

en est de même pour l'estimation du taux d'expansion de l'Univers. Alors que nous ne savons pas ce qui est réellement en expansion dans l'Univers, par rapport aux structures qui ne la subissent pas, alors que nous ne savons pas si cette expansion est isotrope, les cosmologistes ont le toupet de prétendre pouvoir la donner au dixième près. Cela n'a pas plus de sens que de donner le rayon d'une pomme de terre à la précision du millimètre. La faute dans l'utilisation du modèle homogène et isotrope consiste à vouloir tirer du modèle des informations qu'il ne contient pas. La pomme de terre n'est pas une sphère parfaite ; l'Univers n'est pas homogène et isotrope.

La dictature du modèle

Nous touchons là au cœur du mal qui mine l'astrophysique moderne. Comme le sculpteur légendaire Pygmalion était tombé amoureux de Galatée, la statue qu'il avait ciselée, priant la déesse Aphrodite de lui donner vie, les astrophysiciens en sont venus à idolâtrer leurs modèles numériques et à les prendre pour la réalité. Le mot « idolâtrie » est formé de « idole », du grec *eidôlon* (« image »), et du suffixe « -lâtrie », de *latreuein* (« servir, adorer »). Idolâtrer le modèle est lui vouer un véritable culte en oubliant la réalité. La maladie est grave. Elle se traduit par une quasi-sacralisation de schémas numériques pourtant incapables de décrire la complexité des objets réels et auxquels les chercheurs ajoutent arbitrairement le nombre voulu de paramètres pour tenter néanmoins de *faire coller* les prévisions théoriques aux observations (et, comme ils y parviennent, leur numéro d'illusionniste est réussi et ils arrivent à tromper les esprits). Les astrophysiciens n'étudient plus les étoiles, ils étudient des modèles d'étoiles. Lorsque dans un séminaire le conférencier vous parle de l'évolution d'une étoile de 5 masses solaires, il faut entendre l'évolution d'un *modèle* d'étoile dont la masse est de 5 fois la masse solaire. Il ne s'agit pas de l'évolution d'étoiles réelles. C'est l'occasion de rappeler gentiment aux théoriciens de l'espace-temps mathématique que jusqu'à nouvel ordre le monde connaissable est fait d'étoiles et que par conséquent toute la cosmologie (y compris les divagations sur la matière noire) repose sur la connaissance des étoiles : c'est pourquoi je m'attache à leur étude dans ce qui suit.

LE THÉORÈME DU JARDIN

Un modèle d'étoile est déterminé par les trois paramètres fondamentaux que sont la masse, la température et le rayon, auxquels on doit adjoindre des paramètres supplémentaires comme la vitesse de turbulence, la vitesse de rotation de l'objet, la composition chimique (notamment l'abondance en éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium, désignés brièvement en astronomie sous le nom de *métaux*), etc. L'importance de ces autres paramètres est d'ailleurs déterminante pour la structure de l'étoile. Pour l'astrophysique, analyser une étoile revient à déterminer ses *paramètres fondamentaux*. Un article parmi des milliers d'autres semblables s'intitulera par exemple : « Détermination précise des paramètres fondamentaux de vingt-trois étoiles brillantes de type solaire ». Mais il y a un souci : s'ils ont un sens bien défini dans le cadre du modèle, ces paramètres fondamentaux perdent leur signification dans la réalité des choses.

Le premier point litigieux concerne la notion de rayon et donc de *surface* : une vraie étoile n'a pas de vraie surface. Une étoile ne s'arrête pas brusquement sur l'espace interstellaire. La zone de transition entre les deux milieux en contact, l'étoile et le milieu interstellaire, plus ou moins étendue selon les cas, est toujours d'une complexité désespérante pour l'astrophysicien (la nature, elle, maîtrise magistralement la question). En effet, une étoile réelle est un objet *ouvert* sur l'extérieur, non un système clos et isolé comme l'aime la physique. Ainsi que l'attestent sans ambiguïté les observations, elle entretient avec son environnement des échanges dynamiques accompagnés de mouvements de matière à toutes les échelles (turbulence, pulsations, perte de masse, éruptions, etc.). Le caractère non statique d'une atmosphère stellaire résulte en partie de ce que la gravité dans les régions externes est insuffisante pour retenir efficacement la matière. L'effet est particulièrement marqué pour les étoiles de grande taille, géantes ou supergéantes, dont les couches extérieures ne ressentent qu'une faible gravité par suite de leur grande distance au centre, une situation favorisant la fuite des particules.

