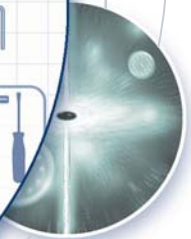
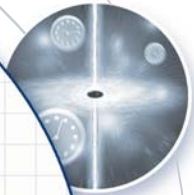
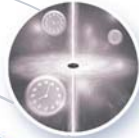
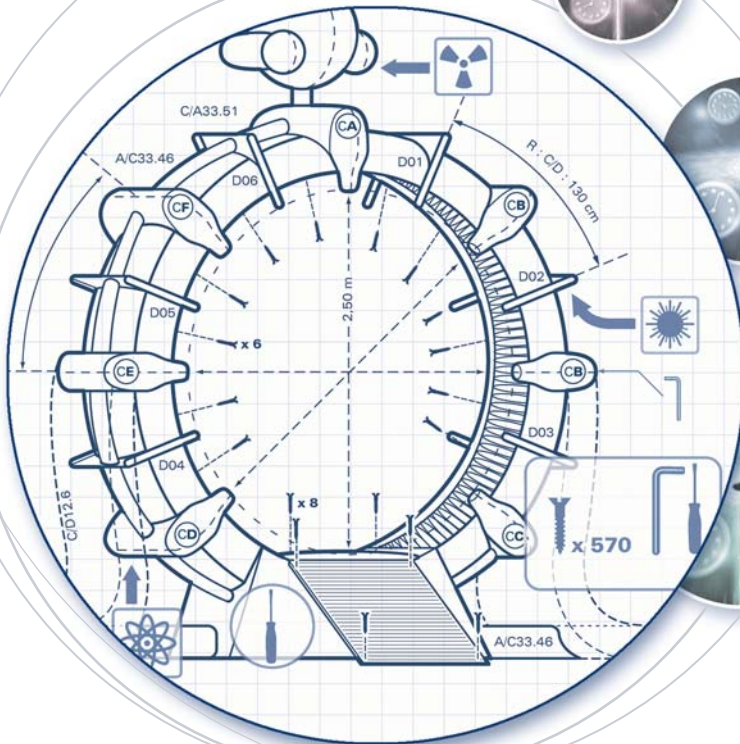




PAUL DAVIES

Comment construire une machine à explorer le temps ?



Comment construire une machine à explorer le temps ?

PAUL DAVIES

TRADUCTION DE CAROLINE LEPAGE

ILLUSTRATIONS DE THOMAS HAESSIG



17, avenue du Hoggar – P.A. de Courtabœuf
BP 112, 91944 Les Ulis Cedex A

Édition originale en anglais : *How to Build a Time Machine*

Copyright © Orion Productions, 2001

Copyright © Paul Davies, 2001

Traduction française © EDP Sciences, 2007

Conception de la maquette et de la couverture : Zoé Production

Illustration de couverture : Thomas Haessig

Imprimé en France

ISBN : 978-2-86883-941-1

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, 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 intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences, 2007

*Je tiens à remercier les nombreuses
personnes qui m'ont aidé à réaliser
cet ouvrage, en particulier mes collègues
Gerard Milburn, Lee Smolin, Peter Szekeres,
Andrew White et David Wiltshire
ainsi que mon agent John Brockman
et mon éditeur Stefan McGrath.*

SOMMAIRE

Bref historique du voyage dans le temps	7
Avant-propos	9
Chapitre 1. Comment visiter le futur ?	13
Temps et mouvement	14
Comment utiliser la gravitation pour voyager vers le futur ?	22
Est-ce vraiment le temps qui ralentit ?	26
$E = mc^2$: la célèbre équation d'Einstein	27
Le futur est ailleurs	29
Chapitre 2. Comment visiter le passé ?	37
Comment voyager plus vite que la lumière ?	38
Comment fabriquer un trou noir ?	40
Trous de ver et espace courbe	46
Espace-temps courbe	51
Trous de ver : portails vers un autre univers ?	55
Comment produire un trou de ver traversable ?	59
Chapitre 3. Comment construire une machine à explorer le temps ?	69
Le collisionneur	71
L'implodeur	76
Le dilatateur	79
Autres systèmes de dilatation	84
Le différenciateur	87
Chapitre 4. Comment donner un sens à tout ça ?	91
Comment éviter les touristes temporels ?	92
Les paradoxes du temps	93
Comment former un autre univers ?	102
Protection de la chronologie	108
Modèles alternatifs de machines à explorer le temps	111
Inverser le temps	114
Pourquoi étudier le voyage dans le temps ?	116

