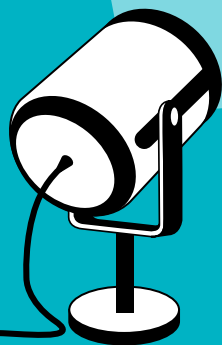


SPOT
SCIENCES

Suzy Collin-Zahn

Préface de James Lequeux
Illustrations de Paul-Etienne Zahn

Grandes controverses en astrophysique



edp sciences

Grandes controverses en astrophysique

SPOT
SCIENCES
HISTOIRE

Suzy Collin-Zahn

Suzy Collin-Zahn est astrophysicienne, ancienne enseignante à l'Université et directrice de recherche honoraire à l'Observatoire de Paris. Ses recherches ont principalement porté sur l'astronomie extragalactique et l'environnement des trous noirs. Elle décrit dans ce livre certaines controverses éclatantes concernant des thèmes variés qui ont parsemé l'histoire de l'astrophysique. Pour les plus récentes, elle en a été elle-même le témoin et en a connu les acteurs, en France comme à l'étranger. Ces histoires montrent les difficultés de la recherche, tout en se lisant comme des romans et en restant accessibles aux non-spécialistes.

ISBN :

978-2-7598-2613-1



edp sciences
www.edpsciences.org

Grandes controverses en astrophysique

Grandes controverses en astrophysique

SUZY COLLIN-ZAHN

Illustrations de Paul-Etienne Zahn

The logo for 'edp sciences' features the lowercase letters 'edp' in a stylized, interconnected font, followed by the word 'sciences' in a clean, sans-serif typeface.

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

SPOT Sciences

Collection destinée à un large public qui invite le lecteur à découvrir à travers des essais toute une palette des sciences : histoire, origines, découvertes, théories, jeux...

Dans la collection

« Sexualité, génétique et évolution des bactéries », J.P. Gratia, ISBN : 978-2-7598-2538-7 (2021)

« La pensée en physique – *Diversité et unité* », J.P. Pérez, ISBN : 978-2-7598-2481-6 (2021)

« L'histoire du cerveau – *Voyage à travers le temps et les espèces* », Y. Gahéry, ISBN : 978-2-7598-2479-3 (2021)

« Les clés secrètes de l'Univers – *Émergence de l'Univers, de la vie et de l'Homme* », M. Galiana-Mingot, ISBN : 978-2-7598-2534-9 (2021)

Composition et mise en pages : Flexedo

Imprimé en France

ISBN (papier) : 978-2-7598-2613-1

ISBN (ebook) : 978-2-7598-2614-8

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 droit 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, 2021

SOMMAIRE

Préface	7
Avant-propos : pourquoi j'ai écrit ce livre	9
Introduction	13
La méthode scientifique : une fabrique de controverses.....	13
Spécificité de l'astrophysique.....	19
La difficile classification stellaire	23
La bataille Cannon/Maury.....	26
Une jeune astronome trop modeste	28
Lord Kelvin et les géologues	31
Heureusement, la physique nucléaire arriva.....	36
Le Grand Débat	39
Où il est question de nébuleuses.....	39
Où l'on parle du harem Pickering.....	45
Einstein contre Friedmann et Lemaître	49
La naissance compliquée de la cosmologie	52
Années 1920 : deux médecins au chevet de l'Univers, Friedmann et Lemaître.....	53
Mais reste cependant un grave problème... ..	55
Univers stationnaire contre Big-Bang, ou Hoyle contre Gamow	57
Le coup d'envoi provient de Gamow.....	59
Hoyle s'engouffre dans la brèche.....	61
Le paradoxe d'Olbers-de Chéseaux	65
Controverses autour de la matière noire	71
Un génie détesté	71
Controverse sur les amas de galaxies	75
On reprend les courbes de rotation des galaxies	76
La matière noire refait surface.....	77
Une nouvelle controverse.....	78
Les batailles de la constante de Hubble	81
En 1952, H_0 est divisé par deux et par conséquent l'Univers devient deux fois plus vieux	83
La valeur mesurée de H_0 continue à diminuer !	85
Faisons donc encore un effort sur la constante de Hubble !	85
Une bataille féroce entre l'école anglo-saxonne et l'école française... ..	86
Une nouvelle controverse.....	87

