

Le big-bang : crédibilité de la théorie en février 91

Hubert REEVES

Le mythe originel

La théorie cosmologique, appelée le Big Bang, a trainé dans son sillage l'idée que l'astrophysique ait maintenant quelque chose à dire sur l'origine ou le début du cosmos. Nous aurions maintenant identifié la création du monde. Cette création aurait eu lieu au temps «zéro» de l'horloge cosmique, qui nous donne aujourd'hui l'âge de l'univers : quinze milliards d'années. le Pape Pie XII n'a pas hésité à identifier cet événement avec le «fiat lux» biblique.

La tentation de «mythologiser» est toujours présente chez les êtres humains. Il est naturel de chercher à coller sur des réalités étonnantes, des images familières. On comprend facilement comment l'imagination toujours galopante ait pu coller sur une théorie physique un mythe intemporel et par là séduisant (ou peut-être vaudrait-il mieux dire : séduisant et par là intemporel). Aussi est-il du devoir du physicien de jeter sur la question un regard critique, empreint de cette rigueur sans complaisance qui est le

propre des raisonnements scientifiques bien menés et qui leur a traditionnellement assuré leur efficacité. Qu'est-ce qui reste de cette mythologie et de ces prétentions métaphysiques quand le regard critique est passé par là ? Sommes nous autorisés à garder dans notre langage des termes comme «naissance de l'univers» ou «premiers instants de l'univers» ?

Explorer le passé

Il faut considérer cette problématique comme une exploration du passé. Et l'important, comme toujours, c'est de partir du bon pied. C'est-à-dire du bon endroit. Le bon point de départ c'est l'instant présent... Notre «temps zéro» sera aujourd'hui. C'est de là que partira notre comptabilité à rebours.

Les explorateurs du siècle dernier abordaient les continents inconnus par les côtes. Ils s'enfonçaient progressivement vers l'intérieur, dans des régions restées blanches sur la carte et dénotées des mots «terra ignota» «terres inconnues». D'années en années, grâce à leurs efforts, les frontières des territoires explorés se déplaçaient dans la zone auparavant vierge. Les lettres qu'ils envoyaient à leur famille, les comptes-rendus expédiés aux académies-mécènes faisaient état de leurs découvertes : lacs, déserts, chaînes de montagne ou encore, rencontre de peuplades aborigènes.

Si, en réponse, on s'était avisé de leur demander : mais qu'est-ce qu'il y a au-delà du domaine que vous avez jusqu'ici exploré, ils auraient répondu naturellement «nous n'en savons rien pour l'instant, soyez patient, attendez que nous y soyons». Comme eux quittant le rivage pour explorer l'arrière-pays nous partons d'aujourd'hui pour remonter le passé. Il importe de délimiter la frontière où s'arrête la région explorée, où commencent les «terra ignota» de la recherche contemporaine.

On peut aussi comparer notre démarche à celle du préhistorien qui veut reconstituer le passé lointain de l'homme. Il lui faut impérativement des «fossiles», c'est-à-dire des objets par lesquels il pourra décrire un état disparu mais qui a laissé des traces. En l'absence de tout souvenir du passé, silex taillé, peintures murales, cendres de foyers éteints depuis bien longtemps, pierres enfoncées dans le sol, le préhistorien serait dans l'impossibilité totale de parler de l'homme de Cro-Magnon qui habitait le Périgord il y a 18 000 années par exemple. De même sans «fossiles cosmologiques»

l'astrophysicien ne pourrait pas remonter le cours du temps vers l'univers antique. La crédibilité de ses affirmations est intimement liée à la nature des fossiles qu'il peut dénicher et aussi à son aptitude à les interpréter correctement.

Le travail de l'astrophysicien durant les dernières décennies a été d'identifier ainsi un certain nombre de fossiles et d'essayer d'en extraire le message. Dans le contexte astrophysique un fossile est une donnée d'observation dont la grandeur physique mesurable a été déterminée par des événements depuis longtemps révolus. Ces données conservent, en quelque sorte, le souvenir de ces événements et peuvent nous permettre de les reconstituer.

