

20 F

4^{ème} trimestre 1994
Octobre-Novembre-Décembre

No 4

NEBULEUSES



Hubert Reeves

“Les forces de l’Univers”

Jean-Maurice Robillot et l’astropoésie

Sommaire complet en dernière page

Avant - Propos

A toutes les étoiles qui, sans cesse, illuminent nos vies.

Ecoutez !
Puisqu'on allume
les étoiles,
c'est qu'elles sont à quelqu'un nécessaire ?
C'est qu'il est indispensable,
que tous les soirs
au-dessus des toits
se mette à luire seule au moins une étoile ?

Vladimir Maiakowski (1893-1930)
traduit du Russe, par Elsa Triolet

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
Rédacteur en chef adjoint: Jean-Marc BONIFACE
Chef de rubriques: Michel RAMILLON
Illustrateur: Ali DJEBRI
Assistante: Béatrice BUSSERY
Chargés de rubrique: J.M. Boniface, A. Hichem, P. Honvault,
L. Loreau, M. Ramillon.
Ont collaboré à ce numéro: Jacques JAMIN, Hubert REEVES
et Jean-Maurice ROBILLOT.

Abonnement et adhésion: voir page 18
Dépôt légal: 4^{ème} trimestre 1994
No ISSN: 1251-3415
Commission paritaire: 74 927

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 galaxie d'Andromède. Toutes les photos de ce numéro sont de la NASA sauf mention contraire.

Un an déjà ...

Toute l'équipe de *Nébuleuses* est heureuse de vous offrir pour la fin d'année un article inédit d'Hubert Reeves sur le rôle des forces dans l'évolution de l'Univers.

Ce scientifique, astrophysicien nucléaire, a su depuis plus de vingt ans, s'adonner à une rude tâche: vulgariser la science et en particulier l'astronomie et l'astrophysique. On ne compte plus ses livres, qui ont tous connu le succès, ses passages sur les ondes et à la télévision, ses innombrables conférences toutes plus passionnantes les unes que les autres, sa participation à des débats de société... Hubert Reeves est un personnage médiatique. Cette renommée, comme toute renommée, a suscité diverses critiques, beaucoup de bonnes, un peu de mauvaises. Une chose est sûre: par ses actions conjuguées, Hubert Reeves a permis à de nombreux jeunes et moins jeunes de s'initier, avec réflexion et originalité, aux sciences du ciel, et de se rapprocher de la Nature.

A l'heure où nous concevons ce numéro, son nouveau livre paraît: "*Dernières nouvelles du cosmos*", aux éditions du Seuil. Cet ouvrage est consacré entièrement à l'astrophysique. Il reprend, par là, la lignée de "*Patience dans l'azur*" paru en 1981, que l'auteur avait un peu abandonnée ces derniers temps. Au programme: la théorie du Big Bang en 1994 avec les côtés Pour et Contre. Un conseil, courez acheter ce livre, indispensable pour comprendre l'importance des toutes dernières découvertes en astronomie.

En attendant revenons à l'article "Le rôle des forces dans l'évolution cosmique". Hubert Reeves note le rôle fondamental joué par les quatre forces: la force nucléaire forte, faible, la force électromagnétique et la force de gravité. Celles-ci, avec des intensités différentes, se retrouvent aussi bien dans l'infiniment petit, illustré par les atomes, que dans l'infiniment grand dont les planètes, les étoiles et les galaxies sont les reines. Laissons le dernier mot à Hubert Reeves: "Je décrirai cette histoire comme une pièce de théâtre, avec une scène et des acteurs. Je vais tenter de démêler les intrigues enchevêtrées des quatre grandes forces de la physique sur différentes scènes cosmiques".

Une année déjà... Quatre numéros de *Nébuleuses* ont paru grâce à vous, lecteurs et abonnés, qui devenez de plus en plus nombreux au fil du temps. La rédaction, toute entière, vous souhaite une bonne fin d'année et vous donne rendez-vous l'année prochaine dès Janvier 1995 avec le numéro 5 de votre revue préférée.

P. HONVAULT



Le rôle des forces dans l'évolution cosmique

Par Hubert REEVES

Directeur de recherche au CNRS
Service d'études nucléaires de Saclay

Darwin, le premier, a introduit l'historique dans le domaine scientifique. Aujourd'hui ses disciples nous dessinent un schéma d'évolution biologique qui nous mène, en quatre milliards d'années des algues bleues et des bactéries à l'ensemble extrêmement varié de tous les organismes vivants.

Les biochimistes font évoluer ces cellules primitives -ou, plus exactement, leur code génétique- à partir d'un ensemble de molécules simples de l'océan et de l'atmosphère des débuts de notre planète. Ce chapitre s'appelle l'évolution prébiotique. On peut aussi le considérer comme la seconde phase, la phase planétaire, de l'évolution chimique.

Les astrophysiciens voient dans ces molécules simples le résultat d'une longue évolution nucléaire au long de laquelle les nucléons, issus du Big Bang, se sont combinés dans la chaleur des intérieurs stellaires pour engendrer l'ensemble de tous les noyaux atomiques jusqu'à l'uranium. Libérés dans l'espace par les explosions stellaires, ces noyaux s'habillent d'électrons, deviennent des atomes et commencent à se joindre les uns aux autres. Ces jonctions ont pour résultat, d'une part, la formation des grains de poussières d'où naîtront plus tard les planètes, et, d'autre part, les

molécules simples qui constitueront les atmosphères et les océans de nos planètes. Ces derniers événements forment la première phase, la phase interstellaire, de l'évolution chimique, qui se poursuit ensuite à la surface des planètes.

Dans les schémas présents de la physique, les nucléons sont eux-mêmes le résultat d'une phase plus primitive encore, qui les fait naître de la combinaison des quarks aux premières microsecondes de l'univers. On pourrait parler ici d'une évolution lept-quarkienne.

Je décrirai cette histoire comme une pièce de théâtre, avec une scène et des acteurs. Je vais tenter de démêler les intrigues enchevêtrées des quatre grandes forces de la physique sur différentes scènes cosmiques.

Du noyau à l'étoile

Prenons comme premier exemple celui de la formation de noyaux complexes par la combinaison de noyaux plus simples. Deux forces interviennent au premier plan. La force nucléaire qui voudrait les joindre et la force électromagnétique qui, parce que tous les noyaux sont chargés positivement, tend à les tenir éloignés. La force nucléaire est très puis-

sante mais sa portée est courte. La force électromagnétique est bien moins puissante mais, en revanche, sa portée est beaucoup plus grande. Résultat: quand les noyaux sont loin -à plus de 10^{13} cm- ils se repoussent, mais quand ils sont près, ils s'attirent violemment et se joignent pour former des noyaux plus lourds.

Comment amener les noyaux à vaincre la répulsion électrostatique qui les sépare et à se rapprocher pour entrer en combinaison? Il faut leur donner de grandes vitesses. On y arrive soit en les accélérant avec des accélérateurs ou en les réchauffant (énergie thermique).

La gravité est l'une des principales sources des hautes températures qui existent dans l'univers. Ici, il faut changer de cadre, passer du microscopique au macroscopique. Comme la force électromagnétique la force de gravité est à longue portée; mais elle est incomparablement plus faible. Cette faiblesse est compensée par le fait qu'elle est toujours attractive (alors que la force électromagnétique est à deux composantes). Sur de grandes quantités de matière la force de gravité finit toujours par dominer sur toutes les autres (la force faible est à courte portée).

Considérons maintenant un nuage interstellaire; une masse de matière très diffuse qui contient

environ 10^{60} atomes. Ici, la gravité domine. Si le nuage est froid, il s'effondre sous son propre poids. Cet effondrement crée de la chaleur. En d'autres termes, il y a libération d'énergie d'origine gravitationnelle (la chute de matière) et transformation de cette énergie en énergie thermique. La pression thermique augmente jusqu'au moment où elle équilibre la force de gravité. A ce moment, la contraction s'arrête et nous avons... une étoile.