L'état dynamique des étoiles n'est d'ailleurs pas réservé à leur surface. Les mouvements de matière sont également présents à l'intérieur, de

LES DÉRIVES DE LA COSMOLOGIE MODERNE

nouveau à toutes les échelles. Aléatoires, ils constituent la turbulence ; plus organisés, ils manifestent l'existence de courants de matière. Or aucun modèle ne sait inclure ces mouvements de façon correcte, même approchée. Pour les simuler dans l'apparence des spectres (car au final on compare un spectre observé à un spectre calculé), on se contente d'introduire deux paramètres : la vitesse de microturbulence et la vitesse de macroturbulence. La microturbulence est censée représenter les mouvements aléatoires à toute petite échelle (ce qui revient grosso modo à augmenter la température du gaz, mais pas tout à fait). La macroturbulence vise à reproduire les mouvements d'ensemble à grande échelle. L'ajustement empirique des calculs à la forme des raies spectrales observées fournit la valeur de ces paramètres de turbulence. Je ne rejette pas catégoriquement cette façon de faire : après tout, elle peut donner une certaine idée de l'importance des mouvements de matière. Mais l'erreur est de prendre ces paramètres pour argent comptant, comme s'ils avaient une signification physique réelle, et de chercher à les déterminer avec exactitude, comme si l'accroissement fallacieux de précision était gage d'amélioration qualitative. L'illusion est de penser que grâce à l'utilisation des paramètres de microturbulence et de macroturbulence on a *traité*, comme adorent le dire les astrophysiciens, les champs de vitesse. *Maltraité* serait plus juste.

Autre exemple éloquent de l'inadéquation des modèles : la variation réelle de la température du plasma stellaire en fonction de la distance au centre de l'étoile n'est pas conforme à la prévision théorique. Tandis que les modèles prédisent que la température décroît du centre vers l'extérieur, la nature agit autrement. Dans le Soleil, elle diminue bien, comme l'annonce la théorie, depuis les quelque 15 millions de degrés du centre jusqu'aux quelque 5 000 degrés de sa surface visible, nommée *photosphère*, mais se met à croître au-delà pour atteindre les dizaines de milliers de degrés de la *chromosphère* et les millions de degrés de la *couronne*, cette couche extérieure dont la magnificence nous éblouit lors des éclipses totales de Soleil. Or – cela pourra légitimement en étonner certains – aucun modèle d'étoile ne prévoit l'existence de chromosphères et de couronnes. Selon les besoins, on les accolera aux modèles d'étoiles en

LE THÉORÈME DU JARDIN

les paramétrant de façon *ad hoc*, mais sans y inclure la physique convenable, pour la bonne raison que nous sommes incapables de comprendre vraiment de quoi il s'agit. Paradoxalement, la précision extraordinaire de la vision du Soleil que les instruments modernes nous offrent est d'un certain côté plutôt un handicap qu'une aide car on a accès à tellement de détails que toute modélisation semble miséreuse. Sur la structure de la chromosphère et de la couronne, s'il est bien une chose que les observations nous apprennent du Soleil (et par extension des étoiles), c'est l'importance du *champ magnétique*. Les taches solaires et les protubérances sont des manifestations directes de l'activité magnétique du Soleil. Les jets de matière sont provoqués et canalisés par le champ magnétique. Or aucun modèle d'étoile ne sait inclure ce champ magnétique, l'une des bêtes noires les plus redoutées des astrophysiciens. La discipline de la *magnétohydrodynamique* (MHD en jargon astrophysique) est consacrée à l'étude du comportement d'un plasma en présence d'un champ magnétique, mais elle n'a pas atteint ce niveau de résultats capable de conduire à une modélisation (ce qui d'ailleurs n'est pas forcément possible ou même souhaitable).