La controverse des décalages spectraux anormaux	91
Des problèmes à la pelle.....	93
Le point de vue non conventionnel.....	99
Une simple affaire de statistique.....	100
Les trous noirs géants, mythes ou réalités ?	105
Les prémices d'une controverse.....	106
La controverse elle-même.....	109
L'invasion des trous noirs massifs !	
Une autre controverse se pointe.....	112
Le chauffage de la couronne solaire	115
Découverte d'un élément inconnu sur Terre.....	115
La solution du mystère.....	118
Un nouveau problème était né, et une nouvelle controverse !.....	119
L'affaire Geminga	121
Weber : la saga des ondes gravitationnelles	127
Les neutrinos solaires : John Bahcall et les physiciens	133
C'est donc le modèle standard de la physique qui doit être révisé...	137
Les GRB (Gamma-Ray Burst)	139
La grande illusion : les canaux de Mars	143
Controverse sur la météorite martienne	151
La bataille de Pluton	155
Le principe anthropique	159
Ces nombres bizarres qui caractérisent l'Univers.....	159
L'âge de l'Univers, pas si naturel.....	160
Principe anthropique et Big Bang.....	162
Les forces et les constantes qui régissent l'Univers.....	163
Un Grand Architecte n'est pas forcément nécessaire !.....	166
Des disputes fécondes.....	168
Les fausses controverses	169
Les scientifiques qui créent la controverse.....	169
Les frères Bogdanov : une imposture médiatique.....	172
La tempête médiatique.....	174
Les extraterrestres : où sont-ils ?	179
Ces « objets volants non identifiés ».....	180
Une équation ultra-célèbre, mais qui ne sert pas à grand-chose.....	185
Le projet SETI.....	187
Mais alors, où sont-ils ?.....	189
Appendice	195
Remarques sur le développement de l'astrophysique en France.....	195
Glossaire	203

PRÉFACE

La recherche scientifique n'a rien d'un long fleuve tranquille. Les découvertes ne sont que bien rarement le résultat de l'intuition géniale d'un seul individu comme on l'imagine trop souvent, mais ne surviennent qu'au terme d'un long processus fait de travail collectif souvent fastidieux, émaillé d'intuitions plus ou moins vagues, d'hésitations, de controverses et de repentirs. Dans notre période où fleurissent les *fake news* et les théories du complot, il est particulièrement instructif et salutaire d'examiner ce processus à partir d'exemples simples et concrets, car le public n'en a souvent aucune idée. Pour ceci, l'astrophysique offre un terrain assez particulier puisqu'on ne peut pas, sauf cas rares, se livrer à des expériences sur les astres lointains et que l'on doit se contenter d'essayer d'interpréter des observations à distance. Il faut dire que ces observations nous apportent bien des surprises, qui sont particulièrement propices au déclenchement d'idées plus ou moins farfelues, donc aux controverses. D'un autre côté, la recherche en astrophysique n'est pas biaisée par des soucis de rentabilité pratique, contrairement à la biologie par exemple, ce qui rend les chercheurs plus libres de développer leurs idées. Mais ceci ne veut certainement pas dire que leur ego et leurs relations avec leurs collègues et le public n'y jouent aucun rôle, comme le lecteur aura l'occasion de le constater.

Dans le présent ouvrage, Suzy Collin-Zahn s'est attachée à décrire par des exemples caractéristiques le cheminement intellectuel souvent tortueux qui conduit à notre connaissance de l'Univers. Elle a choisi des thèmes qui ont suscité des controverses éclatantes, mais qui ne sont que la partie émergée d'un ensemble globalement moins spectaculaire. Elle était particulièrement bien placée pour ce faire, car elle a été le témoin de nombreuses avancées de la recherche en astrophysique, à laquelle elle a d'ailleurs elle-même participé avec grand succès. Elle a connu personnellement un grand nombre des acteurs de cette recherche, que ce soit en France ou à l'étranger, dont elle a pu observer la démarche intellectuelle, et son témoignage est donc souvent de première main.

