

Hubert Reeves
Joël de Rosnay
Yves Coppens
Dominique Simonnet

La plus belle histoire du monde

Les secrets de nos origines

Editions du Seuil
27, rue Jacob, Paris VI^e

ISBN 2-02-026440-4

© Editions du Seuil, avril 1996

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des paragraphes 2 et 3 de l'article L.122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, sous réserve du nom de l'auteur et de la source, que les analyses et les courtes citations justifiées par le caractère critique, polémique, pédagogique, scientifique ou d'information, toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite (article L. 122-4). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Sommaire

(la pagination est celle de l'édition sur papier)

<i>Prologue</i>	Page 9
ACTE 1	
L'univers	
Scène 1. Le chaos	Page 21
Scène 2. L'univers s'organise	Page 37
Scène 3. Terre !	Page 51
ACTE 2	
La vie	
Scène 1. La soupe primitive	Page 67
Scène 2. La vie s'organise	Page 79
Scène 3. L'explosion des espèces	Page 93
ACTE 3	
L'homme	
Scène 1. Le berceau africain	Page 113
Scène 2. Nos ancêtres s'organisent	Page 128
Scène 3. La conquête humaine	Page 141
<i>Épilogue</i>	Page 153

Prologue

D'où venons-nous ? Que sommes-nous ? Où allons-nous ? Voilà bien les seules questions qui valent la peine d'être posées. Chacun a cherché la réponse à sa manière, dans le scintillement d'une étoile, le va-et-vient de l'océan, le regard d'une femme, ou le sourire d'un nouveau-né... Pourquoi vivons-nous ? Pourquoi y a-t-il un monde ? Pourquoi sommes-nous ici ?

Jusqu'à présent, seules la religion, la foi, la croyance offraient une solution. Aujourd'hui, la science, elle aussi, s'est fait une opinion. C'est peut-être l'un des plus grands acquis de ce siècle : elle dispose désormais d'un récit complet de nos origines. Elle a reconstitué l'histoire du monde.

Qu'a-t-elle découvert de si extraordinaire ? Ceci : c'est la même aventure qui se poursuit depuis 15 milliards d'années et qui unit l'univers, la vie, l'homme, comme les chapitres d'une longue épopée. La même évolution, du Big Bang à l'intelligence, qui pousse dans le sens d'une complexité croissante : les premières particules, les atomes, les molécules, les étoiles, les cellules, les organismes, les êtres vivants, jusqu'à ces curieux animaux que nous sommes...

Tous se succèdent dans une même chaîne, tous sont entraînés par un même mouvement. Nous descendons des singes et des bactéries, mais aussi des astres et des galaxies. Les éléments qui composent notre corps sont ceux qui naguère fondèrent l'univers. Nous sommes vraiment les enfants des étoiles.

L'idée dérange évidemment, car elle s'en prend aux anciennes certitudes, elle écorche les préjugés : c'est ainsi, depuis l'Antiquité les progrès de la connaissance n'ont cessé de remettre l'homme à sa juste place. Nous nous croyions au centre du monde ? Galilée, Copernic et les autres sont venus nous détromper: nous habitons en réalité une planète banale, située dans la banlieue d'une modeste galaxie. Nous pensions être des créations originales, à l'écart des autres espèces vivantes ? Las ! Darwin nous a perchés sur l'arbre commun de l'évolution animale... Il va donc nous falloir une fois encore ravalier notre orgueil mal placé : nous sommes les dernières productions de l'organisation universelle.

C'est cette nouvelle histoire du monde que nous allons raconter ici, à la lumière de nos connaissances les plus avancées. On découvrira, dans ce récit, une surprenante cohérence. On verra les éléments de la matière s'associer en structures plus complexes, qui, elles-mêmes, vont se combiner en assemblages encore plus élaborés qui, eux-mêmes...

C'est le même phénomène, celui de la sélection naturelle, qui orchestre chaque mouvement de cette grande partition, l'organisation de la matière dans l'univers, le jeu de la vie sur la Terre et même la formation des neurones dans nos propres cerveaux. Comme s'il y avait une « logique » de l'évolution.

Dieu dans tout ça ? Certaines découvertes rejoignent parfois d'intimes convictions. C'est entendu, on ne mélangera pas les genres. La science et la religion ne règnent pas sur le même domaine. La première apprend, la seconde enseigne. Le doute est le moteur de l'une, l'autre a la foi pour ciment. Elles n'en sont pas pour autant indifférentes.

Notre nouvelle histoire du monde n'évite pas, loin de là, les questions spirituelles et métaphysiques. On apercevra, au détour d'un chapitre, un peu de la lumière biblique, on entendra l'écho d'un mythe antique et l'on croisera même Adam et Eve dans la savane africaine. La science actualise les débats, elle les rafraîchit. Elle ne les tue pas. A chacun de faire son choix.

Notre récit s'appuie sur les découvertes les plus récentes, qui bénéficient d'outils révolutionnaires : les sondes qui explorent le système solaire, les télescopes spatiaux qui fouillent l'intimité de l'univers, les grands accélérateurs de particules qui en retracent les premiers moments...

Mais aussi les ordinateurs qui simulent l'apparition de la vie, les technologies de la biologie, de la génétique, de la chimie qui révèlent l'invisible et l'infiniment petit. Ou encore, les récentes découvertes de fossiles, les progrès des datations, qui permettent de reconstituer le cheminement des ancêtres de l'homme avec une étonnante précision.

Si elle se nourrit de ces dernières trouvailles, notre histoire s'adresse à tous, et surtout aux profanes, adultes et adolescents, quel que soit leur niveau de connaissance. On a évité ici toute attitude de spécialiste, banni tout terme compliqué. Et l'on n'a pas hésité, à la manière des enfants, à poser des questions naïves : Comment connaît-on le Big Bang ? Comment sait-on ce que mangeait l'homme de Cro-Magnon ? Pourquoi le ciel est-il noir la nuit ? On n'a pas voulu croire les scientifiques sur parole : ils sont priés de mettre leurs preuves sur le tapis.

Chaque discipline est en quête d'une origine: les astrophysiciens traquent celle de l'univers ; les biologistes, celle de la vie ; les paléontologues, celle de l'homme. C'est pourquoi notre histoire se joue, comme un drame, en trois actes - l'univers, la vie, l'homme - balayant ainsi quelque quinze milliards d'années. Ils comportent chacun trois scènes, où sont convoqués, dans l'ordre chronologique, tous les acteurs, inertes et vivants, de cette longue aventure. Nous les suivrons dans un dialogue avec trois personnalités, les meilleurs spécialistes français de chacune de ces questions. Il y a quelques années, nous avons, tous les quatre, esquissé une première conversation, pour le magazine *L'Express*. Que ce journal en soit loué ! l'expérience nous a mis en appétit. Le temps d'un été et de quelques soirées, nous avons retracé l'aventure du monde avec plaisir et passion. Puisse le lecteur en hériter.

Au premier acte, donc, notre histoire commence... Mais peut-on vraiment dire « commencer » ? On verra que cette notion de début n'est pas accessoire, loin de là. Elle est au coeur des débats métaphysiques et pose la fascinante question du temps. Nous l'aborderons par le plus lointain passé auquel la science peut accéder : quinze milliards d'années avant notre ère, le fameux Big Bang, cette obscure lumière qui devance les étoiles. Et à l'exemple des enfants, on se posera cette question pertinente : qu'y avait-il avant ?

Dès ce « début », la matière en incandescence se combine sous l'action de forces étonnantes qui président encore à nos destinées. D'où viennent-elles ? Pourquoi sont-elles immuables alors que tout change autour d'elles ? Tout au long du récit, elles dirigent le grand mecano universel. Et, à mesure que l'univers se détend et se refroidit, elles déclenchent des combinaisons singulières, les étoiles, les galaxies, jusqu'à engendrer, à la périphérie de l'une d'elles, une planète pronuse à un joli succès. Que sont ces forces mystérieuses ? D'où vient ce mouvement irrésistible de la complexité ? Ont-elles précédé l'univers ?

Hubert Reeves nous aidera à y voir clair. L'astrophysicien, auteur de merveilleux ouvrages sur le sujet, allie, avec une exceptionnelle affabilité, la précision du scientifique et la simplicité du vulgarisateur. Serait-ce parce que, loin des ordinateurs qui meublent sa vie professionnelle, il lui arrive encore de contempler le ciel de Bourgogne avec un modeste télescope, en simple amateur ? Est-ce à force de regarder loin dans l'espace, c'est-à-dire loin dans le passé, qu'il a appris la vraie mesure du temps ? Il va en tout cas droit à l'essentiel : la beauté d'une équation, l'éclat d'une galaxie, la plainte d'un violon, le velouté d'un chablis... Qui a le privilège de l'approcher dans l'intimité ne peut en douter: sa sagesse n'est pas feinte. Hubert Reeves est un honnête homme, c'est-à-dire un spécimen en voie de disparition qui s'obstine à rechercher l'équilibre entre la science et l'art, la culture et la nature et sait que la quête de nos origines connaît une dimension que ne peut saisir aucune formule, qui ne s'enferme dans aucune théorie: celle de notre émerveillement devant le mystère et la beauté.

Le deuxième acte s'ouvre, il y a 4,5 milliards d'années, sur cette planète singulière, située ni trop près ni trop loin d'un Soleil opportun. La matière poursuit son oeuvre frénétique d'assemblages.

A la surface de la Terre, dans de nouveaux creusets, s'amorce une autre alchimie : les molécules s'associent en structures susceptibles de se reproduire et font naître d'étranges petites gouttes, puis les premières cellules qui se groupent en organismes se diversifient, foisonnent, colonisent la planète, enclenchent l'évolution animale, imposent la force de la vie.

Que cette dernière soit née de l'inanimé, l'idée n'est certes pas facile à admettre. Pendant des siècles, le monde vivant a été considéré comme trop complexe, trop divers, en un mot trop « intelligent », pour avoir pu apparaître sans un petit coup de pouce divin. Aujourd'hui, la question est tranchée : il résulte de la même évolution de la matière, il n'est pas le fruit du hasard. Comment alors est-on passé de l'inerte au vivant ? Comment l'évolution a-t-elle « inventé » la reproduction, le sexe, et la mort, inséparable compagne ?

Joël de Rosnay est sans doute l'un des mieux placés pour répondre. Docteur ès sciences, ancien directeur à l'Institut Pasteur, aujourd'hui directeur à la Cité des sciences et de l'industrie, il fut l'un des premiers à faire la synthèse de nos connaissances sur les origines de la vie dans un ouvrage qui a marqué une génération. Chimiste organicien de formation, mais vulgarisateur par vocation, infatigable agitateur, il se trouve toujours en avance d'une décennie et butine les dernières idées dans le monde entier. Apôtre de la théorie des systèmes, pionnier de la communication globale, il a toujours cherché, lui aussi, à harmoniser l'écologie et la modernité, le monde vivant et la technologie, comme s'il savait voir la planète mieux que ses semblables, avec le recul nécessaire. Et il a gardé sa passion pour les origines et la rigueur du chercheur.

Au troisième acte, dans un beau décor de savane asséchée, le dernier avatar du vivant occupe toute la scène. Voici l'homme, le vrai. Animal, mammifère, vertébré et primate qui plus est... Que nous soyons tous des singes africains, cela est désormais certain. Fils de singes donc, ou plutôt de cet individu archaïque qui jadis, en Afrique, s'est pour la première fois dressé sur ses pattes arrière et s'est mis à regarder le monde d'un point de vue plus élevé que ses congénères. Mais pourquoi l'a-t-il fait ? Quelle pulsion l'y a incité ?

Certes, il y a plus d'un siècle que l'on connaît notre ascendance simiesque et que l'on tente, avec difficultés, de l'accepter. Mais ces dernières années, la science des origines a explosé et notre arbre généalogique en a été fortement secoué : quelques espèces poilues en sont même tombées... Aujourd'hui, on tient enfin une unité de temps et de lieu pour mettre en scène ce troisième acte, celui de la comédie humaine. Comme s'il avait pris le relais de la matière, l'homme a utilisé une poignée de millions d'années pour évoluer à son tour et inventer des choses de plus en plus compliquées : l'outil, la chasse, la guerre, la science, l'art, l'amour (toujours) et cette étrange propension à s'interroger sur lui-même qui ne cesse de le démanger. Comment a-t-il découvert toutes ces nouveautés ? Pourquoi son cerveau s'est-il développé sans discontinuer ? Que sont devenus nos ancêtres qui n'ont pas « réussi » ?

Yves Coppens, professeur au Collège de France, est, lui, tombé très petit dans la marmite de la paléontologie : enfant, il collectionnait déjà les fossiles et rêvait devant les sites gaulois. Il n'a eu de cesse de chercher les traces du passage de ses lointains ancêtres et est entré dans la science des origines au moment où celle-ci vivait, en Afrique, sa plus grande épopée. Avec d'autres, il a mis au jour le plus célèbre de nos squelettes : Lucy, la jeune (et jolie ?) australopithèque, âgée de 3,5 millions d'années, morte en pleine force de l'âge. Pour ce chercheur d'os, courtois et débonnaire, comme pour ses confrères, la naissance de l'humanité ne fut pas un accident, elle participe de ce même cheminement de l'univers dont nous sommes les derniers fleurons. Et comme ses confrères, il connaît la mesure du temps : que sont nos millénaires de civilisation comparés aux millions d'années qu'il a fallu à l'homme pour se dégager de l'animalité ? Que valent nos actuelles facéties face aux quinze milliards d'années qui furent nécessaires pour façonner notre complexité ?