Avec la remontée de température dans la chromosphère et les manifestations faramineuses de l'énergie magnétique, nous retrouvons le fait que la surface d'une vraie étoile est le siège d'une physique complexe et violente. C'est l'endroit où se déchaînent à plein régime les effets hors équilibre. Bon nombre d'astres subissent des pulsations, la plupart voient leur éclat varier, tous perdent une partie plus ou moins importante de leur masse en éjectant leur matière dans le milieu environnant. Comme les modèles sont fondés sur des hypothèses d'équilibre, aucun d'entre eux n'est capable d'expliquer ces phénomènes et on a recours à la paramétrisation pour en reproduire vaguement quelques caractéristiques observées, mais sans introduire de théorie physique sérieuse. Parmi les approximations faites, les représentations de perte de masse supposent que l'éjection de matière possède une *symétrie sphérique* autour de l'étoile alors que les observations prouvent que ce n'est pas le cas. Il faut noter à ce propos que cette même symétrie sphérique est également l'hypothèse sur laquelle se fondent les modèles pour l'ensemble de

l'étoile. Elle postule que l'astre est formé d'une série de couches sphériques superposées, chacune étant supposée homogène dans sa constitution. Or les astronomes savent pertinemment que les vraies étoiles ne possèdent pas cette symétrie sphérique. Déjà elles tournent toutes sur elles-mêmes, de sorte que les propriétés de la matière à l'équateur ne sont pas les mêmes qu'aux pôles. Ensuite les mouvements de matière n'épargnent aucun point et contribuent à développer les dissymétries. L'hypothèse de la symétrie sphérique est certes commode, mais elle est impropre à représenter la réalité. Plus on découvre les étoiles, plus on s'aperçoit qu'elles se distinguent des modèles. Ainsi la brillante étoile Véga, l'un des sommets du fameux triangle d'été, a longtemps été considérée comme une étoile de référence permettant de calibrer les luminosités stellaires. Or les astronomes se sont aperçus vers les années 2005 que l'astre tournait très rapidement sur lui-même, avec un renflement équatorial prononcé. Cette circonstance infirme l'hypothèse de la symétrie sphérique et rend difficile la détermination de sa luminosité totale vraie (comme nous allons l'expliquer maintenant), invalidant du même coup le choix de Véga comme étoile standard.

La température des étoiles

Si le rayon d'une étoile, paramètre fondamental du modèle, devient dans la réalité une notion floue, le concept de température présente aussi de sérieuses difficultés à se transposer au réel. Le spectre d'une étoile n'a pas la forme de celui d'un corps noir, sinon la question serait vite résolue : à tel corps noir correspondrait telle température. De façon profonde, la notion de température suppose que le système à qui on l'applique soit à l'équilibre ; or une étoile n'est pas à l'équilibre. Nous avons vu que peu après le Big Bang, avant l'époque du découplage, le rayonnement cosmique était à l'équilibre avec les particules matérielles du plasma remplissant l'Univers, de sorte que la répartition des photons de lumière suivait la loi d'un corps noir (celui même qui est devenu de nos jours, par suite de l'étirement de l'espace, le fameux corps noir cosmologique à 3 degrés Kelvin découvert par Penzias et Wilson). Pourquoi cet équilibre prévalait-il à l'époque ? Parce que, dans ces tout premiers instants