Nous avons ainsi une petite collection de fossiles qui, chacun à leur façon, nous renseigne sur une époque particulière du lointain passé de l'univers. Ce sont nos jalons dans notre grande entreprise d'exploration.

Le temps a-t-il eu un début ?

Le mouvement d'éloignement des galaxies les unes par rapport aux autres nous apprend que la matière cosmique va en se diluant. C'est dire qu'elle était plus dense dans le passé.

Pour interpréter cette information, nous faisons intervenir notre connaissance des lois physiques qui gouvernent la matière. Dans ce contexte nous allons déjà aborder un problème qui deviendra bientôt crucial. Cette connaissance est fondée sur l'expérimentation en laboratoire, elle est donc bornée par les limites même de cette expérimentation. Aujourd'hui nos accélérateurs les plus puissants atteignent le millier de milliards (10^{12}) d'électron-volts. La théorie peut s'extrapoler au-delà de cette limite, mais elle devient forcément spéculative et doit alors être traitée avec prudence. De surcroît elle devient elle-même totalement incohérente quand nous atteignons les conditions dites de Planck (autour de 10^{32} degrés). En d'autres mots nous ne connaissons rien des lois de la physique qui déterminent le comportement de la matière soumise à de telles températures.

Après cette note de précaution, revenons maintenant à nos fossiles. La physique, dans le cadre de la théorie de la relativité nous apprend que la matière plus dense du

passé était aussi plus chaude. La relation est simple la température est inversement proportionnelle à la distance entre les galaxies. Quand deux galaxies données étaient deux fois plus proches qu'aujourd'hui l'univers était deux fois plus chaud.

Le taux actuel d'éloignement des galaxies nous permet de calculer l'échauffement progressif du passé. C'est ainsi qu'on calcule qu'il y a quinze milliards d'années la température devait être infinie. Ainsi en était-il aussi de la densité de la matière. Cet instant est nommé dans ce cadre le «temps zéro», on l'identifie souvent avec le «début de l'univers». Inutile d'ajouter que l'idée d'une température infinie a puissamment contribué à attirer les imaginations fertiles vers le mythe de la création du monde.

Le problème c'est que ce calcul implique une extrapolation hardie et, on l'a vue, parfaitement injustifiée. On a supposé que les lois de la physique invoquées dans ce raisonnement, applicables à basse température, continuent à l'être à toute température, quelque élevée qu'elle soit. Et cela est manifestement faux.

Une connaissance plus approfondie de la physique invite le chercheur à invoquer ici la théorie de la relativité généralisée d'Einstein. Cette théorie peut également prendre en charge la description du cosmos antérieur suggérée par le mouvement d'éloignement des galaxies. Poursuivant l'évolution à rebours elle place aux très hautes densités l'image d'une singularité. Le champ de gravité serait alors tellement intense que rien ne pourrait lui échapper, pas même la lumière. La matière est alors repliée sur elle-même, dans un autre espace-temps sans aucune communication possible avec l'extérieur.

L'idée que l'univers ait pu «émerger» d'une singularité de l'espace-temps est certes au moins aussi évocative que l'idée d'une température infinie. Et elle peut peut-être mieux encore héberger le mythe d'une «création de l'univers». Ce que du reste elle n'a pas manqué de faire pour bon nombre d'auteurs, particulièrement dans le domaine de la vulgarisation scientifique.

