais été détectées jusqu'ici. Cependant, quelques indices supplémentaires, théoriques cette fois-ci, permettent de clarifier un peu la situation.

Pour comprendre ces indices, il faut remonter dans le passé lointain de notre Univers, aux premiers instants du Big Bang. Selon le scénario standard, aux températures infernales qui régnaient alors, la matière se trouvait sous forme des constituants élémentaires, protons, neutrons et électrons. Les réactions de *fusion thermonucléaire* entre les protons et les neutrons pendant les fameuses "trois premières minutes" ont donné naissance à des *noyaux atomiques* plus complexes: celui du *deutérium* (un proton + un neutron) et celui de l'*hélium* (deux protons + deux neutrons). Selon la théorie, l'abondance de ces noyaux dépend de la densité de la matière ordinaire (protons et neutrons, les électrons étant extrêmement légers). Les calculs montrent que cette densité doit valoir *entre un et dix pour cent de la densité critique*, sinon les abondances d'hélium et du deutérium seraient très différentes des observations actuelles (les astronomes tiennent, évidemment, compte de la modification de ces abondances par d'autres effets, survenus entre le Big Bang et aujourd'hui).

Cette théorie de la *nucléosynthèse primordiale*, un des piliers du modèle du Big Bang, nous apprend donc qu'il y a plus de matière ordinaire que ce que l'on voit sous forme lumineuse et que la densité de cette matière sombre ne peut pas dépasser dix pour cent de la valeur critique; au delà de cette limite, le "supplément" (s'il en existe) doit être constitué des particules exotiques.

### Lentilles gravitationnelles

La matière ordinaire sombre dans notre Galaxie ne peut pas être sous forme de gaz, car celui-ci rayonnerait et serait nécessairement détecté. Elle pourrait être sous forme d'*objets compacts* qui rayonnent peu ou pas du tout: planètes, de masse inférieure à



## Le côté sombre de la matière

un millième de celle du Soleil; ou trous noirs, dont la masse pourrait atteindre plusieurs dizaines de milliers de masses solaires. Pour diverses raisons cette dernière alternative semble beaucoup moins probable que les autres.

En 1986 l'astronome polonais B. Paczynski a proposé une méthode astucieuse pour détecter ces objets. Cette méthode utilise le fait que la masse d'un objet "courbe" les rayons lumineux qui passent à sa proximité, selon la théorie de la Relativité Générale d'Einstein. Cet effet, vérifié depuis 1919, conduit naturellement au phénomène de *lentille gravitationnelle*: la lumière d'un objet lointain peut être focalisée par la masse d'un objet plus proche qui se trouve sur la ligne de visée, et nous paraître ainsi plus intense. Si la "lentille" (l'objet focalisant) est assez proche de l'observateur et se déplace relativement rapidement (par exemple, un objet compact dans notre Galaxie), l'intensité de la source lointaine augmentera dans un premier temps, puis reviendra à son niveau normal, quand la "lentille" sera éloignée de la ligne de visée. La durée du phénomène dépend, évidemment, des distances respectives entre observateur, lentille et source, ainsi que de la masse de la lentille; par exemple, si une des naines brunes de la couronne sombre de notre Galaxie passe devant une des étoiles du Grand Nuage de Magellan (galaxie la plus proche, à 150.000 années-lumière), la lumière de l'étoile paraîtra amplifiée pendant quelques jours à quelques semaines.

Mais ces événements sont extrêmement rares: si l'on observe une seule étoile du Grand Nuage de Magellan, il faudra compter environ cent mille ans avant de détecter l'amplification tant attendue ! Pour avoir une chance d'obtenir un événement dans un temps raisonnable, il faut alors observer non pas une, mais plusieurs millions d'étoiles simultanément. Il s'agit d'une opération gigantesque, mais pas impossible, grâce aux moyens dont disposent actuellement les physiciens: les détecteurs CCD (Charged Coupled Devices), beaucoup plus sensibles que les plaques photographiques, donnant

des résultats photométriques extrêmement précis et facilement analysables, et surtout des ordinateurs et logiciels très performants, capables de stocker et d'analyser rapidement des quantités phénoménales de données (une station de travail peut aujourd'hui analyser en une heure les données photométriques de 250.000 étoiles environ).

### EROS et MACHOS

Fortes de ces outils, trois équipes de physiciens se sont mises à la chasse aux naines brunes depuis deux ans environ: l'équipe américano-australienne, qui utilise pour son projet MACHO (Massive Compact Halo Objects) un télescope de 1.3 m de diamètre, installé à l'observatoire de Mount Stromlo en Australie; l'équipe française, avec son projet EROS (Expérience de Recherche des Objets Sombres), qui utilise un télescope Schmidt avec des plaques photo à l'observatoire européen austral du Chili; et une équipe américano-polonaise avec OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment), utilisant des CCD installés sur le télescope de 1 m à Las Campanas au Chili. Les deux premières équipes observent le Grand Nuage de Magellan, tandis que la dernière observe les étoiles dans la direction du centre de notre Galaxie.

Début Octobre 1993 les trois équipes ont presque simultanément annoncé leurs premières détections des événements recherchés: deux par EROS, un par MACHO et un par OGLE. Le "profil" de ces candidats correspond exactement à ce qu'on attendait des naines brunes: durée du

phénomène entre deux semaines et un mois, amplification de la luminosité de l'étoile-source d'un facteur 2.5 à 7, et évolution symétrique par rapport au maximum dans deux longueurs d'onde différentes. Cette dernière caractéristique est très importante, car elle permet de distinguer l'effet d'une lentille gravitationnelle, d'autres phénomènes qui donnent également une amplification: par exemple, lors d'une *éruption stellaire*, la luminosité de l'étoile augmente aussi pendant quelque temps, mais pas de manière identique dans toutes les longueurs d'onde.

Ainsi, à moins de se trouver face à un phénomène totalement nouveau, les physiciens viennent d'avoir les premiers indices, toujours indirects, sur la nature de la matière sombre dans notre Galaxie: cette matière serait de la matière ordinaire, bien qu'"inhabituelle" dans un sens, car on n'a jamais encore directement observé de naines brunes. Leur faible émission infrarouge pourrait éventuellement être détectée par ISO, le prochain satellite infrarouge, dont le lancement est prévu pour 1995. La nature laisserait tomber encore un de ses voiles...

Nicolas Prantzos est l'auteur d'articles pour des magazines scientifiques comme *la Recherche* et a déjà publié notamment, avec Thierry Montmerle, aux Presses du CNRS, *Soleils éclatés* qui raconte le monde passionnant des supernovae (explosion d'étoiles).

### Par ailleurs

*Voie lactée ô sœur lumineuse  
Des blancs ruisseaux de Chanaan  
Et des corps blancs des amoureuses...*

*La chanson du Mal-Aimé, Apollinaire.*



# Du côté du ciel

## JETEZ UN COUP D'OEIL !

*Pour lire ces lignes, vous utilisez votre oeil, muni ou non d'un verre de lunettes. Mais savez-vous que cet organe, avec son jumeau, est aussi le plus simple des instruments astronomiques, accessible à tous, pour observer le ciel nocturne et la splendeur des constellations.*

*Ouvrez grand les yeux...*

### Préparatifs indispensables

Quel émerveillement que ces photographies de galaxies qui parcourent les ouvrages, quelle magie que de pouvoir observer au télescope les objets célestes, mais quel plaisir aussi de savourer à l'oeil nu la voûte céleste qui éclaire nos nuits d'été et d'y reconnaître les constellations, ces assemblages d'étoiles que les astronomes anciens avaient projetés de leur mythologie.

Chacun, depuis son plus jeune âge pour certains, sait reconnaître *la Grande Ourse*, le grand Chariot ou encore sous un autre nom la Grande Casserole. Il s'agit là pour vous du début de ce qui peut devenir une passionnante aventure: la découverte du ciel.

