

ENFANTS DU SOLEIL?

Histoire de nos origines

par André Brahic

D'où venons-nous? Qui sommes-nous? Où allons-nous? Sommes-nous seuls? En d'autres termes: quelle est la place de l'Homme dans l'Univers? Pour la première fois, après des millénaires d'interrogations, les scientifiques sont arrivés à un certain consensus sur les grandes étapes de la formation du système solaire grâce aux formidables progrès de l'Astronomie au cours de ces dernières décennies. Il n'est guère aisé de se représenter l'âge de l'Univers estimé par les astronomes à environ 15 milliards d'années. En imaginant que nous sommes à la fin d'une année fictive qui aurait commencé le 1^{er} janvier avec le début de l'expansion de l'Univers, les premiers hominidés sont apparus le 31 décembre à 22 h. 30 et la Renaissance en Europe a eu lieu une seconde avant le premier coup de minuit.

Cette seconde a cependant suffi à l'homme pour observer le Monde et émettre des hypothèses rationnelles et scientifiquement fondées sur l'origine de la Terre et des planètes. Nous n'avons évidemment pas ici pour ambition de retracer ici toute l'aventure intellectuelle et humaine qui a précédé. Nous nous contenterons de rappeler comment, du développement de la pensée rationnelle à l'âge d'or de l'astronomie, nous sommes maintenant capable de décrire la formation de la Terre et des planètes. Tel un détective qui rassemble les indices pour trouver le coupable, les astronomes recherchent des traces et des témoignages de cette époque reculée. Ils procèdent comme des archéologues qui, à partir de fragments de poteries et de fondations d'anciens bâtiments, reconstituent l'histoire des civilisations passées.

Sommes-nous les enfants du Soleil? Non, l'étoile Soleil est notre grande sœur. Nous sommes plutôt les enfants des étoiles et du temps. À l'exception de l'hydrogène et de l'hélium de notre corps qui datent du début de l'Univers, les atomes, dont notre corps est fait, ont été fabriqués par plusieurs générations d'étoiles au cours des 10 milliards d'années qui ont précédé la naissance du Soleil. Il a fallu ensuite près de 5 milliards d'années pour que l'Homme apparaisse.

Note de bas de page:

Résumé de la 189^{ème} conférence de l'Université de tous les savoirs donnée le 7 juillet 2000

Rien n'aurait été possible sans le prodigieux développement des sciences de l'Univers depuis les années 1960. Cet âge d'or est dû à la conjugaison de plusieurs facteurs favorables comme l'essor de l'astronomie spatiale, l'utilisation d'ordinateurs puissants, la construction de grands télescopes, la mise au point de nouveaux détecteurs et la croissance de la population des chercheurs. Le nombre d'astronomes professionnels a été multiplié par 30 en moins de 60 ans!

Avec la radioastronomie, née en récupérant les radars de la dernière guerre mondiale, et le lancement de satellites artificiels, observatoires astronomiques non perturbés par l'atmosphère terrestre, l'observation du ciel ne se restreint plus au domaine optique. Les astres sont maintenant visibles dans tous les domaines de longueur d'onde des ondes radio aux rayons γ en passant par le rayonnement millimétrique, infrarouge, optique, ultraviolet et X. Nous pouvons comparer notre situation à celle d'un enfant né avec des lunettes «vertes» qui n'aurait vu jusqu'alors que les objets verts de son environnement. Nous sommes exactement au moment où, adolescent, on lui retire brutalement ses lunettes et où il peut voir enfin toutes les couleurs. Il découvre alors que le monde est beaucoup plus riche et varié que prévu!

Avec l'exploration *in situ* des planètes par des sondes spatiales qui sont nos yeux et nos oreilles projetés à des milliards de kilomètres, nous venons de vivre l'âge d'or de l'exploration du système solaire. On peut comparer ce moment à celui de la découverte de l'Amérique et des contrées lointaines par les grands navigateurs tels Christophe Colomb, Magellan et les autres. Ce qui fut un exploit il y a 5 siècles est devenu un élément de notre vie quotidienne. Les planètes et leurs satellites ne sont plus pour nous de simples points de lumière dont on se contente d'étudier le mouvement. Ce sont des «Terres» à part entière dont l'étude échappe aux seuls astronomes pour devenir aussi le domaine des géophysiciens.

Alors qu'au début du XX^{ème} siècle, les découvertes de la relativité générale, de la mécanique quantique, des mathématiques «modernes» et de bien d'autres champs de recherche avaient profondément renouvelé des disciplines telles que la physique, la chimie ou les mathématiques, la fin du siècle aura vu l'explosion des sciences de l'Homme et de l'Univers, la biologie et l'astrophysique. En 1900, les hommes ne savaient pas pourquoi les étoiles brillaient, ils ignoraient l'existence des galaxies et ils ne voyaient les planètes que comme des points lumineux dans le ciel. En 2000, les astronomes savent pourquoi les étoiles brillent, ils ont observés des milliards de galaxies et ils connaissent la surface des planètes avec une précision de quelques dizaines à quelques centaines de mètres.

Un tel bouleversement a évidemment de profondes conséquences sur notre société. Sur le plan culturel, la découverte d'un Univers beaucoup plus riche que nous ne l'imaginions auparavant et la grande diversité des phénomènes observés devraient à terme modifier profondément notre vision de la place de l'Homme dans l'Univers. Sur le plan scientifique, l'Univers est un fantastique

laboratoire gratuit où se déroulent des phénomènes non reproductibles sur Terre. L'observation de la matière dans des conditions extrêmes de pression, de température et de densité devraient nous permettre de progresser dans des domaines très divers de la physique et de la chimie. Sur le plan industriel, la recherche spatiale est l'objet d'une compétition farouche entre les grandes puissances que sont l'Europe, les Etats-Unis, le Japon et, dans une moindre mesure, la Russie, la Chine et l'Inde. Le but est tout simplement la domination du monde économique.

Une motivation importante pour étudier nos origines est de mieux connaître notre propre Terre. Il est souvent difficile de nous la représenter comme une planète ordinaire et pourtant, en termes de position et de taille, elle est vraiment commune. Elle est soumise aux mêmes mécanismes physiques que les autres corps du système solaire. Pour mieux connaître la Terre, on devrait en toute rigueur faire comme le physicien dans son laboratoire, c'est à dire procéder à des expériences. Il est impossible et il n'est surtout pas souhaitable de tenter la moindre expérience sur la Terre, de la chauffer, de la couper en deux, de la secouer, de la déformer, etc. L'étude des autres planètes rend heureusement ces expériences inutiles! Il suffit de comparer la Terre à un corps plus gros ou plus petit, plus ou moins dense, plus ou moins chaud, de composition chimique différente, etc. pour comprendre le rôle de chaque paramètre.