Notre histoire n'est certes pas terminée. Oserait-on dire elle commence. Car il semble bien que la complexité continue de progresser, et l'évolution de galoper. Nous ne pouvions donc pas interrompre le récit sur notre drôle d'époque sans nous poser cette ultime question : où allons-nous ? Comment cette longue aventure qui fut cosmique, chimique, biologique et devient maintenant culturelle, va-t-elle se poursuivre ? Quel est l'avenir de l'homme, de la vie, de l'univers ? La science, bien sûr, n'a pas réponse à tout. Mais elle peut tenter quelques jolies prédictions. Comment le corps va-t-il continuer à évoluer, que sait-on sur l'évolution de l'univers ? Y a-t-il d'autres formes de vie ? Nous en débattons tous les quatre, en guise d'épilogue.

Une précaution, encore. Nous avons voulu éviter ici toute tentation déterministe, tout parti pris finaliste. Que le lecteur nous pardonne si parfois, pour simplifier la compréhension, des mots scabreux nous ont échappé : non, on ne peut pas dire que la matière « invente », que la nature « fabrique » ou que l'univers « sait ». Cette « logique » de l'organisation n'est qu'un constat. La science se refuse à y discerner une intention. A chacun de l'interpréter à sa façon. Si notre histoire semble malgré tout avoir un sens, on ne peut pas affirmer pour autant que notre apparition était inéluctable, du moins sur cette petite planète-là. Qui peut dire combien de pistes infructueuses l'évolution a suivies avant de célébrer notre naissance ? Qui peut nier que ce résultat-là est encore d'une extrême fragilité ?

Oui, c'est assurément la plus belle histoire du monde, puisque c'est la nôtre. Nous la portons au plus profond de nous-mêmes : notre corps est composé des atomes de l'univers, nos cellules enferment une parcelle de l'océan primitif, nos genes sont, en majorité, communs à ceux de nos voisins primates, notre cerveau possède les strates de l'évolution de l'intelligence, et quand il se forme dans le ventre maternel, le petit d'homme refait, en accéléré, le parcours de l'évolution animale. La plus belle histoire du monde, qui pourrait le nier ?

Mais quelle que soit la vision, mystique ou scientifique, que nous portons sur nos origines, quelle que soit notre conviction, déterministe ou sceptique, religieuse ou agnostique, il n'y a qu'une seule morale qui vaille dans cette histoire, une seule donnée essentielle : nous ne sommes que de dérisoires étincelles au regard de l'univers. Puissions-nous avoir la sagesse de ne pas l'oublier.

Dominique Simonnet

ACTE 1

L'univers

SCENE 1

Le chaos

La scène est blanche, infinie. Partout, ce n'est qu'une clarté implacable, la lumière d'un univers en incandescence, le chaos d'une matière qui n'a encore ni sens ni nom...

Mais qu'est-ce qu'il y avait « avant » ?

Dominique Simonnet: *Une explosion de lumière dans la nuit des temps, c'est le début de notre histoire, l'origine de l'univers dont la science nous parle depuis quelques années. Avant de nous intéresser à ce phénomène, on ne peut s'empêcher de se poser cette question naïve : qu'est-ce qu'il y avait avant ?*

Hubert Reeves: Quand on évoque le début de l'univers, on se heurte inévitablement au vocabulaire. Pour nous, le mot « origine » indique un événement qui se situe dans le temps. Notre « origine » personnelle, par exemple, est le moment où nos parents ont fait l'amour et nous ont conçus. Elle connaît un « avant » et un « après ». Nous pouvons la dater, l'inscrire dans le fil de l'histoire. Et nous admettons que le monde existait avant cet instant.

- *Mais là, nous parlons de l'origine des origines, la toute première...*

- Et c'est justement la grande différence. On ne peut pas la considérer comme un événement semblable aux autres. Nous nous trouvons dans la situation des premiers chrétiens qui demandaient que faisait Dieu avant d'avoir créé le monde. La réponse populaire était « Il préparait l'enfer pour ceux qui se posent cette question ! »... Saint Augustin n'était pas d'accord. Il avait bien vu la difficulté d'une telle interrogation. Elle supposait que le temps existait « avant » la création. Il répondait que la création était non seulement celle de la matière, mais aussi celle du temps ! Ce point de vue est assez voisin de celui de la science moderne. Espace, matière et temps sont indissociables. Dans nos cosmologies, ils apparaissent ensemble. Si origine de l'univers il y a, c'est aussi l'origine du temps. Il n'y a donc pas « d'avant ».

- *« Si origine de l'univers il y a », dites-vous... Ce n'est donc pas certain ?*

- Nous ne le savons pas. La grande découverte de ce siècle, c'est que l'univers n'est ni immuable ni éternel, comme le supposait la majorité des scientifiques du passé. On en est aujourd'hui convaincu : l'univers a une histoire, il n'a cessé d'évoluer en se raréfiant, en se refroidissant, en se structurant. Nos observations et nos théories nous permettent de reconstituer le scénario et de remonter dans le temps. Elles nous confirment que cette évolution se poursuit depuis un passé lointain que l'on situe entre 10 et 15 milliards d'années selon les estimations. Nous disposons maintenant de nombreux éléments scientifiques pour établir le portrait de l'univers à ce moment-là: il est totalement désorganisé, il ne possède ni galaxies, ni étoiles, ni molécules, ni atomes, ni même de noyaux d'atomes... Il n'est qu'une bouillie de matière informe portée à des températures de milliards de milliards de degrés. C'est ce que l'on a appelé le « Big Bang ».

- *Et rien avant ?*

- Nous ne possédons pas le moindre élément qui remonte à une période antérieure à cet événement, pas le moindre indice qui nous permettrait de reculer davantage dans le passé. Toutes les observations, toutes les données recueillies par l'astrophysique s'arrêtent à cette même frontière.

Cela signifie-t-il que l'univers a « débuté » il y a quinze milliards d'années ? Ce Big Bang est-il vraiment l'origine des origines ? Nous n'en savons rien.

- *C'est pourtant ce que l'on enseigne désormais dans les écoles: l'univers a commencé par le Big Bang, une formidable explosion de lumière, il y a quinze milliards d'années. Et c'est bien ce que répètent les chercheurs depuis quelques années...*

- Nous nous sommes probablement mal exprimés, et nous avons été mal compris. Nous pourrions parler d'un début, d'un véritable commencement, si nous étions certains qu'avant cet événement il n'y avait rien. Or, à ces hautes températures, nos notions de temps, d'espace, d'énergie, de température ne sont plus applicables. Nos lois ne fonctionnent plus, nous sommes totalement démunis.

- *C'est un peu une dérobade de scientifiques, non ? Quand on raconte une histoire, il y a toujours un commencement. Puisque l'on parle maintenant de l'« histoire » de l'univers, il n'est pas stupide de lui chercher un début.*

- Certes, chez nous, toutes les histoires ont eu un commencement. Mais il faut se méfier des extrapolations. On peut dire la même chose de l'horloge de Voltaire: son existence prouvait, selon lui, l'existence d'un horloger. Ce raisonnement, impeccable à notre échelle, l'est-il encore pour l'« horloge » de l'univers ? Je n'en suis pas certain. Encore faudrait-il savoir si, comme l'a dit Heidegger, notre logique est la suprême instance, si les arguments valables sur Terre peuvent être extrapolés à l'univers tout entier. La seule vraie question, c'est celle de notre existence, celle de la réalité, de notre conscience : « Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ? » se demandait Leibniz. Mais c'est une question purement philosophique, la science est incapable d'y répondre.

L'horizon de nos connaissances

- *Pour contourner ce casse-tête, pourrait-on alors définir le Big Bang comme le début de l'espace et du temps ?*

- Définissons-le plutôt comme le moment où ces notions deviennent utilisables. Le Big Bang, en réalité, c'est notre horizon dans le temps et dans l'espace. Si nous le considérons comme l'instant zéro de notre histoire, c'est par commodité, et faute de mieux. Nous sommes comme des explorateurs devant un océan : nous ne voyons pas s'il y a quelque chose au-delà de l'horizon.

- *Si je comprends bien, le Big Bang est en fait une manière de désigner, non pas vraiment la limite du monde, mais celle de nos connaissances.*

- Exactement. Mais attention, n'en concluons pas non plus que l'univers n'a pas d'origine. Encore une fois, nous n'en savons rien. Convenons, pour simplifier, que notre aventure commence il y a quinze milliards d'années, dans ce chaos infini et informe qui va lentement se structurer. C'est en tout cas le début de notre histoire du monde telle que la science peut aujourd'hui la reconstituer.

- *Les spécialistes peuvent se contenter d'une abstraction pour figurer le Big Bang. Mais les autres ont besoin d'une métaphore. On le décrit souvent comme une boule de matière concentrée qui explose dans un grand éclair de lumière et emplit tout l'espace...*

- Comparaison n'est pas raison. Cette représentation supposerait l'existence de deux espaces, l'un plein de matière et de lumière, qui envahirait progressivement un second espace, vide et froid. Dans le modèle du Big Bang, il n'y a qu'un seul espace, uniformément rempli de lumière et de matière, qui est en expansion partout : tous ses points s'éloignent uniformément les uns des autres.

- *Difficile à imaginer. Quelle représentation visuelle peut-on avoir du Big Bang alors ?*

- On peut à la rigueur garder l'image de l'explosion si l'on admet que celle-ci se produisait en chaque point d'un espace immense et peut-être (pas certainement) infini. Difficile à imaginer bien sûr, mais faut-il s'en étonner ? Quand nous abordons de telles échelles, nos facultés se trouvent en terrains inhabituels et nos représentations sont quelque peu inadaptées.

Et Dieu ?

- *Infinie ou pas, cette image correspond joliment à celle de la création du monde proposée par la Bible : « Et la lumière fut »...*

- Cette similitude a d'ailleurs longtemps nui à la crédibilité de la théorie du Big Bang quand celle-ci fut proposée au début des années 1930. Surtout après les déclarations du pape Pie XII : la science a retrouvé le « *Fiat lux* » (que la lumière soit !). L'attitude des communistes de Moscou à cette époque fut également révélatrice. Après avoir refusé totalement ces « âneries papales », ils prirent conscience que cette théorie pouvait confirmer le dogme communiste du matérialisme historique. « Lénine l'avait bien dit ! »... Pourtant, en dépit de ces tentatives de récupérations religieuses et politiques, le Big Bang a fini par s'imposer. Les preuves en sa faveur n'ont cessé de s'accumuler au cours des décennies et la quasi-totalité des astrophysiciens reconnaît maintenant cette théorie comme le meilleur scénario de l'histoire du cosmos. Sauf l'astrophysicien anglais Fred Hoyle, ardent défenseur d'un univers stationnaire : c'est lui qui, par dérision, l'a surnommée « Big Bang ». Le nom est resté...

- *Que la science retrouve la religion sur sa route, ce n'est pourtant pas scandaleux.*

- A condition de ne pas confondre leurs démarches. La science cherche à comprendre le monde; les religions (et les philosophies), elles, se sont généralement assignées pour mission de donner un sens à la vie. Elles peuvent s'éclairer mutuellement à condition de rester chacune sur son territoire. Chaque fois que l'Église a essayé d'imposer son explication du monde, il y a eu conflit. Rappelons-nous Galilée, qui disait à ses adversaires théologiens : « Dites-nous comment on va au ciel, et laissez-nous vous dire comment "va" le ciel. » Et rappelons-nous l'opposition des ecclésiastiques aux théories darwiniennes. La science s'intéresse aux faits visibles et perceptibles. Elle ne permet pas d'interpréter ce qu'il y a « au-delà » du visible. Contrairement à une opinion répandue, elle n'élimine pas Dieu. Elle ne peut prouver ni son existence ni son inexistence. Ce discours lui est étranger.

- *Il reste que non seulement la religion chrétienne mais aussi de très nombreuses mythologies expliquent la création du monde par une explosion de lumière ? C'est quand même troublant, non ?*

- L'image d'un chaos initial qui se métamorphose progressivement en un univers organisé se retrouve en effet dans plusieurs récits traditionnels. Elle est commune à de nombreuses croyances ; on la retrouve chez les Égyptiens, les Indiens d'Amérique du Nord, les Sumériens. Ce chaos est souvent représenté par une image aquatique, par exemple un océan plongé dans l'obscurité. « Rien n'existait, sauf le ciel vide et la mer calme dans la nuit profonde » raconte la tradition maya. « Toute la Terre était mer » dit un texte babylonien. « La Terre était sans forme et vide, l'obscurité s'étendait à la surface des profondeurs, et l'esprit de Dieu se mouvait sur l'étendue des eaux » lit-on dans la Genèse. La métaphore de l'oeuf est aussi fréquemment utilisée. A l'intérieur de l'oeuf, un liquide apparemment informe devient un poussin. C'est une belle image de l'évolution de l'univers. Chez les Chinois, l'oeuf se sépare en deux moitiés qui vont constituer l'une, le ciel, et l'autre, la Terre. Cependant, dans ces mythologies, le chaos est associé à l'eau et à l'obscurité. Dans la cosmologie moderne, il est au contraire constitué par la chaleur et la lumière.

- *Pourtant les analogies entre le récit scientifique et ces mythes sont indéniables...*

- S'agit-il d'une coïncidence ? Ou d'un savoir intuitif ? Après tout, nous le verrons au fil de cette histoire, nous sommes nous-mêmes composés de la poussière du Big Bang. Peut-être portons-nous en nous la mémoire de l'univers ?

La découverte de l'histoire

- *Comment en est-on arrivé à l'idée d'un chaos originel et d'une évolution de l'univers ?*

- Pendant deux millénaires, la tradition philosophique a considéré que l'univers était éternel et inchangeant. Aristote s'est exprimé clairement sur ce sujet et ses idées ont dominé la pensée occidentale pendant plus de deux mille ans. Pour lui, les étoiles sont faites d'une matière impérissable et les paysages célestes sont immuables. Aujourd'hui nous savons, grâce aux instruments modernes, qu'il avait tort. Les étoiles naissent et meurent, après avoir vécu quelques millions ou milliards d'années. Elles brillent, en consommant leur carburant nucléaire, et s'éteignent quand celui-ci est épuisé. Nous pouvons même leur donner un âge.