LE THÉORÈME DU JARDIN

de l'Univers, la lumière était emprisonnée par la matière et avait de ce fait le temps de se mettre en équilibre avec elle : la forte densité de particules empêchait les photons de parcourir une distance suffisante entre deux collisions. Dans les couches des étoiles, il n'en est pas ainsi car, le milieu étant beaucoup plus dilué, l'hypothèse d'équilibre devient discutable. Pour traiter néanmoins les problèmes, les astrophysiciens adoptent souvent la convention que cet équilibre entre matière et rayonnement est établi localement. Chez les spécialistes des atmosphères stellaires, l'hypothèse est connue sous le nom d'hypothèse de l'*équilibre thermodynamique local* (ou ETL, LTE en anglais). Elle permet d'assigner en chaque point une température à la matière et s'avère raisonnable si la densité de matière est assez forte, ce qui est vrai dans les régions centrales de l'étoile. Remarquons en passant que, si le rayonnement ne se met pas partout en équilibre avec la matière dans une étoile (surtout dans les couches extérieures) et que ce fait crée un souci pour l'astrophysicien, c'est en même temps une situation à l'évidence incontournable. Si nous voyons le rayonnement des étoiles, c'est bien le signe qu'il s'échappe de la surface et n'est donc pas enfermé dans l'astre. Ce que nous disions de la matière est vrai aussi pour le rayonnement : une étoile est un système ouvert sur l'extérieur. Avec les dangers de déséquilibre que cette situation comporte, et la présence inévitable d'écarts aux modèles en équilibre.

La présence d'une surface par laquelle le rayonnement s'échappe est la raison pour laquelle la température du milieu décroît depuis le centre de l'étoile jusqu'à l'extérieur (quitte à remonter dans une chromosphère, pour d'autres causes). Physiquement, cela se comprend : c'est par sa surface que la soupe chaude va se refroidir. Cette décroissance de la température fournit l'explication de la présence dans un spectre stellaire de *raies d'absorption* plus sombres que le haut du spectre libre de raies (que l'on appelle en termes techniques le *continu*). En effet, une raie spectrale correspond à une longueur d'onde pour laquelle la matière est plus opaque. Cela signifie que, quand on regarde une étoile (ou le Soleil) dans une raie, on voit *moins loin* dans cette étoile qu'en dehors de la raie. Autrement dit, on n'atteint que des couches plus superficielles de l'astre : le regard porte moins profond. Au final, par rapport aux longueurs d'onde

adjacentes, dans une raie on voit des couches plus externes, donc plus froides, donc plus sombres. Plus la raie est forte, plus extérieures donc plus froides seront les couches d'où provient le rayonnement, donc plus la raie apparaîtra profonde. Tout marche bien, semble-t-il : le modèle explique la réalité. Sauf que, puisque selon les modèles la température ne peut que décroître vers l'extérieur, on ne devrait observer que des raies d'absorption. Or il se trouve que, dans le spectre de certaines étoiles, on observe aussi des *raies d'émission*, c'est-à-dire des raies dont l'intensité est plus forte que le continu adjacent. Leur interprétation physique est toujours difficile : la présence de raies d'émission dans un spectre stellaire constitue un *voyant rouge* signalant un dysfonctionnement du modèle. Dans plusieurs cas, cette présence prouve que notre modélisation est à revoir entièrement, de simples « bricolages » ne suffisant pas à remédier aux défauts constatés. L'un des exemples les plus significatifs concerne de nouveau les étoiles de grande taille, dont l'interprétation semble exiger une remise à plat totale des modèles. On peut qualifier ces astres géants d'*étoiles à enveloppe*, voulant dire par là que leurs couches extérieures sont si démesurées qu'elles constituent comme une enveloppe autour de l'étoile, peut-être même située à une certaine distance et non directement collée aux couches plus intérieures. Pour ces astres au rayon gigantesque (pouvant facilement atteindre la distance du Soleil à la Terre), les hypothèses d'équilibre volent en éclats : celle de l'équilibre hydrostatique pour les parties internes de l'astre et même celle de l'équilibre thermodynamique local pour les couches extérieures dont la densité est faible. Appliquer aux étoiles géantes ou supergéantes les modèles disons classiques d'étoile est absurde. Il faut savoir encore que les raies d'émission indésirables pour la théorie (!) ne sont pas d'importance secondaire : elles ont parfois une intensité considérable. Un astronome amateur de mes amis prend couramment des spectres d'étoiles et s'extasie avec moi devant la forte intensité des raies d'émission de l'hydrogène (notamment les *raies de Balmer*, du nom du physicien suisse Johann Jakob Balmer, 1825-1898) qu'il détecte dans Mira Ceti (la merveilleuse de la Baleine), la fameuse étoile géante variable à longue période mentionnée dans un chapitre antérieur. Mais alors, devant un fait observationnel indiquant de façon si manifeste un vice de modélisation, comment les astronomes

LE THÉORÈME DU JARDIN

en arrivent-ils à persister dans leurs choix pourtant insatisfaisants, en continuant à se servir de modèles classiques ? Dans un séminaire où je m'étonnais que l'on n'attachât pas plus d'importance à ces puissantes raies d'émission H alpha de l'hydrogène, je me suis attiré cette réponse, tout aussi puissante : « H alpha, on s'en fout. » Rideau.