Un des grands progrès de l'aventure spatiale est d'avoir fait comprendre aux hommes les relations étroites entre les planètes et de les avoir conduits à entreprendre une étude comparée des corps du système solaire. Les autres planètes et satellites ont en effet beaucoup à nous apprendre sur la Terre et réciproquement. Par exemple, Vénus a la même masse et les mêmes dimensions que la Terre, mais tourne beaucoup moins vite et ne possède pas d'eau liquide à sa surface : la météorologie y est donc plus facile que sur Terre. L'atmosphère de Titan est, comme celle de la Terre, composée essentiellement d'azote et la pression au sol est la même que sur Terre, par contre elle est beaucoup plus froide. Les volcans de Mars sont plus grands que leurs homologues terrestres et ceux d'Io sont plus actifs. On pourrait ainsi multiplier les exemples. Alors qu'au XIX^{ème} siècle, âge d'or de la géologie, l'étude de la Terre était essentiellement locale, elle est devenue globale au XX^{ème} siècle avec la naissance de la géophysique. On peut imaginer qu'au cours des prochaines décennies, l'apparition d'une nouvelle discipline, *la planétologie comparée* permettra de mieux connaître notre Terre. Certains phénomènes terrestres comme le volcanisme, la météorologie ou encore l'activité interne, pourront ainsi être mieux compris et mieux prédits. La prise de conscience «écologique» de notre planète Terre est un des progrès du XX^{ème} siècle. Seule la connaissance scientifique et l'étude rationnelle de tous les phénomènes qui permettent de comprendre l'évolution d'une planète nous feront progresser au sens trivial où nous pourrions mourir moins idiots. Toute autre attitude serait une régression !

Il est maintenant clair qu'une bonne connaissance de la Terre passe par la compréhension de sa place dans l'Univers et de la succession des événements qui ont conduit à l'agglomération des

atomes qui la constituent. Avant les années 1960, les géologues ne s'intéressaient pas aux autres planètes et les astronomes ignoraient la planète Terre. Nous comprenons maintenant que celle-ci n'est qu'un membre parmi d'autres de la grande famille du système solaire. Comment les atomes se sont-ils formés, et dans quelle proportion? Comment naissent les étoiles et comment est apparue l'étoile Soleil? Comment des planètes et satellites se sont-ils rassemblés autour du Soleil? Autant de questions qui sont un préalable à une bonne connaissance de la Terre et de son évolution!

Raison ou déraison?

La Grèce Antique qui nous a légué le raisonnement rationnel, le Moyen-Âge qui nous a enseigné la vertu de l'observation et la Renaissance qui a fait la synthèse des deux ont apporté aux scientifiques les deux instruments de leur démarche: l'observation qui nous fournit des faits auxquels tout le monde doit se soumettre et la théorie qui s'efforce de lier entre eux des faits récoltés dans différentes directions. Il faut bien comprendre que les astronomes peuvent affirmer qu'une théorie est fautive à chaque fois qu'une contradiction avec une observation apparaît, ils ne peuvent pas affirmer que ce qu'ils disent est vrai tant qu'une observation n'a pas infirmé l'interprétation. En d'autres termes, nous savons comment la Terre ne s'est pas formée. Nous pensons avoir compris les grandes étapes de la vie de la Terre, mais nous ne pouvons pas affirmer que nous détenons la Vérité.

Seule une approche rationnelle des phénomènes nous a permis de progresser. En d'autres termes, l'observation du monde qui nous entoure doit commander et toute théorie doit être quantitativement évaluée. Des calculs précis doivent étayer toute tentative d'explication et toute théorie, tout système, aussi beaux soient-ils, doivent s'incliner devant les faits d'observation, aussi laids soient-ils. Dire cela ne signifie nullement que les sciences physiques doivent diriger le monde. Les errements des scientifiques du siècle passé nous montrent qu'une approche purement «mécanique» du monde est bien insuffisante. Affirmer le besoin d'une approche scientifique signifie qu'un homme raisonnable ne doit jamais oublier que le doute et l'esprit critique sont essentiels. Pour paraphraser les comiques, le monde est rempli d'imbéciles pleins de certitudes, il contient heureusement quelques individus remplis de doutes!

À propos d'un problème précis, celui de nos origines, cet exposé se veut un plaidoyer en faveur de la recherche et de l'éducation, atouts essentiels pour notre avenir et seules alternatives à un monde où l'intolérance et la violence règneraient en maîtresses. Il se veut aussi un hommage à l'intelligence et à l'enthousiasme de ceux qui ont permis d'avancer et un cri contre tous les fanatismes, toutes les intolérances et toutes les pseudosciences. L'auteur de ces lignes ne supporte pas ceux qui veulent tellement faire le bonheur des autres qu'ils les envoient au bûcher ou les enferment dans des camps. Les débats sur la question de nos origines illustrent bien l'éternel combat entre ceux qui parient sur l'intelligence et ceux qui refusent le doute.

Il faut toujours garder en mémoire les persécutions qui se sont abattues sur ceux qui ont eu le courage de leurs opinions, même si elles heurtaient le pouvoir en place. Pour avoir préféré Copernic à Ptolémée, pour avoir remis en cause la physique d'Aristote et son monde fini et immuable et lui avoir préféré un Univers infini, livré à une évolution universelle et éternelle, pour avoir refusé de se renier, Giordano Bruno périt sur le bûcher en 1600. Au XX^{ème} siècle, pour ne pas s'être soumis, des scientifiques sont morts dans les camps d'Hitler ou de Staline et beaucoup tombent encore sous les balles de fanatiques religieux.

Mais, plutôt que de s'attarder sur les épines, pensons aux roses et à l'extraordinaire aventure de la connaissance qu'est cette quête de notre passé. Comment ne pas s'émerveiller devant la puissance de l'esprit humain qui parvient à comprendre ce qui s'est passé depuis plusieurs milliards d'années, c'est à dire sur une durée de plusieurs dizaines de millions de fois supérieure à celle de la vie d'un homme. L'homme moderne parvient aussi à observer ce qui est à des distances de centaines de millions de milliards de milliards (10^{26}) de fois plus grandes que sa propre taille! En même temps, les découvertes des astronomes donnent à tous ceux qui voudraient nous placer au centre de l'Univers une formidable leçon d'humilité.