Au cœur du soleil

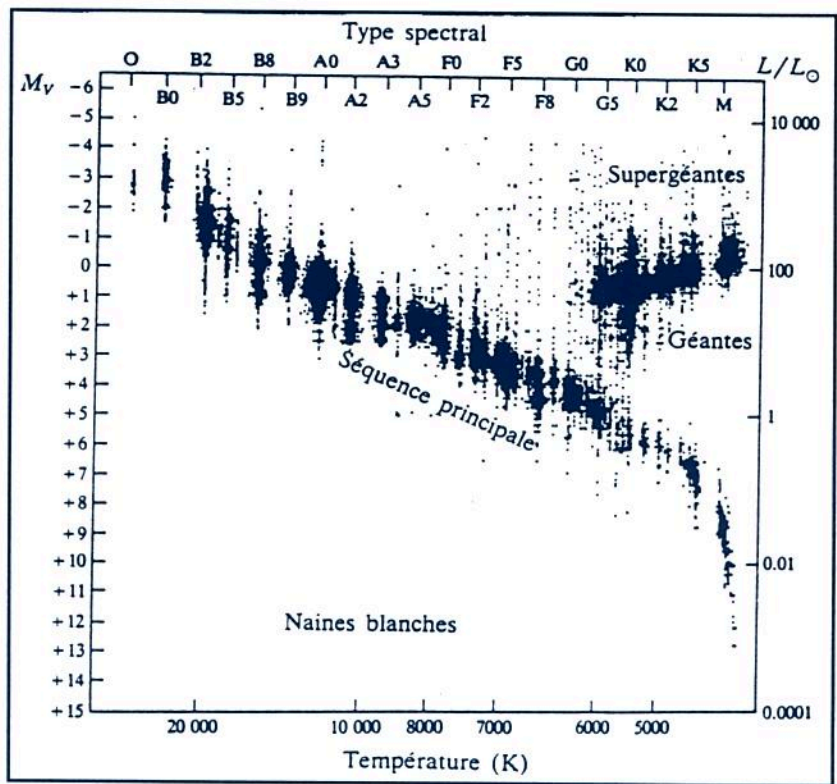
Ici la force électromagnétique va jouer un nouveau rôle. Elle va transformer l'énergie de l'agitation thermique en photons. L'étoile, chaude, brille. C'est-à-dire qu'elle envoie de l'énergie lumineuse dans l'espace. Pour compenser cette perte d'énergie (qui l'amènerait à se refroidir) et pour rééquilibrer la force de gravité, l'étoile va continuer lentement à se contracter, à un rythme suffisant pour équilibrer la perte. Cette condensation va libérer encore de l'énergie gravitationnelle qui va se transformer, partiellement, en lumière émise, mais aussi, partiellement, en chaleur interne. Ainsi, loin d'amener l'étoile à se refroidir, l'émission de lumière va au contraire la porter à une température de plus en plus élevée et à un éclat de plus en plus grand.

La force électromagnétique joue ici deux rôles opposés vis-à-vis de la construction des noyaux. D'une part, par le biais de la répulsion électrostatique (c'est à dire par l'échange de photons dits "virtuels") elle tient les particules chargées à distance; mais, d'autre part, par le moyen des photons "réels", elle amène ces particules chargées à émettre vers l'espace, elle provoque la contraction pro-

gressive de l'étoile et donc son échauffement et, en conséquence, l'accroissement continu des vitesses entre les particules chargées. De ce fait, ces particules arrivent de plus en plus souvent à vaincre la répulsion électrostatique et à entrer en contact nucléaire, c'est-à-dire à se joindre pour former des noyaux nouveaux.

Le premier effet, répulsion élec-

cher. Mais ici il y a une complication supplémentaire: deux protons ne forment pas un système stable. Par contre, si au moment de la rencontre, un des protons se transforme en un neutron, ça marche: le proton et le neutron s'unissent pour former un deuteron (hydrogène lourd). Or cette transformation fait intervenir notre quatrième force, la force *faible* (cette même force provoque



Le diagramme de Hertzsprung-Russell (HR) permet de déterminer le stade d'évolution d'une étoile grâce à la mesure de sa luminosité (ordonnée) et de son type spectral (abscisse).

trostatique, ne change pas avec les conditions physiques; mais le second, vitesse des particules et fusion nucléaire, augmente avec la température. On atteindra donc *nécessairement* un point où il dominera sur le premier.

Prenons, par exemple, le cas du Soleil. Initialement, il est composé à 90% de protons (et d'électrons). Vers dix millions de degrés, les protons arrivent à se tou-

l'émission d'un neutrino qui s'échappe aussitôt du soleil).

Le deuteron se combinera lui-même avec un proton. Puis, après deux ou trois autres réactions, nous voyons apparaître comme produit final de ces combinaisons, des noyaux d'hélium-4. Bilan net: les actions conjuguées des forces *nucléaire* et *faible* ont transformé quatre protons en un hélium. Or, la différence de masse entre ces sys-

tèmes est d'environ un pour cent de la masse totale. La fusion dégage une énergie de sept millions d'électrons volts par proton initial (dont la masse est d'un milliard d'électrons volts). C'est la force *électromagnétique* et la force *faible* qui se chargent de l'évacuation de ce surplus de masse. Des photons gammas et des neutrinos sont successivement émis tout au long de ces réactions.

Ces événements microscopiques vont, à leur tour, avoir une influence macroscopique. Les neutrinos s'échappent de l'étoile mais les photons gammas, non. Ils sont absorbés par la matière stellaire et leur énergie est transformée en chaleur. L'étoile, ainsi, s'est trouvée une nouvelle source d'énergie. Cette énergie va servir à compenser les pertes que provoque l'émission de sa lumière. Elle n'aura plus besoin de se contracter, c'est-à-dire de faire appel à ses ressources d'énergie gravitationnelle. Elle va se stabiliser. Désormais, son rayon, sa densité et sa température vont rester constants.

Grâce à la très grande puissance de l'énergie nucléaire, ce temps sera très long. Notre soleil vit de ces transformations nucléaires depuis près de cinq milliards d'années. Cette stabilité prolongée est vraisemblablement requise par le développement de la vie, en tout cas, si on en juge par l'exemple de notre biosphère.

Les étoiles qui vivent de la transmutation de l'hydrogène (protons) en hélium forment la grande famille dite de la "Série Principale". Quatre vingt dix pour cent des étoiles de notre galaxie appartiennent à cette famille. Dans notre ciel nocturne, notons en particulier Sirius, Véga, Arcturus et l'Etoile Polaire.

Pour le Soleil, cette phase va durer encore cinq milliards d'années.

A ce moment-là, il aura épuisé l'hydrogène en son centre. La perte d'énergie stellaire par émission de lumière ne sera plus compensée par la libération d'énergie nucléaire. L'étoile aura de nouveau recours à ses "réserves" d'énergie gravitationnelle. Elle va recommencer à se contracter. Finie la stabilité. Sa densité et sa température vont croître à nouveau.

Paradoxalement, cette contraction va accroître le rayon stellaire. En fait, le noyau central de l'étoile -qui comprend presque toute la masse- va effectivement décroître en volume, mais les couches extérieures -une atmosphère raréfiée- vont prendre des proportions gigantesques et se refroidir, c'est-à-dire passer au rouge. L'étoile deviendra une "Géante Rouge" comme, dans notre ciel, Antarès, Bételgeuse ou Aldébaran.

Notons ici une analogie entre ces deux modes de génération d'énergie. Le gravitationnel implique la contraction d'une grande quantité de matière. Beaucoup de nucléons passent d'un volume grand à un volume plus petit. Cet événement est accompagné par l'émission d'énergie à la fois à l'intérieur du volume: les particules vont plus vite (la température s'accroît), et aussi à l'extérieur (l'étoile brille de plus en plus).