Des pans entiers de la recherche en astrophysique n'ont pas encore abouti, et n'aboutiront peut-être jamais. C'est le sort de la science, dont le progrès en dents de scie est fait d'avancées spectaculaires environnées de stagnations et quelquefois de reculs, certaines idées qui semblaient bien établies étant mises à mal par de nouvelles observations ou des raisonnements plus poussés. Cependant, la vérité finit heureusement par se dégager, et la réalité est souvent plus spectaculaire que tout ce que l'on avait pu imaginer. On ne s'étonnera donc pas de rencontrer dans ce livre des objets exotiques comme les quasars et les trous noirs, et surtout des personnages passionnés par la contemplation même de ces objets, quelquefois au point d'en perdre un peu de leur sens critique. On y trouvera également des réflexions d'un grand intérêt sur notre place dans un Univers dont nous découvrons peu à peu les secrets.

Le lecteur qui va se plonger dans cet ouvrage ne sera pas déçu. Ses différents chapitres, qui peuvent être abordés indépendamment les uns des autres, se lisent comme des romans et ne manqueront pas d'exciter curiosité et passion, d'autant plus qu'ils sont variés, bien écrits et très vivants, tout en restant accessibles aux non-spécialistes. Bonne lecture !

James Lequeux

AVANT-PROPOS : POURQUOI J'AI ÉCRIT CE LIVRE

L'idée d'écrire cet ouvrage m'est venue après avoir mené une vie de chercheuse pendant presque cinquante années au cours desquelles ma discipline, l'astrophysique, a subi un développement sans précédent. J'ai vu ainsi certains domaines, telle la cosmologie, complètement renouvelés par les observations inattendues conduisant à la découverte de la matière noire et de l'énergie sombre, représentant à elles deux 95 pour cent de l'Univers et dont la nature est totalement inconnue ! Ma propre spécialité, qui concerne les galaxies actives et les quasars, s'est entièrement construite depuis que j'ai commencé ma recherche. J'y ai vu la montée en force des trous noirs, presque objets de dérision pendant la première moitié du siècle (Einstein lui-même n'y croyait pas !), avant que l'on découvre que les plus géants d'entre eux sont tapis au cœur des galaxies, et même dans notre sage Voie lactée ! Depuis que je suis retraitée, on a découvert l'ombre de l'un de ces trous noirs enveloppé de son disque, exactement tel que prévu par la théorie. Dans le domaine de la physique stellaire qui, contemplée de loin, me paraissait beaucoup mieux établie, j'ai assisté à la découverte des derniers stades de la vie des étoiles trente ans après leur prédiction théorique, puis aux progrès de l'héliosismologie et de

l'astérosismologie qui ont permis de connaître la structure interne des étoiles. J'ai même vu, après des dizaines d'années d'efforts inouïs débouchant sur une précision de mesure sans précédent, le résultat de la fusion de deux trous noirs en une flambée d'ondes gravitationnelles, ouvrant une nouvelle fenêtre sur l'Univers, un siècle après leur prévision par Einstein qui n'avait jamais pensé que l'observation de ces ondes fût possible. Cette foison d'avancées scientifiques a été le résultat de l'incroyable développement des instruments d'observation, avec la mise en service des très grands télescopes, l'ouverture du spectre aux longueurs d'onde observables seulement depuis l'espace, l'invention de l'optique adaptative, la mise au point d'énormes programmes de simulations numériques, et la généralisation de l'Internet conduisant entre autres à la publication de relevés gigantesques.

Ces découvertes ont presque toutes suscité des controverses passionnées, surtout lorsqu'elles étaient imprévues et que la communauté scientifique n'y était pas préparée. A contrario, elles étaient comprises presque dans l'heure et ne soulevaient pas la moindre discussion lorsqu'elles avaient été prédites, comme les pulsars et le rayonnement cosmologique¹. J'ai constaté que des idées prémonitoires avaient été refusées en leur temps, et avaient été redécouvertes des décennies plus tard, telle celle de la matière noire. J'ai découvert que certaines idées avaient eu du mal à s'imposer devant d'autres plus à la mode, défendues par des scientifiques connus ; mais que, lorsqu'était proposée une explication s'insérant dans un contexte scientifique déjà accepté, elle était immédiatement admise, sauf par quelques récalcitrants comparables à ceux qui, actuellement, veulent à tout prix que la Terre soit plate. J'ai vu ainsi des chercheurs refuser pendant toute leur vie de reconnaître des évidences. Comme dit le proverbe, l'erreur est humaine, mais c'est persévérer qui est diabolique. Et ce n'est alors pas la science qui éteint les polémiques, mais la mort des protagonistes.