«À quoi bon revenir sur notre passé?» demanderont certains. «Occupons-nous plutôt du présent!» ajouteront d'autres. En fait, cette recherche est le meilleur moyen de mieux connaître la Terre et les planètes, de mieux les comprendre et *in fine* de mieux les respecter et de mieux les habiter. Le progrès des techniques et la course à la croissance posent des défis colossaux à l'homme moderne. Saura-t-il maîtriser ses nouvelles inventions? Ne risque-t-il pas de mettre en danger les conditions de vie sur Terre? La seule réponse possible réside dans la connaissance du monde qui nous entoure et des mécanismes de son évolution. Reconstituer le long déroulement des événements qui ont abouti au monde actuel est le meilleur moyen de prédire la suite de l'histoire et de maîtriser notre futur.

Les méthodes employées par les scientifiques devraient constituer une formidable leçon intellectuelle pour tous les hommes. Cet aller-retour permanent entre la théorie et l'observation, entre la liberté de la pensée pure et la contrainte des faits, est un excellent exercice pour la conduite de notre existence quotidienne. Chacun peut y apprendre à se méfier des proclamations de foi, à s'incliner devant les faits, aussi dérangement, aussi contrariants fussent-ils, et à aimer la puissance de l'imagination à condition d'y mettre des garde-fous.

Le voile commence enfin à se lever sur des problèmes non-résolus depuis des siècles. Nous avons maintenant des éléments de réponse aux questions que nous nous posions depuis des millénaires. Nous commençons à entrevoir quelle est notre place dans l'Univers et à reconnaître que le monde qui nous entoure est infiniment plus riche que nous ne pouvions l'imaginer. L'époque où nous n'étions que les jouets de forces mystérieuses paraît bien lointaine. Il est frappant que cette marche vers la connaissance soit aussi une conquête de la liberté. Loin d'avoir reçu une réponse

toute faite et définitive dans un monde triste et figé, nous prenons conscience de notre appartenance à un monde encore mal connu mais où règnent en maître la variété et la diversité. L'homme a maintenant les moyens de prendre son destin en mains. Mais le chemin qui reste à parcourir est si considérable qu'il ne peut que susciter les passions.

Les progrès impressionnants de nos connaissances au cours de la dernière partie du XX^{ème} siècle ne doivent cependant pas nous masquer la réalité. Il ne faudrait pas croire que l'approche irrationnelle du monde relève d'un passé révolu. Les attaques contre la science sont encore nombreuses et ne sont pas l'apanage de quelques fundamentalistes religieux fanatiques et bornés. Tous ceux qui ne comprennent pas la nature de sa démarche ont une attitude désinvolte à l'égard de la science et tendent à la rejeter. Cela comprend ceux qui croient que la science est la cause de tous nos maux, comme ceux qui prêtent l'oreille aux irrationnels de tous poils ou ceux qui discutent sur le monde sans le connaître.

Croire que la science serait responsable de nos malheurs et se déplacer en avion ou en automobile, regarder la télévision, téléphoner, exiger les meilleurs soins hospitaliers, se chauffer et s'éclairer à l'électricité, etc., est bien paradoxal. C'est ne pas vouloir comprendre que seule l'utilisation de la science par les hommes, donc par les citoyens, est en cause, non la science en elle-même. Celle-ci n'est ni bonne ni mauvaise, elle est. Quand une victime reçoit une balle de fusil, le coupable est le tireur, non les lois de la balistique. D'ailleurs, il ne faut pas confondre la science, qui a pour but la connaissance, et la technique tournée vers les applications. Bien qu'elles soient toutes deux essentielles, elles ne sont pas de même nature.

Pour ne citer qu'un exemple, aux États-Unis, une minorité bruyante rejette toute approche scientifique et considère que la Terre et l'Homme ont été créés tels quels il y a quelques milliers d'années. Ces groupes anti-darwiniens purs et durs déploient une activité débordante pour tenter d'imposer l'enseignement du créationnisme dans les écoles. Seules quelques associations d'enseignants luttent courageusement contre ces religieux fanatiques. Un tel mouvement montre qu'un pays techniquement avancé n'est jamais à l'abri de l'obscurantisme et que l'éducation a une importance primordiale. En Europe, l'audience des créationnistes reste confidentielle, mais il faut prendre garde que ces idées rétrogrades ne traversent l'Atlantique.

Les formidables succès de l'esprit humain dans le domaine scientifique sont tellement enthousiasmants qu'on ne peut être qu'irrité par ces manifestations de l'irrationnel. Ces survivances des premiers bégaiements de notre esprit sont souvent inquiétantes. Certaines peuvent prêter à sourire, mais lorsqu'on songe que l'esprit critique a si souvent été pourchassé par les pouvoirs en place, et que l'ignorance a toujours fait le lit de l'oppression, il n'est jamais inutile de dénoncer ceux qui exploitent la naïveté de leurs semblables. Quand on sait quel long apprentissage demande la formation scientifique, il est difficilement supportable d'entendre sans protester ceux qui voudraient faire croire que le monde tourne comme ils le souhaitent et non comme on l'observe.

Des tâtonnements primitifs de l'époque où les planètes étaient mystérieuses, et donc dotées de pouvoirs surnaturels, subsistent des croyances qui paraissent bien ridicules comme l'astrologie et les histoires de «soucoupes volantes». Ce passé maintenant révolu nous a légué quelques escrocs qui tirent profit de la crédulité humaine. Il est évident que la positions des planètes au moment de la naissance d'un individu (ou de sa conception ?) n'a strictement aucune influence sur son avenir et l'on ne peut que s'en féliciter. De même, les milliers d'astronomes qui scrutent le ciel avec des instruments de plus en plus performants, au point de détecter en quelques instants l'apparition de toute nouvelle étoile parmi les dizaines de millions connues de même éclat, n'ont jamais vu le moindre débarquement d'extraterrestres. Pourtant, ils sont les premiers convaincus de leur existence probable parmi les innombrables étoiles, à rechercher sérieusement les signes de leur présence et à préparer les bouteilles de champagne pour les accueillir !