De surcroît, les premiers modèles d'univers se plaçaient dans le cadre d'un univers fermé, c'est-à-dire possédant une densité supérieure à la densité critique. Ces modèles ont deux propriétés extrêmement «mythogènes». (J'emploie ce néologisme pour qualifier l'aptitude d'un modèle mathématique à éveiller, par sa représentation,

les imaginations actives et à s'associer à l'un ou l'autre des mythes traditionnels de l'imaginaire humain). Le premier c'est qu'il «apparaît au moment du Big-Bang» sous la forme d'une masse ponctuelle dont le volume va ensuite en grandissant pour atteindre les dimensions gigantesques de l'univers observable d'aujourd'hui. Cette représentation n'est pas sans évoquer le mythe de l'oeuf cosmique de certaines mythologies indiennes. Ayant atteint une taille maximale l'univers fermé voit son expansion s'inverser en une contraction qui l'amène à se replier sur lui-même pour retrouver son état ponctuel initial. Dans la foulée il pourrait ensuite recommencer et, pourquoi pas indéfiniment. C'est cette fois le mythe indien d'une séquence éternelle de création et de destruction de l'univers sous la houlette de Shiva revêtant successivement sa livrée de Grand Créateur et de Grand Exterminateur cosmique.

Mais il y a à nouveau un «os». Cette nouvelle imagerie d'Epinal est basée sur une physique purement classique. Elle ignore complètement les acquis de la physique quantique. Personne aujourd'hui ne sait de quelle façon l'incorporation, encore à venir, de la théorie quantique altérera ce scénario. Que restera-t-il de la singularité einsteinienne ? Peut-être rien du tout. Tout comme les trous noirs cessent d'être complètement noirs quand Hawking leur injecte un peu de la physique quantique.

Voyage au bout de l'enfer.

La bonne question serait plutôt : jusqu'à quelle température l'univers du passé a-t-il été porté ? Avons-nous des preuves, sous formes de documents présentables qu'il a atteint mille, un million, un milliard de degrés, plus encore. Encore une fois le scientifique se doit d'être sceptique et d'exiger pour toute affirmation des justifications solides et irréprochables.

La découverte du rayonnement fossile à 3 K par Penzias et Wilson en 1965 nous permet d'affirmer que l'univers a atteint une température de 3000 K. C'est la température minimale dans le contexte du modèle cosmologique qui permette de rendre compte de la thermalisation de ce rayonnement. Dans notre chronologie à rebours cet événement se situe à environ quinze milliards d'années avant le présent.

Les mesures de l'abondance relative des isotopes de l'hydrogène et de l'hélium ainsi que de l'isotope lourd du lithium nous servent aussi de fossiles cosmo-

logiques. On peut montrer qu'une explication satisfaisante de ces rapports d'abondance implique que l'univers a été dans le passé à une température d'au moins dix milliards de degrés. Ce n'est, en effet, qu'à de telles températures que la matière cosmique peut traverser une phase de réactions thermonucléaires capables d'engendrer ces isotopes. De surcroît, l'étude de cette nucléosynthèse primordiale nous permet de prédire correctement le nombre de familles de particules élémentaires (3 ou 4) et nous donne une estimation de la densité nucléonique universelle tout à fait compatible avec les données astronomiques (environ un nucléon par mètre cube aujourd'hui).

Cet événement se situe environ un million d'années avant l'émission du rayonnement fossile.

Notons que ces deux fossiles se réfèrent à des phénomènes physiques tout à fait bien connus et reproductibles en laboratoires. Quelques électron-volts pour le rayonnement fossile, quelques millions d'électron-volts pour la nucléosynthèse primordiale. Il n'en sera plus de même pour les fossiles que nous abordons maintenant.

Les scientifiques sont toujours un peu démographes. Ils adorent les statistiques de populations. On a vu comment les populations relatives d'atomes légers : hydrogène, hélium, lithium, nous ont servi à identifier la période de nucléosynthèse primordiale. On peut aussi faire la démographie des photons. On compte environ un milliard de photons pour chaque nucléon (proton ou neutron) dans notre univers. Ces photons appartiennent en quasi-totalité au rayonnement fossile dont j'ai déjà parlé. L'ensemble de tous les autres photons, pour la plupart nés dans le rayonnement des étoiles, ne représentent qu'environ un millième des photons qui circulent dans l'espace intersidéral.