- *Personne n'avait jamais émis l'idée que le ciel pouvait changer ?*

- Si. Plusieurs philosophes le supposaient, mais leurs vues ne se sont pas imposées. Lucrèce, philosophe romain du 1er siècle avant Jésus-Christ, affirmait que l'univers était encore dans sa jeunesse. Pourquoi avait-il cette conviction très en avance sur son époque ? Il suivait un raisonnement astucieux. Depuis mon enfance, se disait-il, j'ai constaté que les techniques se sont perfectionnées autour de moi. On a amélioré les voilures de nos bateaux, on a inventé des armes de plus en plus efficaces, on a fabriqué des instruments de musique de plus en plus raffinés... Si l'univers était éternel, tous ces progrès auraient eu le temps de se réaliser cent fois, mille fois, un million de fois ! Je devrais donc vivre dans un monde achevé, qui ne change plus. Puisque, au cours des quelques années de mon existence, j'ai pu voir autant d'améliorations, c'est donc bien que le monde n'existe pas depuis toujours...

- *Jolie déduction...*

- La cosmologie la confirme aujourd'hui par trois constats : 1) le monde n'a pas toujours existé ; 2) il est en changement ; 3) ce changement se traduit par le passage du moins efficace au plus efficace, c'est-à-dire du simple au complexe.

La machine à remonter le temps

- *Sur quelles découvertes la science moderne se fonde-t-elle ?*

- Grâce à nos instruments, ceux de la physique et de l'astronomie, nous retrouvons des traces du passé de l'univers. Nous pouvons en reconstituer l'histoire, comme les préhistoriens reconstituent le passé de l'humanité à partir des fossiles abandonnés dans les grottes. Mais nous avons sur les historiens un immense avantage: nous, nous pouvons voir directement le passé.

- *Comment cela ?*

- A notre échelle, la lumière voyage très rapidement, 300 000 kilomètres-seconde. A l'échelle de l'univers, cette vitesse est dérisoire. La lumière nous parvient de la Lune en une seconde, du Soleil

en huit minutes, mais elle met quatre ans pour cheminer depuis l'étoile la plus proche, huit ans depuis Véga, des milliards d'années depuis certaines galaxies. Nos télescopes nous permettent maintenant d'observer des astres très lointains, les quasars, par exemple, dont la luminosité atteint dix mille fois celle de notre galaxie tout entière. Certains d'entre eux sont situés à 12 milliards d'années. Nous les voyons donc dans l'état où ils étaient il y a 12 milliards d'années.

- *Quand vous braquez vos télescopes sur une région de l'univers, vous observez donc un moment de son histoire.*

- Exactement. Le télescope est une machine à remonter le temps. Contrairement aux historiens, qui ne pourront jamais contempler la Rome antique, les astrophysiciens peuvent véritablement voir le passé, et observer les astres tels qu'ils étaient autrefois. Nous voyons la nébuleuse d'Orion telle qu'elle était à la fin de l'Empire romain. Et la galaxie d'Andromède, visible à l'oeil nu, est une image vieille de deux millions d'années. Si les habitants d'Andromède regardent en ce moment notre planète, ils la voient avec le même décalage : ils découvrent la Terre des premiers hommes.

- *Cela signifie que le ciel que nous observons la nuit, les astres que nous voyons, ces myriades d'étoiles, ces galaxies ne sont que des illusions, une superposition d'images du passé ?*

- Strictement parlant, on ne peut jamais voir l'état présent du monde. Quand je vous regarde, je vous vois dans l'état où vous étiez il y a un centième de micro-seconde, le temps que la lumière a mis pour me parvenir. Un centième de microseconde, c'est très long à l'échelle atomique, même si cela est imperceptible à notre conscience. Mais les êtres humains ne disparaissent pas dans ce laps de temps, et je peux poser sans risque l'hypothèse que vous êtes toujours là. C'est la même chose pour le Soleil : il ne change pas pendant les huit minutes du trajet accompli par sa lumière. Les étoiles que nous voyons à l'oeil nu la nuit, celles qui composent notre galaxie, sont elles aussi relativement proches. Mais pour les astres lointains, ceux que l'on détecte avec de puissants télescopes, il en va différemment. Le quasar que je vois à 12 milliards d'années-lumière n'existe vraisemblablement plus aujourd'hui.

- *Pourrait-on alors voir encore plus loin, encore plus tôt, jusqu'à ce fameux horizon, le Big Bang ?*

- Plus on recule dans le passé, plus l'univers devient opaque. Au-delà d'une certaine limite, la lumière ne peut plus nous parvenir. Cet horizon correspond à une époque où la température est d'environ 3 000 degrés. A l'horloge conventionnelle du Big Bang, l'univers a déjà environ 300 000 ans.

Les preuves du Big Bang

- *Le Big Bang reste donc très abstrait. On peut même se demander s'il n'est pas le pur produit de l'imagination des scientifiques, s'il a une vraie réalité.*

- Comme toute théorie scientifique, celle du Big Bang est fondée à la fois sur un ensemble d'observations et sur un système mathématique (la relativité générale d'Einstein) capable d'en reproduire les valeurs numériques. Si cette théorie est crédible, c'est parce qu'elle a déjà prédit correctement le résultat de plusieurs observations, et que ces prédictions ont été confirmées ; ce qui montre que le Big Bang n'est pas seulement un produit de l'imagination des scientifiques, mais qu'il touche à la réalité du monde.

- *Soit. Mais comment peut-on le décrire si l'on ne peut pas le voir ?*

- On en voit de nombreuses manifestations. Vers 1930, un astronome américain, Edwin Hubble, a constaté que les galaxies s'éloignent les unes des autres, à des vitesses proportionnelles à leur distance. Un peu comme un pudding que l'on met au four : à mesure qu'il gonfle, les raisins

s'écartent les uns des autres. Ce mouvement d'ensemble des galaxies, nommé expansion de l'univers, a été confirmé jusqu'à des vitesses de dizaines de milliers de kilomètres-seconde. Selon la théorie de la relativité générale d'Einstein, cette expansion traduit un refroidissement progressif de l'univers. Sa température actuelle est d'environ 3 degrés absolu, c'est-à-dire moins 270 degrés Celsius. Et ce refroidissement se poursuit depuis environ quinze milliards d'années.

- *Comment le sait-on ?*

- Essayons de reconstituer le scénario, en passant le film à l'envers. Plus on remonte dans le temps, plus les galaxies se rapprochent : l'univers est de plus en plus dense, de plus en plus chaud, de plus en plus lumineux. On arrive ainsi à un moment, vers quinze milliards d'années, où la température et la densité atteignent des valeurs gigantesques. C'est ce que l'on appelle conventionnellement le Big Bang.

- *Notre pudding est une boule de pâte ?*

- Les comparaisons, on l'a dit, sont trompeuses. Celle du pudding aux raisins suggère que l'univers était plus petit que celui d'aujourd'hui. Rien n'est moins certain. Il pourrait bien être infini et avoir toujours été infini...

- *Attendez! Comment peut-on imaginer un univers qui soit infini dès l'origine et qui va se mettre à grandir ?*

- Le mot « grandir » n'a pas de sens pour un espace infini. Disons simplement qu'il va se raréfier. Pour mieux comprendre, on peut imaginer un univers à une seule dimension : une règle graduée qui s'étend jusqu'à l'infini à gauche et à droite. Imaginons qu'elle entre en expansion, c'est-à-dire que chaque marque de centimètre s'éloigne de sa voisine. Les traits vont s'espacer de plus en plus, mais la règle restera infinie.

- *On imagine que la découverte de ce mouvement des galaxies n'est pas la seule preuve du Big Bang.*

- Il y en a plusieurs autres. Prenons par exemple l'âge de l'univers. On peut le mesurer de différentes manières. Soit par le mouvement des galaxies, soit par l'âge des étoiles (en analysant leur lumière) et par l'âge des atomes (en calculant la proportion de certains d'entre eux qui se désintègrent au fil du temps). L'idée du Big Bang exige que l'univers soit plus vieux que les plus vieilles étoiles et que les plus vieux atomes. Eh bien ! l'on trouve, dans les trois cas, des âges voisins de 15 milliards d'années, ce qui renforce la crédibilité de notre théorie. Et puis, nous avons nous aussi nos fossiles...

Les fossiles de l'espace

- *Des fossiles ? On imagine que ce ne sont pas des coquillages ni des ossements...*

- Il s'agit de phénomènes physiques qui datent des temps les plus anciens du cosmos et dont les caractéristiques nous permettent de reconstituer le passé, comme les préhistoriens le font avec des fragments d'os. Par exemple, le « rayonnement fossile » qui a été émis à une période où l'univers était à des températures de plusieurs milliers de degrés. C'est un vestige de la formidable lumière qui existait à ce moment-là, peu après le Big Bang, une pâle lueur répartie uniformément dans l'univers. Elle nous arrive sous la forme d'ondes radiométriques détectables avec des antennes appropriées dans toutes les directions du ciel. C'est l'image du cosmos d'il y a 15 milliards d'années, la plus vieille image du monde.

- *L'espace entre les étoiles n'est donc pas vide ?*

- La lumière est constituée de particules que l'on appelle des « photons ». Chaque centimètre cube d'espace contient environ 400 de ces grains de lumière, dont la très grande majorité voyage depuis les tout premiers temps de l'univers, les autres ayant été émis par les étoiles.

- *Comment a-t-on pu les compter ?*

- Nous mesurons en réalité la température de l'espace. Nous pouvons le faire avec une très grande précision grâce aux sondes spatiales notamment : 2,716 degrés absolus. Or, il existe une relation simple entre la température et le nombre de photons. Le calcul nous donne 403 grains de lumière dans chaque centimètre cube d'espace. Joli, non ?

- *Pas mal, en effet.*

- Ajoutons que l'existence de ce rayonnement fossile avait été prévue par l'astrophysicien George Gamow en 1948, soit dix-sept ans avant qu'on ne l'observe vraiment. Ce rayonnement était, selon lui, une conséquence nécessaire de la théorie du Big Bang.

- *Ce que prévoyait la théorie est donc conforme à ce que l'on observe aujourd'hui ?*

- Le télescope spatial Hubble nous a apporté encore de nombreuses confirmations. Un exemple récent : nous voyons une galaxie lointaine comme elle était à une époque où l'univers était plus chaud. Grâce à ce télescope, on a pu déterminer la température du rayonnement dans lequel baigne une galaxie située à 12 milliards d'années-lumière. On a trouvé 7,6 degrés. C'est tout à fait la température prédite par la théorie. Pendant le temps du voyage de la lumière de cette galaxie jusqu'à nous, la température est tombée à 2,7 degrés, preuve que nous vivons dans un univers en refroidissement.

Le noir de la nuit

- *D'autres arguments ?*

- Celui-ci. Les atomes d'hélium sont également des fossiles ; leurs populations relatives dans l'univers sont elles aussi en accord avec la théorie et indiquent que l'univers du passé a atteint une température d'au moins 10 milliards de degrés. Il y a aussi des preuves indirectes, comme l'obscurité du ciel nocturne.

- *En quoi est-ce une preuve de l'évolution de l'univers ?*

- Si les étoiles étaient éternelles et inchangeantes comme le prétendait Aristote, la quantité de lumière qu'elles auraient dégagée pendant un temps infini serait, elle aussi, infinie. Le ciel devrait donc être extrêmement lumineux. Pourquoi ne l'est-il pas ? Cette énigme a tourmenté les astronomes pendant des siècles. On sait maintenant que si notre ciel est obscur, c'est bien parce que les étoiles n'ont pas toujours existé. Une durée de quinze milliards d'années, ce n'est pas assez long pour emplir l'univers de lumière, surtout quand l'espace entre les étoiles grandit sans cesse. L'obscurité de la nuit est une preuve supplémentaire de l'évolution de l'univers.

- *Et encore ?*

- Un argument indirect en faveur d'un univers en changement nous vient directement de la relativité générale. Cette théorie, formulée en 1915, ne permet pas à l'univers d'être statique. S'il avait su lire correctement le message de ses propres équations, Einstein aurait pu prédire que notre univers était en évolution, quinze ans avant que d'autres ne le découvrent.

- *Rien ne s'oppose donc plus aujourd'hui à la théorie du Big Bang ?*

- Disons plutôt que, sur le marché des théories cosmologiques, le Big Bang est - de beaucoup - le meilleur choix. Aucun scénario rival n'explique d'une façon aussi simple et naturelle l'ensemble

impressionnant d'observations qui ont été réalisées. Aucun n'a fait autant de prédictions réussies... Certes, le scénario du Big Bang est loin d'être entièrement satisfaisant, il comporte beaucoup de faiblesses et de points obscurs. Il s'agit d'un programme en train de se perfectionner au travers de ses hésitations et de ses tâtonnements. On le modifiera sans doute encore, et peut-être l'englobera-t-on dans un schéma plus vaste. Mais l'essentiel devrait subsister.

- *En quoi consiste cet essentiel ?*

- En quelques affirmations simples : l'univers n'est pas statique, il se refroidit et se raréfie. Mais surtout, et c'est pour nous un élément central, la matière s'organise progressivement. Les particules des temps les plus anciens s'associent pour former des structures de plus en plus élaborées. Tel que Lucrèce l'avait deviné, on passe du « simple » au « complexe », du moins efficace au plus efficace. L'histoire de l'univers, c'est l'histoire de la matière qui s'organise.

SCENE 2

L'univers s'organise

Par ordre d'entrée en scène: des particules infimes, dans un désordre indescriptible. Puis, résultats de leurs accouplements, les premiers atomes qui tentent, eux aussi, des liaisons explosives au coeur d'astres brûlants.