Je recommande à mes étudiants de boycotter toutes les maisons de presse, d'édition et de moyens audiovisuels qui diffusent un horoscope, une rubrique d'astrologie ou des histoires de soucoupes volantes. Je n'ai évidemment aucun ressentiment contre ceux qui croient à ces fadaises, leur naïveté pourrait m'attendrir, mais je ne supporte pas que d'autres, qui n'y croient pas, en fassent commerce. Les directeurs de ces journaux ou de ces chaînes de télévision prouvent ainsi qu'ils méprisent leurs lecteurs ou leurs auditeurs, et que leur but est avant tout de gagner le maximum d'argent quels que soient les moyens à employer pour y parvenir. La République, qui consacre avec raison d'importantes sommes d'argent à l'éducation, ne devrait pas tolérer ces escroqueries. La pollution intellectuelle qu'elles engendrent est tout aussi dangereuse que les autres formes de pollution.

Aucun scientifique n'accorde foi à ces âneries ; mais il est des attitudes irrationnelles plus subtiles et tout aussi dangereuses. Par exemple, certains philosophes prétendent que nous ne pouvons pas distinguer le vrai du faux, que le monde qui nous entoure n'est qu'illusion et que toutes les théories se valent. L'histoire de l'aventure scientifique nous prouve le contraire. A ces sceptiques, j'ai toujours envie de retirer la chaise sur laquelle ils vont s'asseoir pour leur demander, lorsqu'ils se retrouvent les quatre fers en l'air, si la douleur qu'ils éprouvent, d'origine purement gravitationnelle, n'est qu'une illusion. Affirmer que toutes les opinions se valent n'est qu'un premier pas avant de basculer dans le négationnisme.

D'autres philosophes ou spécialistes des sciences sociales beaucoup plus sympathiques, et dont les idées sont souvent fécondes, ne rendent pas service à la science quand ils emploient, hors de leur contexte, des termes scientifiques dont ils ne comprennent pas le sens. Des exemples récents nous prouvent que le choix des mots ne peut pas être traité avec désinvolture et que nul n'est jamais assez rigoureux.

Certains scientifiques, qui ont quelquefois apporté une contribution importante à leur domaine de recherche, se laissent quelquefois aller à des spéculations qui rappellent les mythes primitifs.

Nous sommes impressionnés d'observer quotidiennement comment des systèmes ordonnés sont nés du chaos initial, qu'il s'agisse de planètes, de galaxies ou de la vie. Faut-il pour autant y voir la moindre finalité ? Rien ne permet de l'affirmer aujourd'hui. Le fait de vouloir à tout prix attribuer une finalité à l'Univers montre que certains scientifiques contemporains n'ont pas été vaccinés par l'histoire du géocentrisme et des persécutions qu'il a engendrées. Ils remettent à leur manière l'homme au centre de l'Univers. Dans le débat « entropie et anthropie », ils arguent de la complexité croissante de l'étoile à la planète, puis de la planète à l'homme, pour suggérer que celui-ci soit bien le but de l'Univers. Quelle ambition démesurée ! Quelle mégalomanie ! Et quelle régression ! Ils ressemblent aux bébés qui se croient le centre du monde et se mettent à hurler si on ne leur accorde pas l'attention exclusive qu'ils désirent. L'idée que l'Univers aurait un but, que nous aurions été assez intelligents pour le découvrir, et que nous serions nous-mêmes ce but, ne paraît pas plus raisonnable qu'imaginer la Terre immobile au centre de l'Univers et le ciel tournant autour d'elle. Simplement, cette vision nombriliste contemporaine se pare d'une terminologie scientifique qui la fait apparaître un peu plus sérieuse.

S'enthousiasmer de la puissance de la pensée rationnelle ne doit pas conduire à croire que les sciences physiques doivent mener le monde. Se contenter d'une conception mécaniste de celui-ci, comme l'ont défendu Auguste Comte et d'autres penseurs du XIX^e siècle, serait une grave erreur. Il ne faut surtout pas tenter d'appliquer des méthodes et des concepts utiles en astronomie ou en physique à des domaines auxquels ils ne sont pas adaptés. Chaque discipline doit inventer ses propres techniques mais sans jamais se départir de la rigueur, de l'esprit critique et du respect absolu des faits qui caractérisent la démarche scientifique.

Se passionner pour l'Univers que les astronomes du XX^e siècle nous ont découvert et s'émerveiller de la puissance du raisonnement scientifique ne signifie pas non plus qu'il faille entreprendre une croisade anti-religieuse toutes affaires cessantes. La science et la religion suivent actuellement des voies fort éloignées l'une de l'autre. Vouloir démontrer scientifiquement l'existence de Dieu n'est pas plus raisonnable que l'inverse. Croire ou non en un dieu dépend surtout de l'éducation reçue et du milieu fréquenté. Les religions rassemblent actuellement des communautés qui partagent des traditions, une culture et une morale, et elles jouent un rôle social important. Seuls le fanatisme religieux, le prosélytisme forcené, le fondamentalisme agressif et le rejet de l'autre sont insupportables. À ce propos, je crois que le maître mot est celui de tolérance. On doit accepter la culture et l'originalité de l'autre même si l'on ne partage pas toutes ses idées. La diversité fait la richesse du monde. À l'aube de la science moderne, les religions et les mythes primitifs ont joué un grand rôle en permettant aux scientifiques de critiquer les textes écrits et d'affiner leurs méthodes d'analyse. Depuis, les questions posées et les buts poursuivis ne sont plus les mêmes. L'Église catholique n'est pas sortie grandie de la condamnation des thèses de Galilée ou de Darwin. De même, le régime stalinien ne s'est pas glorifié par ses positions sur la biologie.

Les rapports entre la science et la religion peuvent être illustrés par la réplique de Laplace à Napoléon auquel il présentait sa nouvelle théorie de la formation du système solaire : «*Monsieur le Marquis, je ne vois pas beaucoup Dieu dans votre théorie*», lui fit remarquer l'Empereur ; «*Sire, c'est une hypothèse dont je n'ai pas eu besoin*», lui répondit l'astronome.