Pourquoi un milliard de photons par nucléon ? Pourquoi pas 36 ou 0,12 par exemple ? Tout nombre, en science, cache une question qui est : pourquoi ce nombre plutôt qu'un autre ? Et dans certains cas ce nombre devient un fossile, s'il nous raconte lui aussi quelque chose du passé de l'univers.

Avant d'aborder la réponse à cette question il faut en poser une autre. Il se trouve en effet que la réponse à ces deux questions sera la même et qu'elle deviendra notre plus vieux fossile. La question est : pourquoi n'observons-nous pas d'antimatière dans notre univers ?

La question prend tout son sens quand on sait qu'au laboratoire il y aura une parfaite symétrie entre matière et antimatière. En d'autres mots, chaque fois qu'une collision nucléaire engendre une particule de matière, proton, neutron ou électron, il engendre en même temps une particule d'antimatière : antiproton, antineutron ou antiélectron (positron). On ne connaît pas d'exception à cette règle. Comment comprendre alors que notre univers soit si violemment asymétrique ? Sauf quelques très rares antiparticules du rayonnement cosmique, nous n'observons pas d'antimatière à l'état «naturel» ni sur la Terre, ni dans le système solaire, ni dans l'ensemble de notre galaxie et jusqu'aux galaxies voisines. On ne peut exclure la possibilité que les galaxies les plus lointaines soient faites d'antimatière mais on n'a aucune raison valable de penser qu'elles le sont.

Une réponse simultanée aux deux questions, pourquoi un milliard de photons par nucléon, et, pourquoi une telle asymétrie dans la nature par rapport aux deux variétés de matière appelées matière et antimatière, pourrait selon les schémas de la physique contemporaine faire appel à des événements qui se seraient passés quand l'univers était porté à une température voisine de 10^{28} degrés, équivalent à une énergie thermique moyenne de 10^{24} électron-volts.

Dans le même esprit que précédemment on pourrait donc dire que la population relative des photons, conjointement avec l'absence d'antimatière peuvent être considérés comme des fossiles qui nous apprennent que l'univers a atteint une température d'au moins 10^{28} degrés. Pour poursuivre notre chronologie à rebours, cela s'est passé environ une centaine de secondes avant la nucléosynthèse primordiale.

A de telles énergies (10^{24} ev) on est bien au-delà des quelques 10^{12} ev de nos grands accélérateurs contemporains. C'est dire que l'extrapolation théorique est longue et en conséquence hasardeuse. Personnellement je crois que les idées sur lesquelles reposent les réponses à nos deux questions sont vraisemblablement correctes, au moins qualitativement, mais qu'elles sont loin d'avoir trouvé leur cadre définitif.

En résumé, nous avons identifié trois fossiles cosmologiques qui nous ont permis de penser que l'univers a été successivement et à rebours, à 3000 degrés il y a quinze milliards d'années, à dix milliards de degrés un million d'années auparavant et à 10^{28} degrés quelques minutes auparavant. Le lecteur aura sans doute noté le rac-

courcissement brutal des périodes à mesure qu'on remonte vers l'arrière.

L'enlissement

Pouvons-nous reculer plus loin encore ? Pour l'instant nous n'avons sous la main aucun document, aucun «fossile» qui puisse justifier une exploration plus lointaine. De surcroît nous savons que si nous insistons nous allons bientôt rencontrer une situation passablement catastrophique. Nous entrons dans le domaine des conditions de Planck dont nous allons parler maintenant.

Nous possédons en physique deux grandes théories qui font merveille chacune dans leur domaine : la physique quantique et la théorie de la relativité généralisée d'Einstein.

