

**BULLETIN N° 163**  
**ACADÉMIE EUROPEENNE**  
**INTERDISCIPLINAIRE**  
**DES SCIENCES**



**Séance du mardi 13 mars 2012:**  
*Réflexion sur les thématiques possibles de prochains congrès*

**Prochaine séance :**  
**mardi 10 avril à 17h30 Maison de l'AX 5 rue Descartes 75005 Paris**  
**Conférence d' André BRAHIC, Professeur à l'Université Paris VII:**  
*"Enfants du Soleil, histoire de nos origines"*

Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences  
Siège Social : Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme 54, bd Raspail 75006 Paris  
Nouveau Site Web : <http://www.science-inter.com>

**ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES  
SCIENCES**  
FONDATION DE LA MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME

**PRESIDENT** : Pr Victor MASTRANGELO  
**VICE PRESIDENT** : Pr Jean-Pierre FRANÇOISE  
**SECRETAIRE GENERAL** : Irène HERPE-LITWIN  
**TRESORIER GENERAL** : Claude ELBAZ

**MEMBRES CONSULTATIFS DU CA** :  
Gilbert BELAUBRE  
François BEGON  
Bruno BLONDEL  
Patrice CROSSA-REYNAUD  
Michel GONDRAN

**SECTION DE NICE** :  
**PRESIDENT** : Doyen René DARS

**PRESIDENT FONDATEUR** : Dr. Lucien LEVY (†)  
**PRESIDENT D'HONNEUR** : Gilbert BELAUBRE  
**SECRETAIRE GENERAL D'HONNEUR** : Pr. P. LIACOPOULOS (†)

**CONSEILLERS SCIENTIFIQUES** :  
**SCIENCES DE LA MATIERE** : Pr. Gilles COHEN-TANNOUJJI  
**SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNIQUES** : Pr Brigitte DEBUIRE

**SECTION DE NANCY** :  
**PRESIDENT** : Pr Pierre NABET

Mars 2012

**N°163**

**TABLE DES MATIERES**

- P. 03 Compte-rendu de la séance du mardi 13 mars 2012
- P. 10 Annonces
- P. 11 Documents

**Prochaine séance:**  
**mardi 10 avril à 17h30 Maison de l'AX 5 rue Descartes 75005 Paris**  
**Conférence d' André BRAHIC, Professeur à l'Université Paris VII:**  
***"Enfants du soleil, histoire de nos origines "***

**ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE  
DES SCIENCES**

**Fondation de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris.**

**Séance du  
Mardi 13 mars 2012**

**Maison de l'AX 17h30.**

La séance est ouverte à 17 h30 sous la Présidence de Victor MASTRANGELO et en la présence de nos collègues Gilbert BELAUBRE, Gilles COHEN-TANNOUDJI, Claude ELBAZ, Robert FRANCK, Jean -Pierre FRANCOISE, Michel GONDRAN, Irène HERPE-LITWIN, Gérard LEVY, Jacques LEVY, Pierre MARCHAIS, Alain STAHL.

Etaient excusés François BEGON, Bruno BLONDEL, Michel CABANAC, Alain CARDON, Françoise DUTHEIL, Walter GONZALEZ, Marie-Louise LABAT, Saadi LAHLOU, Emmanuel NUNEZ, Pierre PESQUIES.

La séance est dédiée à une "*réflexion sur les thématiques possibles de prochains congrès*".

Deux thèmes principaux sont proposés à ce jour que l'on pourrait formuler ainsi:

- "*Origine des systèmes stellaires et de l'apparition de la vie*" proposé par notre Collègue Gilbert BELAUBRE
- "*L' univers des ondes* " proposé par notre Collègue Claude ELBAZ

Le premier thème a déjà commencé à faire l'objet de conférences comme celles du Pr RAULIN (10 janvier 2012: "*L'exobiologie :une jeune thématique interdisciplinaire exemplaire* ") et de la Pr Marie-Christine MAUREL (14 février 2012: "*Origines de la vie: concepts et résultats récents*".

Le second thème a été introduit par des articles publiés dans le précédent bulletin (n° 162-février 2012) avec notamment celui de Claude BARDOS publié dans "**Pour la Science**" de novembre 2011 - n° 409 intitulé "*Les ondes, entre physique et mathématiques*" avait été reproduit dans notre précédent bulletin. Cet article mettait en évidence le caractère quasi universel de la représentation ondulatoire.

### **D)L'Univers des ondes :**

La parole est donnée à notre Collègue Claude ELBAZ pour nous expliquer sa motivation de choix de sujet.

Notre Collègue nous rappelle qu'il existe partout des phénomènes ondulatoires dans la nature. Toutes les grandes théories de la physique moderne depuis Maxwell en passant par le principe d'incertitude d'Heisenberg se sont penchées sur les divers aspects ondulatoires de la matière.

Par ailleurs:

- les étalons modernes de temps, de longueur, par exemple, sont fondés sur des ondes .
- le traitement ondulatoire de certains problèmes a facilité les prévisions de calculs nombreux phénomènes
- l'année 2013 sera celle du centenaire de l'atome de Bohr (formulé en 1913)
- Parmi les grandes controverses de la physique persiste celle entre la physique quantique et la théorie de relativité générale sur la gravitation. (Comment trouver un traitement quantique de la gravitation?)

Une discussion s'engage :

- l'opposition onde-particule pour la représentation de la matière est un problème non échu. Pour imaginer un scénario de construction de l'univers, il a été plus facile de représenter l'univers par des particules intuitivement plus aisées à localiser et à concevoir. Mais cette vision implique l'existence d'un vide entre ces mêmes particules, or, dans le cadre d'une nouvelle théorie plus générale, la propagation d'une onde nécessiterait un milieu de propagation.

- toutefois, même si les particules sont plus faciles à appréhender par l'esprit, les ondes permettent une même réflexion sur l'origine de l'univers. Il existe une oscillation qui a la même fréquence depuis 13 milliards d'années et qui persiste .

- derrière ces problématiques on retrouve le débat sur la priorité entre les hypothèses fondamentales et les mathématiques.