Les constellations, fruit de l'imagination de nos ancêtres, se déplacent au rythme de la rotation et de l'inclinaison de la Terre, ce qui perturbe le néophyte à la recherche de repères. Pour s'y retrouver, il faut donc situer ces constellations de manière relative. Partant de la Grande Ourse, on va imaginer des alignements et reconstituer ainsi de proche en proche le puzzle de la cartographie sidérale, avec l'aide d'un guide du ciel et surtout d'une *carte du ciel*. Il faut par ailleurs tenter de réunir le maximum de conditions favorables à l'observation: choisir un endroit dépourvu de toute pollution lumineuse, une nuit où la Lune se fait discrète, et bien sûr avoir un ciel dégagé. En outre une méthode agréable d'observation, certes un peu contraignante au début, consiste à se munir d'une chaise longue, ce qui vous évitera une gymnastique excessive de la nuque. N'oubliez pas de vous habiller chaudement car les nuits sont souvent très froides. Ainsi paré, installé devant l'écran géant hémisphérique, vous pouvez partir pour le plus abordable et merveilleux voyage à travers l'espace et le temps, à la découverte d'un monde fascinant où les rencontres sont fantastiques.

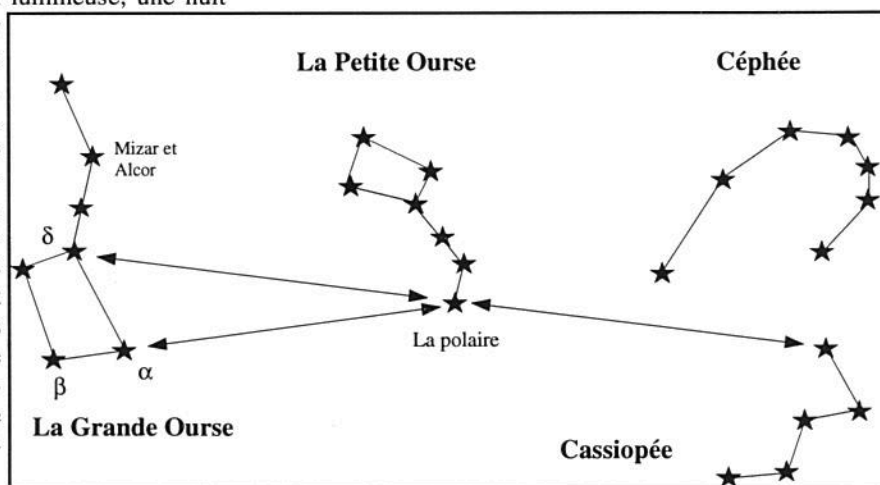
### Les constellations polaires

Au cours de l'année entière, les étoiles proches de l'étoile Polaire sont visibles; pour les autres leur apparition est réglée par le rythme des saisons.

Pour repérer la Polaire (voir le schéma ci-dessous), il suffit de projeter cinq fois la distance entre  $\beta$  et  $\alpha$  de la Grande Ourse, dans la direction indiquée par le segment rejoignant ces deux étoiles et qui correspond au bord extérieur de la "casserole". L'étoile Polaire se trouve à l'extrémité de la *Petite Ourse*, constellation qui apparaît en sens inverse de sa grande soeur.

Une troisième constellation est très facilement identifiable: *Cassiopee* avec sa forme en W. Pour la situer, tracez une ligne imaginaire entre  $\delta$  de la Grande Ourse, étoile à la jonction du manche et du corps, et l'étoile polaire, puis continuez-la d'une même longueur, vous tomberez sur l'étoile terminant le W.

Deux autres constellations sont toujours visibles quoique moins lumineuses, mais toutes aussi magnifiques: *Le Dragon*, sorte de grand cerf-volant dont l'immense queue enroule la Petite Ourse, et *Céphée*, intimement liée à Cassiopee, qui s'observe entre cette dernière et le Dragon.





## Du côté du ciel

### Un outil pratique: la carte du ciel

Au fil de l'année, au rythme des saisons, vous pourrez découvrir telle ou telle constellation. Pour débiter et les repérer, la carte du ciel demeure l'outil indispensable. Celle-ci figure, sous forme de disque, la voûte céleste en projection. Elle est composée de graduations en mois et en jour, et d'une fenêtre délimitant l'horizon et graduée en heure solaire; il suffit de faire correspondre le mois, le jour et l'heure choisis pour qu'apparaisse la zone visible du ciel. Pour consulter la carte, il est nécessaire de se munir d'une lampe de poche recouverte d'un filtre rouge (papier ou vernis) qui atténuera l'intensité lumineuse. L'oeil s'adaptant peu à peu au noir de la nuit, il faut éviter ensuite de perturber cet état par une trop forte lumière.

Grâce à ces outils et en utilisant la technique des alignements, vous parviendrez très vite à cadrer le ciel et reconnaître les constellations. En été, vous pourrez entre autre admirer le remarquable triangle d'étoiles composé de *Deneb*, *Vega* et *Altair* qui appartiennent respectivement aux constellations du *Cygne*, de la *Lyre* et de l'*Aigle*. En hiver, la plus belle constellation de l'hémisphère Nord, facilement identifiable par sa forme en quadrilatère, est celle d'*Orion* avec son baudrier.

La découverte progressive des autres constellations (au total 88) procure un plaisir simple et immédiat, celui de l'apprentissage et de la connaissance d'un monde jusque là inconnu et incompréhensible, le passage du flou à l'ordonné.

### A l'encontre des idées reçues

Ce voyage à travers les constellations permet l'ouverture vers une nouvelle vision du Monde, mais aussi une nouvelle vision des mouvements de la planète bleue et de sa place dans l'Univers.

Si l'on observe régulièrement la sphère céleste dans un endroit familier, on s'aperçoit aisément de sa rotation apparente autour de l'étoile Polaire. Toutefois, ne vous y fiez pas, le ciel ne tourne pas, c'est la Terre qui tourne. En outre les différents aspects du ciel au cours de l'année sont aussi dûs à la rotation de la Terre autour du Soleil. *Tout tourne !*

D'autre part depuis le début, nous avons considéré les étoiles comme disposées sur une sphère imaginaire, le ciel nocturne visible, ayant pour centre la Terre. Or il est bien évident que les étoiles ne sont pas toutes à la même distance de notre planète, la plus proche étant à 4,2 années-lumière, soit  $9,46 \cdot 10^{12}$  kms (9 suivi de 12 zéros !). Différentes techniques, sans cesse perfectionnées, permettent d'évaluer ces distances. Prenons l'exemple de la Grande Ourse constituée de sept étoiles dont la distance à la Terre varie de 75 à 165 années-lumière: cette configuration n'est qu'une projection dans l'espace.

Les étoiles diffèrent également par leur *origine*, leur *dimension*, leur *luminosité*, leur *spectre*. Les astronomes ont créé des catalogues d'étoiles fondés sur ces diverses caractéristiques. L'une d'entre elles nous intéresse particulièrement, la *magnitude apparente* qui correspond à son éclat.

Plus un astre est brillant, plus la valeur de sa magnitude est faible. Cette grandeur évolue, non pas de façon linéaire mais de façon logarithmique comme la sensibilité de l'oeil. C'est pourquoi il existe des étoiles de magnitude négative. A titre d'indication signalons que la plus brillante a une magnitude de -1,7 et la Lune -12,5 (pleine lune). Cependant pour rendre compte de la distance, on a défini la notion de *magnitude absolue*. On obtient alors une valeur corrigée correspondant à la réalité de l'astre. Ainsi une étoile fortement brillante, de petite magnitude apparente, pourra avoir une magnitude absolue supérieure à celle d'une étoile moins brillante, de grande magnitude apparente mais très éloignée.