La soupe aux lettres

-L'histoire de la complexité commence. Nous sommes à l'horizon de notre passé, il y a quelque quinze milliards d'années. De quoi l'univers est-il fait à ce moment-là ?

- L'univers est une purée homogène de particules élémentaires : il s'agit des électrons (ceux de notre courant électrique), des photons (les grains de lumière), des quarks, des neutrinos, et d'une panoplie d'autres éléments appelés gravitons, gluons, etc. On les appelle « élémentaires » parce que l'on ne peut pas les décomposer en éléments plus petits, du moins le croit-on.

- C'est une purée primitive, dit-on habituellement. Ce qui veut dire que tout cela est mélangé, désordonné, désorganisé.

- J'aime la comparer à ces potages de mon enfance composés de pâtes en forme de lettres de l'alphabet avec lesquelles nous nous amusions à écrire nos noms. Dans l'univers, ces lettres, c'est-à-dire les particules élémentaires, vont s'assembler en mots, les mots s'associeront à leur tour pour former des phrases qui s'agenceront elles aussi plus tard en paragraphes, en chapitres, en livres... A chaque niveau, les éléments se regroupent pour former de nouvelles structures à un niveau supérieur. Et chacune d'elles possède des propriétés que n'ont pas individuellement ses éléments. On parle de « propriétés émergentes ». Les quarks s'assemblent en protons et neutrons. Plus tard, ceux-ci s'associeront en atomes, qui formeront des molécules simples, qui composeront des molécules plus complexes qui... C'est la pyramide des alphabets de la nature.

- Combien de temps cela a-t-il pris ?

- Pendant les premières dizaines de microsecondes après le Big Bang, l'univers est un vaste magma de quarks et de gluons. Vers la quarantième microseconde, au moment où la température descend en dessous de 10^{12} degrés (un million de million), les quarks s'assemblent pour donner les premiers nucléons : les protons et les neutrons.

La première seconde

- Quelle précision ! Comment peut-on connaître la première seconde de l'univers, et même les infimes fractions de la première seconde, alors qu'on ne sait même pas si l'univers a 10 ou 15 milliards d'années ?

- Quel que soit le moment où elle a eu lieu, il s'agit pourtant bien de la première seconde. Il faut comprendre le sens précis des mots. La « première seconde » indique la période où l'univers était à une température de 10 milliards de degrés. Avant la première seconde, il était à une température plus élevée encore. La difficulté, c'est de situer cette seconde dans notre histoire : disons environ quinze milliards d'années. Les grands accélérateurs de particules nous permettent de reconstituer, pendant des instants très brefs, les fortes densités d'énergie qui existaient à cette époque. Elles correspondent à des températures de 10^{16} degrés. Dans le scénario cosmique, elles n'ont régné que le temps d'une micro-microseconde. Mais encore une fois, il s'agit d'un chronométrage qui n'a de sens que dans la théorie du Big Bang. C'est une horloge conventionnelle, une sorte de repérage.

- *Nous constatons pourtant que la physique touchait à ses limites et qu'elle était démunie face à l'événement Big Bang.*

- Nous disposons de deux bonnes théories : la physique quantique, extrêmement précise, qui décrit le comportement des particules à condition que celles-ci ne soient pas plongées dans un champ de gravité trop fort ; et la théorie de la gravité d'Einstein, qui, elle, rend compte du mouvement des astres, mais qui ignore le comportement quantique des particules. Les limites de la physique se situent à des températures d'environ 10^{32} degrés (c'est la « température de Planck »). A cette température, les particules sont justement soumises à de très forts champs de gravité ! Nous ne savons plus calculer leurs propriétés... Personne encore n'a résolu ce problème. C'est notre limite depuis cinquante ans. Il nous faudrait un nouvel Einstein.

- *En attendant, contentons-nous de la première seconde. Pourquoi l'univers n'est-il pas resté à l'état de purée ? Qu'est-ce qui l'a incité à s'organiser ?*

- Ce sont les quatre forces de la physique qui ont présidé à l'assemblage des particules, puis à celui des atomes, des molécules et des grandes structures célestes. La force nucléaire soude les noyaux atomiques ; la force électromagnétique assure la cohésion des atomes ; la force de gravité organise les mouvements à grande échelle - ceux des étoiles et des galaxies ; et la force faible intervient au niveau des particules appelées neutrinos. Mais aux premiers temps, la chaleur dissocie tout et s'oppose à la formation des structures. Tout comme, à nos températures, elle empêche la formation de la glace. Il a donc fallu que l'univers se refroidisse pour que les forces puissent entrer en action et tenter les premières combinaisons de la matière.

La force est avec nous

- *Mais d'où viennent-elles, ces fameuses forces ?*

- Vaste question, à la limite de la métaphysique... Pourquoi y a-t-il des forces ? Pourquoi ont-elles la forme mathématique que nous leur connaissons ? Nous savons maintenant que ces forces sont partout les mêmes, ici et aux confins de l'univers, et qu'elles n'ont pas changé d'un iota depuis le Big Bang. Ce qui pose question dans un univers où tout est en changement...

- *Comment sait-on qu'elles n'ont pas changé ?*

- On a pu le vérifier de plusieurs façons. Il y a quelques années, des ingénieurs miniers ont découvert, au Gabon, un dépôt d'uranium avec une composition tout à fait spéciale. Tout indiquait que ce minerai avait été soumis à une intense irradiation. Une sorte de réacteur naturel s'était déclenché spontanément dans cette mine il y a environ 1,5 milliard d'années. En comparant l'abondance de ces noyaux atomiques avec celle de nos réacteurs, on a pu montrer que la force nucléaire avait, à cette époque, exactement les mêmes caractéristiques qu'aujourd'hui. De même, on

peut savoir si la force électromagnétique a changé en comparant les propriétés des jeunes et des vieux photons.

- *Comment peut-on faire cela ?*

- Nos spectroscopes nous permettent de détecter des photons émis par des atomes de fer provenant d'une galaxie lointaine. Ce sont de « vieux » photons qui voyagent, disons, depuis douze milliards d'années.

- *C'est une idée difficile à comprendre. On reçoit vraiment des vieilles particules que l'on peut attraper ?*

- Oui. Et en laboratoire, on peut comparer leurs propriétés avec celles de « jeunes » photons émis par un arc électrique avec des électrodes de fer. Résultat : la force électromagnétique n'a pas changé pendant la période qui sépare ces deux générations de particules. De même l'analyse de l'abondance des noyaux légers montre que la force de gravité et la force faible n'ont subi aucune modification depuis la période où l'univers était à 10 milliards de degrés, c'est-à-dire il y a quinze milliards d'années.

- *Comment peut-on expliquer que les forces soient à ce point immuables ?*

- Sur quelles tables de pierre, comme celles de Moïse, ces lois existent-elles ? Se situent-elles « au-dessus » de l'univers, dans ce monde des idées chères aux platoniciens ? Ces questions ne sont pas nouvelles ; on en discute depuis deux mille cinq cents ans. Les progrès de l'astrophysique ont remis ce débat philosophique à l'ordre du jour sans nous permettre pour autant de le résoudre. Tout ce que nous pouvons dire, c'est que, contrairement à l'univers qui n'arrête pas de se modifier, ces lois de la physique, elles, ne changent pas, ni dans l'espace ni dans le temps. Dans le cadre de la théorie du Big Bang, elles ont présidé à l'élaboration de la complexité. De surcroît, les propriétés de ces lois sont encore plus étonnantes. Leurs formes algébriques et leurs valeurs numériques paraissent particulièrement bien ajustées.

- *En quoi sont-elles « ajustées » ?*

- Nos simulations mathématiques le montrent: si elles avaient été très légèrement différentes, l'univers ne serait jamais sorti de son chaos initial. Aucune structure complexe ne serait apparue. Pas même une molécule de sucre.

- *Pour quelle raison ?*

- Supposons que la force nucléaire ait été un petit peu plus forte. Tous les protons se seraient rapidement assemblés en noyaux lourds. Il ne resterait pas d'hydrogène pour assurer au Soleil sa longévité et pour former la nappe aquatique terrestre. La force nucléaire est juste assez intense pour produire quelques noyaux lourds (ceux du carbone, de l'oxygène), mais pas trop pour ne pas éliminer complètement l'hydrogène. Le bon dosage... On peut dire, d'une certaine manière, que la complexité, la vie et la conscience étaient déjà en puissance dès les premiers instants de l'univers, comme inscrites dans la forme même des lois. Non pas en tant que « nécessité » mais en tant que possibilité.

- *N'est-ce pas un raisonnement a posteriori ? Nous constatons aujourd'hui que les lois ont conduit l'évolution jusqu'à l'homme. Cela ne signifie pas qu'elles étaient faites pour cela.*

- C'est la question à mille balles : y a-t-il une « intention » dans la nature ? Il ne s'agit pas d'une question scientifique, mais plutôt d'une question philosophique et religieuse. Personnellement, je suis porté à répondre oui. Mais quelle forme prend cette intention et quelle est cette intention ? Ce sont là des questions qui m'intéressent au plus haut point. Mais je n'ai pas de réponses. D'une façon allégorique, on peut dire, avec beaucoup de guillemets : si la « nature » (ou l'univers, ou la réalité) avait eu l'« intention » d'engendrer des êtres conscients, elle aurait « fait » exactement ce qu'elle a fait. Bien sûr, c'est un raisonnement a posteriori, mais cela ne lui enlève pas son intérêt.

La leçon de la Lune

- *Depuis quand connaît-on l'existence de ces lois de la nature ?*

- Il a fallu de nombreux siècles pour les reconnaître. Les philosophes grecs recherchaient déjà les « éléments premiers » qui avaient présidé, selon eux, à l'élaboration du cosmos. Aristote divisait le monde en deux: le monde « en dessous de la Lune » (le nôtre), soumis au changement, où le bois pourrit et le métal rouille ; et l'espace « au-delà de la Lune », où habitent les corps célestes, parfaits, immuables et éternels.

- *Tout était pour le mieux dans le meilleur des mondes.*

- Cette notion de perfection des corps célestes a longtemps influencé la pensée occidentale. Les taches solaires, visibles à l'oeil nu et connues des Chinois anciens, ne sont jamais mentionnées en Occident avant Galilée. La phrase « je le croirai quand je le verrai » peut également s'inverser: « je le verrai quand je le croirai. » Quand Galilée, avec sa lunette, observe pour la première fois les montagnes de la Lune, tout est remis en question. « La Lune est comme la Terre. La Terre est un astre. Il n'y a pas deux mondes, mais un monde unique régi partout par les mêmes lois. » Newton va plus loin : pour lui, c'est la même force qui fait tomber la pomme et qui retient la Lune en orbite autour de la Terre, ainsi que la Terre autour du Soleil. C'est la gravitation « universelle », qu'il utilisera pour expliquer le mouvement des planètes. Les lois de la physique terrestre s'appliquent au monde tout entier.

- *Mais cela ne faisait qu'une seule force...*

- Au XIXe siècle, on connaissait depuis longtemps la force électrique qui attire le duvet sur l'ambre ; ainsi que la force magnétique qui oriente les aiguilles des boussoles. Le travail de nombreux physiciens a montré qu'il s'agissait en fait d'une seule force nommée électromagnétique, qui se manifeste de façon différente selon les contextes. Au XXe siècle, on a découvert deux nouvelles forces : la force nucléaire et la force faible. On a démontré, vers 1970, que la force faible et la force électromagnétique n'étaient, elles aussi, que des manifestations de la force dite « électrofaible ». Les physiciens aimeraient unifier toutes les forces, mais ce n'est pour l'instant qu'un rêve...

- *On a trouvé deux forces dans notre siècle. Pourquoi n'y en aurait-il pas d'autres ?*

- C'est possible. Le physicien répertorie les forces comme le botaniste les fleurs. Rien ne nous permet de dire que nous avons terminé l'inventaire. Il y a dix ans, on évoquait l'idée d'une cinquième force, mais elle n'a pas résisté à l'analyse.

Les premières minutes

- *Comment ces quatre forces universelles interviennent-elles au début de notre histoire ?*

- Quand la température est très élevée, l'agitation thermique dissocie rapidement toutes les structures qui peuvent se former. A mesure que la température décroît, les forces entrent en jeu par

ordre de puissance. D'abord la force nucléaire : les quarks s'assemblent trois par trois pour former les nucléons (neutrons et protons) quand l'univers a environ 20 microsecondes.

- *Pourquoi trois par trois ?*

- Ces particules s'associent au hasard. Mais certaines combinaisons ne tiennent pas. S'ils s'assemblent deux par deux, les couples qu'ils forment sont instables et se désintègrent rapidement. Seules deux sortes de trios résistent: un assemblage de deux quarks de type « up » et un de type « down », qui forment un proton et deux « down » et un « up », qui forment un neutron. Un peu plus tard, la force nucléaire va inciter ces nouvelles structures à former à leur tour des assemblages de deux protons et deux neutrons, pour composer le premier noyau atomique, celui de l'hélium. La température est alors descendue à 10 milliards de degrés et l'univers a déjà une minute d'âge.

- *Il a fallu une minute pour en arriver au premier noyau atomique*

- Les forces ne peuvent se manifester que dans certaines conditions de température, un peu comme l'eau pour former de la glace. S'il fait trop chaud, elles n'agissent plus. S'il fait trop froid, non plus. Après ces premières minutes, l'univers s'est refroidi, il inhibe à nouveau l'activité de la force nucléaire. La composition de l'univers est alors de 75 % de noyaux d'hydrogène (des protons) et de 25 % de noyaux d'hélium. Sur le plan de l'organisation, il ne se passera rien pendant plusieurs centaines de milliers d'années.