De nombreuses interventions se présentent:

- Notre Collègue Michel GONDRAN, se déclare très intéressé par les débats entre mécanique ondulatoire et théorie de la relativité .
- Notre Président, Victor MASTRANGELO trouve le sujet très vaste et proposerait de le centrer sur le problème onde-matière.
- Notre Collègue Claude ELBAZ pense qu'il existe de nombreux spécialistes dans le domaine.
- Notre Collègue Gilles COHEN-TANNOUDJI pense à la théorie quantique des champs qui donne une conception non dualiste du couple onde-particule. De plus tout ceci débouche sur le vaste problème du vide abordé dans les nouvelles théories.

Selon Claude ELBAZ le sujet ne s'adresserait pas seulement aux physiciens. Il comporterait des problèmes s'épistémologiques à investiguer:

- qu'en est-il les constantes de base de la physique que sont par exemple la vitesse de la lumière, la constante de Planck?
- la domination des équations mathématiques est-elle pertinente?
- reconnaître l'existence de conjectures qui ne sont valables que si toutes leurs conséquences sont réalisées.

Selon Gilles COHEN-TANNOUDJI, on peut espérer que le modèle fondamental d'aujourd'hui sera un jour dépassé.  $c$ ,  $h$ ,  $k$ ,  $g$  seraient des constantes physiques de l'univers selon les théories physiques, et des constantes universelles de la physique d'un point de vue épistémologique. L'objectif ultime de la physique actuelle est de trouver une théorie unitaire que l'on saurait consolider phénoménologiquement.

Claude ELBAZ, déclare que dès 1905 Einstein utilise la lumière pour mesurer les longueurs. Cela a abouti en 1927 à la création d'un organisme international d'étalonnage. Les ondes ont pour avantage d'être fondées sur des constantes non locales mais universelles. Les ondes stationnaires

permettent la définition de constantes . L'utilisation de modèles ondulatoires permet une certaine dématérialisation et obéit à des mathématiques relativement bien connues.

## **II )Origines des systèmes stellaires et apparition de la vie**

Notre Collègue Gilbert BELAUBRE nous projette les diapos qui figurent dans le tableau ci-dessous:

## *I. Origine de la vie sur terre et ailleurs*

*Gilbert Belaubre*

Ce projet a une ambition limitée : Il s'agit de faire le point sur des travaux en cours et des projets qui devront, dans un avenir sans doute assez proche, se conjuguer pour nous apporter une vision assez fiable des étapes par lesquelles les éléments et les conditions nécessaires, sinon suffisantes pour que la vie apparaisse en un temps et un lieu.

## *II L'approche vers l'origine*

- 1. La vie existe sur terre. (Cf. probabilité)
- 2. Elle a commencé par une membrane
- 3. Il fallait un milieu microbiotique.
- 4. Fosses océaniques et volcanisme
- 5. Structures géologiques des planètes
- 6. Disques d'accrétion stellaires et formation des planètes
- 7. Origine des éléments. La vie des étoiles

## *III Du plasma de quarks à la formation des objets célestes*

- Où et quand ?
- Plus de  $10^{20}$  étoiles, et au moins autant de planètes. Planètes « terrestres ».
- 1. Formation des éléments lourds
- 2. Disque d'accrétion et formation des planètes et de leurs satellites. (cas de la lune)
- 3. Variété des planètes. Conditions de masse
- 4. Evolution d'une planète

## *IV Quelles conditions pour la vie? Le programme de De DUVE*

- Au départ (modèle de la terre)
- 1. une grande variété d'éléments
- 2. Un milieu d'accueil aqueux
- 3. Une agitation moléculaire pas excessive
- 4. Ce qui permet l'apparition d'une chimie complexe
- 5. Le probabilisme Microscopique est interprété comme un déterminisme macro
- 

## *V Formation de la première entité autonome*

- 1. La première entité autonome se forme quand une membrane enveloppe un ensemble d'éléments
- 2. Les échanges de matière sélectifs assurent la stabilité de cette individuation primordiale
- 3. Les échanges d'énergie: Le candidat le plus efficace est l'ATP. Il s'est généralisé
- 4. L'apparition des paires AC et GU qui s'associent en ARN instaure la complexité

## *VI A partir de ce schéma*

- 1 . Ce schéma d'instauration d'une première entité autonome peut être très général.
- 2 . La formation d'une membrane ; conditions
- 3 . Apparition de l'ARN et de l'ADN
- 4 . Un long chemin jusqu'à l'être autonome autoréplicateur
- 5 . Vers les multicellulaires et leurs dynamiques chimiques (dites fonctionnelles)
- 

## *VII Darwin et Aristote*

- Opportunisme contre finalisme
- 1 . L'invention de l'oiseau et celle de l'avion.
- 2 . L'invention du sexe. Les hermaphrodites
- 3 . L'invention de la représentation.
- Proto-conscience (vers, chauve-souris, chat (Singer))
- 4. Degrés de liberté (d'un monde ouvert à un avenir non prédictible à...
- 5 . La liberté humaine

Il en résulte qu'il faut remonter jusqu'à la nucléosynthèse dans les étoiles . La présence de  $10^{20}$  étoiles et de milliards de planètes dans l'univers observable conduit à penser que l'apparition de la vie ailleurs n' a rien d'improbable. L'apparition d'une chimie complexe sur les planètes est particulièrement intéressante comme l'explique Christian **de Duve** <sup>1</sup> qui privilégie plutôt une synthèse dans les fonds océaniques que dans les météorites.

Gilbert BELAUBRE insiste sur l'émergence d'entités autonomes séparées du milieu environnant par une membrane. Celle-ci définit la notion d'unité de ces entités qui ont alors la propriété de pouvoir être dénombrées. Ces entités premières comportant à l'intérieur de l'ARN, interagissaient avec le milieu extérieur via la membrane. Peu à peu, se sont développés des entités avec de l'ADN capables de générer l'embryogénèse et la morphogénèse. Ces entités, capables de reproduction sont caractéristiques de la vie.

Un des principaux problèmes réside dans l'évaluation de la probabilité d'apparition de ces entités et dans l'analyse du déterminisme proposé par de Duve. Des systèmes moins déterministes, plus darwiniens peuvent être envisagés.

Par ailleurs, il nous propose:

---

<sup>1</sup> Christian de Duve, *Singularités : Jalons sur les chemins de la vie*, Paris, [Odile Jacob](#), 2005, 296 p. ([ISBN 9782738116215](#))

## ESQUISSE PROJET COLLOQUE AEIS

### *"Origine des systèmes stellaires et de l'apparition de la vie"*

Le schéma ci-après propose un certain nombre de jalons sur l'évolution de la complexité au sein de l'univers (proche du système solaire). Bien d'autres événements importants auraient pu être invoqués, tant au niveau stellaire (étoiles doubles ou planètes « stellaires, supernovae, trous noirs stellaires), que pour ce qui concerne le vivant (molécules lévogyres, apparition des ARN ? ADN, A(D-T)P, apparition du sexe ).