1. En fait, on verra que ce ne fut pas tout à fait vrai avec l'Univers stationnaire...

Il m'est donc venu l'envie, non seulement de rassembler ces histoires épiques que j'ai vécues, mais également de chercher comment s'étaient constituées des idées qui paraissent maintenant bien établies, pourquoi elles avaient suscité des controverses parfois violentes, et comment celles-ci avaient été résolues. Et ce faisant, de montrer comment fonctionne la méthode scientifique, et comment on arrive à se frayer – souvent péniblement et sur le long terme – un chemin vers la vérité.

INTRODUCTION

LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE : UNE FABRIQUE DE CONTROVERSES

Les controverses sont consubstantielles à la Science, et c'est grâce à elles que celle-ci progresse. La science se fonde en effet sur des faits, mais ces faits ne sont pas toujours faciles à interpréter. Elle procède donc par allers-retours entre vérité et erreurs. Sa démarche vers la vérité est chaotique, les vérités scientifiques étant changeantes contrairement aux vérités révélées. Mais elle finit par s'en approcher et, à long terme, il y a toujours une évolution du faux vers le vrai. Les expériences, l'observation de la nature et de ses régularités sont les pierres sur lesquelles sont bâtis des hypothèses et des modèles mathématiques, eux-mêmes servant à proposer d'autres expériences et d'autres observations et à en prédire les résultats. Si les résultats ne sont pas conformes aux prédictions, l'hypothèse doit être abandonnée pour une autre. Telle est la démarche scientifique, faite de permanentes remises en question, et qui ne peut s'abstraire du doute et de la discussion.

Lorsqu'on parle maintenant de science, on confond souvent celle-ci avec les « techno-sciences », comme le nucléaire ou les nanotechnologies, dont le développement et l'usage posent des questions de

société. On pense également aux sciences de la vie qui contiennent trop de paramètres pour que les scientifiques puissent donner des réponses simples aux questions posées. Elles sont génératrices de discussions impliquant des décisions politiques : les OGM sont-ils néfastes ou non ? Les vaccins sont-ils recommandés ? Etc. Les citoyens désirent légitimement avoir des informations sur ces sujets et veulent participer aux débats de société.

Mais ce dont il est question ici, c'est de « science fondamentale », celle dont le but est seulement de faire avancer la connaissance, et plus précisément d'une science « dure », l'astrophysique (comme nous le verrons plus loin, c'est une science dure particulière, car elle est fondée sur les observations et non sur les expériences)². Il ne faut pas croire qu'il n'existe pas de controverses dans les sciences dures, mais elles ne sont généralement pas connues du public car ce sont des querelles d'experts qu'on n'estime pas nécessaire de populariser. Contrairement aux débats de société dont je viens de parler, elles conduisent souvent – parfois au bout d'un temps très long – à un consensus, qui peut d'ailleurs être remis en cause à la suite d'une nouvelle observation ou d'une nouvelle théorie. On a infligé à la relativité générale toutes les vérifications possibles, et elle n'a été jamais été mise en défaut jusqu'à maintenant, mais il y aura peut-être un jour une observation plus précise qui y parviendra. Elle se métamorphosera alors probablement en une théorie nouvelle qui l'englobera, comme elle a englobé elle-même la mécanique newtonienne. Et c'est à ce moment, lorsqu'une solution s'est dégagée, que les scientifiques estiment qu'elle doit émerger à travers la vulgarisation scientifique. Ce n'est cependant pas l'avis de tout le monde, et certaines controverses sont amplifiées pour impressionner le grand public et avoir plus d'impact, souvent par les médias mais parfois aussi par des

2. En fait, l'astrophysique est par certains côtés proche des sciences de la nature, car les phénomènes font intervenir parfois plusieurs paramètres qu'il est difficile de départager. Il arrive qu'ils jouent tous un rôle important éventuellement à différents moments.

scientifiques en mal de reconnaissance. Ces procédés contribuent à dégrader l'image de la science. Dans certains cas cependant – rares –, aucune solution claire ne se dégage même après des décennies, et là seulement, il faut exposer le problème au public.