En outre les étoiles non seulement ne sont pas sur une sphère mais se déplacent au cours du temps. Toutefois ce mouvement est imperceptible à l'échelle de la vie d'un être humain. Par contre à long terme, il peut modifier de façon notable la disposition des étoiles dans le ciel; par exemple dans 100.000 ans, la Grande Ourse s'apparentera, si l'on demeure dans la métaphore culinaire, plus à une poêle qu'à une grande "casserole".

### Autres curiosités du ciel

Un bon oeil a la possibilité de voir plus de 2000 étoiles (celles de magnitude apparente inférieure à 6). Là ne s'arrête pas son pouvoir, il peut aussi discerner d'autres objets célestes comme certains objets de Messier, du nom d'un astronome du 18<sup>ème</sup> siècle. Ce dernier, à la suite d'observations à la lunette astronomique, rédigea un catalogue d'objets nommés par lui "nébuleux", identifiés aujourd'hui comme étant des *galaxies*, des *nébuleuses* et des *amas*. Citons les plus connus observables à l'oeil nu:

- *Andromède* ou M31, magnifique galaxie spirale,
- la grande nébuleuse d'*Orion* ou M42, vaste nuage d'hydrogène ionisé, où naissent chaque jour des milliers d'étoiles,
- l'amas stellaire des *Pléiades* dans la constellation du *Taureau*, spectacle garanti.

A cela s'ajoutent d'autres curiosités, comme les étoiles doubles *Alcor* et *Mizar* de la Grande Ourse, secondes étoiles de la queue; l'étoile à éclat variable *Algol* dans la constellation de *Persée*; puis des phénomènes surprenants de toute beauté, éphémères comme les *étoiles filantes*, qui tracent dans le ciel de somptueuses traînées de lumière. Ces dernières sont dues à l'échauffement et la combustion de poussières lors de la pénétration des *météores* dans les couches de l'atmosphère terrestre.

Citons encore les *satellites artificiels* que vous pouvez voir se déplacer sous la forme d'un point lumineux, et surtout les planètes.

Cette découverte du ciel avec vos orbites n'est qu'une des nombreuses étapes des voyages fascinants dans l'espace. Au fur et à mesure, votre désir de connaissance vous conduira à utiliser du matériel optique de plus en plus puissant, lunettes et télescopes, avec lesquels vous découvrirez les splendeurs du ciel profond inobservables à l'oeil nu.



# Champs magnétiques

## Science et Poésie

avec Jean-Pierre Luminet  
Astrophysicien à l'observatoire de Meudon

**Nébuleuses :** Jean-Pierre Luminet, vous êtes astronome professionnel, connu pour vos ouvrages de vulgarisation, notamment ceux sur les trous noirs; dorénavant vous publiez des recueils de poésie.

Est-ce l'astrophysique, à travers ses questions fondamentales, aujourd'hui encore non résolues (l'origine de l'Univers, son futur...), qui vous a conduit à la poésie, ou est-ce votre âme de poète qui vous a tourné, un jour, vers l'astronomie ?

**J.P. Luminet :** Je suis certes, astrophysicien professionnel depuis maintenant quinze ans, et j'ai eu la chance de pouvoir écrire des textes de vulgarisation scientifique sur des sujets (trous noirs, cosmologie) qui fascinent un public assez large. Mais je précise que mon activité "littéraire" (poésie, essais non scientifiques, romans) remonte à un temps encore plus lointain - même si mes publications "connues" dans le domaine de la poésie datent des cinq dernières années.

En ce sens, il serait inexact de prétendre que mon écriture poétique ait pu être alimentée par mes réflexions scientifiques. A l'inverse, je ne suis pas certain qu'une perception "poétique" du monde puisse nécessairement favoriser, encore moins alimenter, une réflexion scientifique.

En fait, je ne pense pas que l'on ait au départ une "âme de poète/artiste" ou une "âme scientifique". On a simplement une dévorante curiosité pour le monde. Cette curiosité nous pousse à l'explorer à travers différents langages, différents moyens d'expression. Le langage rationnel, logique et falsifiable, sert à la description du monde physique et matériel. D'autres langages plus subjectifs (et, à la limite, non falsifiables car relevant de l'expérience intérieure), servent à l'exploration d'un "autre" monde, non matériel : l'art, la philosophie, la spiritualité par exemple. Il faut savoir que ces langages non rationnels sont tout aussi riches en "découvertes".

**Nébuleuses :** La poésie apparaît absente du monde scientifique. A votre avis, comment peut-on concilier science et poésie, la science exigeant rigueur et mathématique, la poésie réclamant imagination voire rupture totale avec la logique ?

**J.P. Luminet :** Je ne vois pas pourquoi il semble difficile de concilier science et poésie, et plus généralement science et art. Depuis de nombreux siècles les hommes s'interrogent, à juste titre, sur les cousinages de l'art et de la science. La création artistique, comme la découverte

scientifique, implique l'osmose entre un attrait "inné" et un métier acquis, dans la patience d'impitoyables ascèses. L'art se nourrit de rêve et de réalité, de réflexion et d'intuition, d'imagination et de transcendance. Il recherche et découvre. Il s'appuie sur des lois préalables (variables au cours du temps : alexandrin, strophe rimée pour la poésie; harmonie tonale ou dodécaphonique pour la musique; règles de la perspective, composition des couleurs pour la peinture, etc.) qu'il s'évertue à remettre perpétuellement en cause. Critiquant leurs absolus, nuancant leurs rigueurs, l'artiste ne craint pas, si besoin est, d'en transgresser les principes. Bannissant l'imitation, il se condamne à la progression. Franchement, le scientifique authentique procède-t-il autrement ?

Sous toutes leurs formes, à travers leurs évolutions, l'Art et la Science demeurent soumis à une implacable logique imposant la prise de conscience des tensions qui se manifestent entre les ensembles et le détail. Le rêve, la volonté de pénétrer plus avant dans les difficultés de l'inconnu constituent la peine et la monnaie communes de l'artiste et du savant.

**Nébuleuses :** Rassurez-nous, Jean-Pierre Luminet, que vous n'êtes pas, en France à l'heure actuelle, le seul scientifique-poète reconnu ?

**J.P. Luminet :** Il est vrai qu'aujourd'hui peu de scientifiques osent exprimer publiquement d'autres pratiques qu'ils peuvent avoir dans le domaine artistique. L'inhibition y est pour beaucoup : nombreux s'interdisent ce qu'ils croient nécessairement être un douteux "mélange des genres", au sens péjoratif du terme. Or, pour moi, toute découverte part d'une conjonction de hasard et d'intuition, suivie par un travail lucide et difficile de "mise en structure". J'aime la réflexion de Paul Valéry : "Le travail interne du poète consiste moins à chercher des mots pour ses idées qu'à chercher des idées pour ses mots et ses rythmes prédominants..." et je crois qu'elle peut s'appliquer à toute forme de créativité, artistique ou scientifique.

J'espère en tout cas que dans l'esprit du public cesse cette déplorable scission issue du XIX<sup>e</sup> siècle entre, d'une part, les disciplines scientifiques et techniques, qui seraient froides, dépourvues d'émotion et à la limite inhumaines, d'autre part les disciplines littéraires et artistiques, qui seraient chaleureuses et chargées d'émotion. La véritable culture - à l'instar de la culture humaniste de la Renaissance - doit intégrer les deux.





## Champs magnétiques

Voici trois poèmes de Jean-Pierre Luminet :

### Kircheriana

Je ne vois que courants d'éther  
mers en ébullition  
pétillantes sur la face placide des lunes  
poix visqueuses d'or fondu dans les cratères  
flux et reflux de cet or liquide

Rêveur de grottes  
je suis le voyageur d'une barque incombustible  
les globes ont un squelette perforé d'alvéoles  
canaux à circulation active  
destinés à produire les vertus cachées

Monde inconstant  
aux éruptions et vapeurs passagères  
dont les altérations ne font plus scandale  
j'admire tes variations perpétuelles  
Les macules sur ta face radieuse et frénétique.