- *Une minute d'agitation, et des centaines de milliers d'années d'attente ! C'est une évolution plutôt saccadée !*

- La complexité n'avance pas d'un pas régulier. Quand la température descend en dessous de 3 000 degrés, la force électromagnétique entre en opération. Elle met les électrons en orbite autour des noyaux et crée ainsi les premiers atomes d'hydrogène et d'hélium. La disparition des électrons libres a pour effet de rendre l'univers transparent : les photons, ces grains de lumière, ne sont plus affectés par la matière du cosmos. Ils errent dans l'espace et se dégradent progressivement en énergie. Ils sont toujours là aujourd'hui, vieilliss et dégradés, constituant le rayonnement fossile... L'évolution fait ensuite une deuxième pause. Il faudra attendre encore cent millions d'années pour qu'elle reparte.

Les premières galaxies

- *Qu'est-ce qui va lui donner le coup de fouet cette fois-ci ?*

- Sous l'action de la force de gravité, la matière qui, jusque-là, était homogène, commence à former des grumeaux. Depuis que les électrons ont été captés par les noyaux, le champ est libre, des structures à grande échelle vont pouvoir se former. Auparavant, toute tentative de concentration de matière était rapidement neutralisée par le jeu des photons sur les électrons. Cette fois, elle va pouvoir se condenser en galaxies..

- *Une fois encore, on ne peut s'empêcher de se demander: mais pourquoi ?*

- Il faut l'avouer, nous connaissons très mal cette période de l'histoire. Les chercheurs anglo-saxons la qualifient d'ailleurs « d'âge noir de la cosmologie ». Les observations du satellite COBE nous ont montré que, à ce moment-là, la matière n'est pas parfaitement homogène et isotherme. Des régions légèrement plus denses que la moyenne jouent alors le rôle de « germes » de galaxies. Leur attraction draine progressivement vers elles la matière environnante. Leur masse va en s'amplifiant. Cet effet « boule de neige » leur permet de s'accroître jusqu'à former les magnifiques galaxies que nous voyons aujourd'hui dans le ciel.

- *Ce phénomène s'est produit partout, au même moment ? Il n'y a donc pas de désert dans l'univers ?*

- L'univers est hiérarchisé en amas de galaxies, en galaxies, en amas d'étoiles et en étoiles individuelles. Notre système solaire, par exemple, appartient à une galaxie, la Voie lactée, composée de centaines de millions d'étoiles, dont l'ensemble forme un disque de 100 000 années-lumière de diamètre.

- *Une poussière dans l'univers...*

- Elle fait partie d'un petit amas local, composé d'une vingtaine d'autres galaxies (dont Andromède et les deux nuages de Magellan), lui-même intégré à un amas plus grand, celui de la Vierge, qui regroupe pour sa part plusieurs milliers de galaxies. Ce super-amas héberge, en son centre, une galaxie géante, cent fois plus grosse que la nôtre, vers laquelle les autres galaxies sont attirées. On parle d'une galaxie cannibale...

- *Charmant...*

- A une échelle supérieure au milliard d'années-lumière, l'univers est extrêmement homogène. Tout est à peu près uniformément peuplé ; il n'y a pas de « désert » et rien ne ressemble plus à une section d'univers qu'une autre section d'univers.

- *A cette époque, l'univers change donc de visage.*

- Environ cent millions d'années après le Big Bang, il ne se présente plus sous la forme de purée homogène, comme dans les premiers temps. Il a la physionomie que nous connaissons : un vaste espace, peu dense, parsemé de ces superbes îles galactiques, un million de fois plus denses que lui. A l'intérieur de celles-ci, la matière se condense sous l'action de la force de gravité et forme des astres. Cela provoque une augmentation de la température. Les astres échappent ainsi au refroidissement général qui se poursuit autour d'eux. Ils se réchauffent, dégagent de l'énergie : les étoiles se mettent à briller. Les plus grosses, cinquante fois plus massives que notre Soleil, épuiseront leur carburant atomique en trois ou quatre millions d'années. Les moins grosses vivront pendant des milliards d'années.

- *Pourquoi ont-elles pris la forme de boules ?*

- Que fait la force de gravité ? Elle attire la matière. Quelle est la configuration dans laquelle tous les éléments sont les plus proches les uns des autres ? Une boule ! C'est la raison pour laquelle les étoiles sont sphériques, comme les planètes, si elles ne sont pas trop petites. A l'intérieur d'un objet céleste de plus de 100 kilomètres de rayon, les forces de gravité prennent le dessus sur les forces chimiques qui donnent à la matière sa rigidité et obligent celle-ci à adopter une forme sphérique : la Lune est ronde, les satellites de Jupiter aussi. En revanche, ceux de Mars, plus petits, ont une gravité insuffisante pour que leur masse rocheuse soit arrondie. Ils ne sont pas sphériques.

- *Mais les galaxies, elles, ne le sont pas. Pourquoi ?*

- C'est leur rotation qui les aplatit et leur donne la forme de disque que nous leur connaissons. Notre Terre elle-même est légèrement aplatie par sa rotation. Et le Soleil aussi.

Pourquoi les étoiles ne tombent pas

- *Pourquoi toutes ces étoiles n'ont-elles pas été attirées les unes par les autres ?*

- Newton s'était posé la question. Puisque les étoiles sont des objets massifs, se disait-il, elles s'attirent mutuellement. Pourquoi ne tombent-elles pas les unes sur les autres ? Si la Lune ne

s'écrase pas sur la Terre, c'est parce qu'elle tourne autour de nous : la force centrifuge, associée à son mouvement, contrebalance la force de gravité. Même chose pour la Terre et le Soleil : c'est la rotation de notre planète autour de l'astre qui l'empêche de s'écraser sur lui. Qu'en est-il des étoiles ? Newton n'a jamais résolu cette énigme.

- *Et quelle est la réponse ?*

- A l'époque de Newton, on ne connaissait pas l'existence des galaxies. Aujourd'hui, on sait que le système solaire tourne autour du centre de notre Voie lactée. C'est ce mouvement qui le retient en orbite et l'empêche, ainsi que les cent milliards d'autres étoiles, de tomber vers le noyau central.

- *Mais qu'est-ce qui empêche alors les galaxies de tomber les unes sur les autres ? Il n'y a pas de centre de l'univers, que l'on sache.*

- Non. La réponse se trouve, cette fois, dans l'expansion de l'univers, dans le mouvement général des galaxies. On observe que celles-ci s'éloignent les unes des autres. La cause de cette impulsion initiale est encore un sujet de spéculation.

- *Pendant combien de temps ce mouvement va-t-il se poursuivre ?*

- On n'a pas de réponse définitive à cette question. Imaginez que vous voyez un caillou dans le bleu du ciel au-dessus de vous. Il y a deux possibilités : ou bien ce caillou est en train de tomber vers vous, ou bien ce caillou s'élève. Dans ce cas, qu'est-ce qui va se passer ? Il y a encore deux possibilités : ou bien il va bientôt retomber sur la Terre, ou alors il va s'arracher à son attraction et ne reviendra jamais au sol. Tout dépend de la vitesse à laquelle il a été lancé. Si celle-ci est inférieure à 11 kilomètres-seconde, il retombera. Sinon, il s'échappera de l'attraction terrestre.

- *Ce serait donc la même chose pour les galaxies ?*

- Elles s'éloignent de nous, mais leur mouvement est ralenti par la gravité qu'elles exercent sur elles-mêmes. Leur attraction mutuelle dépend de leur nombre et de leur masse, c'est-à-dire de la densité de matière cosmique : si celle-ci est faible, les galaxies vont continuer à s'éloigner indéfiniment (c'est le scénario de l'« univers ouvert ») ; si elle est forte, les galaxies vont finir par inverser leur mouvement et revenir les unes vers les autres (c'est le scénario de l'« univers fermé »). Ce sont les deux avenir possibles de l'univers.

- *Et vers lequel penche-t-on ?*

- Vers le premier. L'univers va continuer à s'étendre et à se refroidir indéfiniment. Ce résultat n'est cependant pas définitivement établi. Mais de toute façon, nous savons déjà que l'expansion va durer encore au moins quarante milliards d'années.

SCENE 3

Terre!

Dans le désert spatial, les premières molécules engagent une ronde ininterrompue et engendrent, dans la banlieue d'une modeste galaxie, une planète singulière.

Le creuset des étoiles

- *Un désert infini, avec çà et là des îlots de galaxies fragmentées en étoiles... Un milliard d'années après le Big Bang, la purée de matière s'est organisée et présente une physionomie plus reconnaissable. Tout cela semble stable, et l'univers aurait très bien pu en rester là. Pourtant, une fois encore, l'évolution va se remettre en marche. Pourquoi ?*

- Ce sont les premières étoiles qui reprennent le flambeau. Alors que, partout ailleurs, l'univers poursuit son refroidissement, elles connaissent, elles, une élévation de température considérable. Elles deviennent des creusets pour l'élaboration de la matière et vont lui faire franchir une nouvelle étape de l'évolution cosmique. Les assemblages des toutes premières secondes de l'univers vont se rejouer dans les étoiles.

- *Elles se comportent en quelque sorte comme des petits Big Bang locaux ?*

- En un certain sens. Le réchauffement est provoqué par la contraction de l'étoile sous son propre poids. Quand la température atteint environ 10 millions de degrés, la force nucléaire « s'éveille » à nouveau. Comme dans le Big Bang, les protons se combinent pour former de l'hélium.

- *L'univers des origines, on s'en souvient, s'était arrêté à ce stade-là...*

- Ces réactions nucléaires dégagent une grande quantité d'énergie dans l'espace sous forme de lumière. L'étoile brille. Notre Soleil « carbure » ainsi à l'hydrogène depuis 4,5 milliards d'années. Les étoiles plus massives brillent beaucoup plus et épuisent leur hydrogène en quelques millions d'années. Alors l'étoile reprend sa contraction. Sa température monte jusqu'à dépasser les 100 millions de degrés. L'hélium, cendre de l'hydrogène, devient à son tour un carburant. Un ensemble de réactions nucléaires va alors permettre des combinaisons inédites : trois héliums s'associent en carbone et quatre héliums en oxygène.

- *Mais pourquoi ces réactions n'avaient-elles pas pu se produire au moment du Big Bang ?*

- La rencontre et la fusion de trois héliums est un phénomène très rare. Il faut beaucoup de temps pour y arriver. Dans le Big Bang, la phase d'activité nucléaire n'a duré que quelques minutes. C'est trop court pour fabriquer une quantité importante de carbone. Cette fois, dans les étoiles, les assemblages vont pouvoir se jouer sur des millions d'années.

- *Chaque étoile va donc se mettre à fabriquer du carbone et de l'oxygène ?*

- Pendant les millions d'années suivants, le centre des étoiles se peuple effectivement en noyaux de carbone et d'oxygène. Ces éléments vont jouer un rôle fondamental dans la suite de l'histoire. Le carbone en particulier, avec sa configuration atomique particulière, se prête facilement à la fabrication de longues chaînes moléculaires qui interviendront dans l'apparition de la vie. L'oxygène entrera dans la composition de l'eau, un autre élément indispensable à la vie.

Poussières d'étoiles

- *Et pendant ce temps, l'étoile continue de se contracter ?*

- Le cœur de l'étoile s'affaisse sur lui-même, tandis que son atmosphère se dilate rapidement et passe au rouge. Elle devient une géante rouge. Quand elle dépasse le milliard de degrés, elle engendre des noyaux d'atomes plus lourds, ceux des métaux, le fer, le zinc, le cuivre, l'uranium, le cuivre, le plomb, l'or... jusqu'à l'uranium, composé de 92 protons et de 146 neutrons, et même un peu au-delà. La centaine d'éléments atomiques que nous connaissons dans la nature sont ainsi produits dans les étoiles.

- *Cela aurait pu continuer longtemps.*

- Non, car maintenant le cœur de l'étoile s'effondre sur lui-même. Les noyaux des atomes entrent alors en contact et rebondissent. Cela provoque une gigantesque onde de choc qui entraîne l'explosion de l'astre. C'est ce que l'on appelle une supernova, un éclair qui illumine le ciel comme un milliard de soleils. Les précieux éléments que l'étoile a produits en son sein tout au long de son existence sont alors propulsés dans l'espace, à des dizaines de milliers de kilomètres par seconde. Comme si la nature avait extrait les plats du four au bon moment, juste avant qu'ils ne soient brûlés.

- *En faisant sauter le four !*

- C'est ainsi que meurent les étoiles massives. Elles laissent cependant sur les lieux un résidu stellaire contracté, qui deviendra une étoile à neutrons ou un trou noir. Les petites étoiles, comme le Soleil, s'éteignent plus doucement. Elles évacuent leur matière sans violence et se transforment en naines blanches. Elles se refroidissent lentement et se transforment en cadavres célestes sans rayonnement.

- *Que deviennent ces atomes échappés des étoiles mourantes ?*

- Ils errent au hasard dans l'espace interstellaire et se mêlent aux grands nuages éparpillés tout au long de la Voie lactée. L'espace devient maintenant un véritable laboratoire de chimie. Sous l'effet de la force électromagnétique, les électrons se mettent en orbite autour des noyaux atomiques pour former des atomes. A leur tour, ceux-ci s'associent en molécules de plus en plus lourdes. Certaines regroupent plus d'une dizaine d'atomes. L'association de l'oxygène et de l'hydrogène va donner de l'eau. L'azote et l'hydrogène forment l'ammoniac. On y trouve même la molécule d'alcool éthylique, celle de nos boissons alcoolisées, composée de 2 atomes de carbone, 1 atome d'oxygène et 6 atomes d'hydrogène. Ce sont les mêmes atomes qui plus tard, sur Terre, se combineront pour former des organismes vivants. Nous sommes vraiment faits de poussières d'étoiles.