BREF HISTORIQUE DU VOYAGE DANS LE TEMPS

- 1895 H. G. Wells publie *La Machine à explorer le temps*.
- 1905 Albert Einstein publie la théorie de la relativité restreinte (prédiction de la dilatation du temps).
- 1908 Selon Einstein, la gravitation ralentit le temps.
- 1915 Einstein publie la théorie de la relativité générale.
- 1916 Karl Schwarzschild présente une solution aux équations de la relativité générale (trou noir/trou de ver).
- 1916 À partir de la solution de Schwarzschild, Ludwig Flamm est le premier à évoquer la possibilité du trou de ver.
- 1917 Einstein suppose l'existence d'une force de répulsion cosmique (première hypothèse au sujet de l'antigravité).
- 1934 Les trous noirs seraient issus de l'effondrement d'étoiles...
- 1935 Évocation du pont d'Einstein-Rosen (trou de ver).
- 1937 W. J. van Stockum est le premier à découvrir une solution « boucles temporelles » aux équations d'Einstein.

- 1948 L'univers en rotation de Kurt Gödel permet le voyage dans le temps.
- 1948 Découverte de l'effet Casimir, c'est la première fois que l'on parle d'énergie négative.
- 1957 John Wheeler suppose l'existence des trous de ver.
- 1957 Hugh Everett III propose la théorie des univers multiples ou mondes parallèles (interprétation de la mécanique quantique).
- 1963 La série *Docteur Who* démarre sur la chaîne TV de la BBC.
- 1963 Roy Kerr comprend que les trous noirs en rotation pourraient contenir des boucles temporelles.
- 1974 Cygnus X-1, découvert par un satellite d'observation de rayons X, est le premier candidat au titre de trou noir.
- 1976 Franck Tipler montre que le voyage temporel est possible près des cylindres infiniment longs en rotation.
- 1977 Les trous noirs en rotation, portes d'entrée vers d'autres univers...
- 1985 Sortie au cinéma du film *Retour vers le futur*.
- 1985 Carl Sagan écrit *Contact*.
- 1989 Kip Thorne lance une étude sur l'utilisation des trous de ver pour voyager dans le temps.
- 1990 Stephen Hawking développe la conjecture de protection chronologique.
- 1991 J. Richard Gott III propose d'explorer le temps à l'aide des cordes cosmiques.
- 1999 Publication de *Prisonniers du temps*, roman de Michael Crichton.

AVANT-PROPOS

Le voyage dans le temps est inconcevable.

Kingsley Amis

*Je crains de ne pas parvenir à exprimer les étranges
sensations éprouvées lors du voyage dans le temps.*

Elles sont extrêmement désagréables.

H. G. Wells

Et s'il était possible de construire une machine capable de transporter un être humain dans le temps ! Première chose, ce scénario est-il crédible ?

Il y a une centaine d'années, peu de gens pensaient qu'il serait un jour possible d'envoyer l'homme dans l'espace. Le voyage dans l'espace, et celui dans le temps, relevaient seulement de la science-fiction. Pourtant, aujourd'hui, les vols spatiaux sont monnaie courante. Peut-être demain en sera-t-il de même pour les voyages temporels ?

Voyager dans le temps, voilà une idée facile à envisager. Il suffit d'entrer dans une machine à voyager dans le temps, de

presser sur quelques boutons, puis d'en ressortir pour se retrouver *quelque part* ailleurs, et surtout, à une autre époque! Les auteurs de science-fiction ont exploité le filon, encore et encore, depuis la publication du célèbre roman de H. G. Wells, *La Machine à explorer le temps*, en 1895. Ainsi, les aventures dans le temps du Docteur Who et de ses séduisantes partenaires ont tenu en haleine le public britannique, et l'auteur lui-même. Par la suite, des films hollywoodiens – *Retour vers le futur* par exemple – ainsi que des livres comme *Prisonniers du temps*, ont presque fait passer ce genre d'expéditions pour un jeu d'enfants.

Alors, est-ce le cas? Le voyage dans le temps est-il ou non une possibilité scientifique?