Le calcul du rayonnement émergent d'un modèle d'étoile se fonde sur des théories permettant de décrire l'interaction du rayonnement et de la matière. Un atome peut passer dans un niveau supérieur d'énergie en absorbant un photon ou en subissant le choc d'un électron, puis c'est en cascasant vers des niveaux inférieurs que des photons peuvent être émis, en accord avec les probabilités de transition calculées par Einstein (encore lui !). L'étude des échanges entre lumière et matière constitue la discipline du *transfert du rayonnement* (justement la spécialité de l'auteur). Les techniques qu'elle met en œuvre permettent au final de faire la somme des contributions au rayonnement de toutes les couches de l'atmosphère de l'étoile pour en déduire le spectre sortant. Disons que les astrophysiciens s'en sortent plus ou moins bien. Mais ils s'en sortent pour un modèle. Les précisions que j'ai apportées ici voulaient montrer que la formation d'un spectre stellaire est loin d'être simple et que le passage à la réalité se révèle plein d'embûches. Le rayonnement que l'on reçoit sur Terre n'est pas le reflet direct d'une seule température. Chaque région de l'atmosphère de l'étoile émet un rayonnement dépendant de la température du point d'émission, mais ce rayonnement devra encore traverser d'autres couches avant de parvenir sur Terre. Certes le modèle tient compte de ces effets, mais la structure de l'étoile a une importance essentielle dans le calcul et les hypothèses simplificatrices de départ ne conviennent pas forcément à la réalité. Un point crucial concerne de nouveau les mouvements de matière dont l'influence sur le rayonnement est forte, la dynamique à la fois modifiant le milieu lui-même et agissant directement sur la qualité de la lumière. Si les modèles d'étoile sont en équilibre hydrostatique, les vraies étoiles ne sont pas celles que ces schémas statiques essaient de nous faire croire. Et la seule introduction des paramètres phénoménologiques de microturbulence et de macro-turbulence ne règle pas la question, loin s'en faut.

La luminosité absolue des étoiles

L'étude de la constitution physique des étoiles est relativement récente. Elle date de la fin du XIX^e siècle, alors qu'auparavant une étoile se résumait à un point lumineux dont on exigeait seulement de connaître l'éclat et la position sur la voûte céleste. Elle a été rendue possible par la découverte des raies spectrales et l'avènement de la spectroscopie, l'analyse complète des raies par la théorie des atmosphères stellaires permettant d'accéder à la composition chimique, à la température et à la densité du gaz stellaire. Mais pourquoi vouloir obtenir toutes ces précisions sur la physique des étoiles ? L'un des enjeux de la connaissance des paramètres fondamentaux des étoiles réside dans la *détermination de leur distance*. Nous l'avons expliqué : pour mesurer cette distance, il faut pouvoir comparer la luminosité *apparente* de l'objet céleste à sa luminosité *intrinsèque* (désignée par *absolue* par les astronomes). Plus l'objet est éloigné, plus son éclat apparent est faible : il décroît comme le carré de la distance. Rappelons que l'on a pu mesurer la distance des étoiles des galaxies proches (Nuages de Magellan et galaxie d'Andromède) grâce à la relation de Leavitt. Celle-ci établissait un lien entre la luminosité vraie d'une céphéide et sa période de variation (plus l'étoile pulsait rapidement, plus sa luminosité était faible), et par conséquent il suffisait de mesurer la période de pulsation – observation facile – pour en déduire la luminosité intrinsèque. Connaissant l'énergie totale émise par l'étoile, ce n'était plus qu'un jeu d'inférer de la mesure de l'énergie reçue sur Terre la distance de l'objet. Encore aujourd'hui, passer par sa luminosité intrinsèque est le seul moyen de déterminer la distance d'une étoile. Mais comment procéder dans le cas général, si on peut dire, pour les étoiles qui ne sont pas des céphéides ? On doit passer par les modèles. Et c'est là que les choses se gâtent.

