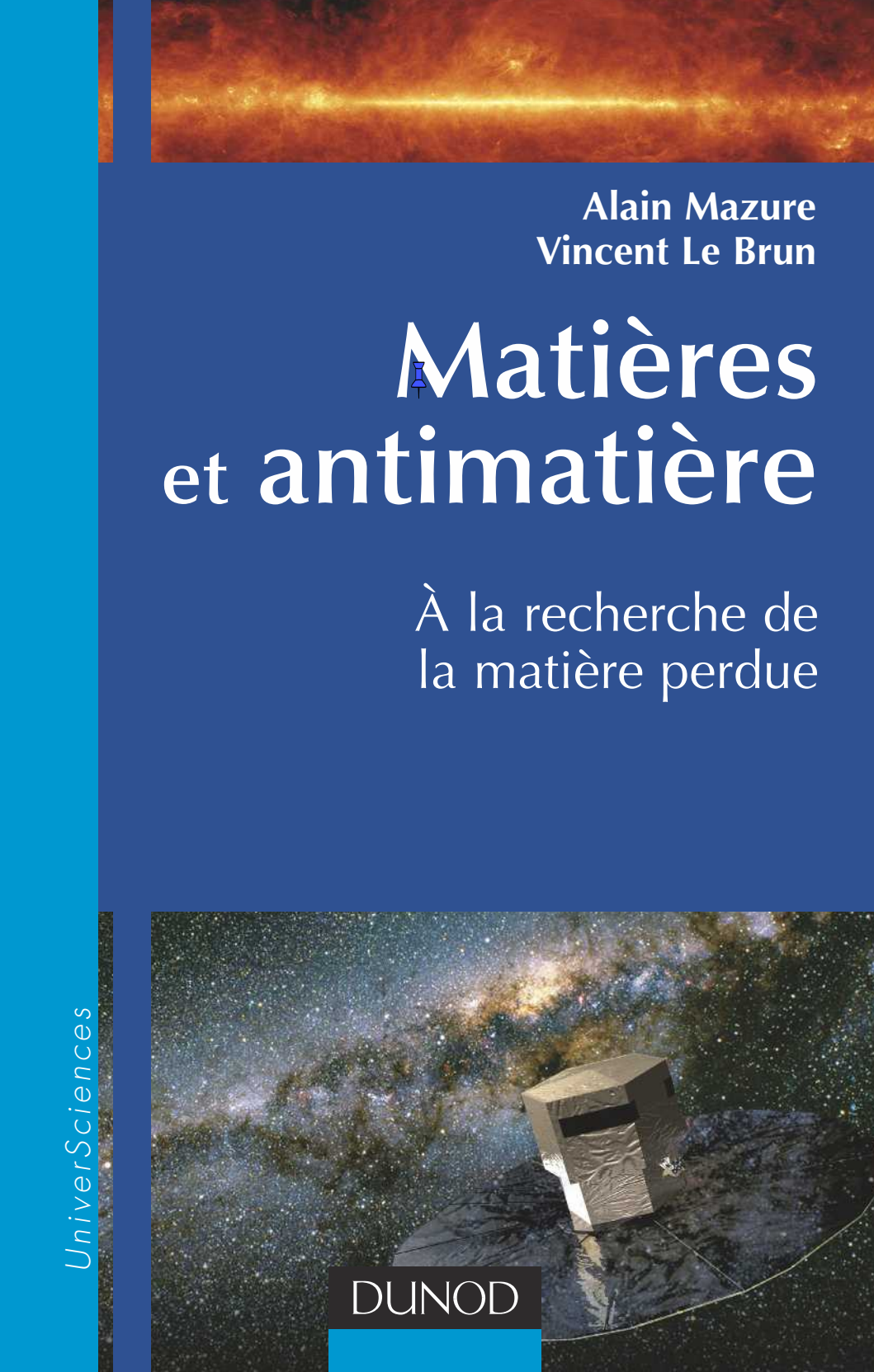


The background of the cover is a composite image. The top half features a vibrant, fiery orange and red cosmic scene, possibly a nebula or a distant galaxy. The bottom half is a deep blue field filled with stars and the faint, glowing structure of the Milky Way galaxy. In the lower right, a satellite dish antenna is visible, pointing towards the galaxy.