Avouons qu'y penser un instant soulève de nombreuses et épineuses questions! Où se trouvent exactement le passé et le futur? Le premier, ayant disparu, est très certainement impossible à récupérer, alors que le second lui ne s'est pas encore produit... Et comment peut-on se rendre dans un monde qui n'existe pas? Mettons un instant ces considérations de côté. Que penser ensuite des inévitables paradoxes liés au risque de visiter le passé et de le modifier? Quelles conséquences pour le présent? Et si explorer le temps était effectivement possible, où sont tous les touristes venus du futur pour observer avec curiosité la société du XXI^e siècle?

Bref, aucun doute: le voyage dans le temps pose de sérieux problèmes, y compris aux physiciens pourtant habitués à travailler sur des concepts aussi mystérieux que l'antimatière et les trous noirs. Mais peut-être que tout cela semble bien confus parce que notre vision du temps n'est pas la bonne? Après tout, elle a déjà considérablement évolué au fil des siècles. Dans les cultures anciennes, le temps était associé au changement. Il prenait racine dans les cycles et les rythmes de la nature.

Plus tard, Sir Isaac Newton en donne une vision plus abstraite et mécanique : « Le temps absolu, vrai et mathématique, coule uniformément sans relation à rien d'extérieur. » Cette définition représentera un concept du temps accepté par la communauté scientifique pendant près de deux cents ans...

Chacun suppose, sans se poser de question (peu importe d'ailleurs sa définition favorite du temps) que le temps est le même partout et pour tout le monde. En d'autres termes, qu'il est absolu et universel. En effet, il nous arrive de *sentir* le temps s'écouler différemment selon notre humeur, pourtant le temps reste simplement *le* temps. Et le but d'une horloge est d'éviter ces déformations mentales en enregistrant en toute impartialité le temps qui passe. De ce point de vue, le temps peut être « découpé » en trois : passé, présent et futur. Le présent – *maintenant* – est supposé représenter l'instant bref de la réalité vécue. Le passé, lui, fait partie de l'histoire comme une sorte de mémoire. Quant au futur, il est encore flou, informe... Pour en revenir à ce « maintenant » – essentiel – lui est considéré représenter le même instant à travers l'univers : votre « maintenant » et le mien sont identiques, peu importe l'endroit où nous sommes et ce que nous faisons.

Voilà donc ce qu'est le temps pour le sens commun ! Tous, nous utilisons cette image dans la vie quotidienne (très peu de gens le perçoivent autrement). Pourtant, elle est fautive, profondément inexacte...

Que cette image ne pouvait être juste est devenu apparent au début du ^{xx}e siècle. Une large part du mérite revient à Albert Einstein qui, avec sa théorie de la relativité, a su exposer les failles de ce concept du temps. D'un coup, il réduisait en miettes les thèses de Newton concernant l'espace et le temps, et rendait

dénuée de sens la division universelle du temps en passé, présent et futur. Il ouvrirait tout simplement la voie au voyage temporel...

La théorie de la relativité a un siècle. Après sa publication en 1905, la théorie de la relativité restreinte est presque immédiatement acceptée par les physiciens. Au fil des décennies, on la teste de manière exhaustive dans de nombreuses expériences. Aujourd'hui, la communauté scientifique est unanime : le temps est relatif et la notion répandue de temps absolu avec un « maintenant » universel est pure fiction ! Mais pour le grand public, la relativité du temps est encore un choc. Beaucoup de gens semblent même ne jamais en avoir entendu parler. Et certains refusent catégoriquement d'y croire, malgré les preuves expérimentales indiscutables.

Dans les chapitres suivants, nous verrons comment la théorie de la relativité implique la possibilité d'une forme limitée – voire sans limites (à n'importe quelle époque, passé ou futur) – de voyage à travers le temps. Cette histoire vous semble difficile à avaler ? Alors souvenez-vous du célèbre dicton de J. B. S. Haldane : « L'univers est non seulement plus étrange que ce que l'on suppose, mais plus étrange encore que ce que l'on ne pourra jamais supposer. »

1

Comment visiter le futur ?

*Le temps n'est pas complètement défini.
Albert Einstein*

À l'évidence, nous sommes tous des voyageurs du temps. Ne faites rien, et vous serez inexorablement transporté vers le futur au rythme inflexible d'une seconde après l'autre. Mais ce voyage là est d'un intérêt limité. Un véritable explorateur du temps doit pouvoir bondir de façon spectaculaire dans le passé, ou atteindre le futur plus rapidement que n'importe qui d'autre.