Contrairement à ce que pourraient croire certains, la quête de nos origines est loin d'être achevée. Elle est au contraire tout juste ébauchée. Après des millénaires de discussions et de considérations philosophiques qui ont préparé le terrain, la fin du XX^{ème} siècle aura marqué un tournant. Pour la première fois, les hommes ont accumulé un faisceau d'indications qui leur permet d'éliminer la plupart des théories cosmogoniques du passé et de s'accorder sur un scénario. Même si de nombreuses étapes sont mal comprises et suscitent des controverses, l'accumulation des observations va nous permettre de tester finement chaque partie de ce scénario. L'exploration du système solaire doit continuer, la recherche de nouveaux témoignages sur nos origines doit s'intensifier et cet aller-retour permanent entre les observations et leurs interprétations devrait nous permettre d'avancer à grands pas au cours des siècles à venir. En rapportant sur Terre des échantillons de matière primitive prélevés un peu partout dans le système solaire, en améliorant les techniques d'analyse en laboratoire des échantillons, en développant les modèles dynamiques et chimiques et en commençant à recueillir des informations sur d'autres systèmes solaires, nous devrions faire de spectaculaires progrès. Certaines de nos idées sur l'origine de la Terre feront peut-être sourire nos descendants, de la même manière que nous sourions des mythes inventés par nos ancêtres; mais ils reconnaîtront que quelque chose a changé à la fin du XX^{ème} siècle et que nos idées sur nos origines auront été le point de départ de leurs connaissances.

Création ou Eternité?

La question de nos origines obsède depuis toujours l'esprit humain. Elle a suscité une foule de récits mythiques racontant l'origine du monde, des dieux et des tribus et elle est, de nos jours, au centre de maintes recherches scientifiques. Depuis la nuit des temps, les hommes ont polémique pour savoir si notre monde était le résultat de transformations incessantes ou s'il avait été créé un beau jour. Mais comment ? À partir de quoi ? Le passé est imprévisible, disait-on chez les sceptiques, mais les découvertes du XX^{ème} siècle les ont fait mentir car un coin du voile vient enfin d'être soulevé!

Les hommes ont passé des millénaires à inventer des mondes imaginaires. Depuis peu, ils ont changé et se sont dotés d'outils d'observation puissants pour découvrir le monde réel! Première leçon de cette aventure: la nature a beaucoup plus d'imagination que tous les hommes réunis! Deuxième leçon: nous savons maintenant, grâce aux nombreuses contraintes apportées par les observations, ce qui *ne s'est pas* passé. Nous pouvons jeter aux orties les mythes primitifs et les

théories cosmogoniques du passé, aussi jolies soient-elles. Nos ancêtres auraient-ils perdu leur temps en se berçant d'illusions? Non, car leurs tâtonnements ont défriché le terrain et nous ont aidé à formuler de nouveaux concepts. Sans eux, nous serions totalement incapables, de nos jours, de percer le mystère de nos origines. La critique des idées et des dogmes de nos prédécesseurs a engendré la science moderne!

La Terre, le ciel, le Soleil, les étoiles ont-ils existé de tout temps? Sont-ils éternels ou ont-ils été créés un jour? Les hommes se sont posés ces questions depuis des millénaires sur tous les continents. L'idée d'un monde éternel, sans commencement ni fin a été présentée et défendue avec force par Aristote. Elle s'opposait au message très fort de la chrétienté qui croyait en un monde créé par un dieu. Ce débat sur l'existence ou non d'un début a fait rage pendant des siècles et fut au centre d'une controverse extrêmement rude au XIII^{ème} siècle au sein de l'Université de Paris, centre mondial de la connaissance et du savoir à l'époque. Cette querelle a été aussi vive que celles qui ont entouré, quelques siècles plus tard, les théories de Copernic ou de Darwin.

La quête de nos origines est un sujet scientifique par excellence et pourtant la métaphysique s'en est emparée bien avant la physique. Toutes les religions et systèmes du monde qui ont eu la prétention d'être universels ont proposé une histoire de la création. Objet de tous les fanatismes et de toutes les intolérances pendant des siècles, cette recherche est en même temps une merveilleuse illustration du génie humain. A la fin du XX^{ème} siècle, l'Homme a enfin soulevé un petit coin du voile sur ses origines, mais le débat est loin d'être clos!

Loin d'être une simple lubie de scientifique curieux sans grande conséquence pratique, la question de nos origines a toujours fait l'objet de débats extrêmement vifs au point où, dans les cas extrêmes, ceux qui n'étaient pas les tenants de la «bonne théorie» ont été passés par les armes, brûlés ou pendus. Il est tout de même frappant de constater que tous les systèmes qui prétendaient à l'universalité ont voulu imposer, souvent par la force, une théorie de nos origines. Pendant des siècles, les églises, les temples et les mosquées ont imposé leurs vues. Mais, ce ne fut pas le seul fait des religions. Au fil de l'histoire, on retrouve souvent dans ces querelles idéologiques sur nos origines le conflit des systèmes socio-économiques de l'époque. Pendant plus de 150 ans, à l'époque de la primauté de la France et de l'Angleterre dans le monde, les écoles françaises et anglaises se sont opposées sur deux conceptions de la formation des planètes. Entre 1945 et 1990, le débat a porté sur deux théories, celle de l'école américaine et celle de l'école soviétique!

Bien que l'étude de nos origines concerne avant tout les astronomes, les physiciens, les chimistes, les mathématiciens, les minéralogistes, les géophysiciens et bien d'autres, il a de telles implications philosophiques et sociologiques qu'il continue de susciter les passions et quelquefois les polémiques. Même entre scientifiques, les disputes sont nombreuses. Les différentes voies d'exploration sont si variées que beaucoup d'auteurs s'ignorent délibérément. En étudiant les textes consacrés à la question de nos origines, on rencontre plus de "philosophes" que "d'ingénieurs" et

quelque fois plus de métaphysique que de physique, mais la situation est en train de changer. La recherche spatiale, le développement des moyens d'observation et d'analyse ont fourni des outils si puissants que nous vivons une véritable révolution dans l'histoire de l'acquisition des connaissances et que personne ne peut plus ignorer les contraintes apportées par les observations et par les modèles.