Car il ne faut pas confondre les théories en train de se faire, avec celles qui ont été longuement vérifiées. D'après discussions entre experts ont eu lieu. Après que les controverses ont fait rage, une théorie finit par s'imposer parce qu'elle s'intègre dans un corpus d'autres théories et qu'elle est en accord avec toutes les observations. Ne croyez d'ailleurs pas que les théories qui gagnent le font seulement parce que les scientifiques ont utilisé les « bonnes » méthodes, mais souvent simplement parce que les autres sont en désaccord avec les observations. Cela ne signifie pas que la théorie qui a gagné est définitive, mais la remettre en cause sera comme enlever la clef de voûte d'un édifice : il faudra la remplacer par une autre qui tienne mieux, ou tout va s'effondrer.

Par ailleurs, les hommes n'étant pas des êtres purement rationnels (même les plus grands génies, et peut-être surtout eux !), ils sont gouvernés aussi par leurs émotions. Les faits sont alors interprétés à travers le prisme de leur subjectivité qui les leur présente avec de belles couleurs irisées. De plus, les théories naissent dans un cadre historique spécifique qui imprime nécessairement sa marque. L'un des meilleurs exemples est celui d'Einstein ajoutant une constante à ses équations (ce qui était d'ailleurs légitime) et choisissant arbitrairement sa valeur afin de rendre l'Univers statique, comme le voulaient la philosophie dominante de son temps et la sienne propre. Il refusa – même assez violemment – de l'admettre pendant plusieurs années, ce qu'il regretta par la suite³. Pourtant la constante cosmologique dont il contesta ensuite la réalité n'était pas une si mauvaise idée, et son abandon a été à l'origine d'une controverse qui a duré soixante ans.

3. Bien qu'il n'ait probablement jamais dit que « c'était la plus grande erreur de sa vie » – car il considérait certainement que la construction de la bombe atomique à laquelle il avait participé marginalement en était une bien plus grande !

Pour faire évoluer la Science, il faut savoir risquer l'erreur et la controverse, car on ne peut se contenter d'accumuler des faits empiriques sans théorie en arrière-plan, ou l'on ne débouchera sur rien. Il faut donc avancer des idées nouvelles et proposer des observations pour les vérifier. D'une nouvelle expérience naîtra toujours une connaissance plus riche, qu'elle soit prévue ou non, ou qu'elle montre que nos idées précédentes étaient fausses. Il faudra alors accepter le verdict et passer à autre chose. Et souvent l'observation nouvelle posera de nouvelles questions, tout aussi difficiles que les précédentes, et l'on découvrira une fois de plus avec découragement – ou avec excitation, suivant son tempérament – que la Science est sans fin. Un exemple en est la controverse à propos de la valeur de la constante de Hubble, qui en arrive maintenant jusqu'à poser des questions fondamentales remettant peut-être en cause la validité du modèle cosmologique standard.

Quelles sont les causes des controverses ? Elles sont diverses et nous les verrons au cours de l'ouvrage. La raison la plus évidente est la méconnaissance à une époque donnée des théories ou des observations nécessaires pour répondre à une question. La discussion part alors dans tous les sens. C'est ainsi que Le Verrier, qui venait de trouver la planète Neptune grâce à ses perturbations sur l'orbite d'Uranus, décida de rechercher la planète Vulcain pour expliquer l'avance incompréhensible du périhélie de Mercure. Il la rechercha désespérément pendant toute sa vie, mais les mêmes effets ne proviennent pas toujours des mêmes causes. Et ce qu'il avait réussi avec Uranus et Neptune ne se renouvela pas. La planète n'existait pas, mais on ne pouvait le savoir, car c'est seulement cinquante ans plus tard qu'on disposa de la théorie explicative avec la relativité générale. Dans ce cas, aucune avancée n'est possible, à moins d'une intuition géniale. Mais celle-ci doit malgré tout être confirmée scientifiquement. Ce fut le cas par exemple pour les Univers-Îles d'Emmanuel Kant, dont l'existence fut prouvée deux siècles après sa proposition.