Le cimetière des astres

- *A cette époque-là, il n'y a dans l'univers que des gaz, des boules de feu stellaires, mais pas encore de matières solides.*

- Elles arrivent. En se refroidissant, certains atomes issus des étoiles, comme le silicium, l'oxygène, le fer, vont s'associer pour former les premiers éléments solides : des silicates. Ce sont

des grains minuscules, de dimensions inférieures au micron (un millième de millimètre) qui contiennent des centaines de milliers d'atomes. La force de gravité agit sur les nuages interstellaires et les amène à s'effondrer sur eux-mêmes, provoquant la génération de nouvelles étoiles. Certaines d'entre elles auront un cortège planétaire comme le nôtre. Et ces planètes contiendront en leur sein les atomes engendrés par les étoiles défuntes.

- *Il faut donc que les étoiles meurent pour que d'autres naissent. L'apparition du neuf exige la mort du vieux, déjà dans l'espace !*

- Les atomes de notre biosphère ont forcément été créés dans les creusets d'étoiles, et libérés dans l'espace à leur mort. Ces générations entremêlées d'étoiles et d'atomes débutent quelques centaines de millions d'années après le Big Bang. Elles se poursuivront encore pendant des dizaines de milliards d'années. L'espace devient une sorte de forêt d'astres : il y en a des grands, des petits, des jeunes et des vieux qui meurent, se désagrègent et enrichissent le terreau pour nourrir de nouvelles pousses. Il se forme encore en moyenne trois étoiles par année dans notre galaxie. C'est ainsi qu'assez tardivement, il y a 4,5 milliards d'années seulement, une étoile qui nous intéresse particulièrement, notre Soleil, naîtra à la périphérie d'une galaxie spirale, la Voie lactée.

- *Pourquoi spirale ?*

- C'est la rotation rapide des étoiles autour de son centre qui a donné à notre galaxie sa forme de disque aplati. L'origine des bras spiraux est due à des phénomènes gravitationnels, mais on les connaît mal. La Voie lactée, cette grande arche lumineuse qui traverse la nuit étoilée, est l'image de toutes ces étoiles étalées le long du disque de la galaxie qui tournent autour de son centre : notre système solaire accomplit un tour complet en 200 millions d'années environ.

Une étoile ordinaire

- *Qu'est-ce qui distingue notre Soleil des autres astres ?*

- C'est une étoile tout à fait moyenne dans notre galaxie. Sur cent milliards d'étoiles, au moins un milliard lui ressemble à s'y méprendre. Quand le Soleil naît sur un bras extérieur de la Voie lactée, il y a 4,5 milliards d'années, il est beaucoup plus gros qu'aujourd'hui et il est rouge. Petit à petit, il se contracte, devient jaune et sa température intérieure augmente. Après une dizaine de millions d'années, il commence à transformer son hydrogène en hélium, comme une bombe H géante, mais dont le débit est contrôlé. Ce phénomène de fusion nucléaire va lui assurer sa stabilité et sa luminosité.

- *Cette étoile banale a quand même réussi à s'attirer des planètes et à constituer un système autour d'elle.*

- Il s'agit probablement d'un phénomène assez général dans la galaxie, bien qu'avec nos moyens limités nous n'en ayons encore détecté que quelques cas. La formation de planètes comme la Terre ne peut être que relativement récente. Les corps solides de notre cortège planétaire sont constitués surtout d'oxygène, de silicium, de magnésium et de fer; des atomes se sont formés progressivement par l'activité de générations d'étoiles successives. Il a fallu plusieurs milliards d'années pour qu'ils s'accumulent en quantité suffisante dans les nuages interstellaires. On a mesuré l'âge de la Lune ainsi que celui de nombreuses météorites. Les valeurs sont exactement les mêmes : 4,56 milliards d'années. Le Soleil et ses planètes sont apparus en même temps, à une période où notre galaxie avait déjà plus de huit milliards d'années.

- *Comment les planètes se forment-elles ?*

- Nous ne le savons pas très bien. Les poussières inter-stellaires se disposent autour des embryons d'étoiles et forment des disques analogues aux anneaux de Saturne. Puis, peu à peu, ces petits corps s'assemblent pour constituer des structures rocheuses aux dimensions toujours croissantes. Les collisions sont fréquentes. Les pierrailles s'entrechoquent, se brisent ou se capturent. Certains blocs, plus massifs, attirent les autres et finissent par s'agglomérer en planètes. Les innombrables cratères de la Lune et de beaucoup d'autres corps dans le système solaire gardent la trace de ces chocs violents qui ont augmenté leur masse. Ceux-ci dégagent une grande quantité de chaleur, à laquelle s'ajoute l'énergie due à la radioactivité de certains atomes.

- *Tout cela était encore en fusion ?*

- A leur naissance, les grandes planètes sont des boules de feu incandescentes. Plus la planète est massive, plus la chaleur est importante, et plus il faut de temps pour l'évacuer. Pour les très petits corps, comme les astéroïdes, cela se passe très rapidement. La Lune et Mercure ont dissipé leur chaleur initiale dans l'espace en quelques centaines de millions d'années. Depuis longtemps, ces astres n'ont plus de feu intérieur et donc plus d'activité géologique. La Terre, elle, a demandé davantage de temps. Aujourd'hui, elle garde en son coeur un brasier qui provoque des mouvements de convection de la pierre encore fluide. Ces phénomènes sont à l'origine des déplacements de continents, des éruptions volcaniques et des tremblements de terre. Cette instabilité géologique est d'ailleurs précieuse : elle entraîne des variations du climat, qui joue un rôle important dans l'évolution des êtres vivants.

De l'eau liquide

- *Qu'est-ce qui distingue notre planète des autres ?*

- Elle est la seule à posséder de l'eau liquide. De l'eau, il y en a beaucoup dans le système solaire : sous forme de glace, dans les satellites de Jupiter et de Saturne où la température est très basse ; et sous forme de vapeur, dans l'atmosphère torride de Vénus, plus proche du Soleil. L'orbite de la Terre la maintient à une distance adéquate pour que l'eau reste liquide.

- *Mars, également, possédait de l'eau liquide, comme semblent le montrer ses canaux, ces oueds asséchés que les sondes spatiales ont révélés.*

- Vraisemblablement, il y a au moins un milliard d'années, des fluides se sont écoulés à sa surface. Il n'y en a plus depuis longtemps. Pourquoi ? On ne sait pas très bien. A cause de sa petite masse, son activité tectonique est maintenant très faible.

- *Mais d'où vient l'eau de la Terre ?*

- Revenons à ces torrents de matière projetés dans l'espace à la mort des étoiles. Des poussières se forment, sur lesquelles des glaces d'eau et de gaz carbonique se déposent. Quand ces poussières s'agglutinent pour donner naissance aux planètes, les glaces se volatilisent et s'échappent au-dehors sous forme de geysers. De surcroît, des comètes largement constituées de glaces vont tomber sur elles.

- *Et la Terre va conserver cette eau ?*

- Son champ de gravité est suffisant pour retenir ces molécules d'eau à sa surface, et sa distance au Soleil lui permet de la maintenir partiellement liquide. Dans ses premiers temps, elle est bombardée en permanence par les rayons ultraviolets émis par le tout jeune Soleil, son atmosphère est parcourue par d'immenses cyclones, de puissants éclairs la zèbrent, comme sur Vénus aujourd'hui.

Le don de l'eau

- *Pourquoi alors Vénus n'a-t-elle pas connu la même histoire ?*

- On ne le sait pas vraiment. Les deux planètes se ressemblent beaucoup. Elles ont pratiquement la même masse et la même quantité de carbone... Sur Vénus, cependant, ce carbone se trouve dans l'atmosphère, tandis que sur la Terre il est au fond des océans sous forme de calcaires. Les compositions atmosphériques initiales des deux planètes étaient pourtant largement semblables.

- *D'où vient alors la différence ?*

- On pense que l'eau liquide, à la surface de notre planète, a joué un rôle crucial. Grâce à cette nappe aquatique, le gaz carbonique de l'atmosphère initiale a pu se dissoudre et se déposer au fond des océans sous forme de carbonates. Vénus est un peu plus proche du Soleil que nous. La différence de température est vraisemblablement responsable de l'absence initiale d'eau liquide. Son enveloppe de gaz carbonique crée un immense effet de serre qui maintient sa température à 500 degrés. Ces deux planètes presque identiques ont donc évolué de manière très différente.

- *Sans l'eau liquide, il n'y aurait pas de suite à cette histoire.*

- Je le pense. L'eau liquide a joué un rôle primordial dans l'apparition de la complexité cosmique. Dans la nappe océanique, à l'abri des rayonnements ionisants de l'espace, une intense chimie va se mettre en oeuvre. Elle produit, par rencontres et associations, des structures moléculaires de plus en plus importantes. Dans ces premières étapes de l'évolution prébiotique, le carbone, né des géantes rouges, va jouer un rôle de premier plan.

Une gueule d'atmosphère

- *Pourquoi un tel succès du carbone ?*

- C'est l'atome idéal pour les constructions moléculaires - il possède quatre crochets avec lesquels il joue un rôle de charnière entre de nombreux atomes. Les liens qu'il crée sont suffisamment souples pour se prêter au jeu des associations et des dissociations rapides, indispensables aux phénomènes vitaux. Le silicium possède également quatre crochets, mais les liens qu'il noue sont beaucoup plus rigides. Il crée des structures stables comme le sable, mais ne saurait se plier aux contraintes du métabolisme.

- *Il est donc absurde d'imaginer qu'il y a, quelque part dans l'univers, des formes de vie à base de silicium ?*

- C'est très, improbable. Dans notre galaxie comme dans les galaxies voisines, les molécules de plus de quatre atomes identifiées au radiotélescope contiennent toujours du carbone et jamais de silicium. Cette observation suggère fortement que, si la vie existe ailleurs, elle est également construite avec du carbone.

- *Une fois l'atmosphère terrestre constituée, la vie ne va pas tarder, n'est-ce pas ?*

- A la naissance de la Terre, il y a 4,5 milliards d'années, les conditions ne sont guère favorables. La température du sol est trop élevée. De plus, à cette époque, l'espace fourmille de petits corps qui seront plus tard absorbés par les astres plus massifs (le système solaire a fait son propre ménage). Le bombardement de météorites et de comètes est d'une extrême violence. Les études de la comète de Halley, lors de son dernier passage en 1986, ont montré la présence d'une quantité importante d'hydrocarbures. Les collisions du Premier milliard d'années ont vraisemblablement apporté à la surface terrestre, en plus de l'eau, une quantité importante de molécules complexes. Ces comètes, considérées dans les siècles passés comme annonciatrices de mort et de destruction, ont probablement joué un rôle bénéfique dans l'apparition de la vie. Moins de un milliard d'années après la naissance de la Terre, l'Océan foisonnera d'organismes vivants dont les premières algues bleues.

La grosseur de l'univers

- *Fin du premier acte, le plus long, le plus lent. Nous sommes arrivés sur Terre, après plusieurs milliards d'années d'histoire de l'univers. Sur cette planète, dès lors, les choses vont considérablement s'accélérer.*

- Les assemblages moléculaires vont se réaliser cette fois avec des centaines, des milliers, des millions d'atomes. Depuis le Big Bang, la matière a gravi les échelons de la pyramide de la complexité. Seule une fraction infime des éléments qui ont atteint un palier réussit à rejoindre le palier suivant. Seule une minuscule partie des Protons du début de l'histoire ont formé des atomes lourds. Seul un tout petit nombre de molécules simples s'est agencé en molécules complexes, et seule une infime partie de celles-ci participera aux structures de la vie.

- *En même temps, il semble qu'il y ait eu une grande uniformité dans ce premier acte de l'évolution.*

- Oui. L'univers a édifié les mêmes structures partout dans l'espace. Nous n'avons jamais observé, dans les étoiles et dans les galaxies les plus lointaines, un seul atome qui n'existe pas en laboratoire,

- *Ce qui suggérerait que la même histoire ait pu se dérouler ailleurs, et que la vie existerait sur d'autres planètes.*

- On remarque que partout les quarks se sont associés en protons et neutrons, que ceux-ci se sont associés en atomes, ceux-ci en molécules. Et partout les nuages de matière interstellaire s'effondrent pour donner des étoiles. On peut imaginer que certaines d'entre elles possèdent des cortèges de planètes, dont quelques-unes recèlent de l'eau liquide propice à l'apparition de la vie. Tout cela est plausible, mais encore non démontré.

La journée de la Terre

- *Le temps également s'est contracté : plus on avance dans notre histoire, plus l'évolution va vite.*

- Oui. Si l'on ramène les 4,5 milliards d'années de notre planète à une seule journée, en supposant que celle-ci soit apparue à 0 heure, alors la vie naît vers 5 heures du matin et se développe pendant toute la journée. Vers 20 heures seulement viennent les premiers mollusques. Puis, à 23 heures, les dinosaures qui disparaissent à 23 h 40, laissant le champ libre à l'évolution rapide des mammifères. Nos ancêtres ne surgissent que dans les cinq dernières minutes avant 24 heures et voient leur cerveau doubler de volume dans la toute dernière minute. La révolution industrielle n'a commencé que depuis un centième de seconde !

- Et nous sommes entourés de gens qui croient que ce qu'ils font depuis cette fraction de seconde peut durer indéfiniment. On ne peut s'empêcher de voir une logique dans le déroulement de ce premier acte, une sorte de pulsion de la complexité, qui lance l'univers vers des organisations successives, emboîtées comme des poupées russes, du chaos à l'intelligence. Un sens, oserait-on dire...