Il nous paraît maintenant évident que la Terre, la Lune, le Soleil, les étoiles et les objets du ciel ont été formés un jour et qu'ils ont évolué. Nos ancêtres pensaient différemment. Beaucoup croyaient que les astres étaient là depuis toujours et seraient là pour l'éternité. Autrement dit, l'idée même d'évolution était étrangère aux hommes. On leur enseignait qu'une puissance supérieure avait créé le monde une fois pour toute. Il est vrai que cette notion de début, d'évolution, donc de fin est dérangement. On retrouve de nos jours ce rejet de l'évolution au sein de certaines sectes, de groupes "fondamentalistes" ou encore, au cœur d'un pays techniquement avancé comme les Etats-Unis, chez les "créationnistes". Pendant des millénaires, les hommes ont mis dans le ciel des dieux qui avaient d'autres règles de vie mais qui leur ressemblaient beaucoup. Ils avaient un immense avantage sur nous, l'immortalité. Aujourd'hui, nous dirions qu'il s'agit d'un avantage apparent seulement car des êtres immortels ne peuvent pas évoluer! Mais quelques hommes ont refusé de croire que nous ne serions que de simples esclaves des caprices divins. Ils se sont posé des questions différentes: y-a-t-il, après tout, des lois qui régissent cet Univers? Peut-on les découvrir par l'observation du monde qui nous entoure?

En l'absence d'observations contraignantes, les théoriciens s'en sont donné à cœur joie pendant plusieurs siècles, imaginant les situations les plus diverses. Pour beaucoup de ces théories, de nombreuses hypothèses étaient à la limite de la métaphysique. Il faut bien comprendre que, dans le domaine de la science, il n'est point de salut hors des contraintes observationnelles. Combien de théories belles "sur le papier" ont été tuées par d'horribles faits! Quels que soient nos préjugés et nos préférences, on doit impérativement s'incliner devant les faits d'observation. La science fournit là une belle leçon d'humilité aux hommes, qu'ils soient politiciens, dirigeants ou exécutants! Toute théorie doit rentrer dans le moule des contraintes observationnelles. La pensée pure, les idées a priori, les "grands livres sacrés" ne se sont pas révélés d'une grande utilité et l'acharnement à négliger l'évidence pour mieux croire à la véracité d'un mythe fondateur a souvent été un frein. Par contre, l'analyse critique de ces «a priori» et surtout la confrontation avec les observations se sont montrées fécondes.

Toute l'histoire de la recherche de nos origines est une succession sur plusieurs siècles d'idées préconçues, d'hésitations, d'impasses avec un manque souvent cruel de contraintes observationnelles et quelques avancées impressionnantes. Comme le disait Paul Valéry, *«plus il y a de métaphysique, moins il y a de physique et réciproquement»!*

Ce problème de nos origines ressemble à la reconstitution d'un immense puzzle, et pour corser le plaisir, on ne connaît pas le nombre total de pièces ni le sujet du tableau, beaucoup de pièces ont été à jamais perdues et, de surcroît, plusieurs jeux ont été mélangés. Nous ignorons, par exemple, quelles pièces nous livrent des informations sur nos origines et quelles autres nous racontent la suite de l'histoire. Même si plusieurs pièces supplémentaires ont été récemment acquises, il reste à savoir où les placer et bien que nous y voyions globalement un peu plus clair, de nombreux points restent dans l'ombre.

La principale difficulté provient du fait que le système solaire est le seul système planétaire à notre disposition. Vivons-nous dans un système très improbable et unique? Le système solaire est-il un monstre? Ou bien vivons-nous dans un système banal et très commun dans la Galaxie? Il est évident que la découverte d'autres systèmes solaires permettrait de dégager des caractéristiques communes et d'éliminer ce qui n'est que coïncidence due à des conditions initiales particulières. Nous nous trouvons actuellement un peu dans la situation où, à partir de l'observation d'un seul individu, nous essayons d'en déduire des règles générales de vie en société. Quelles sont les caractéristiques propres à toute une population? Qu'est ce qui est particulier à un individu? Le fait d'avoir les yeux bleus ou bien de posséder deux jambes?

Une seconde difficulté est liée au fait qu'il est malaisé de remonter dans le passé. Il semble possible de retrouver les conditions actuelles à partir de plusieurs conditions initiales différentes. Pour l'instant, le problème n'a pas de solution unique. On peut imaginer plusieurs conditions initiales différentes conduisant toutes à ce qu'on observe actuellement.

La recherche spatiale ainsi que toutes les observations modernes ont apporté une énorme quantité de données, le problème se pose de savoir lesquelles sont liées à la formation du système solaire. L'énorme quantité d'informations accumulées au cours de ces deux dernières décennies nous a appris au moins une chose: le problème est beaucoup plus complexe qu'on ne le supposait. On est frappé, notamment, par la grande diversité des objets et des mécanismes observés. La Nature est toujours plus riche qu'on ne l'imagine *a priori* ! Elle a en tout cas beaucoup plus d'imagination que le plus brillant des théoriciens ou des philosophes.

Les archéologues du ciel

À partir de quelles observations allons-nous reconstituer l'histoire de nos origines? Un scénario de la formation du système solaire doit évidemment rendre compte de toutes les observations, mais aussi en susciter de nouvelles au risque d'être finalement rejeté. Ces données agissent comme des contraintes sur la construction de tout scénario. Les témoignages des premiers instants du système solaire dont se servent les astronomes sont de nature multiple : composition chimique, dynamique des planètes, mesures radioactives, comptage de cratères, étude des astéroïdes

et des comètes, observations d'autres étoiles, etc. Il n'est évidemment pas possible de passer en revue toutes ces informations car une encyclopédie serait nécessaire, nous nous contentons ici d'en citer quelques unes.

Place de la Figure 1: la météorite d'Allende (reprendre la figure 13, page 138 du livre « Enfants du Soleil », et la légende. Je peux raccourcir la légende si nécessaire).

L'inventaire du contenu du système solaire vient d'être fait après 30 ans d'exploration spatiale. Les objets les moins massifs, tels les astéroïdes, les comètes, les petits satellites, les anneaux des planètes ou encore les météorites ont été relativement peu transformés depuis leur formation. Ils nous permettent donc de retrouver une partie des conditions initiales. Le fait que les planètes tournent dans le même plan sur des cercles nous indique qu'un disque de matière, en rotation autour du jeune Soleil, a précédé leur formation. La composition chimique d'une planète ou d'un satellite résulte en grande partie de la température qui régnait au moment de la formation, elle est donc une information essentielle. Le grand nombre de cratères d'impact observés à la surface des corps du système solaire témoigne de l'intensité et de l'importance du bombardement dans le processus de formation. L'âge de la Terre, mesuré avec précision grâce à la radioactivité et aux méthodes de datation.