La première est parfaitement adaptée à l'étude des atomes et des interactions qui s'exercent entre eux. Ces interactions se manifestent en termes de «champs». Dans sa version la plus généralisée la physique contemporaine se présente comme un ensemble de théories de champs applicables à chacune des grandes interactions : électromagnétique, nucléaire, faible, gravitationnelle. Son pouvoir prédictif est extrêmement puissant. Son domaine d'application, cependant, est limité aux situations où le champ de gravité n'est pas trop intense.

La seconde est, au contraire, éminemment adaptée au calcul des mouvements matériels dans des régions de gravité arbitrairement élevée. Mais elle est incapable de prendre en charge les acquis de la physique quantique, c'est-à-dire le fait que la matière se présente ultimement non pas sous la forme de particules massives indéfiniment localisables dans un continuum d'espace-temps mais sous la forme de champs quantiques, soumis aux principes d'incertitude d'Heisenberg, et avec des propriétés mathématiques particulières.

Le problème fondamental de la cosmologie contemporaine peut se formuler ainsi. Si nous poursuivons notre exploration du passé jusqu'à des températures de 10^{32} degrés, nous avons alors à traiter une matière si dense qu'elle exige à la fois les techniques de la relativité généralisée (à cause du champ de gravité extraordinairement élevé) et aussi les techniques de la mécanique quantique (la matière doit être décrite en termes de champs quantiques). Et c'est là que ça se gâte.

Les difficultés ne sont pas d'ordre observationnelles. Aucun résultat expérimental n'existe à de telles énergies qui soit en désaccord avec les calculs prédictifs de la théorie. C'est sur le plan de la cohérence interne que se posent les problèmes. En termes techniques on dit que les théories actuelles qui pourraient s'appliquer à ce contexte sont «non-renormalisables». Cela veut dire que certains calculs, par exemple, de la probabilité qu'un événement donné se produise, donnent une valeur numérique infini. Alors qu'une réponse acceptable se situerait obligatoirement entre zéro et un...

On peut illustrer la situation en disant que dans ces conditions il y a un conflit entre la délocalisation relative impliquée par les incertitudes de la physique quantique et le confinement absolu impliqué par l'action d'un champ de gravité très intense, par exemple dans le cas imagé d'un trou noir. Les fluctuations statistiques du champ quantique altère d'une manière imprévisible la trame d'espace-temps sur laquelle s'inscrivent les phénomènes décrits par la relativité générale.

En d'autres termes, tout se passe comme si les notions traditionnelles de temps et d'espace devenaient inaptées à décrire le réel. Les mots «avant» et «arrière», «avenir» et «passé» ne peuvent plus être définis d'une façon non-ambigüe.

En résumé, il n'existe en février 1991, aucune théorie physique capable de rendre compte du comportement d'une matière portée à la température de Planck (10^{28} degrés). Ce n'est pas faute de diligence de la part des théoriciens. Plusieurs avenues de recherches sont activement poursuivies ces jours-ci auxquelles sont associés les mots de «supersymétrie», «supergravité», «supercordes», «modèles composites» ou encore «mini-univers». Mais tout cela reste, encore à l'état de programmes, sur lesquels on peut faire porter un espoir prudent.

Les limites de la connaissance

La température de Planck peut être considérée comme la frontière de la connaissance contemporaine, aussi bien sur le plan des températures possibles que sur le plan de notre exploration du passé de l'univers. Personne ne sait si des températures plus élevées peuvent être atteintes. Personne ne sait si les mots «température», «énergie», «masse», «vitesse», «temps», «espace» - le vocabulaire chéri du physicien sans lequel il se sent aussi nu que l'empereur de Chine de Hans Christian Andersen - ont encore un sens. On comprend que la question perfide «qu'est-ce qu'il y avait

avant ?» le laisse muet. Il ne sait même plus ce que, dans ces circonstances, le mot «avant» peut bien vouloir dire...

C'est cette détresse du physicien qu'il faut avoir à l'esprit quand on se demande si la physique contemporaine a quelque chose à dire sur la question de la «création du monde» ou des «premiers temps» de l'univers.