- Force nous est de constater que notre univers a transformé son état informe du début en un ensemble de structures de plus en plus organisées. Cette métamorphose pourrait s'expliquer par l'action des forces de la physique sur une matière en refroidissement. Sans l'expansion de l'univers, sans le grand vide interstellaire, il n'y aurait pas de deuxième acte à cette histoire. Mais cela ne fait que reculer l'interrogation d'un cran et nous ramène à nos réflexions sur les lois. La question « pourquoi y a-t-il des lois plutôt que pas de lois » me paraît être dans la séquence logique de la fameuse question de Leibniz : « Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ? »

- L'apparition de la vie était-elle inscrite dans le déroulement de ce scénario ?

- On disait dans le passé que la probabilité d'apparition de la vie était aussi faible que celle de voir un singe placé devant une machine écrire l'oeuvre de Shakespeare. Aujourd'hui, on a de nombreuses raisons de penser que l'apparition de la vie sur une planète appropriée est loin d'être improbable. Quoi qu'il en soit, probable ou improbable, on peut affirmer que, dès les premiers temps du cosmos, la possibilité (mais non pas la nécessité) d'apparition de la vie, dont Joël de Rosnay va conter l'aventure, était inscrite dans la forme même des lois de la physique.

ACTE 2

La vie

SCENE 1

La soupe primitive

Pas trop près ni trop loin d'un astre opportun, la Terre s'isole derrière son voile et prend le relais des étoiles pour faire évoluer la matière.

La vie née de la matière

- *L'idée d'une continuité entre l'évolution de l'univers et celle de la vie est récente. Pendant des siècles, on a séparé rigoureusement la matière et le vivant, comme s'il s'agissait de deux mondes différents.*

- **Joël de Rosnay** : La vie est capable de se reproduire, d'utiliser l'énergie, d'évoluer, de mourir... La matière, elle, est inerte, immobile, incapable de se reproduire. En regardant, d'un côté, le monde vivant et, de l'autre, le monde minéral, on ne pouvait s'empêcher de les considérer comme opposés. Mais jadis, on ne savait pas que les molécules étaient faites d'atomes, ni que les cellules étaient faites de molécules. Alors, on expliquait que la vie était apparue sur Terre par la volonté des dieux ou par un hasard extraordinaire. C'était en fait une manière de cacher son ignorance.

- *Pas de hasard donc, dans ce deuxième acte ?*

- Récemment encore, certains scientifiques parlaient d'un « hasard créateur » : selon eux, dans la Terre primitive, certaines substances chimiques se seraient combinées accidentellement pour donner les premiers organismes, ce qui en ferait un événement uniquement terrestre. Aujourd'hui, cette hypothèse n'est plus de mise.

- *Et l'on peut affirmer sans réserve que la vie est née de la matière ?*

- Depuis quelques années, de nombreuses découvertes et expériences ont confirmé cette grande idée émise dans les années 1950 : la vie résulte de cette longue évolution de la matière, qui, depuis les premiers assemblages du Big Bang, se poursuit, sur Terre, avec les molécules primitives, les premières cellules, les végétaux, les animaux. Ce cheminement du vivant, qui a duré des centaines de millions d'années, est donc bien une étape de la même histoire, celle de la complexité. Après la naissance de la Terre, les molécules vont s'organiser en macromolécules, celles-ci en cellules, les cellules en organismes. La vie résulte de l'interaction et de l'interdépendance de ces nouveaux constituants.

La nécessité, sans le hasard

- *Pourrait-on dire alors, comme le suggère Hubert Reeves, que l'apparition de la vie était tout à fait probable ?*

- Jacques Monod parlait de « nécessité » : dans des conditions données, les lois qui organisent la matière engendrent nécessairement des systèmes de plus en plus complexes. On peut considérer que, si on la compare à un caillou, l'apparition d'un organisme vivant est effectivement improbable. Mais elle ne l'est pas si on la considère dans la durée, dans le fil de notre histoire.

- *Ce qui suggère que la scène que nous allons décrire a pu se dérouler ailleurs, dans l'univers.*

- C'est juste. Imaginons une planète située à une distance d'un astre appropriée pour produire de la vie. Imaginons qu'elle est assez grosse pour retenir une atmosphère dense, composée d'hydrogène, de méthane, d'ammoniac, de vapeur d'eau et de gaz carbonique. Imaginons que le refroidissement de cette planète provoque un dégazage interne et une condensation qui produit de l'eau liquide. Imaginons encore que les synthèses chimiques qui se jouent dans son atmosphère contribuent à accumuler dans cette eau des molécules qui soient protégées des ultraviolets. Toutes ces conditions ne sont pas exceptionnelles et peuvent être réunies dans de nombreuses régions de l'univers. Eh bien ! il y a, dans ce cas, une forte probabilité d'apparition de systèmes vivants. C'est la raison pour laquelle de nombreux scientifiques, tel Hubert Reeves, pensent que la vie a pu apparaître ailleurs, dans notre galaxie ou dans une autre.

- *La nécessité, sans le hasard.*

- Oui. Toute planète qui possède de l'eau et se trouve à une distance optimale d'une étoile chaude a la possibilité d'accumuler des molécules complexes et des petits globules qui échangeront des substances chimiques avec leur milieu. De nécessité en nécessité, l'évolution chimique aboutit à des êtres vivants rudimentaires.

Recette pour faire une souris

- *La vie qui surgit de la matière, c'est un peu ce que l'on disait autrefois en parlant de génération spontanée. Nos ancêtres n'avaient donc pas complètement tort...*

- C'est vrai. Mais ils pensaient que la vie naissait, comme ça, spontanément, de la matière en décomposition. Que les vers surgissent de la boue, et les mouches de la viande avariée. Au xvii^e siècle, un célèbre médecin a même donné la recette pour faire des souris : vous prenez des grains de blé et une chemise sale, bien imprégnée de sueur humaine, vous placez le tout dans une caisse, et vous attendez vingt et un jours. Simple non ? Et puis, grâce aux tout premiers microscopes, on découvrit l'existence d'organismes très petits, des levures, des bactéries qui prolifèrent dans les substances en décomposition. Alors on a affirmé que la vie naissait en permanence de la matière sous une forme microscopique.

- *Ce n'était pas complètement stupide.*

- L'idée de base était juste, mais le raisonnement était faux : la vie ne naît pas spontanément, elle a demandé beaucoup de temps pour apparaître. En 1862, Pasteur montre que des germes microbiens sont présents partout dans l'environnement, non seulement dans l'air, mais aussi sur nos mains, sur les objets. Les minuscules organismes que l'on observe dans les bouillons de culture résultent donc d'une contamination. Pasteur a concocté un bouillon de betteraves, de légumes, de viande ; il l'a enfermé dans un ballon avec un très long col en forme de cygne pour l'isoler de l'air extérieur, il a fait bouillir cette soupe pour la stériliser. Aucune vie n'est jamais apparue dans sa cornue.

- *CQFD : la vie ne peut surgir spontanément.*

- Oui. Mais ce faisant, il a renvoyé le problème de l'origine dans les limbes, où il restera encore longtemps. Car, à cause de lui, on en a conclu que la vie ne pouvait pas naître de la matière inerte, qu'elle ne pouvait venir que... de la vie. Comment alors expliquer sa toute première apparition ? Il ne restait que trois solutions : une intervention divine, mais ce n'était plus de la science ; le hasard, qui s'apparente à un miracle, hypothèse difficile à admettre ; ou alors une origine extraterrestre : des germes de vie auraient été apportés par des météorites, ce qui ne réglait en rien la question.

L'intuition de Darwin

- *On s'est quand même résigné à établir un pont entre la matière et la vie.*

- Oui. Il fallait dépasser le blocage introduit par Pasteur et comprendre que l'inerte a engendré le vivant non pas « spontanément » mais graduellement, pendant des milliards d'années. C'est Darwin qui a proposé cette notion fondamentale : la durée.

- *Mais il parlait de l'évolution des espèces animales.*

- Pas seulement. Darwin a certes découvert le principe de l'évolution des espèces vivantes : de la première cellule jusqu'à l'homme, les animaux descendent les uns des autres en se modifiant au fil du temps par des variations successives et par une sélection naturelle. Mais, on l'oublie trop souvent, il suggérait aussi qu'avant même l'apparition de la vie et la naissance des premières cellules, la Terre primitive devait avoir connu une évolution des molécules.

- *Une belle intuition !*

- Oui. Il avait même compris pourquoi il était difficile de prouver cette affirmation et de l'observer dans la nature : s'il existait aujourd'hui dans une petite mare des molécules susceptibles d'évoluer, expliquait-il, elles échoueraient, parce que les espèces vivantes actuelles les détruiraient. C'est un jugement très précurseur: une fois apparue, la vie a en effet tout envahi, elle a mangé ses propres racines et empêché que d'autres types d'évolution puissent se poursuivre simultanément.

La poule et l'oeuf

- *Comment alors peut-on prouver que la vie « descend » bien de la matière ?*

- En retraçant cette évolution en laboratoire. Nous connaissons maintenant presque toutes les étapes qui ont mené des molécules de la Terre primitive aux premiers êtres vivants, et nous pouvons partiellement les reproduire dans nos tubes à essai. A la fin du XIXe siècle, un chercheur avait déjà créé un choc en réussissant à fabriquer l'urée, un composé de la vie, assemblage de carbone, d'hydrogène et d'azote. Mais cela n'avait pas suffi pour tuer le vieux préjugé selon lequel la vie ne pouvait naître que de la vie.

- *C'est l'histoire de la poule et de l'oeuf.*

- Exactement. Ce cercle vicieux a été cassé par deux chercheurs, le biochimiste soviétique Alexandr Oparine et l'Anglais John Haldane. Les conditions de la Terre primitive, ont-ils avancé, étaient très différentes de celles d'aujourd'hui ; l'atmosphère ne contenait ni azote ni oxygène, mais

un mélange inhospitalier d'hydrogène, de méthane, d'ammoniac, de vapeur d'eau, propice à l'apparition des molécules complexes. Dans les années 1950, le Français Teilhard de Chardin, précurseur lui aussi, reprend l'idée esquissée par Darwin d'une évolution de la matière, et parle d'une « pré-vie », étape intermédiaire entre l'inerte et le vivant qui aurait pu se produire à l'époque de la Terre primitive.

- *Il restait encore à le prouver.*

- Ce qui fut fait en 1952 par Stanley Miller, un jeune chimiste de 25 ans. Pourquoi ne pas reconstituer en laboratoire ces conditions d'avant la vie ? s'est-il dit. Il a alors tenté une expérience en cachette, pour ne pas s'exposer aux railleries de ses collègues. Dans un ballon, il a mis les gaz de la Terre primitive, du méthane, de l'ammoniac, de l'hydrogène, de la vapeur d'eau, plus un peu de gaz carbonique. Il a simulé l'océan en remplissant le ballon d'eau, chauffé le tout pour donner de l'énergie et provoqué des étincelles en guise d'éclairs pendant une bonne semaine. Une substance rouge orangé est alors apparue au fond de son ballon ; elle comportait des acides aminés, ces molécules qui sont les composants de la vie ! Personne n'avait osé imaginer qu'elles puissent se fabriquer à partir d'éléments aussi simples. Ce fut la stupeur dans le monde scientifique. On venait de jeter le premier pont entre la matière et le vivant.

La planète des pâquerettes

- *Il a donc fallu du temps pour que l'on admette cette continuité de l'univers à la vie. Encore fallait-il ensuite en retracer les grandes étapes.*

- Trois sciences ont tenté de le faire : la chimie, en simulant en laboratoire les principales transformations ; l'astrophysique en recherchant dans l'univers des traces de la chimie organique ; la géologie en cherchant les fossiles de la vie sur Terre. Tout cela a permis d'imposer l'idée que les premiers composés du vivant résultent de la combinaison de certaines molécules simples qui se trouvaient sur la Terre lors de sa formation, il y a 4,5 milliards d'années.

- *Le cocktail chimique de la Terre primitive, son eau liquide, son atmosphère particulière ont bénéficié de la proximité du Soleil. Nous étions « à la bonne distance » de l'astre, dit-on, ce qui ne veut pas dire grand-chose...*

- Assez près, en effet, pour recevoir ses rayons infrarouges et ultraviolets susceptibles de déclencher des réactions chimiques, et assez loin pour que les produits fabriqués ne brûlent pas. Cette « bonne distance » est en fait une manière de parler de l'équilibre qui s'est établi sur la Terre à cette époque-là. Imaginons, comme le propose l'Anglais James Lovelock, une petite planète peuplée par des pâquerettes blanches et des pâquerettes noires. Les blanches réfléchissent la lumière du soleil, et tendent à refroidir la température de leur environnement ; les noires, au contraire, absorbent la lumière solaire et réchauffent leur milieu.

- *Elles sont donc en compétition.*

- Exactement. Au départ, la planète est très chaude. Les pâquerettes ne résistent pas et meurent en grand nombre. Quelques blanches, regroupées dans un petit système local, refroidissent leur environnement par leur simple présence et survivent. Plus la température baisse dans cette région, plus elles prolifèrent et gagnent du terrain. Au bout d'un certain temps, elles occupent presque toute la surface de la planète, qui devient en majorité blanche. Mais du coup, la température baisse, elles commencent à mourir en quantité. Ce sont maintenant les noires survivantes qui ont un avantage :

en réchauffant leur milieu, elles prennent le dessus. Le système repart dans l'autre sens, jusqu'à ce qu'il fasse de nouveau trop chaud...

- *Cela peut continuer longtemps.*

- Non. Car au fil du temps, par un jeu de naissances et de morts, un équilibre s'instaure, dans un patchwork de blanches et de noires qui impose une température optimale pour la survie de l'ensemble. Le jeu des surfaces des unes et des autres agit comme un thermostat. S'il se produit un coup de chaud pour des raisons quelconques, le système va se stabiliser au bout d'un certain temps.