Inédit, 1993

Nuit allégorique mue par trois hélices de verre  
Voici ce que disent les rivières rieuses :  
Le monde n'est pas créé une fois pour toutes  
La vie aveuglément recouvre l'intelligence  
L'intolérable perte de contact  
Et le jour se règle sur le prisme des larmes  
Celles qui éclatent sont les plus irisées  
Tes yeux de fin d'orage c'est ce croissant pâle  
Qui se nacre et s'ardoise aux sept planètes  
Comme la cristallisation du vent  
Vertigineusement penché  
Ton regard se veloute d'une incandescence propre  
Ton aile triple est frottée du miel floral  
Il y a les crochets des scorpions  
Le fondeur des étangs aux dépouilles chéries  
Les colonnes liquides porteuses de haches

Poisson lumineux  
Une lune à la jonction de tes cuisses  
Est le siège de la toute-beauté.

Noir soleil, 1992



## Champs magnétiques

Le fascinateur vaincu n'est ailé que des oiseaux de mort

Nous nous étions plu  
au jour  
par le caractère exorbitant de toute blancheur  
D'un coup le rideau était tombé sur un gouffre  
rouge et noir parmi des fins de représailles  
Groupées au-dessus de nos têtes  
nombreuses et bien circonscrites  
toutes sortes de déchirements  
au sein des puissances éparses

Trouble qui me vint au fond  
pleinement goûté  
Il semblait même le malheur si grand  
si accaparant  
lueur appelée dans l'esprit des hommes...

Une main de femme j'avais rencontré le désespoir

Et de quels confins chaque fois je me remémore ces portes  
ouvertes sur le besoin étouffant

Le soleil cette instance est toujours  
une adhérence physique et mentale à toute eau même

dans tes yeux aussi  
de tout éclat la brume de nos regards  
a séché sur les hautes falaises...

*Griphe*, 1989. Ces vers sont tirés d'un poème mis en musique par le compositeur T. Brenet dans une oeuvre pour récitant, percussion, et harpe celtique intitulée *Le fascinateur*.

---

Jean-Pierre Luminet a déjà publié:

### POESIE

*Elle*, suivi de *Rythmes*, La Coïncidence, 1980.  
*Griphe*, suivi de *Topiques*, chez Gérard Oberlé, 1989.  
*Noir soleil*, coll. Points Fixes/Poésie au Cherche midi éditeur, 1993

### SCIENCE

*Les Trous noirs*, Belfond/Sciences, 1987.  
ou en poche avec mis à jour au Seuil, Points/Sciences, 1992.

et la participation à des encyclopédies:

*Le Grand Atlas de l'Astronomie*, éd. J. Audouze et G. Israël, Encyclopaedia  
Universalis, 1983, nouvelle édition 1993.  
*Aux confins de l'Univers*, éd. J. Schneider, Fayard/Encyclopédie Diderot, 1987



# Univers mis à nu

## HUBBLE : UN FUTUR PROMETTEUR

**L**e Jeudi 2 Décembre 1993, la navette Endeavour décollait de Cap Canaveral, embarquant à bord six hommes et une femme, pour la réparation qui allait redonner vie à Hubble.

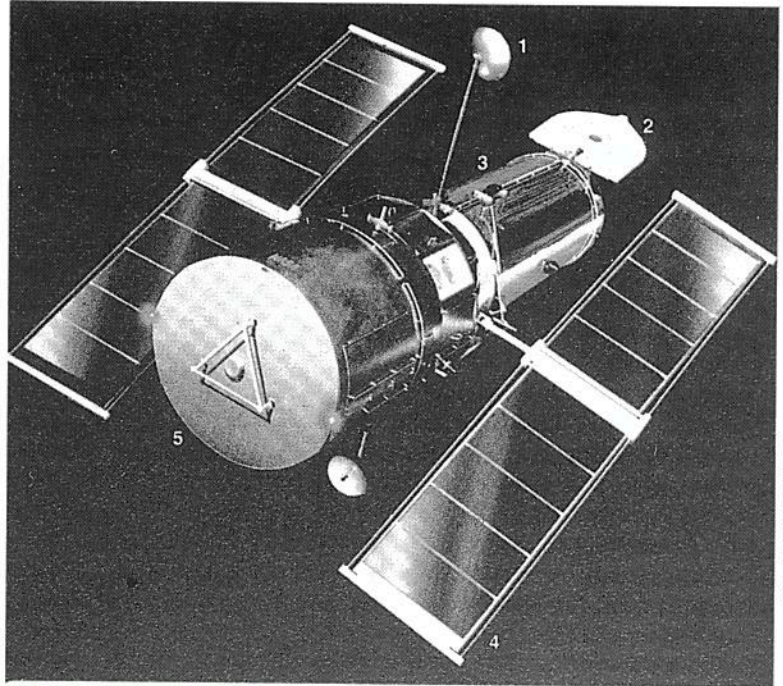
Ce télescope spatial a subi en effet de nombreux dommages depuis sa mise en orbite en 1990. Tout de suite les scientifiques ont mis en évidence une myopie due à une aberration sphérique du miroir principal. Les ennuis s'accumulèrent: les composants électroniques tombèrent en panne les uns après les autres, les panneaux solaires étaient soumis à des vibrations et à des contractions lors des changements de température, donnant des tremblements à Hubble. Tous ces incidents empêchaient d'obtenir des images nettes.

Toutefois depuis 3 ans, les astronomes ont programmé des systèmes de traitement d'images très performants afin de corriger ces défauts. Ils ont réussi, par exemple, à produire des images détaillées de planètes, à séparer pour la première fois le couple Pluton et Charon et à déceler la présence potentielle de trous noirs au centre de galaxies. Mais la sensibilité et la résolution restaient faibles pour ces clichés, la magnitude se limitait à 25.

C'est pourquoi une mission de réparation a été envisagée. Elle vient d'avoir lieu et a permis le remplacement des panneaux solaires et des gyroscopes afin d'assurer une stabilité et une précision lors du pointage des astres, l'installation du COSTAR (Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement) qui est, comme son nom l'indique, un système de correction du miroir, et la mise en place d'une nouvelle caméra à grand champ. Cette mission est un succès total, et c'est heureux disent les administrateurs de la NASA. En effet, depuis notamment l'explosion tragique de la navette Challenger en 1986 et avec les malheurs qui suivirent (la sonde Mars Observer qui ne répondit plus étant le dernier en date), la NASA voyait son existence même mise en cause.

Ouf ! soupirent aussi les astronomes qui nombreux attendent les premières images de Hubble restauré (pas avant Février-Mars de cette année). Si tout va bien, celles-ci seront exceptionnelles permettant une observation de qualité du ciel profond avec en plus une magnitude qui atteindra 28. De nouveaux bouleversements dans l'histoire de l'Univers sont attendus.

Cependant, forts de ces expériences, les scientifiques pensent qu'il faut cesser de développer des instruments multifonctions comme Hubble. Si les télescopes terrestres actuels (certains de 10 m de diamètre !) sont de la même trempe que Hubble, ce dernier sera totalement dépassé par



par courtoisie IAP/CNRS-NASA

*Le télescope spatial Hubble est un monstre avec ses 11 tonnes et ses 14 mètres de longueur.*

les télescopes terrestres d'un futur proche. Les chercheurs se tournent plutôt vers des projets de télescopes spatiaux limités à un domaine de longueur d'onde, tel ISO dans l'infrarouge. Sans parler des projets futuristes comme une station d'observation sur la Lune.

### Nébuleuses ?

La photo de couverture représente une nébuleuse diffuse, la *Tarentule*, dans le Grand Nuage de Magellan.

Une nébuleuse est une formation de gaz (avec plus ou moins de poussières) au milieu des étoiles dans une galaxie. On distingue plusieurs types:

- *Nébuleuse à émission*: le gaz est ionisé par la chaleur des étoiles voisines. Aspect brillant.