Ces événements, et bien d'autres, seront sans doute évoqués par nos invités.

Quelques jalons dans l'évolution de la complexité: Du plasma de quarks aux systèmes autonomes.

- 1 - **Etoiles : comment se développe la nucléosynthèse**
- 2- **modalités d'apparition des agrégats d'atomes lourds**  
*Géantes rouges, disques d'accrétion.*
- 3- **Formation des planètes. Leurs stabilisation. Recherche des exo-planètes.**
- 4- **Géologie des planètes.**  
*Types selon leur masse.*  
*Evolution avec la température de surface.*
- 5- **La chimie des planètes. Conditions d'apparition des molécules organiques.**  
*Probabilité d'existence de planètes du type « Terre ».*
- 6- **L'histoire des hypothèses.**
- 7- **Le programme de De Duve.**
- 8- **Apparition des membranes.**
- 9- **Apparition des procaryotes sur terre.**
- 10- **Les systèmes d'interaction chez les eucaryotes.**
- 11- **De l'agrégat de cellules aux multicellulaires.**
- 12- **Développement des représentations.**

### **III) Débat général- Conclusion**

Le sujet de Gilbert BELAUBRE est particulièrement pluridisciplinaire car il débouche sur des problématiques d'astrophysique, d'astronomie, de géologie, et de biochimie. Le sujet relativement plus abstrait de Claude ELBAZ sur "*l'Univers des ondes*" est également très intéressant selon nos Collègues physiciens. Il nécessite la mise en place d'un comité scientifique qui aurait pour but la définition d'un préprogramme. Ce comité serait animé par Notre Collègue Gilles COHEN-TANNOUDJI avec la participation de nos Collègues Claude ELBAZ et Michel GONDRAN et ensuite de nouveaux spécialistes à définir.

## *Annances*

I) L'Université de Nice nous fait part de son futur colloque:

### **L'Europe, la crise et son déni**

*Jean-Paul Guichard*

Institut Culture Science *Alhazen*

**Mercredi 11 avril à 18h30**

**Pôle universitaire Saint Jean d'Angély - Amphi 4 - Nice**

**Entrée libre et gratuite dans la limite des places disponibles**

Tramway : L1 station Saint Jean d'Angély Université - Bus : 20/72 Arrêt  
Saint Jean d'Angély

[ics.unice.fr](http://ics.unice.fr)

## **Documents**

**Pour préparer l'intervention du Pr André BRAHIC, nous vous proposons :**

p. 12: Avant propos de son livre "Enfants du Soleil/ Histoire de nos origines" paru chez Odile Jacob

**Pour illustrer l'allusion de notre Collègue Gilbert BELAUBRE aux travaux du prix Nobel Christian de DUVE nous vous proposons:**

p.20: Introduction générale à l'ouvrage "Singularités/Jalons sur les chemins de la vie" par Christian de DUVE paru chez Odile Jacob

**pour entrevoir la problématique d'une éventuelle origine non terrestre, nous vous proposons un article du journal "Le Monde" du 30 mars 2012:**

p. 24 Une comète artificielle, Clé des origines par Stéphane Foucart.

## *ENFANTS DU SOLEIL*

Histoire de nos origines  
André BRAHIC (Odile Jacob)

Avant-propos

*"Tel fleurit aujourd'hui qui demain flétrira, Tel flétrit aujourd'hui qui demain fleurira."  
Pierre de Ronsard*

Une énorme boule de lumière... neuf petites boules de roches, de glaces, d'eau et de gaz qui tournent autour à toute allure... Beaucoup plus loin, d'autres boules de lumière, peut-être d'autres boules de roches et de gaz... Les premières nous sont devenues familières. Il s'agit du Soleil, de la Terre et de ses voisines. Les autres piquent notre curiosité. Comment se forme un système planétaire ? Par quels mécanismes notre Terre est-elle devenue une planète bleue, berceau de tant de vies ? Pourquoi les autres planètes n'ont-elles pas réuni les conditions propices ? Que s'est-il passé pendant les quatre milliards et demi d'années qui viennent de s'écouler ?

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<sup>ème</sup> 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 ! Seconde 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, si 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 !

Tels des enfants qui ne quittent pas les jupes de leur mère, les planètes virevoltent sans cesse autour du Soleil. Sont-elles les enfants naturels du Soleil ? des enfants adoptifs ? ou encore des petites sœurs ? Nous essaierons de faire le point des réponses apportées de nos jours par les astronomes, de leurs certitudes mais aussi de leurs doutes. Nous verrons que nous sommes plutôt les enfants des étoiles que ceux du Soleil et que les planètes sont sœurs du Soleil. Après avoir rapidement évoqué les vieilles légendes, nous replacerons la Terre et les planètes dans leur contexte, nous verrons comment les atomes, les galaxies et les étoiles apparaissent successivement, et nous essaierons de raconter l'histoire de nos origines. Mais cette histoire est encore pleine d'embûches. De nombreuses étapes sont encore mal comprises, et la quête de nos origines est un épisode de la lutte incessante entre la science et l'obscurantisme, lutte dans laquelle il ne faut jamais baisser la garde.

*Création ou éternité ? Physique ou métaphysique ?*

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 posé 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 carrément 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<sup>ème</sup> 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 emparé bien avant la physique. Toutes les religions et tous les 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. À la fin du XX<sup>ème</sup> siècle, l'homme a enfin soulevé un petit coin du voile sur ses origines, mais le débat n'est pas près 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 que, 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 socioéconomiques de l'époque. Pendant plus de cent cinquante ans, à l'époque de la primauté de la France et de l'Angleterre dans le monde, les écoles française et anglaise 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, elle a de telles implications philosophiques et sociologiques qu'elle 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 quelquefois 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 toutes. Il est vrai que cette notion de début, d'évolution, donc de fin est dérangeante. 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 États 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* » !