Une mort inévitable

De la même façon, à l'échelle microscopique, le nucléaire implique que quatre nucléons, auparavant libres, se trouvent maintenant confinés dans le volume d'un noyau. Leur distance relative moyenne a considérablement décroché. En même temps, leur énergie interne s'est accrue (mouvements

COMBUSTIBLE	TEMPERATURE (K) et DENSITE (g/cm ³)	REACTIONS	PRODUITS
H	T ~ 10-20 10 ⁶ ρ ~ 100	chaines p-p	⁴ He
	T ~ 20-50 10 ⁶ ρ ~ 10	cycle CNO	⁴ He ¹⁴ N
He	T ~ 1-2 10 ⁸ ρ ~ 10 ³ -10 ⁵	3α	¹² C
	T ~ 2-4 10 ⁸ ρ ~ 100-10 ⁴	¹² C(α,γ) ¹⁶ O ¹⁶ O(α,γ) ²⁰ Ne	¹⁶ O
C	T ~ 0.9 10 ⁹ ρ ~ 2 10 ⁵	2 ¹² C-> ²³ Na+p ²⁰ Ne+α ²³ Mg+n	²⁰ Ne ²³ Na
Ne	T ~ 1.6 10 ⁹ ρ ~ 6 10 ⁵	²⁰ Ne(γ,α) ¹⁶ O ²⁰ Ne(α,γ) ²⁴ Mg	²⁴ Mg
O	T ~ 2.2 10 ⁹ ρ ~ 10 ⁷	2 ¹⁶ O-> ³¹ P+p ³¹ S+n ²⁸ Si+ α	²⁸ Si
Si	T ~ 3 10 ⁹ ρ ~ 10 ⁸	²⁸ Si ->	³² S, ³⁶ Ar, ⁴⁰ Ca +pic du fer

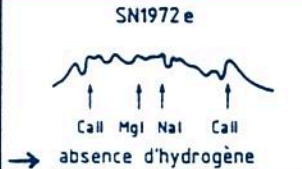
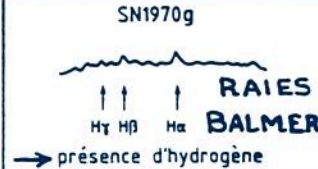
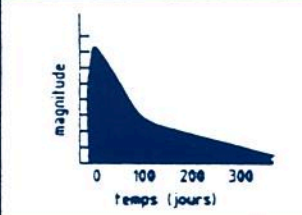
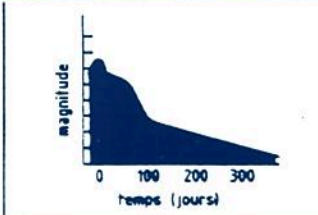
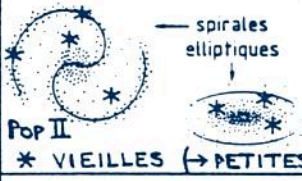





orbitaux des nucléons dans le noyau) et ils ont émis vers l'extérieur des photons gammas.

Ici intervient un événement important en relation avec la quantification des charges électriques. Elles apparaissent toujours par nombre entier: l'hydrogène a une charge positive, l'hélium en a deux, etc. La répulsion est elle-même quantifiée. En conséquence nous aurons une série de phases de fusion nucléaire bien distinctes. Je m'explique.

Nous avons vu l'étoile, sous l'effet de la force gravitationnelle, augmenter sa température jusqu'au moment où elle pouvait vaincre la répulsion entre les protons (une charge positive) et fusionner l'hydrogène en hélium à température constante. Après l'épuisement de l'hydrogène, le centre de l'étoile est composé d'hélium (deux charges électriques positives). La répulsion électrostatique entre ces particules est plus grande que celle des protons. En conséquence, il faut atteindre des températures plus élevées pour amener les héliums à se joindre et engendrer des noyaux nouveaux. Au lieu de dix ou vingt millions de degrés il faudra cent ou deux cent millions de degrés. Ce sont là les températures caractéristiques des géantes rouges. En leur centre elles brûlent de l'hélium et engendrent du carbone et de l'oxygène. Sur des couches plus éloignées du centre, elles transforment du carbone et de l'oxygène, préexistant, en azote. Carbone, azote, oxygène, on ne peut trop insister sur l'importance des géantes rouges vis-à-vis de l'évolution prébiotique et biologique...

Le même scénario se produit après l'épuisement de l'hélium. L'étoile, à nouveau, reprend sa contraction et son ascension ther-

TYPE	SN I	SN II
SPECTRE	SN1972 e 	SN1970g 
TYPE "STANDARD"	SN Ia	SN II-P
COURBE DE LUMIÈRE		
GALAXIE MÈRE		
MODÈLE STANDARD		
ÉNERGIE	10^{44} joules 10^{51} ergs <ul style="list-style-type: none"> 0% neutrinos 99% cinétique 1% lumière 	10^{46} joules 10^{53} ergs <ul style="list-style-type: none"> 99% neutrinos 1% cinétique 0,01% lumière

Ce tableau caractérise les deux grandes familles de supernovae, toutes productrices de noyaux et d'électrons qui à leur tour formeront une nouvelle étoile.

mique. Le carbone possède six charges électriques. Pour en amorcer la fusion, il faut atteindre pratiquement le milliard de degrés. Peu après démarre la fusion de l'oxygène (huit charges électriques). Ces deux fusions sont responsables de la production du sodium, magnésium, aluminium, silicium et soufre. Voilà maintenant les principaux constituants de notre planète (avec l'oxygène et le fer) préparés par des réactions nucléaires à l'intérieur d'étoiles évoluées.

D'autres phases de fusion vont ensuite se succéder rapidement et engendrer, dans la foulée, tous les autres éléments de la table de Mendeleïeff jusqu'au plomb et à l'uranium.

Vers cette période s'amorce une série de processus physiques qui vont amener l'étoile vers sa fin. Ils ont en commun de soustraire à l'étoile une partie de sa chaleur et donc de l'obliger à accélérer sa contraction pour compenser ces pertes. C'est cette accélération qui va l'amener à la catastrophe.

Il y a d'abord un accroissement prodigieux du rôle de la *force faible*. Des quantités de réactions se produisent qui ont pour résultat l'émission d'un flux intense de neutrinos. Ces particules deviennent maintenant le principal agent de l'émission de l'énergie stellaire. Elles transportent beaucoup plus d'énergie que les photons. Or, contrairement à ces derniers, les neutrinos ne sont pas absorbés par la matière stellaire. Ils sortent rapidement et, de ce fait, exigent une réaction immédiate de l'étoile, sous forme de contraction accélérée. Il y a ensuite le fait que au-delà d'une certaine température (quelques milliards de degrés)

d'une avalanche, d'une implosion. Le cœur de l'étoile atteint des densités énormes, des dizaines de milliers de tonnes par centimètre cube.

Par un mécanisme encore mal compris, la partie la plus centrale de l'étoile continue à se contracter jusqu'à devenir une étoile à neutrons (la gravité, ici, est équilibrée par la force nucléaire devenue répulsive) tandis que la partie extérieure est rejetée vers l'espace (par des phénomènes qui font intervenir à la fois la force électromagnétique et la force faible). C'est une *supernova*. Les noyaux engendrés par l'étoile se dispersent au loin sous forme

ployant dans l'espace. A mesure que les vitesses thermiques décroissent, les forces électromagnétiques deviennent en mesure de fixer les électrons en orbite autour des noyaux. D'abord se remplissent les orbites les plus internes -les orbites K- puis, successivement, tous les autres. Quand les atomes atteignent la neutralité, ils commencent à se combiner en molécules. L'hydrogène se joint au carbone, à l'azote et à l'oxygène pour donner le méthane, l'ammoniac et l'eau (appelés souvent les "glaces"). L'oxygène se combine au fer, au silicium, au magnésium, etc, pour donner les premiers solides: des grains de poussières interstellaires qui incorporent des trillions d'atomes. Dans les grands froids de l'espace, les glaces se déposent sur ces grains comme des océans figés sur des planètes en miniature.

Ici, c'est le début de l'architecture électromagnétique. Après la gravité qui a construit les étoiles, après la force nucléaire qui a construit les noyaux, l'organisation de la matière est maintenant prise en charge par la force électromagnétique. C'est elle qui sera responsable de tous les solides, ainsi que de tous les organismes vivants.

Nous sommes maintenant amenés au problème de l'origine des planètes et des cortèges planétaires tels que notre système solaire. Tout se joue entre deux forces réelles: la gravité et l'électromagnétisme, auxquelles s'ajoute une troisième "fausse" force: la force "centrifuge" (qui est en fait reliée à l'inertie des corps). Les nuages interstellaires contiennent de larges quantités de poussières engendrées dans les rémanents de supernovae des étoiles révolues. Dans certaines régions du ciel (voir photo), on voit très bien les



La couleur bleue de l'amas des Pléiades est due à la réflexion de la lumière des jeunes étoiles qui le constituent sur les poussières qui les entourent.

des noyaux commencent à se *photo-désintégrer*, c'est-à-dire à se casser sous l'effet des photons du rayonnement thermique. Ces désintégrations absorbent de l'énergie qu'elles enlèvent à l'étoile.

A l'appel pressant de ces effets variés, l'étoile se contracte de plus en plus vite. Bientôt, il s'agit

d'un *rémanent de supernova* qui s'étend sur des distances de dizaines d'années-lumière.