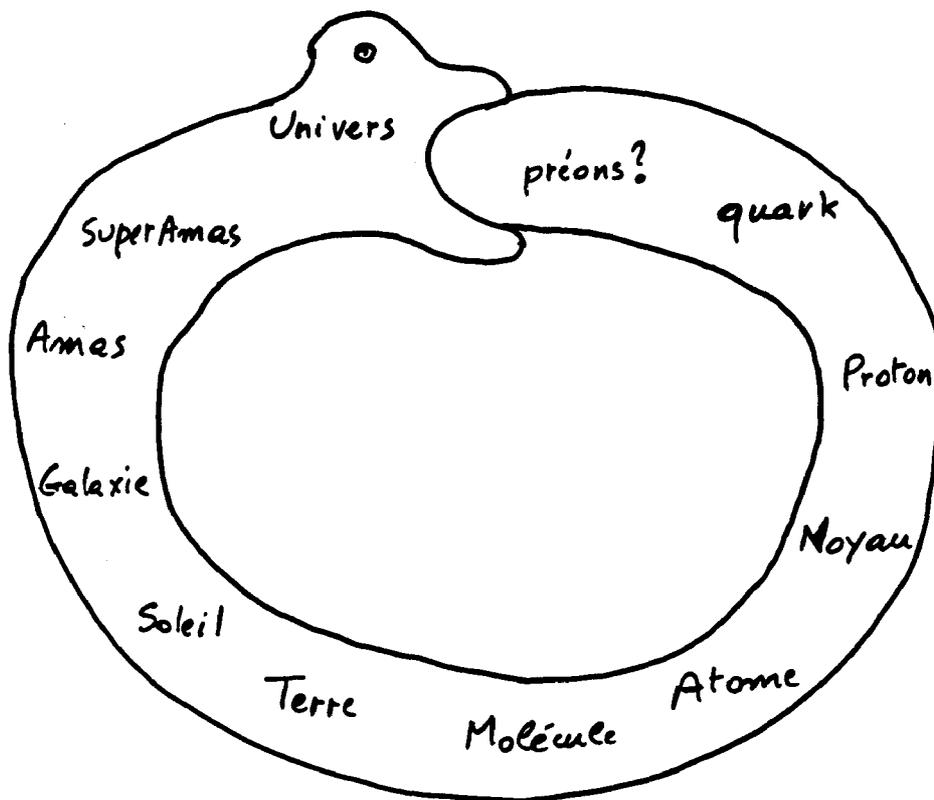
Nos fossiles nous ont amené à la conclusion que l'univers, dans le passé, a été très chaud. Au moins dix milliards de degrés, pour expliquer la nucléosynthèse primordiale. Peut-être 10^{24} degrés, pour expliquer la démographie photonique et la rareté d'antimatière sous nos latitudes. L'état présent de la théorie physique nous apprend que de toutes façons, il y a ce qu'on pourrait appeler le «mur de l'ignorance» qui se situe autour de 10^{28} degrés. Ce que nous touchons là ce ne sont pas les limites du monde mais les limites de notre connaissance. De ce qu'il y a «au-delà» en température, ou «avant» dans le temps nous ne pouvons rien dire. Les prétentions relatives à une explication de la création ou de «pourquoi il y a quelque chose plutôt que rien» doivent être remplacées par un constat pur et simple d'ignorance.

Par contre les mots «premiers temps» du monde prennent ici un nouveau sens. Si le concept de «temps» devient inapplicable au voisinage de la température de Planck, il est applicable à des températures inférieures à celle-ci. On peut donc utiliser l'expression «premiers temps» non pas dans l'optique infondée de ce qui suivrait un mythique «temps zéro» mais dans l'idée que le concept de temps devient alors applicable. On aurait envie de dire «devient applicable pour la première fois» si cette expression n'était pas elle-même quelque peu contradictoire.