- *Nébuleuse à réflexion*: la lumière émise par les étoiles se réfléchit sur les poussières qui sont majoritaires. Aspect brillant.

- *Nébuleuse diffuse*: sa forme est irrégulière. Souvent c'est un mélange des deux types précités avec aussi parfois de l'hydrogène ionisé une fois (atome d'hydrogène ayant perdu un électron).

- *Nébuleuse planétaire*: enveloppe gazeuse entourant une étoile très chaude; son apparence ressemble à un disque, semblable à une planète en projection, d'où son nom.

- *Nébuleuse sombre*: elle a l'aspect d'une région noire dans le ciel, on la devine par son contour.



# Ecliptique

## VOYAGES INTERSTELLAIRES

*Ces pages vous proposent un plongeon dans l'une des plus passionnantes théories de la physique, la relativité restreinte d'Albert Einstein. Les grands principes sont expliqués, illustrés par de nombreux exemples. En effet c'est surtout la mise en pratique de cette théorie qui se révèle extraordinaire. A lire, accroché sur son fauteuil.*

### Invitation au voyage

Ce premier volet concerne les voyages dans l'espace vus sous l'angle de la physique moderne. La possibilité de voyager et surtout de voyager rapidement vers une autre étoile voire une autre galaxie est intimement liée à la *théorie de la relativité restreinte*. Celle-ci fut proposée par Einstein (1879-1955) en 1905 et traite des corps dont la vitesse approche celle infranchissable de la lumière. Cette première théorie ne doit cependant pas être confondue avec la théorie de la relativité générale, dont Einstein est aussi le maître d'oeuvre, mais qui n'apparut qu'en 1915 et concerne les situations où la force de gravitation joue un rôle majeur. Les prédictions de la théorie de la relativité restreinte sont méconnues du grand public, et pourtant elles rejoignent allègrement la science fiction la plus débridée... Il importe aussi de confronter la théorie à la réalité pratique.

Le lecteur pensera peut-être que le paragraphe qui suit est déconnecté du sujet principal concernant les voyages interstellaires, or il n'en est rien. Car notre ambition n'est pas de se borner à décrire les voyages dans l'espace selon la relativité, mais bien de donner au lecteur une idée aussi précise que possible des idées fondamentales de cette théorie, en insistant sur les aspects en contradiction avec le sens commun. Cela ne va pas sans passer par la présentation de certaines notions préliminaires donnant toute l'apparence d'un pur exercice intellectuel. Ces notions nous préparent à adopter

une manière de raisonner appropriée. Même si ce discours se veut aussi concret et intuitif que possible, et destiné à tous, il réclame un peu d'attention de la part du lecteur néophyte.

### Au coeur des référentiels

Que sait le grand public de la théorie d'Einstein ? Sans doute que la vitesse de la lumière est une constante, que celle-ci est très grande (300.000 kilomètres par seconde) et constitue une vitesse limite impossible à dépasser. Indiquons que c'est le déplacement de la lumière allant d'un objet vers notre oeil qui nous permet de voir cet objet. A chaque couleur observée correspond une *fréquence* de ce rayonnement lumineux. Mais il existe bien d'autres fréquences auxquelles notre oeil n'est pas sensible. Par exemple, les ondes utilisées pour transmettre les émissions de radio ou de télévision, qui sont de même nature que la lumière et se déplacent aussi à 300.000 km/s. Voici comment les physiciens énoncent les deux hypothèses fondamentales de la théorie de la relativité.

- Première hypothèse : *il existe des référentiels, appelés référentiels galiléens (ou référentiels d'inertie) tels que, par rapport à ces référentiels, tout corps qui n'est soumis à aucune force extérieure est soit à l'arrêt, soit animé d'un mouvement en ligne droite à vitesse constante (dit rectiligne uniforme). Tous ces référentiels sont équivalents pour décrire les lois fondamentales de la nature.*

Nous appelons référentiel une structure matérielle rigide qui permet

à un observateur *lié* à cette structure de juger des positions où ont lieu les événements qu'il observe. Ce sera par exemple l'intérieur de son compartiment pour un voyageur assis dans un train, et la campagne environnante où serpente la voie ferrée pour un autre observateur assis dans l'herbe, qui regarde le train passer. Ajoutons que dans chaque aventure que le physicien fait vivre à son observateur (personnage dont la naïveté est une qualité qui le fait tout rapporter à lui-même), afin d'examiner les conséquences des hypothèses théoriques, celui-ci dispose toujours d'une horloge ou d'une collection d'horloges lui permettant de dater ses observations. Les exemples qui suivent indiqueront au lecteur quel référentiel est galiléen, quel autre ne l'est pas.

Le compartiment du train entraîné à vitesse constante sur des voies rectilignes est un référentiel galiléen. Le même compartiment dans un train qui accélère, freine ou tourne, n'est pas un référentiel galiléen: l'observateur assis, face tournée vers l'avant, s'étonne de ces forces étranges qui le collent à son siège lors de l'accélération, le décollent de son siège et le projettent en avant au freinage, le poussent côté fenêtre ou couloir dans les virages. Ces forces, appelées *forces d'inertie*, ont quelque chose d'artificiel, elles ne se manifestent que dans ces référentiels non galiléens que les physiciens ne considèrent pas comme de bons systèmes de références pour la description des lois de la nature. Cette première hypothèse de la théorie de la relativité remonte en fait à Newton (1687), elle a été reprise et étoffée par



## Ecliptique

Einstein. En vérité, les référentiels d'inertie dans lesquels nous pouvons imaginer de nous placer ne le sont jamais exactement. Il ne viendrait pas à l'idée d'un scientifique qui cherche à faire une expérience très précise de la réaliser dans un train, s'il est possible de la réaliser sur la terre ferme. Et notre observateur assis dans l'herbe ne se trouve-t-il pas dans un référentiel entraîné par la rotation de notre planète sur elle-même autour de son axe ? Même s'il se place juste au pôle, où la force d'inertie due à cette rotation disparaît, cela ne serait pas suffi-

riures. Pourtant elle semblera peut-être anodine au lecteur. C'est pourquoi nous allons nous efforcer d'en mettre à jour les aspects extraordinaires.

Une importante notion pour aborder les idées de la relativité, mais qui ne lui est pourtant pas réservée, est le caractère relatif de la description d'un événement. Quoique l'observateur n'en soit pas toujours conscient, la description d'un événement sous-entend toujours un référentiel. Reprenons l'exemple de notre voyageur assis dans un train, face tournée vers

qui fuyait elle-même devant lui à la vitesse de 20 m/s. Le bouchon s'est déplacé de 25 mètres durant 1 seconde avant de heurter la cloison". A part sur la durée du trajet, les deux observateurs ne peuvent pas se mettre d'accord sur ce qui s'est vraiment déroulé. Le bouchon a-t-il parcouru 5 ou 25 mètres ? Sa vitesse était-elle de 5 m/s ou 25 m/s ? On voit bien que ces questions ainsi posées n'ont pas de sens. Bien sûr cet exemple est très simple et par l'esprit embrassant simultanément les points de vue des deux observateurs, rien d'étrange ne subsiste. Il suffit de correctement ajouter ou soustraire la vitesse du train qui est la vitesse relative des deux référentiels. Les physiciens appellent cela *loi de composition des vitesses*. Cependant nous mettons en garde le lecteur contre cette attitude intellectuelle visant à imaginer simultanément les points de vue de deux observateurs liés à des référentiels en mouvement l'un par rapport à l'autre. Car lorsque la vitesse relative de ceux-ci approche celle de la lumière (on parle de vitesse relativiste), elle conduit à la formation de *paradoxes* de nature artificielle.