Gravité et force électromagnétique

Maintenant cette matière chaude se refroidit en se dé-

lueurs bleues que provoque la réflexion de la lumière stellaire sur ces poussières. Quand l'effondrement d'un nuage amène la formation d'une étoile, ces poussières sont entraînées dans l'avalanche. Certaines d'entre elles sont vaporisées par la chaleur stellaire, mais d'autres sont épargnées grâce, en particulier, au fait que les nuages tournent sur eux-mêmes. A cause de cette rotation il se forme alors dans le plan équatorial de l'étoile une sorte de disque, semblable aux anneaux de Saturne, où se retrouvent de vastes quantités de poussières interstellaires, ainsi maintenues à distance prudente du foyer central.

Là commence un processus d'agglomération, dont les mécanismes sont mal connus, par lequel ces grains se juxtaposent et se transforment en corps de plus en plus massifs: astéroïdes et planètes. Ici, la gravité sert de "filet". Elle permet aux proto-planètes de capturer les bolides interstellaires qui s'approchent et ainsi d'accroître leur masse.

Cortège planétaire

Les planètes de type terrestre sont des structures physiques où la gravité est équilibrée par la force électromagnétique (rigidité des structures cristallines). Cet assemblage permet la construction de grandes plates-formes solides où l'eau liquide peut s'accumuler: c'est le lieu de la soupe océanique primitive. Les molécules d'eau de cet océan, comme d'ailleurs les molécules de méthane et d'ammoniac, nous sont parvenues par le biais des poussières interstellaires dont elles formaient la couche extérieure.

Les propriétés des corps du système solaire sont dominées par

deux facteurs importants: leur masse et leur distance au soleil. Et il y a tout lieu de penser que la masse des planètes est elle-même largement influencée par la distance au Soleil.

La distance au Soleil détermine

sés les plus réfractaires s'y trouvent. Par opposition, l'eau qui apparaît à la distance de la Terre, devient très importante au niveau des satellites de Jupiter et de Saturne. De surcroît, les planètes géantes possèdent suffisamment de masse



De bas en haut: Mercure, Vénus, Terre + Lune, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune (Il manque Pluton).

la quantité de chaleur qui parvient (rayonnement ou conduction) au lieu de formation d'une planète, et donc les conditions de température dans lesquelles elle se formera. Ces conditions de température, à leur tour, détermineront quels composés physico-chimiques pourront s'y condenser. La grande densité de Mercure nous montre que seuls les compo-

pour retenir dans leur atmosphère la composante normale d'hydrogène et d'hélium de la nébuleuse primitive.

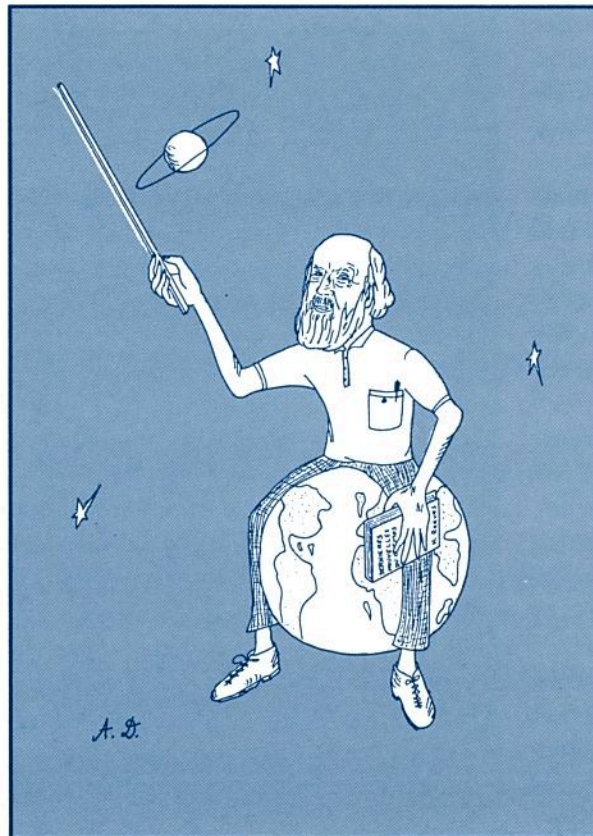
L'accumulation de la masse d'une planète produit de la chaleur, (énergie gravitationnelle transformée en énergie cinétique). Plus la masse est grande, plus la température initiale est élevée. L'évacuation de cette chaleur,

dans les ères qui suivent, est le moteur de l'évolution de la planète et l'élément dominant de sa constitution physique. La lune, Mercure, de petites masses, ont évacué leurs chaleurs initiales en quelques centaines de millions d'années. Par la suite, pétrifiées pour l'éternité, elles se sont contentées d'enregistrer l'arrivée des météorites à leur surface. C'est ce qui explique leur relief criblé de cratères météoritiques.

Mars est un cas intermédiaire: quelques volcans, quelques canyons révèlent une activité interne passée, vraisemblablement largement éteinte aujourd'hui. La Terre est le prototype de la planète vivante. Elle est loin d'avoir évacué toute sa chaleur "initiale". Volcans en éruption, séismes, mouvements orogéniques et dérive des continents en font foi. Il est intéressant de noter, dans ce cadre, que les jeux de la sélection naturelle dépendent en partie des variations des conditions physiques dans lesquelles les races animales évoluent. Les changements de climat, amenés par exemple par le mouvement des plaques terrestres, sont de puissants moteurs de l'évolution...

On a mis récemment en évidence la présence dans certaines météorites de traces "fossilisées" de matières radioactives, de courte durée (moins d'un million d'années). Cette découverte nous rappelle que les étoiles naissent en groupe et qu'à sa naissance notre Soleil était entouré de jeunes étoiles plus ou moins massives. Les plus massives (géantes bleues) vivent toute leur existence en

quelques millions d'années. A leur mort, elles ont dispersé sur leur consoeur encore en formation une partie de leur cuisson interne. De là proviennent ces fossiles.



Constantes et unification

Après avoir revu rapidement les phénomènes physiques qui président à la formation des éléments chimiques et des cortèges planétaires, je voudrais terminer sur deux points d'une portée plus générale vis-à-vis du problème de "l'origine des choses". Le premier s'adresse à l'évolution des constantes de la physique, le second au rôle de l'expansion universelle.

On a vu dans les pages qui précèdent le rôle des quatre forces de la nature dans l'élaboration des

choses. Chacune de ces forces est caractérisée par une *constante de couplage* et par une portée, qui décrivent l'intensité de son interaction dans l'univers. Pour déterminer une échelle relative, on va

donner la valeur unité à la constante de la plus puissante force: la nucléaire. Sa portée est d'environ 10^{13} cm. L'électromagnétique vient en second avec une valeur environ cent fois plus faible ($1/137$), elle a une portée infinie (proportionnelle à r^{-2}). Puis la force faible, avec 10^{-5} , sa portée est de 10^{15} cm. Et finalement, la gravité, avec la valeur extrêmement basse de 10^{-40} , mais aussi de portée infinie. On peut montrer assez facilement (cela a été fait par Carr and Rees, en particulier) que ces valeurs relatives suffisent, à elles seules, à fixer la structure des atomes, des organismes vivants, des planètes, des étoiles, des galaxies et même de l'univers tout entier. La réponse à la question: "Pourquoi les constantes de couplage ont-elles ces valeurs ?" nous amènerait donc très loin dans la compréhension de l'origine des choses. La physique moderne nous offre déjà les éléments d'une réponse partielle. Cela s'appelle le programme de la "grande unification". Selon ce programme, toutes les "constantes" se seraient différenciées à partir d'une seule constante universelle caractérisant une force de portée infinie qui aurait régné sans rivale au tout début de l'univers.

D'importants progrès ont été réalisés vis-à-vis de l'unification de *trois* des quatre forces: la nu-

cléaire, l'électromagnétique, et la faible. Les essais d'intégrer aussi la gravité semblent jusqu'ici n'avoir donné aucun résultat. Affaire à suivre...

Le schéma le plus populaire aujourd'hui est le suivant. Jusqu'au temps 10^{-35} seconde, les forces nucléaire, électromagnétique et faible sont réunies en une seule force, de portée infinie, avec une constante de couplage dont la valeur est d'environ 2%. Cette force s'exerce sur une seule particule, laquelle peut exister dans de multiples états différents: électrons, neutrinos et quarks variés.

La température à cette époque était de 10^{24} eV (10^{28} K). Chaque particule possédait assez d'énergie cinétique pour monter un piano du sol jusqu'au dixième étage... Il se passe alors une quantité de réactions importantes qui pourraient expliquer l'absence d'anti-matière dans notre univers. Avec le refroidissement, les constantes de couplage commencent à diverger. L'électromagnétique et la faible décroissent lentement tandis que la nucléaire croît jusqu'à la valeur unité. Les portées de ces deux dernières se raccourcissent.