Est-ce réellement plausible ?

Ça l'est, en effet. Les scientifiques n'ont aucun doute sur le fait qu'il est possible de construire une machine à explorer le temps et visiter ainsi le futur. D'ailleurs, ils connaissent la formule depuis un siècle...

TEMPS ET MOUVEMENT

Nous voici en 1905. Pour la première fois, Albert Einstein démontre la possibilité de voyager dans le temps. Comment ? En démolissant l'image du temps façonnée à l'époque de Newton, et en la remplaçant par son propre concept de temps relatif.

Einstein a vingt-six ans lorsqu'il publie sa théorie de la relativité restreinte. Il n'est pas encore ce sage aux cheveux gris, à la coiffure ébouriffée, fumant sa pipe, stéréotype pour beaucoup du professeur cinglé... Il est un jeune homme soigné, en costume, qui travaille à l'Office des brevets en Suisse. Pendant son temps libre, le jeune Einstein étudie les mouvements de la lumière. À cette occasion, il remarque une incohérence entre le mouvement de la lumière et celui des objets matériels. Employant seulement des outils mathématiques de niveau secondaire, il démontre que si la lumière se comporte de la manière décrite par les physiciens, alors la conception du temps selon Newton doit être incorrecte.

La suite de raisonnements qui conduit du mouvement de la lumière à cette conclusion saisissante a déjà été longuement débattue et ne nécessite pas ici d'autres éclaircissements. Ce qui compte pour nous ? L'affirmation centrale de la théorie de la relativité restreinte :

Le temps est élastique.

Le temps peut être dilaté et contracté.

Comment ? Grâce à un déplacement extrêmement rapide.

Mais qu'entend-on exactement par « temps qui se dilate » ? Laissez-moi vous l'expliquer. Selon la théorie de la relativité

restreinte, la durée exacte du temps écoulé entre deux évènements distincts va dépendre de la façon dont l'observateur se déplace. Par exemple, l'intervalle entre deux carillons successifs de mon horloge devrait être d'une heure lorsque je reste assis au salon, et de moins d'une heure si je passe ce temps à me déplacer !

Pour exprimer la même chose de manière plus concrète, supposez que j'embarque à bord d'un avion à New York, lequel s'envole en direction de Rio. Puis je reviens alors que vous, dans le même temps, n'avez pas bougé de l'aéroport Kennedy. La durée de mon voyage selon moi ne correspond pas à celle du temps écoulé pour vous. En fait, elle est un peu plus courte pour moi.

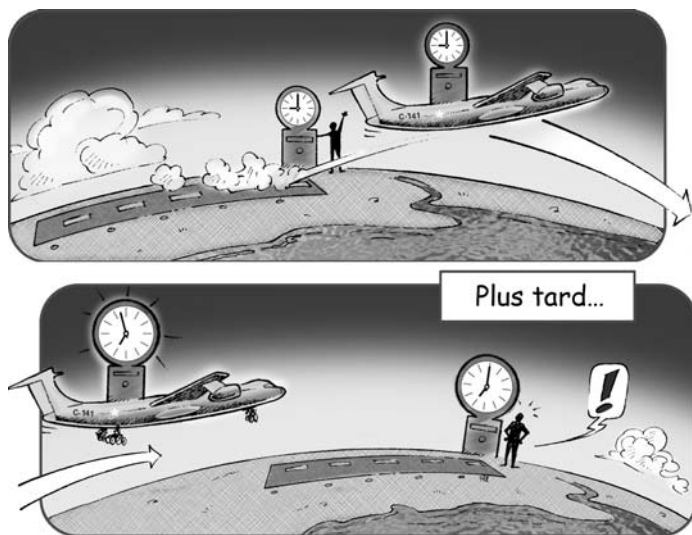
Deux points doivent maintenant être éclaircis. D'abord, je ne parle pas de la durée *apparente* du voyage. Votre expérience de l'ennui éprouvé dans l'aéroport au fil des heures qui semblaient n'en plus finir (alors que moi, j'étais joyeusement en train de me divertir devant des films diffusés à bord de l'avion) n'est pas l'effet évoqué ici. Certes, le temps mental est un sujet fascinant du domaine de la psychologie, mais ma préoccupation reste le temps *physique*, celui que mesurent de simples horloges. Seconde précision, la divergence de temps dans l'exemple présenté est infime – d'à peine quelques cent-millionièmes de seconde – soit bien trop petite pour être perçue par un être humain !