Une controverse peut s'éterniser par la faute d'un scientifique trop sûr de lui, refusant d'écouter les arguments qu'on lui oppose. Ainsi celle que créa Lord Kelvin, lorsqu'il montra que la durée de vie du Soleil, si elle était due à sa contraction, ne pouvait excéder cinquante millions d'années. Or la détermination de l'âge bien plus élevé de la Terre par les géologues prouvait que ce n'était pas la bonne réponse. Simplement, il manquait alors un pan à la science qui n'arriverait que quarante ans plus tard, la physique nucléaire. Mais Kelvin n'accepta pas ce que lui disaient les géologues, qu'il considéra de façon très méprisante jusqu'à la fin de sa vie. D'ailleurs n'avait-il pas prophétisé à la fin du XIX^e siècle : « Il n'y a rien à découvrir de nouveau en physique maintenant, il ne reste qu'à faire des mesures de plus en plus précises » ! Ces paroles ne manquent pas de sel lorsqu'on sait qu'au cours des trente années suivantes, nos cadres de pensée ont été complètement transformés par la mécanique quantique et la relativité générale, et que l'Univers a acquis une histoire et une dimension gigantesque !

On se dispute souvent aussi à propos de la paternité d'une découverte. C'est ainsi que la découverte de Neptune expliquant les écarts de la trajectoire d'Uranus avait entraîné une polémique concernant le véritable découvreur de la planète : le Britannique Adams, le Français Le Verrier, qui avaient tous deux prédit sa position, ou l'Allemand Galle qui l'avait observée. On sait maintenant que les calculs d'Adams n'étaient pas aussi exacts que ceux de Le Verrier, et on admet que ce dernier, qui avait d'ailleurs publié le premier, est le découvreur de Neptune.

Les disputes abondent d'autant plus qu'une question est importante, car elle suscite de multiples réponses avec chacune ses explications, et parmi celles-ci une seule est bonne, ou disons, moins mauvaise que les autres. Mais le principal est que les disputes finissent par s'éteindre grâce à la confrontation avec les expériences ou les observations. En effet, lorsque les théories sont démontrées fausses après un certain temps, il faut accepter d'éteindre l'incendie et d'écouter les opposants

et pas seulement ses amis, comme ne le firent pas par exemple Hoyle et ses collègues pour l'Univers stationnaire. Car il n'y a rien de pire que de s'isoler dans son petit cercle scientifique confiné. Lorsque fut découvert le rayonnement cosmologique fossile, ils s'obstinèrent dans leur idée, prônant une émission locale, quitte à tordre les réalités de façon effarante. Il ne faut pas non plus réserver ses annonces au grand public, même si c'est avec un grand talent, avant d'avoir fait valider ses idées par des pairs, car elles risquent fort d'être annulées par la suite. C'est ce qui arriva aux tenants de « la lumière fatiguée » pour expliquer le décalage des galaxies vers le rouge.

Il faut ajouter que nous vivons une période particulière où les théories du complot fleurissent grâce au développement de l'Internet et des réseaux sociaux. Ce mode de pensée s'apparente au post-modernisme qui prévaut aussi dans l'art et la philosophie. En science, il a pris la forme du « relativisme ». C'est l'idée très répandue, lancée il y a un demi-siècle par le philosophe des sciences Paul Feyerabend, que toutes les théories proposées pour interpréter les mêmes faits se valent, parce que la science est déterminée autant par des critères sociaux ou subjectifs que rationnels, et qu'il faut donc les prendre toutes en considération. Ce que s'empressent de faire certains médias, à l'affût de belles polémiques génératrices d'audimat. Quoi de plus plaisant que d'entendre deux scientifiques s'écharper pour savoir si les maïs OGM créent ou non d'affreuses tumeurs chez de pauvres petites souris qui ne nous ont rien demandé ? Y a-t-il malhonnêteté ? Chez celui qui n'a pas respecté les méthodes jugées trop strictes de la vérification scientifique, ou chez celui qui s'est peut-être fait payer grassement pour donner une opinion biaisée ? Comment voulez-vous que les auditeurs le sachent ?

Et je dirais qu'il est aussi monstrueux et inefficace de faire dialoguer devant le public un partisan du créationnisme⁴ (dont je parlerai

4. Idéologie très répandue aux États-Unis où elle est enseignée au détriment du darwinisme dans certains États, et où il existe même un « musée de la création » où les origines de l'Univers et de la vie sont présentées conformément à la Genèse.