La théorie permet de comprendre le mécanisme de ces variations. Elles font intervenir un ensemble de particules nouvelles dont le rôle est de transporter les forces -au même titre que les photons transportent la force électromagnétique-. Le tout est intégré dans une *théorie de jauge à transformations locales et à symétries spontanément brisées*. Il n'est pas dans le cadre de cet article d'expliquer en détail le sens de ces mots. La chose à retenir, c'est que la physique moderne nous ouvre la possibilité de comprendre les mécanismes par lesquels les constantes ont pris leur valeur présente et que ces méca-

nismes sont liés à la baisse de température et de densité dans l'univers en expansion.

Organisation et Expansion

Dans l'organisation du monde, l'expansion joue encore un rôle fondamental à un tout autre niveau. Considérons l'événement par lequel un proton et un électron se combinent pour donner un atome d'hydrogène. C'est un exemple typique d'organisation de la matière.

A ce moment un photon est émis. Ce photon, qui s'en va au loin, transporte à la fois l'*excès d'énergie* dont la perte va permettre au système de se lier, et l'*excès d'entropie* dont la perte va permettre au système de rencontrer les exigences de la deuxième loi de la thermodynamique. Si ce photon est réabsorbé par un autre atome d'hydrogène, tout se défait et aucune organisation nette n'a été acquise par l'univers. Il est donc indispensable que les photons émis soient "neutralisés", c'est-à-dire mis dans l'impossibilité d'agir à nouveau. Dans un univers stable, sans expansion, cela serait impossible: le photon finirait *toujours* par interagir à nouveau... C'est l'expansion qui fait que la très grande majorité des photons émis n'interagira plus jamais (du moins jusqu'au prochain chapitre de contraction universelle, s'il y en a un...) puisqu'ils se propagent dans un univers de plus en plus vide, où ils ont de moins en moins de chance d'être absorbés et puisque, à cause de l'expansion, ils perdent progressivement leur énergie, ce qui les rend doublement incapables de revenir sur la scène...

Chaque étape d'organisation

naturelle: nucléons en noyaux, noyaux en atomes, atomes en molécules, molécules en organismes, se passe dans des conditions analogues et exige la neutralisation de photons. Ce phénomène d'expansion qui semble n'intéresser que des entités très éloignées de nous paraît donc jouer un rôle fondamental dans l'organisation des choses, tant par son effet sur les constantes de couplage que par son rôle décisif sur l'organisation du monde à tous les niveaux.

Hubert Reeves

Dernières nouvelles du cosmos

C'est le titre du dernier livre de Hubert Reeves, paru en septembre 1994 aux éditions du Seuil. En un peu plus de 200 pages, l'auteur fait le point sur la théorie du Big-Bang. Bien sûr le récit reste fidèle au style Reeves, analogique, poétique et scientifique. A se procurer sans tarder.

Voici une liste des précédents ouvrages d'Hubert Reeves.

Patience dans l'azur, Seuil, coll. Points Sciences, 1988 (nouvelle édition de 1981).

Poussières d'étoiles, Seuil, coll. Points Sciences, 1994 (nouvelle édition de 1984).

L'Heure de s'enivrer, Seuil, coll. Points Sciences, 1992.

Malicorne, Seuil, coll. Science ouverte, 1990.

Compagnons de voyage (en collaboration avec J. Obrenovitch), Seuil, 1992.



Champs magnétiques

Astropoésie

Jean-Maurice Robillot est astronome à l'observatoire de Bordeaux. Son talent d'écrivain et d'orateur l'amène à vulgariser avec passion les sciences (vous le retrouverez à la tête d'une rubrique dans les prochains numéros de Nébuleuses). Toutefois l'homme scientifique de formation côtoie en permanence l'homme poète de naissance. Il nous livre ici quelques écrits astropoétiques, à déguster en silence.

Astrimage

Torrent inaccessible et fabuleux,
Depuis un infini sans abîme
Où se retire l'invisible lumière,
Notre univers nourrit sa lente inspiration.

Du long labeur du temps espace
Sont nées les galaxies,
Tournoiements immobiles et violents
Ornées en colliers bleus d'étoiles éphémères.

Issues des trous dragons noirs de légende,
Les langues irisées d'électrons des quasars
Fouillent l'espace, blanches fontaines,
Du fond des temps.

Les supernovae accouchent du levain des mondes
En un cri de lumière qui porte à l'infini.
Les pulsars frémissent, magnétiques sans fin
Aux rives d'ultimes effondrements.

En cocons vaporeux comme nuages,
En nébuleuses ionisées de rose
Chantent les étoiles en devenir
Aux gaz bleutés de poussières cosmiques.

Aux valse lentes des planètes
La vie s'émeut aux soleils chatoyants.
Quelques fragiles Prométhée recueillent
L'impalpable message des astres.



En galaxies...

Galaxies du Vertige infini, nébuleuses
Echevelées, l'ombre des poussières lointaines
Est voile arachnéen comme pour une Reine
Antique. De l'écrin des planètes frileuses,



Les comètes s'élancent en l'Océan Espace
Qui épouse le Temps d'un anneau de lumière
Et berce les soleils ciselant la matière.
Étoiles enchaînées ou frémissantes, traces

Sanglantes des novae, étoiles solitaires,
L'Univers en frissonne messageant ses mystères.
Amas aux longs exils, mondes insaisissables,

Météores glacés... Astres imprononçables
Scintillants aux regards inconnus: multitude
Eparpillée, la Vie étreint sa solitude.

Opale

Un monde enfant s'éveille
Au vertige qui tinte.
Battements de paupières,
En fuyantes perspectives
L'espace grésille d'un arôme bleuté.
Fièvre dénudée d'une attente immobile
Un océan se mêle à un ciel clair.
D'une terre rose d'or
S'élèvent des escarpements
Comme autant de frissons implorants.
L'air vous sourit
D'invisibles baguettes de feu,
Baisers inachevés
Où se pressent les futurs.
D'intangibles élans
Sèchent un instant leurs pleurs,
De ne pouvoir naître
Ou seulement s'exprimer.
Leurs regards se baignent
Sur l'éclat nacré d'un oiseau,
Pierre opale de l'être,
Ivre de multiples soleils.



Volcanismes extraterrestres

Qui, un jour, n'a pas été renversé par la beauté mortelle des éruptions volcaniques. Actuellement, dans le système solaire, notre planète apparaît la seule douée d'une telle activité, mis à part Io, un satellite de Jupiter. Pourtant, vous serez étonnés par les multiples formes de volcanisme extraterrestre. Certaines structures sont bien éloignées de nos chers volcans. Plongeons sans retour vers l'exotisme.

Effectuons avant tout un bref retour sur le volcanisme terrestre. Ce dernier est notamment régi par la tectonique des plaques. La Terre a un volcanisme dit de recyclage: les cendres et les laves émises dans le passé sont digérées et disparaissent de la surface terrestre. Les plus vieilles, découvertes en Sibérie, Australie, Canada et Groenland, datent de 3,8 milliards d'années, à comparer à l'âge de la Terre 4,5 milliards d'années.

Le volcanisme terrestre a une caractéristique fondamentale: il est en quasi-totalité au-dessous du niveau de la mer. Ce sont les sous-marins militaires, durant la seconde guerre mondiale, qui, lors d'un sondage des fonds marins, découvrirent avec stupeur les innombrables volcans sous-marins.

En gardant ces remarques à l'esprit, nous allons partir à la rencontre d'autres types de volcanisme, tous plus surprenants les uns que les autres, le but de ces volcanismes étant le même: "évacuer la chaleur interne de la planète en servant d'exutoire à un magma chaud montant des profondeurs" (extrait du livre de Charles Frankel, voir encadré).

On a marché sur la Lune

Dès 1610, Galilée, muni de sa lunette, observe les cratères, très nombreux, de la Lune. La question

de la formation de ces structures se pose alors. La guerre "cratère d'impact météoritique, volcan" est engagée. Elle ne cesse qu'avec les premières missions lunaires soviétiques et américaines des années 60, qui confirment l'origine météoritique des cratères lunaires. Toutefois les célèbres

mers lunaires, observables à l'oeil nu, semblent d'origine volcanique: elles seraient constituées de basalte issu d'immenses coulées fluides de lave passée.

Vingt ans de découverte et de recherche ont permis aux géologues de comprendre l'aspect de la surface actuelle de la Lune.