En revanche, elle peut l'être par une horloge moderne, expérience d'ailleurs réalisée en 1971 par les physiciens Joe Hafele et Richard Keating. À l'époque, ils placent des horloges atomiques ultra-précises à bord d'un avion, effectuent un tour du monde puis comparent leurs lectures avec des horloges identiques restées au sol. Résultat sans ambiguïté aucune : le temps s'écoule moins vite à bord de l'avion qu'au laboratoire ! En fin d'expérience,

l'heure indiquée par les horloges embarquées dans l'avion compte cinquante-neuf nanosecondes de moins que les horloges du laboratoire, soit exactement la durée annoncée par la théorie d'Einstein.

Ainsi, votre temps et le mien étant désynchronisés si nous nous déplaçons différemment, le temps ne peut manifestement pas être universel ou absolu comme le supposait Newton... Parler *du* temps est donc dénué de sens. D'où cette question que vous poserait certainement le physicien : le temps ? Le temps pour qui ?

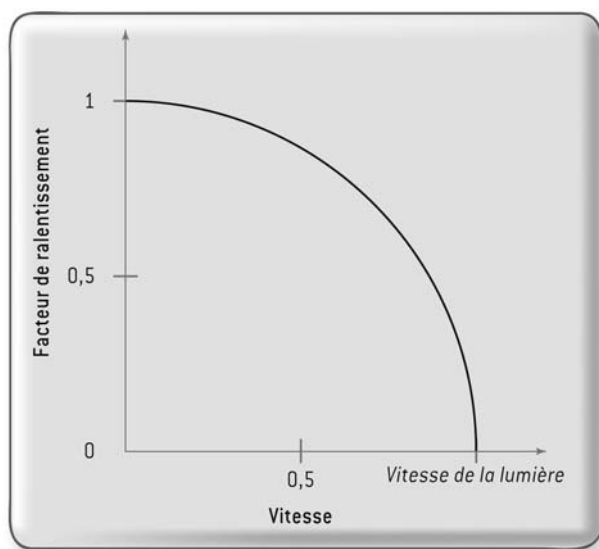
Aussi importante historiquement que soit l'expérience de Hafele-Keating, elle est loin de contenir les ingrédients d'une palpitante aventure de science-fiction. Une distorsion temporelle de cinquante-neuf nanosecondes, pas de quoi fouetter un chat ! Alors que faire pour obtenir un effet à couper le souffle ?



1 | Le temps s'écoule moins vite à bord de l'avion en mouvement qu'au laboratoire.

Se déplacer beaucoup plus vite... Pour ce faire, le point de référence est la vitesse de la lumière, vertigineuse à 300 000 kilomètres par seconde. Plus vous vous en approchez, plus la distorsion temporelle sera importante.

Explication. Les physiciens appellent ce ralentissement du temps par le mouvement « effet de dilatation du temps ». Prenez une vitesse, divisez-la par celle de la lumière, élevez le résultat au carré, ôtez-le de 1 et prenez la racine carrée de ce nombre. Qu'est-ce donc ? Le facteur de dilatation du temps d'Einstein ! Le graphique (figure 2) présente le « facteur de ralentissement du temps » en fonction de la vitesse. Au départ, la courbe est quasiment plate. Puis, le facteur de dilatation diminue au fur et à mesure que l'on s'approche de la vitesse de la lumière. Ainsi, pour une vitesse équivalente à la moitié de cette valeur, le temps est



2 | Facteur de ralentissement en fonction de la vitesse.

ralenti d'environ 13 % ; à 99 % de sa valeur, de sept fois plus encore (1 minute est réduite à environ 8,5 secondes).

Techniquement, la distorsion temporelle devient infinie lorsque la vitesse de la lumière est atteinte. C'est là que les ennuis commencent... Car, ce graphique nous signale qu'un corps matériel normal ne peut atteindre la vitesse de la lumière. Il existe un « mur de la lumière » qu'il est impossible de dépasser. La règle du « pas-plus-vite-que-la-lumière » est un résultat clé de la théorie de la relativité :

Rien ne peut dépasser le mur de la lumière.