Reprenons à présent notre histoire de pistolet à bouchon en le remplaçant par un pistolet à rayon laser. Au lieu d'envoyer des bouchons, le pistolet envoie des *photons* (c'est ainsi que l'on appelle les particules composant la lumière). Le voyageur dans le train observe: "Mon photon se déplace à la vitesse  $c$ ". Et comparant cette expérience à celle du bouchon, on s'attend à entendre l'autre assis dans l'herbe: "Le photon se déplace à la vitesse  $c$  plus celle du train, supérieure donc à  $c$ ". Mais celui-ci déclare que pour lui aussi la vitesse du photon est  $c$ , et tous les observateurs imaginables se trouvant dans un référentiel galiléen déclarent la même chose. C'est là le caractère extraordinaire de la deuxième hypothèse d'Einstein. Et toutes les expériences faites jusqu'à aujourd'hui en physique lui donnent raison. La vitesse d'un photon ne dépend pas du référentiel d'inertie dans lequel elle est mesurée. Si vous poursuivez un photon avec une vitesse très proche de la sienne, mettons 299.000 km/s, ce photon s'éloignera quand même de vous à 300.000 km/s ! Impossible aussi de continuer à considérer que la

Par courtoisie IAP/CNRS-ESO



*Les Terriens pourront-ils un jour, à l'aide d'engins spatiaux suffisamment rapides, visiter cette magnifique galaxie spirale située dans la Grande Ourse ?*

sant, car la Terre tourne aussi autour du Soleil, le système solaire autour du centre de la galaxie... Cependant, ces diverses rotations sont responsables de forces d'inertie très petites qui ne jouent aucun rôle dans le déroulement des événements que nos observateurs veulent suivre.

### Le ballet des vitesses

- Deuxième hypothèse : *La vitesse de propagation de la lumière dans le vide est une constante universelle qui vaut la même valeur (300 000 km/s représentée par la lettre  $c$ ) par rapport à tout référentiel galiléen.*

Cette deuxième hypothèse fut introduite par Einstein en 1905, elle rompt totalement avec les conceptions anté-

l'avant, et donnons lui l'occasion de s'occuper. Le train avance à la vitesse de 20 m/s (72 km/h). Le voyageur sort un pistolet à bouchons de sa poche, il vise la cloison opposée et tire. Il raconte: "Mon bouchon est sorti du canon avec une vitesse de 5 m/s, a suivi la direction horizontale jusqu'à la cloison opposée du compartiment distante de 5 mètres en gardant toujours cette même vitesse. Le trajet a duré 1 seconde avant que la cloison ne soit atteinte". Demandons l'avis de l'observateur assis dans l'herbe, qui a pu suivre la même scène à travers la fenêtre du compartiment: "Lorsque le bouchon est apparu, il avait une vitesse de 25 m/s (20 m/s + 5 m/s). En gardant cette vitesse, il a poursuivi la cloison du train





lumière est une onde qui se déplace dans un milieu (ce milieu insaisissable fut appelé *éther*), comme c'est le cas d'une vague à la surface de l'eau, ou du son dans l'air.

Nous sommes confrontés à des phénomènes qui défient le sens commun. Faut-il pour cela les rejeter ? Notre sens commun a été modelé par des millions d'années d'expérience de la vie. Et les objets qui nous entourent ne sont pas relativistes, loin s'en faut. Seules les particules élémentaires sont animées de telles vitesses et il n'y a pas longtemps que la science met à notre disposition les moyens de les observer.

Des choses bien plus étranges encore attendent le lecteur, où une pendule retarde par rapport à une autre identique, où la longueur d'un objet rigide se prend à rétrécir, où les étoiles très lointaines sont mises à portée de l'être humain.

### Etranges contraction et dilatation

L'introduction de l'hypothèse de constance de la vitesse de la lumière dans le cheminement logique que met à notre disposition le langage mathématique conduit à réviser la loi intuitive de composition des vitesses consistant simplement à retrancher ou ajouter la vitesse relative de deux référentiels d'inertie. La nouvelle loi, déduite des hypothèses de la relativité restreinte, appelée *transformation de Lorentz*, est beaucoup plus compliquée. Elle prévoit que l'espace et le temps ne sont pas identiques pour deux observateurs se déplaçant l'un par rapport à l'autre à une vitesse  $v$  proche de  $c$ . De plus, ces effets relativistes s'accroissent d'autant plus que  $v$  s'approche de la limite  $c$ . Leur importance est mesurée par le nombre  $\gamma$  (lettre grecque *gamma*) donné par la formule  $\gamma = 1/(1-v^2/c^2)^{1/2}$ . Lorsque la vitesse  $v$  prend seulement des valeurs dont l'ordre de grandeur est celui des vitesses des véhicules que nous possédons de nos jours, le nombre  $\gamma$  vaut pratiquement 1 et les distorsions prévues par la relativité sont totalement insensibles. Mais pour des fusées futuristes atteignant par exemple 87% ( $v/c=0,87$ ) ou 99,5% ( $v/c=0,995$ ) ou 99,995% ( $v/c=0,99995$ ) de la vitesse de la lumière, le nombre  $\gamma$  vaudrait

alors respectivement 2 ou 10 ou 100. Rien ne limite en principe sa croissance. Dans le langage mathématique, on dit que lorsque  $v$  tend vers  $c$ ,  $\gamma$  tend vers l'infini.

Le phénomène relativiste affectant l'espace est appelé *contraction des longueurs*. Qu'est-ce donc ? L'aventure suivante va nous l'indiquer. Prenons deux référentiels galiléens en mouvement relativiste l'un par rapport à l'autre. Nous choisissons la planète Terre comme premier référentiel, sollicitant à nouveau le concours de notre observateur assis dans l'herbe. Quant à notre voyageur du train, il a embarqué dans une fusée à destination de l'étoile Proxima du Centaure distante de 4,2 années-lumière (l'année-lumière est une unité de distance représentant la distance parcourue par la lumière en une année, symbolisée par a.l.). Après un cours intermédiaire d'accélération, la fusée atteint sa vitesse de croisière  $v = 0,99995 c$  ( $\gamma = 100$ ). Prenons cette fusée dans l'espace comme deuxième référentiel galiléen. Loin de tout, les moteurs coupés, elle poursuit son chemin en conservant imperturbablement sa vitesse  $v$ . Plaçons nous du point de vue du voyageur. Celui-ci observe avec surprise que la distance Terre-Proxima qui avant son départ était de 4,2 a.l. se trouve maintenant réduite à 0,042 a.l., soit divisée par 100. La région d'espace comprise entre la Terre et Proxima se trouve donc *contractée* pour cet observateur qui se déplace par rapport à elle à la vitesse  $v$ . Il lui faudra donc 100 fois moins de temps pour arriver à destination, soit 15 jours au lieu de 4,2 années. Mais notre observateur sur Terre est lui resté immobile par rapport à cette région de l'espace et n'a donc pas remarqué cette contraction. Pour lui la fusée mettra 4,2 années pour atteindre Proxima. En fait, le temps s'écoule plus lentement dans la fusée que sur Terre, 100 fois plus lentement. Ce phénomène relativiste affectant le temps est appelé *dilatation du temps*, car la durée vécue par le voyageur entre deux événements se déroulant dans sa fusée se trouve *dilatée* pour l'observateur resté sur Terre. Celui-ci, *regardant* (ce sont les photons allant de la fusée à la Terre qui l'informent avec un retard allant

croissant) vu de la Terre ce qui se passe dans la fusée, voit comme un film passé au ralenti. Le stupéfiant phénomène qu'est la contraction des longueurs semble mettre tout l'Univers à la portée de l'Homme. Ne suffit-il pas d'accélérer sa fusée jusqu'à une vitesse donnant un  $\gamma$  assez grand ? Partant sur la base d'un voyage d'un an, la plus lointaine étoile de notre galaxie sera atteinte avec  $\gamma = 100.000$ , la galaxie d'Andromède avec  $\gamma = 2$  millions et les confins de l'Univers visible avec  $\gamma = 15$  milliards. Même chose pour le retour. Mais à cause de la dilatation du temps, il se sera écoulé sur Terre deux ans multipliés par  $\gamma$ , c'est à dire des milliers, des millions, des milliards d'années. N'est-ce pas une contrepartie qui dissuadera quiconque d'aller faire une visite plus loin que quelques années-lumière, s'il doit trouver au retour ses amis morts depuis des siècles, l'espèce humaine éteinte depuis des milliers d'années ? Pour qui est curieux de connaître le futur de l'humanité et ne se sent pas attaché à ses contemporains, la théorie de la relativité fournit une formidable occasion de voyager dans le temps, mais dans le futur exclusivement.