Les Volcans du Système Solaire

C'est le titre du livre de Charles Frankel, aux éditions Armand Colin, 294 pages. Ce magnifique ouvrage constitue une référence incontournable sur le sujet. La collection "Espace" dont il fait partie s'adresse aux étudiants concernés mais aussi à tous ceux que le volcanisme intéresse.

L'auteur, de manière très pédagogique, débute par le volcanisme terrestre. Ce chapitre a l'avantage de faire connaître de façon détaillée des aspects que nous ne connaissons que superficiellement. Le volcanisme lunaire emboîte le pas. Il constitue une grande partie de l'ouvrage (pages 71 à 157), à juste titre d'ailleurs. Il permet au lecteur de l'amener peu à peu au volcanisme extraterrestre, et bien sûr, il est l'un des volcanismes que l'on comprend le mieux grâce aux missions Apollo. Viennent ensuite les volcanismes de Mars, Vénus, Io, et d'autres dont le caractère exotique vous étonnera.

Attention, ce livre n'est pas une succession monotone de descriptions, au contraire c'est une véritable initiation à la planétologie comparée. Ces pages sont une source de richesses permanente. Que de détails passionnants et peu ordinaires. Une présentation didactique, des photographies époustouflantes, des schémas clairs. Vous comprendrez pourquoi nous incitons tous ceux que l'espace et les volcans attirent, à ouvrir les pages du livre de C. Frankel.



Celle-ci a connu un volcanisme très fort pendant 3 à 3,8 milliards d'années, qui s'est apaisé jusqu'à s'éteindre aujourd'hui. Ayant évacué toute sa chaleur interne, la Lune est morte, figée pour l'éternité, réveillée seulement par les quelques rares impacts météoritiques.

Les grandes plaines de basalte se situent surtout sur la face visible de la Lune. Cette curiosité s'explique par l'effet de marée. La Lune présentant toujours la même face à la Terre, les couches internes, qui ont subi l'attraction Lune-Terre, se sont déplacées dans la direction de la Terre. Ainsi les zones magmatiques se sont rapprochées de la surface de la face visible. Avec une pression plus faible et un chemin plus court à parcourir, le magma atteint plus rapidement la surface, et se répand en plaines fluides qui deviendront les mers lunaires.

Une surprise de taille: contrairement à la Terre, la Lune n'a pas de volcans ! Pourquoi cette lacune ?

Nous citons trois raisons essentielles. Tout d'abord, par leur grande fluidité, les laves lunaires ne purent former des cônes; ensuite, grâce à un débit de magma beaucoup plus important que celui sur Terre, la lave ne cessait de s'étendre, d'où la formation des mers; enfin, la Lune n'ayant pas d'atmosphère et sa pesanteur étant très faible, les scories n'ont pas pu s'accumuler pour construire un cône, au contraire elles se sont dispersées. La Lune: astre très actif jadis, astre mort aujourd'hui.

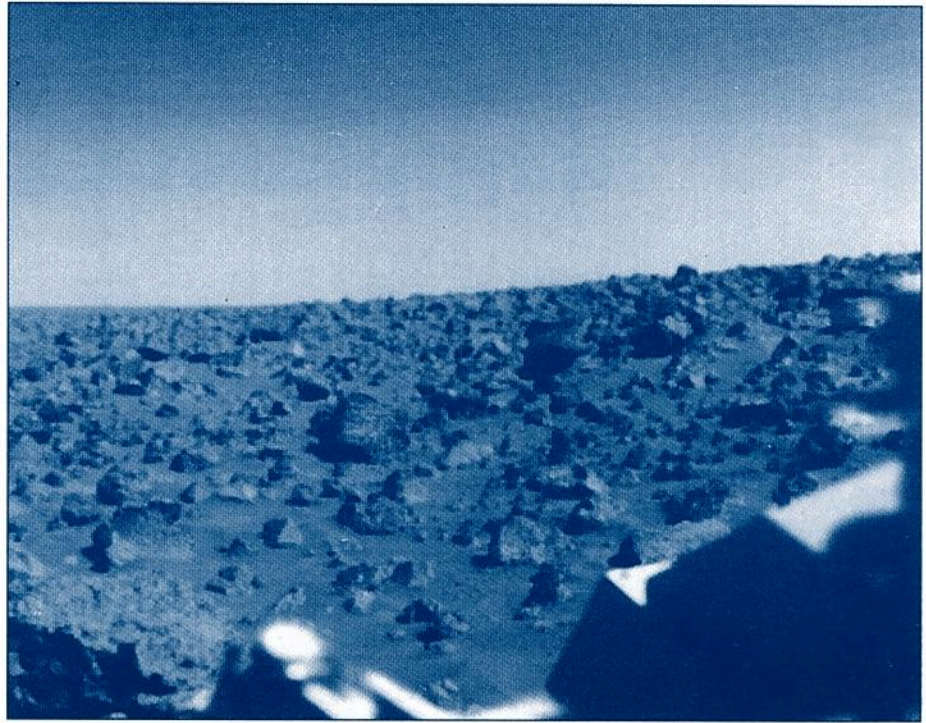
Au pays des géants

La planète Mars, reconnaissable à l'oeil nu par sa couleur jaune-rouge caractéristique, ne révèle aucun

détail de surface au télescope. Pour apercevoir le relief martien, une seule solution, le recours aux sondes spatiales. Nous nous intéressons ici uniquement au volcanisme martien (pour plus de généralités sur cette planète, vous pou-

Terre ! Face à ce géant, son semblable terrestre, le Mauna Loa des îles Hawaï, n'a qu'à bien se tenir: 9 km de haut pour 100 km de diamètre au sol...

La taille des géants martiens indique que ces volcans ont dû avoir



Ces blocs rocheux sont en fait des agglomérats de larve durcie. La surface en est remplie, témoignant de la forte activité volcanique (passée ?) de la planète MARS (photo prise par Viking 2).

vez consulter *Nébuleuses No 2*).

Tout commence en 1971, quand la sonde spatiale américaine Mariner-9 enregistre pour la première fois les images des cratères martiens. Stupéfaction: c'est un monde de géants !

Quatre cratères énormes se dessinent dans une même région de l'hémisphère nord: Arsia, Parsonis, Ascraeus Mons et Olympus Mons. Ce dernier reçoit aussi l'appellation de Nix Olympica ou neiges de l'Olympe, bien qu'à cause d'une atmosphère trop ténue, il ne neige jamais sur Mars. C'est le plus grand de tous. Imaginez une montagne de 27 km de hauteur (3 fois l'Everest) avec un diamètre au sol de 500 km, ceci sur une planète plus petite que la

une activité très importante. Ce gigantisme peut s'expliquer, en partie par le fait que, contrairement à la Terre, le volcanisme martien n'est pas un volcanisme de recyclage. Ici les volcans demeurent à la même place et leur cône ne cesse de croître à chaque nouvelle éruption. Hélas, nous n'avons toujours pas décelé une seule éruption martienne. Toutefois la plupart des géologues espère que ces monstres sont encore actifs. Quel spectacle serait une telle éruption !

Mis à part ces cônes volcaniques titanesques et d'autres d'importance moindre, Mars comporte aussi des plaines de lave durcie, semblables aux mers lunaires.

P. Honvault

(Suite au prochain numéro)

A la recherche du Temps perdu...

ou un scénario quantique de l'Univers primordial

Quelques réflexions sur les origines de l'Univers par l'un de nos lecteurs, Jacques Jamin.

Ce scénario repose sur l'inexistence du temps avant le Big Bang de la théorie standard; ce qui fait sa force (sans controverse possible) mais aussi sa faiblesse car il force l'horizon de la connaissance par notre physique classique.

Horizon cosmique

Rappelons les conditions initiales qui, aux limites de la physique connue, sont un horizon à jamais inaccessible, avec la naissance "quasi-simultanée" du Temps, du *Continuum Espace-Temps* et de l'explosion originelle du *Big Bang*. L'Espace-Temps, né à l'origine du temps, 10^{-43} s, est "habillé par une surface de capture sphérique" de rayon r égal à 10^{-35} mètre, rayon de Schwarzschild.

Que peut contenir un Univers primordial réduit à la dimension d'une sphère de rayon aussi ponctuel ? Question incongrue qui a tout de même l'intérêt de quantifier les choses. A titre de comparaison, l'électron a un rayon classique de $2,817\ 938\ 10^{-15}$ m, mais controversé entre ce chiffre et 10^{-30} m. Même dans l'hypothèse minimale, l'électron a un rayon 100 000 fois supérieur à celui de la sphère et, dans ces conditions, comment concevoir un Univers matériel donc massif à moins de l'assimiler à une singularité de type trou noir de densité infinie quand r tend vers zéro.