Il n'est pas exclu, bien sûr, que les essais théoriques en cours pour percer les secrets de la physique des très hautes énergies puissent redonner au temps et à l'espace leur rôle conventionnel. Qu'ils puissent ainsi redonner un sens à la question : qu'est-ce qu'il y avait avant ? Qu'ils nous permettent de faire encore un pas en arrière vers vraisemblablement, de nouvelles frontières. La physique est une science en progrès constant et ce que j'ai décrit ici est l'état présent de notre progression (comme les explorateurs des continents nouveaux). Pour l'instant nous sommes comme enlisés dans les marécages des incohérences internes. Mais nous pourrions bien, tôt ou tard, en sortir.

Hubert REEVES
astrophysicien
Directeur de recherches au CNRS (CEN-Saclay)

à l'instar du serpent qui se mord la queue, quand Gilles Cohen-Tannoudji appelle de ses vœux une théorie quantique de la gravitation à 4 dimensions d'espace-temps (p 56) :



*La grande boucle
de l'infiniment petit à l'infiniment grand*

**à propos de l'exposé
sur l'unification des interactions fondamentales
de Gilles Cohen-Tannoudji**

Le texte qui va suivre est ardu. Le qualificatif est de son auteur lui-même. Nous avons d'abord hésité puis finalement pris la décision de le publier in extenso dans ce Cahier en raison même du succès qu'il a remporté devant l'auditoire très diversifié réuni en Sorbonne le 6 mars dernier. La chaleur et la durée des applaudissements qui en ont salué la péroration nous en faisaient un devoir.

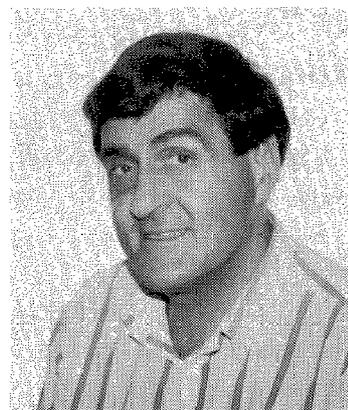
Même privé, à la lecture, de la véritable fascination exercée de vive voix par l'enthousiasme, la rigueur conceptuelle, la virtuosité intellectuelle et verbale du conférencier, l'exposé de Gilles Cohen-Tannoudji offre une approche tout à fait remarquable des notions les plus abstraites de la physique théorique contemporaine.

L'accès aux sommets de la connaissance -aujourd'hui en plein devenir- dans ce domaine comme en bien d'autres, ne peut être ramené à une simple incursion et il n'y a pas pour les atteindre ce que les alpinistes appellent "un itinéraire à vaches".

Toutefois, même si l'on est conscient de ne pouvoir longtemps les accompagner, il n'est pas interdit de suivre du regard les explorateurs qui s'y aventurent par les voies extrêmes que l'esprit humain doit emprunter pour peu à peu progresser dans la connaissance du monde dont parle au début de ce Cahier le professeur Astier.

Cette prise de conscience faite à la fois d'humilité intellectuelle et de confiance dans les possibilités intrinsèques de l'homo sapiens sapiens quelle meilleure approche en offrir que cette tentative poursuivie au cours du XXe siècle par les plus grands physiciens de parvenir à l'unification des interactions fondamentales. N'est-ce pas la clé, encore à peine ébauchée, de la compréhension de l'univers physique -au sens que croit pouvoir donner à ce mot le professeur Astier- compréhension qui apparaît à beaucoup le but ultime de la science ?

M.B



C'est à son collègue et ami M. Jean-Pierre KAHANE, ancien président de l'Université Paris-Sud et de la MIDIST que le MURS a confié la tâche de présenter M. Cohen-Tannoudji à l'auditoire, particulièrement nombreux et attentif en la circonstance, des cours publics consacrés au progrès de la science : réponses d'aujourd'hui et espoirs pour demain.