### *Les difficultés*

Ce problème de nos origines ressemble à la reconstitution d'un immense puzzle, dont, pour corser le plaisir, on ne connaît ni le nombre total de pièces ni le sujet du tableau, dont beaucoup de pièces ont été à jamais perdues, et, de surcroît, plusieurs proviennent d'autres jeux. 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. L'observation de l'atterrissage d'un parachutiste depuis la fenêtre de son immeuble ne permet guère de connaître la hauteur à laquelle il s'est jeté de son avion : trois mille mètres ou cinq cents mètres ? Nous sommes un peu dans la même situation pour le système solaire. 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, mais il reste à 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.

### *Le système solaire, un enfant du temps*

La cosmogonie du système solaire, c'est-à-dire l'étude de sa formation, a connu un grand renouveau depuis les années 1970 à la faveur de l'extraordinaire aventure de l'exploration spatiale, moment privilégié où l'homme, pour la première fois de son histoire, est sorti de son berceau. Mais la collecte des roches lunaires et le survol des planètes n'auraient pas suffi. L'analyse en laboratoire de ces sondes spatiales du pauvre que sont les météorites, l'utilisation de télescopes de plus en plus perfectionnés et de nouveaux détecteurs capables d'attraper le moindre grain de lumière, l'utilisation d'ordinateurs puissants et de nombreux modèles théoriques, ont apporté des compléments indispensables à l'exploration spatiale.

La majorité des astronomes s'accorde maintenant sur les grandes étapes importantes de la formation des planètes même si la liste des problèmes non résolus s'allonge de tour en tour. Cet accord ne signifie nullement que nous avons compris l'histoire de nos origines. Majorité n'est pas vérité ! 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 " !

A la fin du xx<sup>e</sup> 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 quatre milliards et demi 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 que l'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 quatre milliards et demi 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" .

## *Évolution et diversité*

Pour caractériser nos découvertes récentes sur le système solaire, deux mots viennent immédiatement à l'esprit : diversité et évolution. En effet, une des grandes leçons de l'exploration du système solaire est la prise de conscience de l'énorme diversité des objets et des phénomènes physiques observés. On peut même se demander si l'ambition de tout expliquer par une seule théorie ou un seul mécanisme est vraiment raisonnable. Ce système solaire que nous connaissons si mal il y a seulement trente ans s'est révélé d'une richesse inattendue. La diversité ne semble pas l'apanage du seul système solaire. L'ensemble de l'Univers présente une variété de phénomènes, d'objets et de mécanismes beaucoup plus grande que tout ce que l'homme avait bien pu imaginer au cours des siècles précédents.

Une autre grande leçon de cette exploration est la prise de conscience du fait que tous les objets célestes évoluent ! L'évolution n'est pas le propre de l'homme. Des êtres vivants aux planètes, aux étoiles et aux galaxies, *tous les objets de l'Univers évoluent*. Aussi naturelle qu'elle paraisse aujourd'hui, cette idée a mis longtemps pour s'imposer. Les physiciens de ce siècle se sont rendu compte qu'il s'agit d'une notion essentielle. En appliquant quelques grands principes de base de la physique, comme les principes de conservation et les principes de la thermodynamique au sein d'un système isolé, on comprend immédiatement que *tous les objets de l'Univers doivent mourir*. Le combat que mène une étoile entre la gravitation qui la conduit à s'effondrer sur elle-même et la thermodynamique qui la conduit à se dilater violemment fait comprendre qu'elle ne peut pas briller éternellement. En appliquant les principes de la dynamique, un amas d'étoiles doit lentement disparaître par évaporation de ses composants ; à l'inverse, un amas de galaxie doit finir sous forme d'un immense trou noir... Puisque tous les objets doivent mourir, monsieur de La Palice aurait affirmé qu'ils ne sont pas éternels. Ils sont nés un jour : comment? C'est l'objet de ce livre.

Il est intéressant d'observer que l'idée d'évolution s'est heurtée aux conservateurs de tout poil. Il suffit de se souvenir du rejet des thèses darwiniennes, choquantes pour la société victorienne en ce qu'elles révélaient que *«l'homme descend du singe»*, tout en substituant le hasard à Dieu. Les Églises ne pouvaient accepter sans réagir cette confiscation athée de leur pré carré. Si le pape Jean-Paul II a finalement reconnu, en 1996, cent trente-sept ans après la publication de l'ouvrage de Darwin, *De l'origine des espèces par la Voie de la sélection naturelle*, que la théorie de l'évolution devait être prise au sérieux, il fallut plus de trois siècles à son Église pour réhabiliter Galilée et sa Terre qui tourne. Giordano Bruno est toujours considéré comme coupable d'avoir imaginé un univers infini, homogène et Isotrope où chaque étoile a un cortège de planètes et de comètes, mues par un principe moteur universel.

## *L'exploration du système solaire*

Nous avons la chance d'appartenir à la génération qui a "mis le pied hors de la Terre". Par robot interposé, l'homme est allé explorer les planètes. Les quelques décennies que nous venons de vivre seront probablement considérées à l'avenir comme aussi importantes dans l'histoire de l'humanité que celles de la découverte des Amériques. C'est un tournant dans l'histoire de nos connaissances : en moins d'une génération, nous en avons plus appris sur les planètes qu'au cours des quarante siècles qui ont précédé. Ces astres, qui n'étaient que des points de lumière dont nous étudions le mouvement dans le ciel, sont devenus des mondes à part entière. Les surprises ont succédé aux surprises, chaque voyage nous a un peu plus émerveillés. Les hommes ont maintenant marché sur la Lune et rapporté des cailloux qu'ils analysent dans leurs laboratoires. Des robots ont exploré Mars, étudié sa surface, mesuré ses vents et constaté l'absence de vie. Plus d'une cinquantaine de corps ont ainsi été visités, de

Vénus qui nous avait longtemps pudiquement caché son corps, à l'étonnant monde de Neptune, avec ses arcs et ses satellites, en passant par Saturne, \_ la comète de Halley et bien d'autres. Nous pouvons maintenant faire l'inventaire, ce qui est la moindre des choses avant d'essayer de comprendre leur origine.