Que représente donc une dimension si infime ? Est-ce l'horizon cosmique primordial ou le libre

parcours moyen des photons ? Dans les deux cas, la formule $dl=c.dt$ s'applique (c est la vitesse de la lumière 300 000 km/s). Est-ce encore la dimension du "grain de lumière" primordial prisonnier d'un "embryon de temps", dans un état latent par absence de causalité (tout événement "possible" est figé, attendant la cause qui produira un effet).

Carte d'identité

Par une singularité initiale (le vide est instable), le Temps "naît en prenant sa flèche dans un Continuum Espace-Temps" à 4 dimensions qui permet alors des relations de causes à effets que notre physique est à même d'appréhender. Alors, l'Espace-Temps s'allume en tous points, créant la magistrale explosion du Big Bang. Ainsi les caractéristiques primordiales sont les suivantes à l'origine du temps (*temps de Planck*): $t=10^{-43}$ s et $r=10^{-35}$ m. Il s'ensuit que le quantum d'action, $dE.dt$ (E est l'énergie), ne peut être inférieur (relations d'incertitude d'Heisenberg) au quantum élémentaire d'action (*constante de Planck*): $dE.dt > h = 1,054\ 588\ 10^{-34}$ J.s (Joule.seconde) et $dE > 10^{-34} / 10^{-43} = 10^{-9}$ J (Joule). La température du "flash originel" s'élève à: $T=dE/k$ avec k constante de Boltzmann égale à $1,38\ 10^{-23}$ J/K (Joule par Kelvin), soit: $T > 10^{-9} / 10^{-23} = 10^{+32}$ K (Kelvin).

La carte d'identité de l'Univers primordial serait ainsi:

$$\begin{aligned} dt &= 10^{-43} \text{ s (seconde)} \\ dl &= 10^{-35} \text{ m (mètre)} \\ dE &= 10^{-9} \text{ J (Joule)} \\ T &= 10^{+32} \text{ K (Kelvin)}. \end{aligned}$$

Cette naissance de l'Univers primordial est par hypothèse un accident du vide absolu qui est instable par définition (il suffit d'un infime accroc, dans ce champ immatériel).

AVANT ?

Si on cherche une relation avec le système d'unité M.K.S.A., on constate que l'unité de masse manque, remplacée par celle d'énergie E . Mais on sait relier la masse relativiste à l'énergie par la relation $E=mc^2$. Le phénomène de nucléosynthèse était possible dans l'extrême rayonnement thermique des premiers instants de l'Univers, chaque élément créé ayant sa température de seuil, $T=mc^2/k$, dans laquelle mc^2 est l'énergie au repos de l'élément et k la constante de Boltzmann. A l'inverse, l'énergie de repos mc^2 est l'énergie libérée si toute la masse est convertie en énergie (photonique par exemple suivant un processus de symétrie inviolable). Mais AVANT ? Nous l'avons imaginé tout à l'heure en disant que le temps n'existait pas AVANT le temps de Planck; de même que le zéro absolu de température (zéro K) ne peut être atteint; de même que la vitesse de la lumière est inaccessible aux particules ayant une masse.

Cherchant la Source, on bute à jamais sur l'Ultime Causalité.

J. Jamin



Plumes célestes

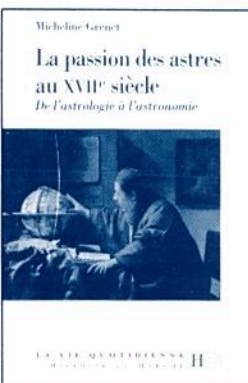
Que de bons livres ce trimestre ! Micheline Grenet, dans son dernier ouvrage, s'éloigne de l'éternel débat astrologie-astronomie pour se concentrer sur la période où ces deux soeurs sont devenues ennemies. A feuilleter aussi, lors de vos voyages sur le territoire français, un guide qui répertorie les principaux sites scientifiques à visiter. Et bien d'autres richesses que nous vous laissons découvrir en compagnie d'un extraterrestre...

La passion des astres au XVII^e siècle,

De l'astrologie à l'astronomie

Micheline Grenet, préface de Jean-Claude Pecker, éd. Hachette, 296 pages.

L'astrologie face à l'astronomie, ou vice-versa, l'éternel débat... Et pourtant, ce livre est unique dans l'approche du problème. En effet notre curiosité commençait à s'amenuiser sérieusement au fil des ouvrages parus sur le même thème, tous plus médiatiques et simplistes les uns que les autres, et



au final bien décevants, ne contenant que les éditeurs, et encore.

Attention, Micheline Grenet sait de quoi elle parle, c'est une spécialiste du sujet:

Docteur ès Lettres munie d'une thèse sur l'astronomie et l'astrologie au XVII^e siècle à travers les écrivains. Ici l'éternelle question est mise aux oubliettes, l'auteur s'intéresse plutôt, et pour notre plus grand soulagement et notre plus grand plaisir, à la transition astrologie-astronomie en tant que science.

En effet le XVII^e siècle est une période charnière. L'astrologie,

qui jusque là, était considérée, pour le meilleur et le pire, comme une science (voir Tycho Brahé et Kepler) perd ce privilège et sombre dans sa première version commerciale et populaire. Depuis, cette distinction entre astrologie et astronomie ou plus généralement entre astrologie et science n'a cessé de se confirmer, même si les astrologues et quelques rares scientifiques d'aujourd'hui tentent de réhabiliter l'astrologie au plus haut niveau: n'a-t-on pas vu récemment ces mêmes gens demander à ce que l'astrologie soit enseignée à l'Université au côté de la physique et des mathématiques ? De là à retrouver la Sorbonne d'antan... On rêve !

Au fil des pages, vous découvrirez les richesses de l'approche de Micheline Grenet. Ce livre vous mènera plus loin que le traditionnel débat astrologie-astronomie-science, car sont présentées aussi et surtout les relations de l'astrologie et de l'astronomie avec les arts, la société, l'Eglise, le pouvoir (ce qui intéresse de très près *Nébuleuses*, voir à ce propos l'édito de *Nébuleuses No 2*). La rédaction a eu un petit coup de coeur pour le chapitre sur Cyrano de Bergerac, personnage pittoresque et écrivain lunaire à lire ou à redécouvrir...

En bref, vous aurez compris que la rédaction a apprécié ce livre qui sort du commun et qui se lit avec un plaisir certain.

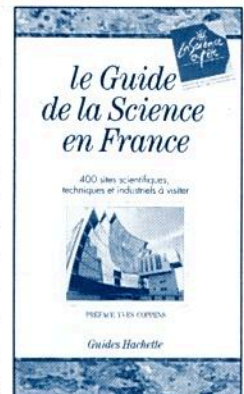
Le Guide de la Science en France

éd. Hachette, 256 pages.

La préface d'Yves Coppens donne le ton: "Que ce répertoire incite donc ses lecteurs à visiter les précieux endroits qu'il a retenus avec soin pour eux". Ce guide est tout d'abord destiné au grand public. 400 sites scientifiques, techniques et industriels, très variés, sont recensés: planétarium, Muséum d'histoire naturelle, industrie... Ils sont

tous présentés de manière très pratique: classement par région (de l'Alsace aux Dom-Tom), nom de la ville, dénomination du site, heures d'ouverture, les tarifs, le téléphone et la télécopie, et surtout un résumé sur le rôle et le but du site considéré pour se faire une idée préalable. Il est à signaler que beaucoup de ces lieux peuvent être visités par les enfants. Ce peut être une façon agréable, pour eux et pour les parents, de les initier à la science.

Ce guide est indispensable à tous ceux qui souhaitent, tout en apprenant et en s'amusant, découvrir des endroits parfois malheureusement un peu oubliés.



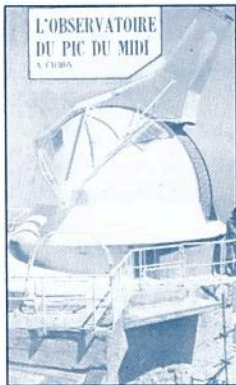
L'observatoire du Pic du Midi

André Cachon, éd. Pyrénéennes, 94 pages, 25F !