### Rêves et désespoirs

Mais la théorie de la relativité restreinte demeure une théorie. Même si toutes les expériences faites jusqu'à maintenant semblent confirmer ses prédictions, la plupart de ces expériences ne concernent que le domaine sub-microscopique des particules élémentaires. Personne ne sait donner une vitesse relativiste à un objet de dimension humaine, et en l'état des connaissances de la science moderne, le calcul des quantités d'énergie titanesques nécessaires pour faire approcher à une fusée la vitesse de la lumière, semble interdire à jamais les voyages rapides dans notre Univers. Tant pis. L'être humain n'est pas pour autant vissé sur Terre. A moins que la science ne rejoigne la science-fiction en inventant l'hyperespace, il devra se contenter de voyages lents, à quelques pour cent de la vitesse de la lumière (sans effets relativistes). La plus proche étoile sera alors à un siècle de distance.

(Suite au prochain numéro)





# Plumes célestes

La rédaction vous propose ce trimestre une sélection des meilleurs livres d'astronomie pratique (oeil, lunette, télescope) ou théorique (explication des phénomènes de l'Univers), pour les débutants de tout âge. Livres à se procurer dans les bonnes librairies et les grandes surfaces (Fnac, Virgin...).

↑ *La Météo*, Eleanor Lawrence et Borin van Loon, adaptation française de Martine Richebé, coll. Nature-Poche, éd. Gründ, 125 pages, prix A.

Ce petit livre est un précieux guide pour tous ceux qui souhaitent comprendre les prévisions météorologiques de Météo-France transmises par les divers présentateurs (télé, radio, journal).

Les auteurs nous font pénétrer pas à pas, de manière simple, dans ce monde compliqué. Sont passés en revue les mots-clés de la météorologie: l'atmosphère, les nuages, les vents, les précipitations, les climats...

Le langage employé est clair et précis, adapté à tous. En outre les illustrations, en couleurs, décrivent avec justesse le phénomène ou l'objet considéré (quelle merveille ces nuages !). A cela s'ajoute une mise en page très agréable.

Après avoir assimilé les notions essentielles, le chapitre *Observations et prévisions* fera peut-être de vous un futur prévisionniste du temps. Alors n'hésitez pas, lancez-vous dans l'aventure passionnante de la Météo.

\*

↪ *La vie extraterrestre*, Jean-Claude Ribes et Guy Monnet, coll. Essentiels, éd. Larousse, 191 pages, prix B.

Quel sujet, les extraterrestres ! Les auteurs, tous deux chercheurs réputés, prennent la chose très au sérieux.

Ils dépouillent un par un les facteurs nécessaires à l'apparition d'une vie intelligente extraterrestre (nombre de planètes, parmi elles celles propices à la vie...). Au final, l'idée que la vie puisse exister ailleurs ne nous apparaît plus aussi saugrenue que cela.

La colonisation de l'espace est ensuite abordée. Nous commençons par la banlieue de la Terre, c'est à dire la Lune, la ceinture d'astéroïdes, en bref notre système solaire, pour terminer par l'exploration d'autres systèmes planétaires (permise grâce au progrès technique) jusqu'à la découverte d'une planète, Néol, semblable à la nôtre, belle et accueillante, en 4490 de notre ère...

Les OVNIS, sujet soumis à polémique, sont évoqués ici de manière scientifique et rigoureuse. Enfin la recherche des extraterrestres est illustrée par la détection de signaux: c'est le projet SETI à l'aide du radiotélescope d'Arecibo (Porto Rico). Malheureusement, la NASA a suspendu ce projet pour l'année 1994, faute de budget.

Toutefois grâce à ce livre et à d'autres, la bioastronomie (étude de la vie extraterrestre), contestée fortement aujourd'hui, n'est pas morte. C'est une science naissante.

↪ *Histoires de Lune*, Alexandre Cailler, éd. Hermé, 189 pages, prix A.

Avant tout, l'auteur rappelle brièvement les principales données physiques de notre satellite: son histoire, ses mers, ses cratères, l'attraction Terre-Lune.

Une partie très intéressante est celle consacrée à la Lune et ses mythes à travers les âges et les civilisations de l'Antiquité à nos jours. La magie occupe une grande place avec le diable, la sorcellerie, l'occultisme...

Les dernières lignes sont dédiées aux effets de la Lune sur l'être humain, mais aussi sur les animaux et les végétaux. Nous assistons à une approche subtile de la controversée astrologie.

Par son texte facile et original, ce livre ne déçoit pas.

## Appréciations

- ↪ A feuilleter.
- ↪ Vaut le détour.
- ↑ Foncez !

## Prix

- A : inférieur à 50 F
- B : de 50 à 100 F
- C : de 100 à 200 F
- D : de 200 à 300 F
- E : + de 300 F



## Plumes célestes

↑ *Le destin de l'Univers*, Trinh Xuan Thuan, coll. Découverte, éd. Gallimard, 160 pages, prix B.

Trinh Xuan Thuan, astronome professionnel, raconte de manière simple une histoire qui ne l'est pas, celle de l'Univers. Tout commence à l'époque de l'Antiquité avec les Egyptiens, les Chinois, les Grecs entre autres. C'est assez amusant de découvrir les visions différentes du ciel et des corps qui le peuplent comme les planètes. Arrive Copernic, la Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil. Galilée, avec sa célèbre lunette, confirme et propage cette idée qui va bouleverser le monde, non sans difficultés. L'astronomie moderne est née. Une nouvelle aventure commence.

Par ses illustrations, ce petit livre au format de poche est très attrayant. Les photographies et les dessins (galaxies, planètes...) furent à chaque page, les couleurs sont magnifiques; cette beauté est accentuée par un papier glacé des plus agréables. Dans le même esprit d'apprendre la science en s'amusant, vous trouverez un calendrier cosmique schématique depuis le Big Bang jusqu'à nos jours, et une représentation du message, à destination d'éventuels extraterrestres, embarqué à bord des sondes Pioneer 10 et 11 qui parcourent l'espace à l'heure actuelle.

Voilà un petit bijou de vulgarisation à mettre entre toutes les mains.

\*

↑ *Astronomie, guide de l'amateur*, Antonin Rükl, éd. Gründ, 192 pages, prix A.

L'éditeur Gründ met l'astronomie à la portée de toutes les bourses. En effet ce livre, grand format, coûte 50F ! C'est un exploit de la part de l'éditeur, il fal-

lait le souligner.

Ces pages s'adressent en priorité au néophyte. Tout d'abord sont décrits les objets qui forment le système solaire: la Lune, le Soleil, les planètes et leurs satellites, les comètes et les astéroïdes. Ensuite vous partez pour un lointain voyage, hors du système solaire, avec l'exploration du ciel profond: c'est le monde des nébuleuses majestueuses et des galaxies splendides.

Par ailleurs, l'auteur aborde de manière pédagogique les grandes lois qui régissent l'Univers, et des sujets pointus comme l'expansion de l'Univers, le diagramme température-luminosité qui classe les étoiles, leurs couleurs...

Huit cartes du ciel terminent le bouquin afin de vous aider à reconnaître les étoiles grâce aux principales constellations.

Cet ouvrage peut se vanter d'une présentation efficace: d'un côté le texte scientifique concis et accessible au plus grand nombre, de l'autre les illustrations en couleurs (photos et dessins).