Cette exploration, menée de pair avec une recherche rigoureuse et l'utilisation de nouvelles techniques d'observation à partir de la Terre, a fourni une riche moisson de découvertes fondamentales et eu un impact immédiat sur la pensée scientifique. Elle nous a fait prendre conscience que la Terre était une simple planète parmi d'autres. De plus, les retombées socioéconomiques de cette exploration devraient se multiplier à l'avenir. Certains sourient aujourd'hui à l'idée d'exploiter les matières premières de la Lune ou des astéroïdes, comme d'autres traitaient d'utopistes ceux qui, il y a moins d'un siècle, imaginaient qu'on pourrait un jour échapper à l'attraction terrestre. Nous vivons le prélude d'une grande aventure : au cours des siècles prochains, des hommes quitteront la Terre pour explorer et exploiter les mondes voisins !

Non seulement l'exploration spatiale a bouleversé notre connaissance des planètes, mais, en se plaçant au-dessus de l'atmosphère terrestre, des satellites ont recueilli les multiples couleurs du rayonnement qu'elles nous envoient au-delà du visible, dans les domaines radio, infrarouge, ultraviolet, X et gamma. On peut comparer ce progrès à celui d'un enfant à qui on aurait mis des lunettes vertes à la naissance. Jeune, il n'aurait vu que des objets verts ; il aurait très vite su qu'il y avait des feuilles dans les arbres, de.: pelouses, des voitures vertes, des gens habillés en vert... À son adolescence, on lui aurait retiré ses lunettes, et il aurait alors découvert avec émerveillement que les arbres ont des troncs, que le ciel est bleu et le Soleil jaune, qu'il y a des blondes aux yeux bleus et des brunes aux yeux verts. et que le monde est beaucoup plus riche qu'il ne l'imaginait. C'est exactement l'aventure qui vient d'arriver aux astronomes. L'Univers est tellement plus riche que nous ne l'imaginions auparavant, que nous n'avons pas encore totalement digéré une telle quantité d'information.

### *Mieux connaître la Terre*

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<sup>ème</sup> siècle, au moment de l'âge d'or de la géologie, l'étude de la Terre était essentiellement locale, elle est devenue globale au XX<sup>ème</sup> 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 XXème siècle. Il faut toutefois raison garder. L'homme n'est pas responsable de tous les désagréments que nous pouvons y rencontrer. L'évolution de la Terre dans son ensemble, même si elle a été affectée par la présence de la vie, a lieu indépendamment des hommes. Pour l'instant, les phénomènes naturels (volcans, tremblements de terre, raz de marée, cyclone..) ont une puissance bien supérieure aux créations de l'homme. Encore faut-il prendre garde à ne pas jouer aux apprentis sorciers. 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

### *Le combat de la raison*

Il subsiste bien des attitudes irrationnelles des tâtonnements primitifs de l'époque où le ciel restait un mystère pour les hommes. Nous en reparlerons en conclusion. 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, si beaux soient-ils, doivent s'incliner devant les faits d'observation, si 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 !

A propos d'un problème précis, celui de nos origines, ce livre 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 panent 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 siècle, pour ne pas s'être soumis, des scientifiques sont morts dans les camps de Hitler ou de Staline, et beaucoup tombent

encore sous les balles de fanatiques religieux. Pour ne jamais oublier que le danger est à nos portes, nous reproduisons en appendice l'abominable abjuration de Galilée le 22 juin 1633.

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 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.

Un scénario de la formation du système solaire doit effectivement rendre compte de toutes les observations, mais aussi en susciter de nouvelles au risque d'être finalement rejeté. Avant de décrire le scénario qui semble le plus convaincant aujourd'hui, je commencerai par donner les données observationnelles dont nous disposons, grâce aux observations de nos prédécesseurs, bien sûr, mais surtout grâce à la moisson de ces dernières années. Ces données agissent comme des contraintes sur la constitution du scénario. En guise de dessert, nous évoquerons comment la terre primitive, bien différente de celle qui nous est familière, a lentement évolué, et nous nous demanderons si notre histoire est unique ou banale. Y-a-t-il d'autres systèmes solaires? Pouvons nous les observer? Sommes nous seuls dans l'Univers?

Un exposé détaillé des propositions proposées dans cette quête de nos origines, de l'évolution de ces idées, des dernières découvertes, de tous les problèmes qui se posent et des nombreux débats qui ont lieu en ce moment demanderait des dizaines de volumes. Il n'est donc pas question d'être exhaustif en quelques pages. Pour ne pas lasser le lecteur, j'ai délibérément omis de décrire certaines observations et théories, et je reconnais bien volontiers l'arbitraire de ces choix. Je suis persuadé que plusieurs lecteurs curieux regretteront mon silence sur de nombreux aspects et je leur demande de me pardonner. Je me contenterai ici de citer Voltaire qui écrit dans son Sixième Discours sur la nature de l'homme :

«Mais malheur à l'auteur qui veut toujours instruire! Le secret d'ennuyer est celui de tout dire. ,

Si, à la fin de cet ouvrage, le lecteur a envie d'en savoir un peu plus, le but de ce livre aura été atteint. Passons donc à l'action! Un petit cochonnet et quelques grosses boules: la partie de pétanque peut commencer, et Marcel Pagnol en écrire plusieurs pièces. Un gros cochonnet et quelques petites boules autour: de quelle partie s'agit-il ?

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## au livre de Christian de DUVE

### *SINGULARITES*

#### JALONS SUR LES CHEMINS DE LA VIE

*Editions Odile Jacob*

### *Les mécanismes de la singularité*

Plusieurs explications différentes peuvent théoriquement rendre compte d'une singularité. J'en distingue schématiquement sept genres, qui ne s'excluent pas nécessairement mutuellement et que je présente dans l'ordre de probabilité décroissante.

#### *Mécanisme 1. Nécessité déterministe*

Selon cette interprétation, les choses ne pourraient pas être autrement, les conditions physico-chimiques étant ce qu'elles sont. La majorité des phénomènes physiques et chimiques relèvent de cette interprétation. Ils obéissent aux lois naturelles de manière strictement reproductible. Ce n'est qu'au niveau subatomique qu'apparaît un certain degré d'incertitude. La vie n'est pas affectée par des événements à ce niveau, sauf, si l'on en croit une théorie proposée par certains chercheurs mais loin d'être unanimement acceptée, la connexion entre le cerveau et la pensée.