Depuis peu, les astronomes recueillent des informations précieuses sur notre passé en observant les autres étoiles et leur environnement. Ils sont ainsi capables d'observer les étoiles juste après leur naissance. Les plus jeunes d'entre elles sont entourées d'un disque de matière et émettent de puissants jets dans les directions polaires. Le Soleil a probablement connu la même histoire. Plusieurs dizaines de planètes ont été découvertes en moins de cinq ans autour d'étoiles proches. Elles sont bien différentes de celles que nous connaissons, mais nous avons un bon espoir de découvrir d'autres Terres au cours du XXI^{ème} siècle.

Place de la Figure 2: Les arcs de Neptune (reprendre la figure 16, page 168 du livre « Enfants du Soleil », et la légende. Je peux raccourcir la légende si nécessaire).

Un scénario de nos origines

Compte-tenu de tous les faits d'observation accumulés, on peut maintenant décrire dans les grandes lignes l'histoire de la formation du système solaire. Même si ce scénario semble accepté par la majorité des astronomes, ce n'est pas pour autant qu'il est vrai ! Il faut plutôt le considérer comme un formidable outil guidant la réflexion scientifique, mais qui nécessitera peut-être un jour une révision en profondeur. Même si quelques étapes de la formation des planètes nous échappent encore, nous pouvons au moins affirmer « comment le système solaire ne s'est pas formé » !

À la fin du XX^{ème} siècle, on peut dire que le système solaire est un «enfant du temps». Il s'est écoulé plus de dix milliards d'années entre les premiers frémissements du «Big Bang» et la

naissance du Soleil et 4,5 milliards d'années entre l'apparition de la Terre et celle de l'homme. Ces durées astronomiques ont permis d'une part de fabriquer tous les atomes nécessaires à notre Terre et d'autre part à l'évolution de prendre son temps pour aboutir à un être aussi complexe, aussi inattendu et aussi imparfait qu'un homme. Comprendre comment la Terre est apparue et a évolué revient à mieux la connaître et en même temps à mieux prédire son avenir. Peut-être un jour éviterons nous ainsi quelque événement désagréable.

Il est maintenant admis que, quelque part dans la Galaxie, il y a environ 4,5 milliards d'années, un nuage de gaz interstellaire s'est effondré sous son propre poids pour donner naissance à une étoile - le Soleil - et à son cortège de planètes. Au cours de son effondrement, cette nébuleuse primitive s'est aplatie pour former un disque gazeux dont le bulbe central est devenu le Soleil. Au sein du disque, le gaz s'est tout d'abord condensé en petits grains. Des instabilités locales ont rapidement rassemblé ces grains en corps de quelques centaines de mètres de dimension. Le jeu de leurs collisions mutuelles a donné naissance à des embryons planétaires de quelques centaines de kilomètres, puis aux planètes et aux satellites que nous connaissons. L'existence d'eau liquide sur notre planète a permis le développement d'une chimie organique complexe et l'épanouissement de la vie. Même si ces grandes lignes semblent acceptées, de nombreux maillons sont totalement incompris à tel point que des pans entiers de ce scénario ne sont pas encore déchiffrés. Comme disait Pierre Dac, *«Le chaînon qui manque entre le singe et l'homme, c'est nous.»*

Place des Figures 3 et 4: Schéma de la formation du système solaire (reprendre les figures 23 et 24, pages 232 et 233 du livre « Enfants du Soleil » et les légendes. Je peux raccourcir les légendes si nécessaire).

Il y a 4,5 milliards d'années, le jeune Soleil, qui venait juste de s'effondrer sur lui même, était plusieurs dizaines de fois plus lumineux qu'aujourd'hui et enfoui dans une nébuleuse de gaz et de grains, qui s'est aplatie ensuite sous la forme d'un disque sous l'action de la force centrifuge et de la viscosité. C'est ce dernier qui donnera naissance aux planètes. Les astronomes l'appellent «disque proto-planétaire». Ce disque passe par cinq phases: un disque de gaz, un disque de grains, un disque de planétésimaux, un disque d'embryons et un disque de planètes.

Après le refroidissement brutal du Soleil, à la fin de sa formation, une partie du disque de gaz (environ 1%) s'est solidifiée sous la forme de grains micrométriques. Loin du Soleil, le disque était froid et des glaces d'eau, de méthane, d'ammoniaque et d'oxyde de carbone sont apparues. La température étant beaucoup plus élevée près du Soleil, des éléments réfractaires sont apparus tels que l'alumine, ou certains composés réfractaires du calcium, du magnésium et des oxydes métalliques. Ainsi, la composition chimique du système solaire est une conséquence directe des variations de température dans le disque protoplanétaire.

En frottant contre le gaz, les grains ont perdu une partie de leur énergie orbitale et se sont regroupés dans un disque très étroit situé dans le plan équatorial de la nébuleuse gazeuse. Soit des

instabilités gravitationnelles ont conduit à l'effondrement des poussières en des corps, appelés «planétésimaux», et de 500 mètres à un kilomètre de dimension, soit des tourbillons ont rassemblé les grains pour former des corps de taille kilométrique. Dans les deux cas, des «planétésimaux» se forment en quelques milliers d'années.

La nébuleuse protoplanétaire contient alors un disque de planétésimaux qui vont se coller les uns aux autres pour former de embryons planétaires, d'une dimension typique de quelques centaines de kilomètres. La naissance de ces embryons est activement étudiée depuis plus de vingt ans. Deux paramètres importants contrôlent la croissance des embryons : la vitesse de libération des planétésimaux, vitesse en dessous de laquelle deux corps sont liés gravitationnellement, et la vitesse relative d'impact entre ces derniers. Si cette dernière est supérieure à la vitesse de libération des planétésimaux, de l'ordre d'une dizaine de mètres par seconde, deux planétésimaux qui se rencontrent ne peuvent se coller et la croissance devient alors impossible. À l'inverse, si la vitesse relative est très inférieure à la vitesse de libération, le collage est possible et les embryons peuvent apparaître. Deux scénarios de croissance ont été proposés dans les années 1970 et 1980 par les écoles soviétiques et américaines. Dans un modèle, tous les corps grandissent à la même vitesse: c'est la croissance ordonnée. Dans l'autre, seul le plus gros corps grandit dans une région donnée du disque: étant plus massif, il attire plus efficacement les planétésimaux qui orbitent près de lui, il «mange» tout les corps de son voisinage, ce qui le fait grossir à nouveau et ainsi de suite. C'est l'effet «boule-de-neige» . Entre le premier scénario très égalitaire et le deuxième plus élitiste, je vous laisse imaginer lequel a été développé par les soviétiques ou par les américains! Cependant, l'accrétion ordonnée est beaucoup trop lente: il faut au moins 100 millions d'années pour former les embryons. Il semble donc que l'accrétion par effet boule de neige soit le bon mécanisme, il dure à peine cent mille ans.