Cette règle ne comprend pas seulement les corps matériels mais aussi les ondes, les perturbations de champs – les influences physiques de toutes sortes. Voilà qui n'aide pas beaucoup la science-fiction car aussi vite qu'elle aille, la lumière a encore besoin d'énormément de temps pour parcourir les distances interstellaires. Un simple exemple : l'étoile la plus proche est à plus de quatre années-lumière de chez nous, ce qui signifie qu'il faut plus de quatre ans à la lumière partie de la Terre pour l'atteindre. Quant à la Voie lactée, elle s'étend sur environ 100 000 années-lumière, il serait bien lent de gouverner un tel empire galactique !

Heureusement, des compensations existent. Comme le temps est dilaté par la vitesse, les voyages interstellaires paraîtraient plus rapides aux astronautes qu'aux techniciens restés à Terre au centre de contrôle. Pour un vaisseau spatial se déplaçant à une vitesse atteignant 99 % de la vitesse de la lumière, un voyage à travers la galaxie serait effectué en seulement 14 000 ans. À hauteur de 99,99 %, le gain serait encore plus spectaculaire :



Les neutrinos vont-ils au paradis ?

Les particules imaginaires d'un dictateur ordinaire

François Vannucci

Dans ce "roman noir", la quête obsessionnelle de la masse des neutrinos, ces particules fantomatiques, conduira l'éminent professeur H. à la folie criminelle ; la vie d'un laboratoire de physique à l'ambiance lourde et oppressante, dirigé par un "savant fou" despotique. La science rencontre la littérature policière...

• 2002 • 2-86883-559-7 • 256 p. • 18 €



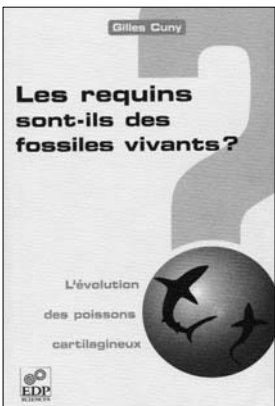
Des vampires chez les plantes

En guerre contre les plantes parasites

Georges Sallé

Dans l'imagerie populaire, le gui évoque un druide perché dans un chêne, ou bien un porte-bonheur. Pourtant, les plantes parasites sont un véritable fléau pour les cultures. Georges Sallé enseigne à ses deux stagiaires la biologie, la physiologie et l'écologie des guis, orobanches et autres Striga, au laboratoire puis sur le terrain.

• 2002 • 2-86883-574-0 • 240 p. • 17 €



Les requins sont-ils des fossiles vivants ?

L'évolution des poissons cartilagineux

Gilles Cuny

Tous les requins ne sont pas les tueurs que l'on croit, ni des "dinosauriens" des mers qui n'auraient pas évolué. Au contraire, ils ont développé des trésors d'adaptation et les formes fossiles sont bien différentes de leurs cousins actuels. La vie quotidienne des requins depuis leur origine, il y a 450 millions d'années.

• 2002 • 2-86883-538-4 • 208 p. • 18 €



Des séquoias dans les étoiles

Les origines cosmiques de la matière

Philippe Chomaz

Que sont les atomes ? D'où viennent-ils ? Les héros de ce roman scientifique découvrent le monde de la recherche, de la définition des éléments chimiques à la naissance de la matière dans l'Univers, mais aussi le passé secret de leur propre famille. Cet ouvrage correspond au programme de physique de seconde.

• 2002 • 2-86883-539-2 • 264 p. • 18 €



La Terre chauffe-t-elle ?

Le climat de la Terre en question

Gérard Lambert

Les activités humaines risquent-elles de bouleverser le climat de la planète ? Ce roman scientifique, dont le héros rencontre des scientifiques passionnés et visite des laboratoires et des terrains d'expérimentations, expose les problèmes liés à l'effet de serre et décrit les découvertes effectuées dans ce domaine.

• 2001 • 2-86883-515-5 • 224 p. • 15 €



Que sait-on des maladies à prions ?

Entretiens avec des spécialistes

Emile Desfeux

Les encéphalopathies spongiformes ont franchi la barrière des espèces : l'Homme peut contracter une variante de la maladie de Creutzfeldt-Jakob, forme humaine de la maladie de la vache folle. Dans ce roman, des lycéens en vacances interrogent des scientifiques pour comprendre la transmission du prion anormal et connaître les derniers tests de dépistage.

• 2001 • 2-86883-517-1 • 170 p. • 15 €