#### *Mécanisme 2. Goulet sélectif*

Ce mécanisme s'applique à toute situation où des voies différentes sont sujettes à un processus de sélection imposé de l'extérieur qui n'en laisse subsister qu'une seule. Le plus familier est la sélection naturelle darwinienne où des organismes différents se disputent les ressources disponibles, et les plus aptes à survivre et à se reproduire dans les conditions environnementales existantes finissent par s'imposer. On peut rencontrer, ou créer, de nombreux exemples d'un processus fondamentalement similaire, qui ne se distinguent que par la nature des entités en compétition et par le critère de sélection. Ainsi, dans de nombreuses expériences de bio-ingénierie, on contraint des molécules qui se répliquent tout en étant sujettes à des mutations à travers un goulet sélectif qui laisse passer seulement les molécules douées d'une activité catalytique prédéterminée et qui finit par sélectionner le catalyseur le plus efficace.

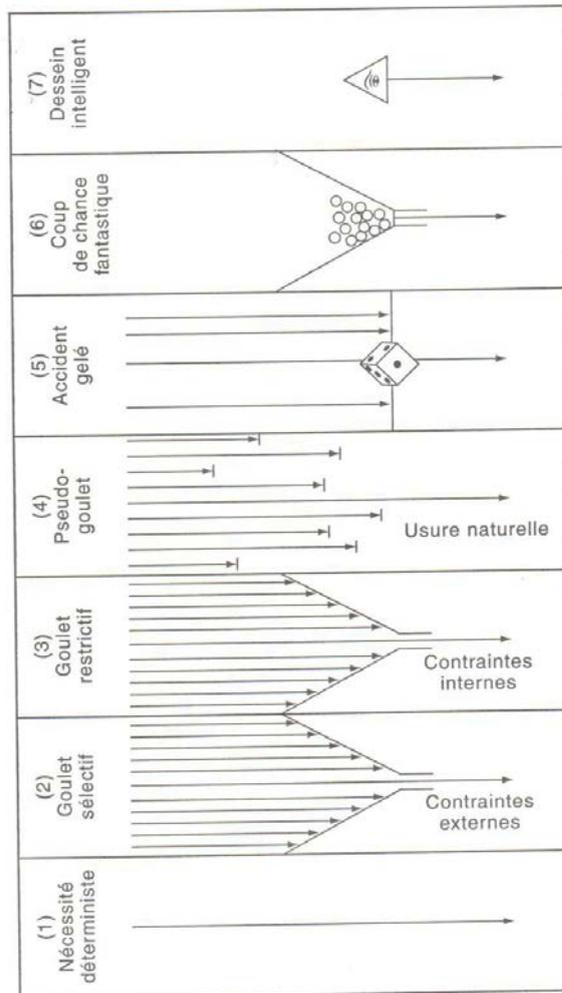
Par définition, un processus de sélection de ce type est limité aux formes variantes qui lui sont soumises. Un type d'organisme ou de molécule mieux adapté que celui qui a été sélectionné est peut-être possible. Mais si la variante requise n'est pas fournie au départ, elle ne peut évidemment pas être sélectionnée. Lorsque, comme c'est souvent le cas, les variantes naissent par hasard, la probabilité qu'une variante donnée soit offerte à la sélection dépend du rapport entre le nombre d'occasions que la variante a de se produire et sa probabilité.

Cette relation se calcule facilement (de Duve, 1996a). Soit un événement de probabilité  $P$ , la probabilité qu'il n'ait pas lieu sera  $(1 - P)$  pour un essai unique et  $(1 - P)^n$  pour  $n$  essais. Dès lors, la probabilité  $P_n$  que l'événement a de se produire si on lui en donne  $n$  occasions est égale à  $1 - (1 - P)^n$ . Quelques valeurs représentatives calculées par cette équation figurent au Tableau I-1.

Jeu	Probabilité $P_n$ pour $n = 1$	Valeur de $n$ pour $P, = 99,9\%$
Pile ou face	1/2	10
Dé	1/6	38
Roulette (1 zéro)	1/37	252
Loterie (7 chiffres)	1/10 <sup>7</sup>	69 x10 <sup>6</sup>
Mutations ponctuelles erreurs de (réplication)	1/(3 x10 <sup>9</sup> ) par division cellulaire	20 x 10 <sup>9</sup> divisions

Tableau I-1. Comment le hasard devient nécessité. Quelques exemples illustrant le nombre  $n$  des occasions requises pour qu'un événement de probabilité  $P$  ait 99,9 chances sur 100 de se produire. Les calculs (voir texte) sont fondés sur la formule suivante (dans laquelle  $P$ , est la probabilité que l'événement ait lieu si  $n$  essais sont pratiqués) :  $P_n = 1-(1-P)^n$ <sup>8</sup>

Ce que ce calcul est destiné à illustrer, c'est que le hasard n'exclut pas l'inévitabilité. Même des événements hautement improbables peuvent être provoqués avec quasi-certitude si on leur donne un nombre suffisant d'occasions d'avoir lieu. Une règle simple pour estimer le nombre d'occasions requises pour qu'un événement ait 99,9% de chances de se produire est de multiplier l'inverse de sa probabilité par un peu moins de sept. Comme le montre le Tableau I-1, même un billet de loterie de sept chiffres est assuré de sortir dans 999 cas sur mille si l'on fait 69 millions de tirages. Ce fait est de peu d'intérêt pour les acheteurs de billets de loterie, mais il a des implications importantes pour l'histoire de la vie. Il rend possible une optimisation sélective dans des circonstances données pour autant que la gamme des variantes possibles puisse être explorée dans sa totalité. Nous rencontrerons nombre de cas où cela a pu effectivement se passer.



### ***Mécanisme 3. Goulet restrictif***

Ce terme fait référence à une situation dans laquelle des contraintes internes, imposées, par exemple, par la structure des génomes ou par des plans corporels existants, forcent le parcours évolutif dans un passage de plus en plus étroit qui débouche sur une singularité. Ce qui se passe, c'est que chaque étape du processus évolutif restreint les options de l'étape suivante, en d'autres termes, augmente le degré d'engagement dans une direction donnée. La différence entre ce type de goulet et le précédent, c'est qu'il est constitué par des facteurs internes plutôt qu'externes. Ce sont là, bien entendu, des extrêmes théoriques. En réalité, les deux sortes de facteurs interviennent souvent simultanément à des degrés divers.

### ***Mécanisme 4. Pseudo-goulet***

Le cas évoqué par ce terme est celui d'une branche unique qui émerge sans qu'il y ait sélection ou restriction, suite simplement à l'extinction progressive de toutes les autres branches. Dans cette forme de singularité, la contingence historique joue un rôle beaucoup plus important que dans les goulets, qu'ils soient imposés par des facteurs externes ou internes. Il n'est cependant pas toujours

facile de distinguer les deux formes l'une de l'autre. Il existe probablement une gradation continue entre la survie purement fortuite d'une branche donnée et son émergence forcée par une combinaison de facteurs sélectifs et restrictifs.