J'appellerai « méthode R2T4 » la façon dont le modèle calcule la luminosité totale de son étoile numérique. R2T4 : que signifie cette formule ? Elle se présente comme le produit de deux symboles, R2 et T4. T4 d'abord : le symbole rappelle que l'énergie émise par unité de surface de l'étoile numérique est en T4, c'est-à-dire en T puissance 4, ou T^4 . Plus exactement, cette énergie totale surfacique est donnée par la formule σT^4

LE THÉORÈME DU JARDIN

(lire « sigma T4 ») en fonction du paramètre T appelé *température effective* et de la constante physique de Stefan-Boltzmann σ . Indiquons déjà que cette température effective n'est pas une vraie température : en toute rigueur, elle n'est qu'un paramètre servant à mesurer (par la formule indiquée en T4) ce fameux flux par unité de surface. La température effective est la température du corps noir en quelque sorte *équivalent* qui émettrait par unité de surface la même quantité d'énergie que l'étoile. Mais attention, on a déjà dit que le spectre de l'étoile n'est pas celui d'un corps noir. R2, ensuite : pour obtenir la luminosité totale de l'étoile, on multiplie cette énergie surfacique en T4 par la surface totale du modèle, qui, elle, est en R2 (depuis Euclide, la surface de l'étoile est proportionnelle au carré R^2 de son rayon). R2T4, donc : tout est clair et simple pour le modèle. La luminosité totale est le produit de la luminosité par unité de surface par la surface totale. Trop simple, plutôt, car dans la réalité, si la luminosité totale de l'étoile possède un sens physique bien défini (c'est l'énergie totale émise dans l'espace par l'étoile sous forme de rayonnement), le passage à une température exige que l'on choisisse un rayon. Et c'est à cette phase que la transposition de la réalité à la modélisation pose un sérieux problème. En effet, le rayonnement des vraies étoiles est issu de diverses couches, selon la région du spectre considéré, et par conséquent le rayon en quelque sorte *équivalent* dépend de la longueur d'onde observée, comme d'ailleurs en dépend la température équivalente. La définition de la luminosité totale R2T4 comme le produit d'une surface en R2 par une luminosité surfacique en T4 est valable pour le modèle d'étoile, mais c'est le tort d'astrophysiciens trop confiants dans leur modélisation de croire qu'il s'appliquerait tout de go à la réalité.

En somme, en se servant de la luminosité R2T4, le modèle accorde à la température T et au rayon R un rôle de premier plan qui n'a pas sa correspondance dans les étoiles réelles. Il est vrai que, pour certaines étoiles presque sages (comme le Soleil, pense-t-on), à la surface assez bien définie, le processus peut fournir de bons résultats, mais d'une part rien ne permet de savoir *a priori* si telle étoile observée entre dans cette catégorie et, d'autre part, les étoiles les plus intéressantes sont les géantes et supergéantes car on les voit de plus loin, de sorte qu'on peut les utiliser

LES DÉRIVES DE LA COSMOLOGIE MODERNE

pour sonder de plus grandes distances. Malheureusement (loi de l'enquiquinement maximum oblige), nous avons vu que pour ce type d'astres les modèles sont grossièrement inadaptés : au final, ce sont les étoiles les plus utiles qui sont le plus mal modélisées (les mieux modélisées, on ne les voit pas car elles sont trop faibles). Ainsi, une erreur sur le rayon d'un facteur 10 (tout à fait envisageable) conduit à une erreur d'un facteur 100 sur la luminosité R2T4 de l'étoile et par conséquent à une erreur également d'un facteur 10 sur la distance (puisque'une étoile 10 fois plus lointaine brille 100 fois moins). Pour l'étoile Véga, dont nous avons parlé plus haut, il semble que l'indétermination sur la luminosité calculée soit de l'ordre d'un facteur 2 ; plus précisément, cette étoile semble vue par son pôle de rotation, mais si elle était vue par l'équateur sa luminosité pourrait se révéler deux fois plus faible. Pour une étoile supposée servir de standard, la situation est décevante. C'est dire les chausse-trappes dans lesquelles la méthode R2T4 peut faire tomber les astronomes.