(pour se procurer cet ouvrage, écrire à: Observatoire du Pic du Midi et de Toulouse, 9 rue du Pont de la Moulette, 65200 Bagnères de Bigorre)

L'un des rédacteurs de *Nébuleuses* s'est ressourcé cet été dans les Pyrénées. C'est tout naturellement qu'il s'est rendu à l'observatoire du Pic du Midi (2877 m d'altitude). Après une visite guidée des plus attrayantes, il a découvert ce petit livre qu'il a dévoré de bout en bout le soir venu.

Il faut le dire ou le redire, l'Observatoire du Pic du Midi, de renommée internationale au point de vue scientifique, doit normalement fermer ses portes d'ici quatre



ans, sauf si les nombreux amoureux et défenseurs du Pic réussissent à stopper cette mort lente.

Quoiqu'il en soit, les premières pages vous racontent de manière très vivante l'histoire de cet observatoire. Celle-ci remonte au milieu du XIXe siècle, époque où l'astronomie était encore une véritable aventure au sens propre: skis, cordes et piolets, voilà l'équipement nécessaire pour atteindre le sommet du Pic, et ceci jusqu'au

milieu du XXe siècle ! La construction et les premiers travaux scientifiques concluent cette première partie.

La seconde partie est consacrée à la recherche actuelle: de l'étude des rayons cosmiques aux galaxies, en passant par celle des planètes qui constitue le fer de lance de l'observatoire.

A ce propos, notre rédacteur vacancier a eu la chance de voir les toutes premières photographies, prises par les télescopes du Pic, des impacts laissés par les morceaux de la comète Shoemaker-Levy sur Jupiter. Images magnifiques où les sites d'impact étaient facilement identifiables.

Un livre à lire sans tarder avant de se rendre au Pic lui-même.

La Vie dans le Cosmos

François Raulin, éd. Flammarion, coll. Dominos, 125 pages.

Un petit nouveau dans la collection grand public de qualité, Dominos, dirigée entre autres par le philosophe féru de sciences, Michel Serres.

L'auteur François Raulin, chimiste de formation, professeur à l'Université Paris XII Val de Marne, est depuis longtemps un partisan de l'exobiologie, ou, si vous préférez, de l'étude de la vie extra-terrestre.

Après un rappel introductif sur les précurseurs, ces croyants en l'existence d'autres planètes, ou plutôt d'autres planètes habitées, le concept de Vie est présenté au lecteur. Qu'est-ce que la Vie ?

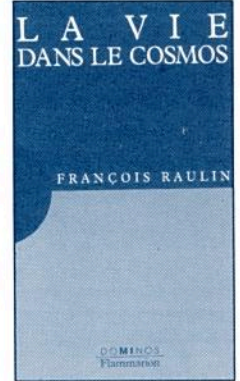
D'où vient la vie terrestre ? Deux questions simples en apparence mais dont les réponses sont encore à venir. Un chapitre sur l'histoire de la Terre et l'émergence de la vie en son sein permet de mieux comprendre les mécanismes vitaux. Ensuite on aborde le coeur du sujet.

François Raulin fait un bilan actuel des différents lieux possibles d'une vie extraterrestre, des météorites à Europe, satellite de Jupiter,

les différents astres sont scrutés à la loupe.

Dans sa "conclusion provisoire", l'auteur réaffirme de manière argumentée sa volonté de chercher la vie ailleurs. Nous ne pouvons qu'être d'accord avec ce point de vue, dans l'espoir de répondre, entre autres, enfin à l'éternelle question: "La Vie existe-t-elle ailleurs ?". A noter la présence d'une bibliographie, point important vu le peu d'ouvrages disponibles sur l'exobiologie.

Une surprise cet été: Gallimard, avec les stations Elf et Antar, offrirait à tous ceux qui faisaient un plein d'essence, un guide pratique. Notons celui sur *le ciel et le temps de vos vacances* avec un texte de Jean-Pierre Verdet, historien de l'astronomie. Opération à renouveler pour l'année prochaine.



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 adresse et un 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 100 F (20 F de frais d'envoi inclus).

Adhésion : membre ordinaire..... 100 F
 actif..... 150 F
 bienfaiteur..... 200 F

Abonnement : adhérent..... 40 F
 non adhérent....80 + 20=100 F

Sciences et Avenir a inauguré en septembre sa nouvelle formule qui le destine dorénavant à un très large public. Souhaitons bon vent à ce changement de cap. Cet été a vu déferler les articles sur l'événement du siècle: la collision de la comète Shoemaker-Levy avec Jupiter. La rencontre fut à la hauteur des espérances. Nous citons les meilleurs papiers sur le sujet.

Ça m'intéresse

* Août 1994: *Les couleurs du ciel*, S. Brunier, Fariah Massad. Pourquoi le ciel diurne et le ciel nocturne sont-ils respectivement bleu et noir (cf. *Nébuleuses No3* page 8).

* Septembre 1994: *L'odyssée spatiale d'Ulysse*, A. Cirou. Le rédacteur en chef de *Ciel et Espace* raconte le voyage de la sonde Ulysse vers le Soleil.

Science et Vie Junior

* Septembre 1994: *Les fusées, de Ariane à Zénith*, J. Lopezi. Un dossier complet sur les stars de la conquête spatiale. Passionnant.

Science et Vie

* Septembre 1994: *Jupiter: "J'ai vu le bombardement"*, P. Hénarejos. Témoignages vivants en direct des observatoires sur la catastrophe planétaire.

Sciences et Avenir

* Août 1994: *Un grand pas pour l'humanité*, A. Ducrocq. Un dossier très complet qui fait le bilan des expéditions lunaires et qui présente les futures missions vers notre satellite.

Ciel et Espace

* Juillet/Août 1994: *Shoemaker-Levy: les astronomes en alerte*, A.C. Levasseur-Regourd. Avant le choc, une présentation détaillée de l'histoire de cette comète.

* Septembre 1994: *Jupiter: toutes les photos de la collision*, S. Brunier. Après le choc, les plus beaux clichés de l'événement du siècle. A ne pas manquer.

La Recherche

* Septembre 1994 : *L'infini*, H. Sinaceur. Depuis toujours l'infini a hanté les imaginations. Aujourd'hui des mathématiciens souhaitent s'en affranchir. Original.

Pour la Science

* Juillet 1994: *Images de l'Univers et conquête spatiale*, R. Miller. Histoire d'une rencontre, celle de la peinture, de l'espace et de Chesley Bonestell.

Côté Télé

Voici une liste des principales émissions où la science et en particulier l'astronomie peuvent être à l'honneur.

France 2 : *Savoir plus*, le Samedi à 13h35, avec François de Closets.

France 3 : *A surveiller de près, la Marche du Siècle*, le Mercredi soir, qui présente assez souvent de bons thèmes scientifiques.

Arte : *Archimède*, un Lundi par mois. Dynamique et intéressant.

M6 : *E=M6*, le Dimanche à 13h30, le magazine fou, fou, fou.

Rien sur TF1 et Canal +, du moins pour l'instant. A quand une véritable chaîne consacrée aux sciences humaines, sociales, exactes, appliquées ? Tous nos espoirs se placent dans la future "chaîne de la connaissance et du savoir" (nom provisoire...).



SOMMAIRE

- Avant-propos** : A l'écoute des étoiles, le poète veille en gardant l'espoir de la lueur éternelle 2
- Impulsion** : Hommage à Hubert Reeves, notre invité. C'est aussi le premier anniversaire de *Nébuleuses* 3
- Le rôle des forces dans l'évolution cosmique** : Un article inédit d'Hubert Reeves qui vient de sortir son nouveau livre aux éditions du Seuil. Suivons-le dans cette nouvelle épopée céleste 4
- Champs magnétiques** : Jean-Maurice Robillot, astronome à l'observatoire de Bordeaux, est aussi un astropoète 12
- Planète** : La Terre n'est pas la seule planète à posséder des volcans comme le montre ce panorama des volcanismes extraterrestres, par Pascal Honvault 14
- A la recherche du Temps perdu** : Un point de vue sur l'origine de l'Univers, les conditions initiales et l'Avant Big Bang, par Jacques Jamin 16
- Plumes célestes** : Faites vos provisions de bouquins pour les longues soirées d'hiver, par Jean-Marc Boniface 17
- Azimut** : Les meilleurs articles de ces derniers mois parus dans les magazines scientifiques, par Achour Hichem 19

Par Ailleurs

*C'est vivre et cesser de vivre qui sont des solutions imaginaires.
L'existence est ailleurs.*

André Breton (1896-1966)
Manifeste du surréalisme

Pour nous faire part de vos suggestions, n'hésitez pas, écrivez à:
Pulsar du Voile 18 rue Paul Bert 75011 Paris