### ***Mécanisme 5. Accident gelé***

Ici, la singularité est due au pur hasard qui décide entre eux ou plusieurs possibilités telles qu'une fois réalisées elles ne peuvent plus être changées. Que l'on imagine une bifurcation où on jouerait à pile ou face pour décider si l'on emprunte la branche de droite ou celle de gauche ; ou encore un rond-point à six issues où la direction à prendre se déciderait sur un coup de dé. Ce qui compte, c'est que toutes les options restent ouvertes jusqu'au moment où le hasard décide, mais que l'engagement devient irrévocable immédiatement après, toutes les autres options étant désormais interdites.

### ***Mécanisme 6. Coup de chance extraordinaire***

Dans ce mécanisme, le hasard joue un rôle encore plus grand que dans le précédent, en ce sens que la singularité est le fait d'un événement hautement improbable, n'ayant pratiquement aucune chance de jamais se reproduire, où et quand que ce soit. Une telle possibilité n'a rien d'extraordinaire. En effet, des événements singuliers de probabilité infime ont lieu continuellement sans provoquer la moindre surprise. Un exemple que j'ai cité précédemment vient du jeu de bridge. Chaque donne des 52 cartes entre les quatre joueurs représente une répartition sur un total de  $5 \times 10^{28}$  possibilités. Ce chiffre est véritablement immense. Même si toute la population actuelle du monde avait joué au bridge sans arrêt depuis le big bang, une petite fraction seulement de ce nombre de donnes aurait été distribuée. La probabilité d'une répartition particulière des cartes est donc infinitésimalement faible. Cependant, aucun joueur de bridge ne s'est jamais exclamé être témoin d'un quasi-miracle. Ce qui serait un vrai miracle, par contre, ou, plutôt, une preuve manifeste de manipulation, c'est que la même répartition se trouve distribuée ne fût-ce que deux fois de suite. La probabilité d'une telle coïncidence est d'une chance sur  $5 \times 10^{28} \times 5 \times 10^{28}$ , soit  $2,5 \times 10^{57}$  ce qui, en pratique, équivaut à zéro. Ainsi, dans le domaine des probabilités très faibles, hasard et singularité vont de pair. Cet argument est fréquemment invoqué à l'appui du caractère unique des phénomènes évolutifs.

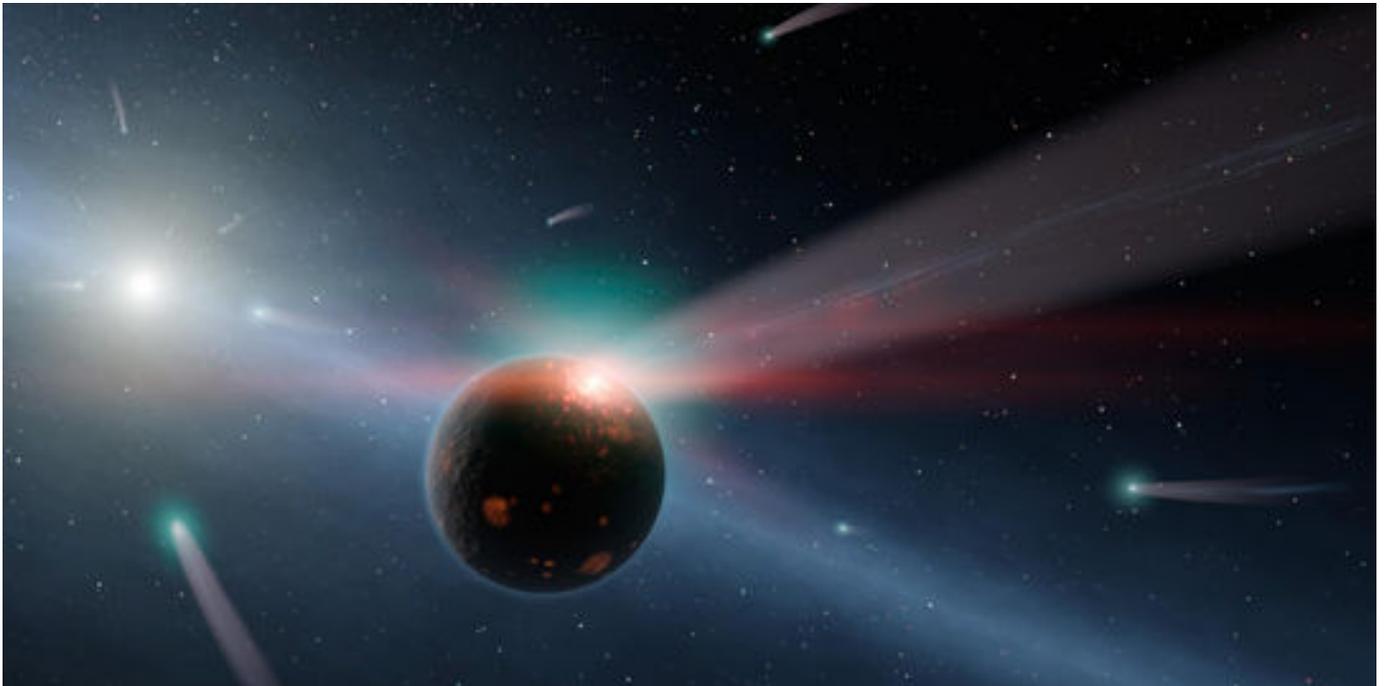
### ***Mécanisme 7. Dessein intelligent***

Ce mécanisme sous-entend l'existence d'étapes évolutives qui n'auraient pas pu se produire sans l'intervention d'une sorte d'entité directrice surnaturelle. Strictement parlant, une telle possibilité ne mérite pas d'être mentionnée dans un contexte scientifique, car elle ne peut entrer en ligne de compte qu'une fois exclues toutes les explications naturelles, ce qui, de toute évidence, n'est jamais possible. Au cours des dernières années, le dessein intelligent a été défendu par une petite minorité très agissante de scientifiques qui prétendent avoir démontré que certaines étapes de l'évolution ne peuvent s'expliquer en termes strictement naturels. Accueillis avec faveur dans de nombreux milieux fondamentalistes et, même, dans des cercles religieux plus ouverts, ces arguments n'ont pas convaincu la grande majorité des scientifiques.