On peut arrêter à ce point la discussion sur les pièges de l'utilisation simplifiée des modèles car, en ce qui concerne le but poursuivi, le verdict de l'expérience est sans appel : la détermination des distances dans l'Univers est d'une imprécision extrême, incroyable même pour ceux qui imagineraient que les astronomes manipulent des chiffres précis (autant le terme courant de précision astronomique convient aux calculs de mécanique céleste dans le système solaire, autant l'expression est déplacée dans le cadre de la détermination de tel paramètre physique d'un astre).

La distance de l'amas des Pléiades, à quelque 440 années de lumière, n'est pas connue à mieux que 10 % près. Hélas, elle sert de premier étalon pour calibrer l'échelle entière de l'Univers, et on imagine sans peine que les distances plus lointaines seront encore plus incertaines. La distance de la galaxie d'Andromède, pourtant la plus proche des galaxies, n'est pas connue à mieux que 20 % près ; on l'estime comprise entre 2,5 et 3 millions d'années de lumière. Enfin, jetons un voile pudique sur la détermination des distances plus lointaines jusqu'aux milliards d'années de lumière. En se plaçant dans l'hypothèse la plus favorable, on peut

LE THÉORÈME DU JARDIN

estimer (et retenir) que la barre d'erreur sur la mesure des distances dans l'Univers est de l'ordre de 25 %. Devant ces incertitudes ahurissantes, on comprendra les doutes que j'ai exprimés envers les mesures de densité et de distance dans l'Univers et les critiques que j'ai formulées à l'encontre des élucubrations sur la matière noire, car ces dernières reposent sur des mesures de densité de matière (donc de volume, donc de distance). Il n'y a aucune honte à avouer que nous connaissons très mal les distances dans l'Univers, mais il faudrait accepter la situation et ne pas tirer des conclusions hâtives et fausses de mesures approchées. Je considère en particulier que la méconnaissance de l'échelle des distances dans l'Univers est une autre « réponse courte » à la question de savoir pourquoi l'invention de la matière noire est une belle escroquerie. Nous verrons plus loin que cette même réponse courte s'applique aussi, encore plus directement d'ailleurs, à la nouvelle arnaque – *perseverare diabolicum* – de l'énergie noire.

Le rôle aggravant de l'informatique

Le pire est que l'on ne voit pas de solution : puisque nous n'avons pas les moyens de déterminer leur luminosité absolue, la détermination de la distance des étoiles semble hors de portée. Tout en reconnaissant que la confiance absolue accordée aux modèles d'étoiles à trois paramètres conduit les astronomes à une impasse, il faut reconnaître que l'astrophysique n'a pas d'autres pistes à proposer. Malheureusement, à ce stade, un élément empêche les chercheurs de chercher (et donc de trouver), nourrit l'idolâtrie des modèles et accélère la décadence de la science des astres : c'est l'outil informatique. Par le productivisme débridé et aveugle qu'elle permet, l'informatique favorise la fuite en avant d'une astrophysique ignorant la nécessité de vérifier et de valider les résultats par des tests consciencieux et honnêtes. Pour donner un exemple, il faut savoir que tout un chacun peut aller faire son marché sur la Toile pour se procurer des modèles d'étoiles. Sur votre ordinateur, il suffit de choisir la température de l'étoile, sa gravité de surface, la vitesse de micro-turbulence, quelques autres paramètres – et hop, le modèle est à vous. Comment imaginer qu'un chercheur qui doit terminer son article dans les

LES DÉRIVES DE LA COSMOLOGIE MODERNE

mois à venir puisse prendre le temps de critiquer les modèles qui lui sont fournis par l'intermédiaire de sa souris ? Comment juger de leur qualité ? Le principal est de publier. Les problèmes de conscience devront être mis en veilleuse et la science officielle sera bien gardée à l'abri des vagues.