Alain Mazure
Vincent Le Brun

Matières et antimatière

À la recherche de
la matière perdue

UniverSciences

DUNOD

Matières et antimatière

À la recherche de
la matière perdue

Consultez nos parutions sur dunod.com

The screenshot shows the Dunod website interface. At the top, there's a navigation bar with the Dunod logo and links to 'Ediscience', 'ETSF', 'InterEditions', and 'Microsoft Press'. Below this is a search bar and a 'Recherche' button. The main content area is divided into several sections:

- Accueil**: A central area featuring 'Nouveautés' (New Arrivals) with book covers for 'Bacchus 2008', 'Profession dirigeant', and 'Python'. It also includes a section for 'Interviews' with a photo of Gilles Verrier and a link to 'Ramasse 2008 : exigez la nouvelle formule!'. There's also a section for 'Événements' and 'En librairie ce mois-ci'.
- Science et Techniques**: A sidebar on the left with links to 'Accueil', 'Contacts', 'Interviews', 'Événements', and 'En librairie ce mois-ci'.
- Science et Techniques**: A sidebar on the right with links to 'Accueil', 'Contacts', 'Interviews', 'Événements', and 'En librairie ce mois-ci'.
- Science et Techniques**: A sidebar on the right with links to 'Accueil', 'Contacts', 'Interviews', 'Événements', and 'En librairie ce mois-ci'.
- Science et Techniques**: A sidebar on the right with links to 'Accueil', 'Contacts', 'Interviews', 'Événements', and 'En librairie ce mois-ci'.

At the bottom of the page, there's a footer with links to 'bibliothèques des métiers', 'newsletters', 'Microsoft Press', 'ediscience.net', 'expert-sup.com', and 'Notice légale'.

Matières et antimatière

À la recherche de
la matière perdue

Alain Mazure

Directeur de recherches à l'observatoire astronomique
Marseille-Provence

Vincent Le Brun

Maître de conférences à l'université de Provence/
Laboratoire d'astrophysique de Marseille

DUNOD

Illustrations de couverture :

(Bas) : La Voie Lactée. Crédit ESA-Medialab.

(Haut) : La Voie Lactée en infrarouge. Crédit NASA.

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du

Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2009
ISBN 978-2-10-054260-4

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Introduction Une intrigante absence	I
Absence de preuve n'est pas preuve d'absence	I
1 La matière en concentré	5
La Voie Lactée : une revue de stars	6
Notre jardin galactique	7
Du jardin au pré galactique	10
Des rapports qui rapportent	12
2 Au royaume des nébuleuses	17
Des Univers-îles	17
Des galaxies icebergs	20
Une faune galactique	22
Des Machos chez les stars	24
L'odyssée des baryons noirs	26
3 Bien chaude	37
L'épopée spatiale	38
Des galaxies et des amas « hot »	40
Froide ou chaude : un bilan mitigé	44
4 Un cluedo cosmique : où, quand, comment ?	51
Une jeunesse créative	53
Et la matière noire ? Et l'antimatière ?	55

L'alchimie des trois premières minutes	58
Quand protons et neutrons se marient	61
Tous les baryons	62
5 À 300 000 ans : le compte est bon !	67
Où la matière domine	67
Un fossile dans le ciel	70
Des structures en train de croître	72
Des harmoniques célestes	73
Peser la matière avec la lumière	77
6 Une toile cosmique	81
Des structures qui s'affirment	81
Premières étoiles, premiers quasars	83
Une cuisine avec des restes	88
Une forêt mystérieuse	91
Le décompte final	95
7 Dissimulations	99
D'une à trois dimensions	102
Une matière noire docile	103
Un peu d'analytique	108
<i>Fiat lux</i>	109
L'hallali des baryons	112
8 Une quête constante	121
Le ciel optique : de l'œil aux CCD	121
L'odyssée spatiale	127
Quatre décennies flamboyantes... en micro-ondes	132
Des nouvelles fenêtres ouvertes sur le cosmos	135
9 Des télescopes aux accélérateurs	139
Un autre standard et ses extensions	140
Les neutrinos comme matière noire ?	143
Des recherches directes et indirectes	145

TABLE DES MATIÈRES

Quelle énergie noire ?	148
Vers le Big Bang ?	149
Annexes	153
Puissances de dix	153
Les unités en physique des hautes énergies	153
L'ère de planck	154
L'histoire thermique en bref	155
Glossaire	157
Index	171

Introduction

Une intrigante absence

Absence de preuve n'est pas preuve d'absence

Depuis maintenant plus d'une décennie, les feux de l'actualité sont tournés vers le côté obscur de l'Univers. L'étude détaillée de la rotation des galaxies spirales et les effets de mirages gravitationnels occasionnés par les amas de galaxies dont la masse dévie la lumière d'astres très éloignés, ont en effet conduit les astronomes à conclure à la présence d'impressionnantes quantités de *matière noire* dans le Cosmos. De plus, la découverte dans les années quatre-vingt-dix que l'expansion de l'Univers, loin de se ralentir ainsi que le prévoyait le modèle cosmologique standard, est en fait entrée récemment (à l'échelle cosmologique, c'est-à-dire il y a quatre ou cinq milliards d'années) dans une phase d'accélération, implique l'existence d'une *énergie noire*. La nature de ces ingrédients « noirs » reste encore inconnue. Faudrait-il modifier les lois de la gravitation pour rendre compte de ces phénomènes ? S'agirait-il plutôt de particules encore insaisissables mais prédites par certaines extensions du modèle standard de la physique des particules ? Faut-il faire appel à l'énergie du vide quantique de l'Univers primordial ou à un de ses succédanés ? Le plus frappant est