## *Une comète artificielle, clé des origines*

LE MONDE SCIENCE ET TECHNO | 30.03.2012 à 19h50 • Mis à jour le 31.03.2012 à 19h01

Par Stéphane Foucart/Le Monde



Tempête de comètes autour de l'étoile Eta Corvi (image non datée). | REUTERS/© NASA NASA / Reuters

Pour le béotien, cela semble une théorie de doux rêveurs. Qu'on en juge : la vie terrestre viendrait de comètes qui auraient "ensemencé" la [planète](#) il y a plusieurs milliards d'années, y apportant de l'eau en masse et, surtout, de grandes quantités de molécules organiques. En août 2014 et après dix ans d'un ballet compliqué dans le système solaire, la sonde spatiale européenne Rosetta devrait s'[approcher](#) de la comète Churyumov-Gerasimenko et y [larguer](#) un petit robot capable d'[analyser](#), in situ, certaines des molécules présentes sur l'astre.

Que pourrait-il y [trouver](#) ? Chimistes et astrophysiciens n'attendent pas l'arrivée de Rosetta pour [essayer](#) de s'en [faire](#) une idée. Cornelia Meinert, chercheuse (CNES) à l'Institut de chimie de Nice (CNRS, UNSA, université de [Nice-Sophia Antipolis](#)) et ses collègues ont fabriqué, en laboratoire, une "comète artificielle" et l'ont placée dans des conditions les plus analogues possibles à celles rencontrées dans l'espace. Leurs résultats, publiés dans la dernière édition de la revue *ChemPlusChem*, appuient avec force la théorie d'une origine extraterrestre aux premières briques du vivant. Aux premières briques et, peut-être, aux premiers murets...

*"Nous avons d'abord préparé un mélange de glaces qui correspond à ce qu'on connaît des glaces interstellaires, qui se retrouvent dans les comètes : c'est un mélange d'eau, de méthanol et d'ammoniac, explique [Louis d'Hendecourt](#), chercheur à l'Institut d'astrophysique spatiale (CNRS, université Paris-Sud) et coauteur de ces travaux. Puis nous l'avons soumis pendant plus d'une semaine à une température de - 200 °C, et à une irradiation d'ultraviolets, qui dominent dans l'espace interstellaire."* En augmentant le flux de ce rayonnement sur le mélange cométaire artificiel, les auteurs ont tenté de [reproduire](#) la cascade de réactions photochimiques qui se seraient produites au cours d'environ un million d'années dans l'espace.

Résultat ? Au terme de l'expérience, une vingtaine d'acides aminés (briques élémentaires du vivant) ont été détectés dans l'échantillon. Ce type de résultat avait déjà été obtenu il y a une dizaine d'années. Mais cette fois, l'utilisation d'un nouveau chromatographe - capable de caractériser une à une les molécules d'un mélange complexe - a permis d'en découvrir d'inédites. L'une d'elles, en particulier, l'aminoéthyl-glycine, a particulièrement attiré l'attention des chercheurs.

Celle-ci est en effet, comme l'explique M. d'Hendecourt, "*l'élément de base de l'acide peptidique nucléique (APN)*". Or l'APN est un sérieux candidat au [titre](#) de très lointain ancêtre à notre acide désoxyribonucléique (ADN). Ce dernier est généralement considéré comme une forme plus évoluée et complexe de l'acide ribonucléique (ARN) - composé d'un unique brin. Ainsi, avant le "monde ADN" actuel a pu [exister](#) un "monde ARN", peuplé d'êtres simples aux frontières de la vie. Certains virus, comme les virus grippaux par exemple, codent aujourd'hui encore leur patrimoine génétique sur un unique brin d'ARN... "*Nombre de biologistes estiment que l'apparition de la vie coïncide avec celle de l'ARN, dit M. d'Hendecourt. Mais l'ARN est déjà en soi une molécule d'une ahurissante complexité !*"

D'où la question de [savoir](#) si ce qui a préexisté à l'ARN a pu, dans une certaine mesure, être considéré comme vivant ou non. Certains postulent l'existence d'un "monde APN", ou "monde peptidique" dans lequel de longues molécules auraient eu la capacité de se répliquer, grâce à des réactions chimiques autocatalytiques, c'est-à-dire capables de s'autoentretenir. Et ce, en utilisant d'autres espèces chimiques présentes dans le milieu, c'est-à-dire, pour [faire](#) une analogie avec notre monde vivant, en les "mangeant".

D'où une manière de sélection des molécules... Cette sélection était-elle semblable à la sélection darwinienne qui caractérise le vivant ? Et, si oui, serait-on alors fondé à [parler](#) de vie ? En attendant de répondre, les questions intermédiaires ne manquent pas. L'aminoéthyl-glycine mis en évidence est-il une brique élémentaire de cet hypothétique "monde peptidique" ? Ce "monde peptidique" s'est-il développé dans le milieu cométaire ou plus tard, sur Terre ? Ces questions demeurent ouvertes. Jusqu'à de nouvelles expériences. Ou, peut-être, jusqu'à l'arrivée de Rosetta dans la banlieue de Churyumov-Gerasimenko.

Stéphane Foucart

## Une traversée de l'atmosphère féconde

Des acides aminés présents sur des astres vagabonds auraient-ils résisté à l'entrée dans l'atmosphère et à une collision avec la Terre ? Des chercheurs menés par Jennifer Banks (NASA) ont présenté, mardi 27 mars au congrès de l'American Chemical Society, des travaux suggérant que ces briques primordiales du vivant auraient pu résister aux conditions de température et de pression résultant du choc de deux astres. Au cours de leurs expériences, les auteurs ont même remarqué qu'après avoir été ainsi torturés, certains acides aminés se sont liés à d'autres en formant une liaison chimique dite "peptidique" - c'est par ce biais que les acides aminés sont assemblés pour former des protéines. Les chocs astraux pourraient ainsi favoriser des réactions nécessaires à l'émergence de la vie.

Autres articles du monde consultables sur la toile:

- [Des milliards de planètes peut-être habitables dans notre galaxie](#)
- [Quand la Lune reflète la vie terrestre](#)
- [C'est loin, la nouvelle Terre ?](#)