Du fait de la présence de glaces à grande distance du Soleil, les embryons des planètes géantes sont beaucoup plus massifs que les embryons des planètes terrestres. En conséquence, ils accumulent à leur surface une partie du gaz environnant. Quand le gaz accumulé dépasse une certaine masse critique (environ dix fois la masse de la Terre), une instabilité hydrodynamique se met alors en place accumulant en un temps très court une gigantesque quantité de gaz. A la fin de ce processus, les embryons des planètes géantes sont couronnés d'une atmosphère très massive de gaz, comparable à celles observées aujourd'hui.

Après la phase d'accrétion par effet boule de neige, le disque se compose de centaines d'embryons de planètes qui ont consommé tous les planétésimaux à leur portée. Ils vivent initialement séparés les uns des autres sur des orbites circulaires. Rapidement ils se perturbent gravitationnellement et leurs orbites deviennent de plus en plus elliptiques, jusqu'à ce qu'elles se croisent. Les embryons subissent alors des collisions géantes. Du fait de leur très forte masse, les fragments issus des collisions ne peuvent s'échapper des corps parents et se regroupent pour former

de plus gros embryons. Certains astronomes pensent que la Lune aurait été formée à l'issue d'une telle collision géante entre la proto-Terre et un embryon voisin: une partie des fragments se seraient rassemblés pour former la Lune.

Quand ce processus prend fin, au bout de 100 millions d'années environ, le disque ne contient plus qu'un système de quelques jeunes planètes, qui pourrait être notre système solaire. Cette vision un peu idyllique cache en réalité de nombreux problèmes : les astronomes n'arrivent pas à former sur leurs ordinateurs des systèmes planétaires semblables au nôtre: il semble beaucoup plus facile de former quelques dizaines de petites planètes plutôt que neuf planètes seulement. De plus, les orbites des planètes obtenues dans les simulations numériques sont plus elliptiques que dans le système solaire.

Au début de leur vie, les planètes sont très chaudes et se refroidissent progressivement pendant plusieurs milliards d'années. Elles subissent alors de profondes transformations. Tout d'abord elles se différencient: les éléments les plus lourds, comme les métaux, descendent vers le cœur de la planète pour en former le noyau, alors que les éléments plus légers, tels les silicates, restent en surface et constituent la croûte. Cependant, le refroidissement ne doit pas être trop rapide sinon cette évolution s'arrête prématurément: la présence d'éléments radioactifs joue un rôle déterminant en maintenant une température interne de plusieurs milliers de degrés pendant plusieurs milliards d'années, rendant possible l'évolution géologique. Sans ces éléments radioactifs, la Terre aurait été une planète géologiquement morte où la vie n'aurait pu apparaître. Grâce à ces éléments qui échauffent le centre de la Terre, les continents dérivent et les volcans naissent, vivent et meurent : ils sont le moteur de la machine «Terre». Au cours de la phase de refroidissement, les gaz contenus dans les roches s'échappent dégorgés du corps de la planète. Si la masse de cette dernière est suffisante, elle se pare alors d'une fine atmosphère, indispensable pour la vie. Par contre les corps trop peu massifs, comme Mercure ou la Lune, ne peuvent retenir leur atmosphère du fait d'une gravité insuffisante.

Après un milliard d'années, les espèces vivantes apparaissent sur Terre tout d'abord sous forme de cellules isolées, puis deviennent de plus en plus complexes au cours de leur évolution. Elles modifient profondément leur environnement et en particulier l'atmosphère en transformant le gaz carbonique en oxygène. Au cours de ce premier milliard d'années, les planètes du jeune système solaire sont encore soumises à un bombardement intense, dont les surfaces cratérisées des planètes et satellites témoignent aujourd'hui. Certains pensent par exemple qu'un corps de dix kilomètres, résidu de la formation des planètes, se serait écrasé sur Terre à l'ère secondaire et serait responsable de la disparition de 80% des espèces vivantes. Après cette catastrophe, les ancêtres des espèces vivantes contemporaines, en particulier les mammifères, sont apparus. Mais ceci est une autre histoire...

Le scénario que nous venons de décrire n'est en rien une histoire figée: il résulte, à la fin du XX^{ème} siècle d'une réflexion rationnelle active qui a débutée dès le XVIII^{ème} siècle. Il illustre combien la recherche de nos origines, loin d'être un simple sujet de curiosité, est le meilleur moyen de mieux connaître la Terre et les planètes et, *in fine*, de mieux les respecter et de mieux les habiter. C'est aussi une belle illustration de la méthode scientifique, qui par sa soumission absolue aux faits, et son aller et retour incessant entre théorie et observation permet d'améliorer nos connaissances. La pensée scientifique n'est efficace que parce qu'elle met un certain nombre de valeurs fondamentales – rigueur, prudence, modestie, honnêteté intellectuelle, esprit critique- au service de sa passion : connaître. En permettant également à l'homme de s'élever au-delà des apparences et des dogmes, elle est aussi source de liberté.

Note à la fin du texte:

Des informations texte beaucoup plus complètes se trouvent dans l'ouvrage « Enfants du Soleil » publié en 1999 par les éditions Odile Jacob. Quelques passages du texte ci-dessus sont extraits de cet ouvrage.

Pages en couleur: Récupérer sur les pages en couleur du livre «Enfants du Soleil» les figures suivantes: - sur une première page (ou une demi page) :page VIII: comète et astéroïde (en haut et en bas), page XIII: anneaux (en haut)
- sur une demi page: page XIV (en haut à droite, au milieu à gauche et en bas à droite) et XV (c et e): l'Aigle, le nuage de poussière, le cocon, HR 4796 et le disque et les jets. Je peux raccourcir les légendes.