Chercheur au Centre d'Etudes nucléaires de Saclay, puis au département de physique des particules élémentaires, **Gilles COHEN-TANNOUDJI**, lauréat du Prix Thibault, est l'auteur de très nombreuses communications scientifiques. Depuis quelques années il a écrit, en collaboration avec d'autres chercheurs, des ouvrages sur la physique des particules destinés à un plus large public. Parmi d'autres, il convient de citer : "**Matière Espace-Temps**" écrit avec Michel Spiro et "**l'Horizon des particules**" avec Jean-Pierre Baton. Il faut aussi mentionner un ouvrage, encore à paraître chez Hachette dans la collection Questions de Sciences, "**Les constantes universelles**".

Trois aspects complètent l'activité scientifique de Gilles Cohen-Tannoudji révélant en lui, un théoricien de premier plan, un vulgarisateur de grand talent et un "essayiste" au plein sens qu'on peut prêter à ce néologisme.

Théoricien : assurément c'est son métier. Mais dès ses premières publications, dans sa thèse entre autres, il se révèle bien supérieur à un simple débutant "es-sciences". Son travail dans la théorie des particules fait apparaître le rôle des singularités des fonctions analytiques dans les modèles phénoménologiques qu'on était bien loin de soupçonner. Il donne à ces modèles phénoménologiques une place entre les expériences et les théories de relais nécessaire de la pensée scientifique.

Autre avancée originale de sa réflexion, le rôle insoupçonné jusqu'alors des algèbres topologiques dans la physique des particules.

Sa puissance de réflexion dans la théorie proprement dite, Gilles Cohen-Tannoudji la manifeste également dans d'autres domaines comme par exemple celui des structures de la recherche. Ainsi lors du colloque national sur la recherche et la technologie, il a su introduire dans une discussion initialement confuse et peu claire, la dimension spatiale et la dimension temporelle qui ont permis de clarifier le sujet et d'élaborer un exposé raisonnablement apprécié.

Comme **vulgarisateur**, terme pris dans sa plus haute acception, Gilles Cohen-Tannoudji a su rendre accessible à de nombreux non initiés, ce qui se fait de meilleur et fondamental dans chaque domaine de la recherche.

C'est ainsi que nous avons collaboré à un ouvrage qui s'appellait "**La révolution par l'intelligence**". Je crois aussi me souvenir d'un article publié par un grand quotidien du matin sous le titre provocateur : "**Les gluons, ça vous intéresse ?**". Pour le grand public ce n'était pas forcé que cela l'intéresse. Mais la manière propre à Cohen-Tannoudji de concevoir la science comme un enjeu pour toute l'humanité et les problèmes les plus fondamentaux comme des problèmes à soumettre à tout un chacun, assurent le succès des livres qu'il a écrit et sans doute qu'il s'apprête à écrire.

Comme preuve de ses qualités d'essayiste je citerai la toute dernière phrase d'un livre difficile où il s'est efforcé de lier l'ordre de l'exposition et l'ordre de l'investigation ce qui me paraît la chose la plus difficile au monde : "*Dans un monde où les inégalités entre pays riches et pauvres ont tendance à se creuser, où le moindre conflit peut dégénérer en apocalypse, où le rythme de l'évolution des sociétés est inévitablement plus lent que celui de la science, nous refusons de croire qu'il y ait une inéluctabilité du meilleur et une fatalité du pire. Un nouvel humanisme est à inventer. Tel est le plus grand et le plus urgent défi que notre époque ait à relever*".

D'un appel dont il a été cosignataire je retiendrai aussi cette phrase : "*le temps, la patience, l'intelligence, l'imagination, la compréhension, la générosité, le savoir doivent servir à construire et non à détruire*". Il me semble que le MURS nous réunit ici pour prendre conscience de tout ce qui est à construire dans la science, à partir de la science pour l'humanité toute entière. Quel physicien peut en parler, me semble-t-il mieux que Gilles Cohen-Tannoudji ?