L'informatique entretient l'illusion que les modèles décrivent la réalité grâce à une pléthore de publications dont l'apport à la connaissance du monde est inexistant. Un bon exemple de ces dérives numériques est donné par la multiplication des grands projets ou relevés (en anglais *surveys*) en général spatiaux (mais pas toujours : il existe aussi des programmes supergéants d'observation au sol) dans lesquels on procède à l'enregistrement d'un nombre inimaginable de données destinées à être analysées par la suite à l'aide de boîtes noires dont le contenu physique, quoique insuffisant, n'est pas remis en question. Le projet de satellite GAIA de l'Agence spatiale européenne (en anglais European Space Agency, ESA) a pour mission de réaliser l'arpentage précis de notre Galaxie en mesurant la distance de milliards d'étoiles. Il fait suite au projet Hipparcos et est censé améliorer la qualité des résultats obtenus par ce dernier (il faut toutefois avouer que les résultats d'Hipparcos sont peu explicites et, pour certains, fort discutables). Le traitement de la quantité énorme de données fournies par les instruments à bord de GAIA représente un défi informatique de taille, qui a été relevé par un consortium d'experts scientifiques et de développeurs de logiciels. Gageons que les données vont tomber dru, mais on ne voit pas comment leur interprétation pourrait fournir les mesures de distance attendues. Que la mission GAIA fournisse la distance des étoiles proches à partir de la mesure de leur parallaxe est une chose, qu'elle nous livre celle des étoiles lointaines en est une autre. Nous venons de voir que l'obtention de la distance d'une étoile repose sur la détermination de sa luminosité intrinsèque et que cette quantité précieuse est hors d'atteinte de notre astrophysique pour la raison que les modèles d'étoiles sont physiquement irréalistes et que chaque étoile est unique. Même si nous arrivons à mesurer la distance de Procyon (l'étoile principale de la constellation du Petit Chien), nous serons incapables de mesurer celle d'autres Procyon, car il n'y a pas d'autres Procyon (la nature ne se répète jamais : deux étoiles ne seront jamais pareilles). C'est à ce stade

LE THÉORÈME DU JARDIN

que l'informatique joue un rôle pervers car elle fait entrer la science dans un cycle infernal de production en laissant croire que plus une opération est grosse, plus elle est efficace et rentable. Or l'expérience est en train de prouver le contraire : *le rouleau compresseur de la quantité tue la recherche consciencieuse de la qualité*. La numérisation à grande échelle va permettre de sortir des distances, beaucoup de distances, et en même temps des listes impressionnantes de ces fameux paramètres fondamentaux (température effective, masse, rayon, âge, etc.) décrits plus haut, même si ces paramètres ont un sens limité. Et, face à cette avalanche de résultats, il serait mal vu de faire la fine bouche. En imposant sa force brutale, la production démesurée de données fait oublier l'absence de valeur de leur interprétation. Corrélativement, cette informatique favorise l'augmentation outrancière du nombre de publications scientifiques. Car de nos jours les chercheurs ne sont plus tenus de chercher : ils sont tenus de publier. Et chercher les éloignerait du quota annuel à atteindre. Dans ces conditions, les grands projets, les grands relevés sont une mine inépuisable d'articles. Il suffit de laisser les programmes mouliner les données sans se poser de questions sur la pertinence ultime des résultats.

La récidive de l'énergie noire

Dans la pièce de théâtre *L'Honneur et l'Argent* du poète et auteur dramatique François Ponsard (1814-1867), Laure exprime à sa sœur Lucile son regret d'avoir laissé parler son cœur, craignant que cette imprudence l'entraîne à désobéir à son père, lequel lui enjoint d'épouser un homme de mœurs douteuses mais riche plutôt qu'un homme d'honneur mais ruiné :

« Quand la borne est franchie, il n'est plus de limite,
Et la première faute aux fautes nous invite. »

La formule de Laure est pertinente : la première faute professionnelle des cosmologistes a ouvert la voie à une deuxième. Une fois levées les barrières de la vigilance critique avec l'invention de l'insaisissable matière noire, rien ne les empêchait plus de persévérer dans leurs