En bref, ce livre est à conseiller à tous ceux qui ne connaissent pas encore les merveilles de l'Univers. Et pour son prix modique, pourquoi s'en priver ?

\*

↪ *100 étoiles et constellations faciles à voir*, Bernard Loye, coll. Guide Nature, éd. Nathan, 175 pages, prix B.

Vous pourrez emporter ce guide très facile d'emploi, dans votre poche, lors d'une soirée d'observation en famille.

Les constellations formées par les étoiles (jaunes sur fond bleu, ce qui permet de lire les cartes au clair de Lune) font l'objet d'une explication détaillée pour chacune.

Pour débutant ignorant tout des constellations.

↑ *Observer le ciel à l'oeil nu et aux jumelles*, Pierre Bourge et Jean Lacroux, coll. Multiguide Astronomie, éd. Bordas, 159 pages, prix B.

Ce guide est un peu la suite du précédent. Outre l'oeil nu, les jumelles sont utilisées. Cet instrument d'optique d'un prix abordable, que déjà beaucoup de gens possèdent, permet d'aller plus loin dans le monde des étoiles, des objets du ciel profond (quelques nébuleuses, amas et galaxies) et surtout des planètes et de la Lune, ses mers et cratères, quel spectacle !

Le tout est illustré par de nombreux schémas qui aident à la compréhension du texte explicatif. Idée originale, les auteurs, très connus chez les astronomes amateurs, nous orientent dans le choix des cartes du ciel et des jumelles. Ce qui est le bienvenu, car, devant la vitrine du magasin, il est souvent dur de s'y retrouver.

\*

↪ *Etoiles et planètes*, Grünter D. Roth, mis à jour par Serge Brunier, coll. Multiguide Astronomie, éd. Bordas, 232 pages, prix C.

Voici le complément théorique des deux livres précédents. L'auteur reprend les indispensables constellations, mais ce n'est pas là l'essentiel.

Il ne s'arrête pas à l'oeil nu, ni aux jumelles, mais vous fait pénétrer dans le monde magique des lunettes et des télescopes pour les particuliers et les professionnels. Avec ces derniers instruments, hautement sophistiqués, sont possibles les photographies des corps célestes invisibles sinon. Beaucoup sont dans ces pages et cotoient des descriptions et des explications très complètes.

Un livre pour franchir une nouvelle étape.





# Azimut

Voici une liste de références parmi les articles les plus intéressants d'astronomie (ou d'autres sciences) parus ces derniers mois dans les magazines spécialisés. Pour vous procurer ces magazines, vous pouvez soit les acheter ou les commander chez votre marchand de journaux, soit les lire ou les emprunter à la bibliothèque de votre quartier.

## Science et vie

\* Octobre 1993 : *Les novae et supernovae*, le journal de l'astronome, Yves Delaye. Que d'explosions d'étoiles dans cet article !

\* Novembre 1993 : *Une éclipse de lune*, le journal de l'astronome, Yves Delaye.

*On a trouvé des planètes par milliers*, Jean-François Robredo.

\* Décembre 1993 : *Télescope Hubble, les dépanneurs de l'espace*, Philippe Hénarejos. L'un des nombreux articles sur la réparation du télescope spatial Hubble.

## Sciences et Avenir

\* Octobre 1993 : *Mars ne répond plus*, Albert Ducrocq. Les malheurs et les déboires de la sonde Mars Observer par le joyeux journaliste d'Europe 1.

## La Recherche

\* Septembre 1993 : *L'aventure du télescope spatial*, Pierre-Yves Bély et Duccio Macchetto. De la conception à la myopie du télescope Hubble.

\* Octobre 1993 : *Disques protoplanétaires, et de deux ?*, Roger Ferlet, Alfred Vidal-Madjar et leur équipe. Peut-être d'autres candidats découverts

pour des planètes en formation en dehors du système solaire.

\* Décembre 1993 : *La Voie Lactée, cette inconnue*, Fabienne Casoli et Maryvonne Gerin. A l'heure où l'on ne parle plus que du Big-Bang et de la cosmologie, il est bon de rappeler que notre propre galaxie demeure encore mystérieuse par de nombreux aspects. Passionnant.

## Ciel et Espace

\* Octobre 1993 : *L'exploration martienne est-elle compromise ?*, J.P. Defait et A. Cirou. Une remise en cause de l'un des grands rêves de l'humanité.

*Descente dans l'enfer de Vénus*, Serge Brunier. De superbes photographies grand format de la planète de l'amour.

\* Novembre 1993 : *La vraie couleur des étoiles*, Serge Brunier. Découvrez les merveilleuses beautés que sont les nébuleuses.

*Univers invisible, sur la piste des étoiles noires*, J.P. Defait. Un article d'introduction sur ce sujet qui rejoint celui de N. Prantzos (*Nébuleuses* No 1, p. 4).

\* Décembre 1993 : *Hubble, la renaissance*, Frédéric Guérin. La réparation du télescope spatial au jour le jour, et surtout le futur de Hubble qui est à la fois prometteur et plein d'incertitudes.

*Nébuleuses* est une revue de l'association *le Pulsar du Voile*. Vous pouvez devenir l'un de ses adhérents en remplissant ou recopiant le bulletin ci-dessous à retourner au Pulsar du Voile 18 rue Paul Bert 75011 Paris, avec votre chèque à l'ordre du Pulsar du Voile. Il est à noter que si vous êtes adhérent de l'association vous paierez 40F l'abonnement à la revue *Nébuleuses* pour un an (4 numéros), si vous ne l'êtes pas, vous pouvez malgré tout vous abonner au prix de 80F.

**Adhésion :** membre ordinaire..... 100 F   
                  actif..... 150 F   
                  bienfaiteur..... 250 F

**Abonnement :** adhérent..... 40 F   
                  non adhérent..... 80 F





# SOMMAIRE

<i>Avant-propos</i> : hommage à l'un des derniers magiciens ..... 2	<i>Univers mis à nu</i> : Hubble retrouve ses sens ..... 13
<i>Impulsion</i> : une nouvelle revue est née, par Pascal Honvault ..... 3	<i>Ecliptique</i> : préparatifs à de lointains voyages, par Michel Ramillon ..... 14
<i>La matière noire</i> : les compagnons de l'invisible, par Nicolas Prantzios ..... 4	<i>Plumes célestes</i> : un choix varié de livres, spécial débutant, par J.M. Boniface ..... 17
<i>Du côté du ciel</i> : Découvrir les étoiles avec votre oeil, par Ludovic Loreau .. 8	<i>Azimut</i> : un panorama des meilleurs articles d'astronomie parus dans les magazines, par Achour Hichem ..... 19
<i>Champs magnétiques</i> : un être rare, J.P. Luminet, astrophysicien-poète ..... 10	

## Appel à tous !

★ *Nébuleuses* est une revue de l'association le *Pulsar du Voile*. Même si vous n'êtes pas astronome ou rédacteur d'une rubrique, vous pouvez malgré tout être publié(e) dans la revue. En devenant adhérent(e) de l'association, vous avez la possibilité d'envoyer vos écrits (scientifiques, de réflexion, prose ou poésie...) sur tout sujet en rapport avec l'astronomie ou la nature vue de manière globale (ozone, pollution, volcanisme, séisme...). Ceux-ci seront soumis au comité de lecture qui décidera, ou non, de leur publication.

★ Avis aux clubs d'astronomie: nous encourageons vivement les dirigeants de ces clubs à faire connaître par tous les moyens la revue *Nébuleuses* à leurs membres.

★ Un appel est lancé aussi à tous les observatoires, les planétariums, les bibliothèques et les universités: dans tous ces lieux transitent des personnes susceptibles de s'intéresser à cette revue, alors parlez-en autour de vous.

Surtout n'hésitez pas à nous écrire, nous sommes à votre entière disposition.  
*Pulsar du Voile* 18 rue Paul Bert 75011 Paris.

PRIX EDITEUR  
01 4 2000  
prix fnac  
529. 19.00