L'aube de la vie

- *Quel rapport avec la Terre primitive ?*

- L'histoire de nos pâquerettes, c'est celle de la vie sur la Terre. Si la distance entre le Soleil et la Terre nous semble aujourd'hui la « bonne » pour le développement de la vie, ce n'est pas à cause d'un heureux hasard ; mais bien parce que, en réalité, les premiers composants de la vie ont adapté la température au niveau le plus compatible avec leur survie et leur prolifération.

- *Une sorte d'auto-régulation. Comment ces composants se sont-ils agencés ?*

- Nous sommes à l'aube de la Terre, il y a environ quatre milliards d'années. Notre planète possède un noyau de silicates, une croûte de carbone, une atmosphère constituée par notre mélange gazeux: méthane, ammoniac, hydrogène, vapeur d'eau et gaz carbonique. Sous l'effet des ultraviolets solaires et des violents éclairs, ces molécules de gaz qui flottent autour de la planète se cassent en morceaux, elles se dissocient, et retombent en éléments plus complexes : les premières molécules, que l'on appelle « organiques » parce qu'elles entrent aujourd'hui dans la composition des êtres vivants. Par exemple, les atomes de carbone, d'azote, d'hydrogène et d'oxygène, jusque-là associés en méthane, en ammoniac et en eau, s'assemblent pour constituer des acides aminés.

- *Hubert Reeves remarquait déjà cette bonne fortune du carbone dans l'évolution.*

- Il possède en effet une géométrie qui lui donne la capacité de s'agencer de multiples façons avec d'autres atomes pour former soit des structures stables, soit des molécules très réactives, soit de longues chaînes organiques. Il peut aussi conduire des électrons d'un bout à l'autre de ces chaînes, ce qui préfigure, d'une certaine manière, les réseaux nerveux et les réseaux de communications électroniques inventés par l'homme. Les molécules du vivant sont donc des assemblages d'atomes de carbone et d'atomes d'oxygène, d'hydrogène, d'azote, de phosphore et de soufre. Rien de plus. Dès que ces molécules naissent dans l'atmosphère, elles tombent en pluie dans l'océan où elles se trouvent protégées.

- *Pendant combien de temps cela va-t-il durer ?*

- Les molécules organiques vont pleuvoir pendant plus de 500 millions d'années, avec les averses résultant de la condensation de la vapeur d'eau dans les couches froides de l'atmosphère. Ainsi, dès cette époque, se déterminent deux caractéristiques essentielles du monde vivant: sa composition chimique - tous les organismes sont faits de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote - et sa source d'énergie le Soleil.

Les pluies organiques

- *De telles pluies se sont sans doute produites sur d'autres planètes ?*

- Hubert Reeves l'a raconté, les astrophysiciens ont découvert l'existence de molécules organiques un peu partout dans l'univers. Depuis quinze ans, ils en ont identifié environ soixante-dix, ce qui montre que cela n'a pas été exceptionnel dans l'univers. Il y a 4,5 milliards d'années, il y avait une forte probabilité pour qu'elles se forment.

- *Les premiers éléments de la vie sont donc, d'une certaine manière, tombés du ciel.*

- Oui. Dans la pluie ininterrompue de molécules qui arrose la Terre, il y a des acides aminés, des acides gras, les précurseurs des lipides. Deux molécules, le formaldéhyde et l'acide cyanhydrique, semblent avoir joué un rôle important à cette époque: soumis aux ultraviolets, ces deux gaz donnent en effet naissance à deux des quatre « bases » qui composeront plus tard l'ADN, support de l'hérédité. Il y a donc déjà, dans ce gigantesque bouillon de culture qu'est la planète primitive, deux des quatre « lettres » du code génétique qui caractérise tous les êtres vivants.

- *Mais, comme dans le chaos initial du Big Bang, tout est mélangé.*

- C'est effectivement une soupe, composée de molécules très diverses. Et comme dans le potage aux lettres d'Hubert Reeves, ces nouvelles lettres vont maintenant s'assembler pour former des mots, les chaînes d'acides aminés, qui vont s'assembler par centaines pour composer des phrases, les protéines. Cette fois, ce sont les molécules qui poursuivent l'oeuvre de la complexité.

- *Qu'est-ce qui aurait pu faire échouer ces premières synthèses ?*

- La vie elle-même, si elle avait existé auparavant. Ou la chaleur et les ultraviolets, s'ils avaient été trop intenses. L'atmosphère de la Terre a non seulement engendré ces molécules complexes, mais elle les a protégées en leur servant de couvercle. Elles auraient été perdues si elles étaient restées à l'air libre. Plus tard, les premières cellules se serviront au contraire de l'énergie du Soleil pour produire de l'oxygène, et l'oxygène donnera de l'ozone dans la haute atmosphère qui les protégera à son tour des ultraviolets. La vie s'est assurée sa propre survie.

SCENE 2

La vie s'organise

Il pleut sur la planète. Tombées du ciel, de subtiles molécules s'agencent dans les lagunes et inventent les premières gouttes de vie.

Nées de l'argile

- *Jusqu'à présent, notre histoire ressemble à un jeu de Lego : les assemblages sont de plus en plus complexes et forment maintenant des chaînes de molécules géantes. Mais c'est toujours de la matière. Par quel coup de baguette magique la vie va-t-elle surgir ?*

- Une nouvelle étape ne peut être franchie que dans la mesure où ces molécules sont capables de poursuivre leurs assemblages. Dans l'univers, la température a joué ce rôle déclencheur. Sur la Terre, c'est un environnement particulier qui va le faire.

- *Celui des océans ?*

- Non. La vie n'est pas apparue dans les océans comme on l'a cru longtemps, mais très probablement dans des lagunes et des marécages, des endroits secs et chauds le jour, froids et humides la nuit, qui s'assèchent, puis se réhydratent. Dans ces milieux-là, il y a du quartz et de l'argile dans lesquels les longues chaînes de molécules vont se trouver piégées et vont s'associer les unes avec les autres. Des expériences récentes, qui ont permis de simuler les cycles d'assèchement des mares, l'ont confirmé : en présence d'argiles, les fameuses « bases » s'assemblent spontanément en petites chaînes d'acides nucléiques, des formes simplifiées de l'ADN, futur support de l'information génétique.

- *La vie née de l'argile ! Comme pour l'origine de l'univers, on retrouve une similitude étonnante entre les affirmations de la science et les croyances ancestrales : dans nombre de mythologies, l'origine de la vie est liée à l'eau et à l'argile.*

- C'est un très joli conte. L'homme aurait été façonné par les dieux qui auraient fabriqué des statuette avec de l'argile et de l'eau. Est-ce une coïncidence ou simplement une constatation a posteriori ? La pensée humaine, comme celle des enfants, a peut-être des intuitions simples, que la science pourrait confirmer par la suite...

L'invention du dedans

- *Comment l'argile agit-elle sur ces molécules ?*

- Elle se comporte comme un petit aimant. Ses ions, c'est-à-dire ses atomes qui ont perdu des électrons ou qui en possèdent en surplus, attirent la matière autour d'eux et l'incitent à réagir. Les fameux oligoéléments d'aujourd'hui sont d'ailleurs le résultat de l'évolution de ces petits ions de l'océan primitif. Grâce à eux, les assemblages de la matière peuvent se poursuivre.

- *Pour donner encore de longs chapelets d'atomes ?*

- Pas seulement. Cette fois, un phénomène nouveau se produit. Certaines molécules sont hydrophiles, elles sont attirées par l'eau ; d'autres sont hydrophobes, elles en sont repoussées. Les protéines qui se trouvent dans les lagunes sont composées d'acides animés parmi lesquels certains aiment l'eau, d'autres non. Que font-elles ? Elles se pelotonnent, ce qui les met en contact avec l'eau à l'extérieur, et à l'écart de l'eau à l'intérieur.

- *Elles se mettent en boule ?*

- En quelque sorte, elles se ferment sur elles-mêmes. D'autres chaînes de molécules forment aussi des membranes et se transforment en globules qui, à ce moment-là, apparaissent dans les océans comme des gouttes d'huile dans la vinaigrette. L'apparition de ces différents globules pré-vivants est un phénomène fondamental.

- *Pourquoi ?*

- Pour la première fois dans notre histoire, quelque chose apparaît qui est refermé sur soi, qui a un dedans et un dehors, comme dirait Teilhard de Chardin. Ce dedans va présider à la suite de l'évolution de nos petits globules jusqu'à la naissance de la vie, et plus tard celle de la conscience.

- *La conscience par la magie de la vinaigrette !*

- En tout cas, la vie née de l'émulsion, pourquoi pas ? L'intérêt de ces petites gouttes, c'est qu'elles forment des milieux clos, isolés de la soupe primitive. Elles retiennent prisonnières des substances chimiques qui composent des cocktails bien à elles. Elles deviennent les nouveaux creusets du vivant.

- *Et prennent le relais de l'évolution, comme les étoiles l'ont fait un moment dans le premier acte, pour redonner un coup de fouet à la complexité.*

- Exactement. Sans ces membranes, de nouveaux assemblages n'auraient pas pu survenir, un peu comme un être humain qui n'aurait pas de peau. La constitution de milieux clos était indispensable pour que l'évolution se poursuive.

- *Comment sait-on cela ?*

- On reproduit facilement cette étape en laboratoire. On prend de l'huile, des sucres, de l'eau. On agite et l'on obtient des émulsions faites de petites gouttes qui, vues au microscope, ressemblent à des cellules. C'est un phénomène très spontané. Dans la soupe primitive, les molécules étaient assez grosses pour s'agglomérer, se fermer, et former ces gouttelettes.

- *Et cela se produit partout sur la planète ?*

- Partout dans les lagunes. Les gouttes ont une même taille qui correspond à un équilibre entre leur volume, leur poids et la résistance de leur membrane (si elles sont trop volumineuses, elles se fragmentent). C'est la raison pour laquelle les cellules vivantes qui en résulteront ont toutes à peu près la même dimension, entre 10 microns et 30 microns.

Des gouttes de vie

- *Mais ces gouttes-là ne sont pas « vivantes ».*

- Pas encore. Disons « pré-vivantes ». A ce moment-là, elles prolifèrent en quantité immense. Elles ont l'avantage d'être semi-perméables : elles laissent passer certaines petites molécules qui, à l'intérieur, se transforment en grosses molécules et se trouvent piégées. Une nouvelle alchimie s'engage, des réactions chimiques se produisent...

- *Chacune de ces gouttes concocte sa petite soupe ? C'est le début de l'individualité en quelque sorte.*

- Oui, ce qui va entraîner une grande diversité de ces systèmes « pré-vivants ». Parfois, le cocktail chimique interne fait éclater la membrane, les molécules se dispersent. Parfois, il contribue au contraire à renforcer sa membrane et assure donc la survie du système... C'est ainsi que s'amorce une sorte de sélection des gouttes, qui va durer pendant des millions d'années. Il y a une lutte pour la vie avant la vie.

- *Une sélection naturelle, déjà*

- Celle que Darwin avait prédite. Seules subsistent les gouttes qui possèdent un milieu chimique intérieur adapté à l'environnement. Celles qui ont la possibilité de produire de l'énergie, par exemple, ont un avantage sur les autres.

- *Pourquoi ?*

- Parce que cette énergie leur permet de se développer. Les unes utilisent pour cela les substances de l'extérieur qui passent à travers leur membrane : ce sont les prémices - des réactions de fermentation. D'autres, qui ont conservé - des pigments, c'est-à-dire des molécules capables de piéger la lumière, transforment les photons du Soleil en électrons, comme des photopiles. Elles ne sont pas soumises, elles, à l'absorption de substances extérieures.

- *C'est mieux ?*

- Bien sûr ! car la soupe primitive, peuplée par toutes ces gouttelettes boulimiques, commence, avec le temps, à s'appauvrir. Les petites structures qui sont autonomes ont un bonus par rapport à celles qui ont besoin d'absorber des substances de plus en plus rares.

- *Déjà la rareté!*

- Oui. Mais tout cela ne mènerait à rien, si un autre phénomène ne survenait pas à ce moment-là : certaines gouttes peuvent reproduire leur petit cocktail intérieur, multiplier leur recette chimique, ce qui va leur donner un avantage évolutif considérable.

La survie assurée

- *L'apparition de la reproduction, comment survient-elle ?*

- Ces gouttes-là contiennent une chaîne de molécules particulière, un acide nommé ARN qui est composé de quatre molécules (les quatre bases des futurs gènes). On a montré récemment qu'il possède un pouvoir extraordinaire : il peut s'autoreproduire. Imaginons qu'une goutte se fragmente en deux, et que la nouvelle goutte qui en résulte possède un ARN semblable au premier. Imaginons aussi que cet ARN joue un rôle catalyseur dans la structure de la goutte. Il y aura donc transmission d'une sorte de plan primitif qui peut servir à la reconstruction d'une membrane et d'un système identique. C'est, à l'état primitif, un système autoreproducteur. On se doute que les gouttes qui possèdent un tel ARN voient la survie de leur « espèce » assurée.

- *Peut-on dire qu'il s'agit cette fois des premières « gouttes de vie » ?*

- On admet généralement qu'un organisme vivant est un système capable d'assurer sa propre conservation, de se gérer lui-même et de se reproduire. Trois principes qui caractérisent la cellule, structure élémentaire de tout être vivant, de la bactérie à l'homme, et que l'on peut effectivement attribuer à ces globules primitifs. S'il manque une de ces propriétés, ce n'est pas du « vivant ». Un cristal, par exemple, ne vit pas: il se reproduit, mais il ne fabrique pas d'énergie.

- *Un virus vit ?*

- Son cas est plus ambigu. Prenez un virus comme celui de la mosaïque du tabac par exemple (qui donne une maladie de la plante). Vous le déshydratez pour obtenir des cristaux que vous pouvez conserver dans un bocal, comme du vulgaire sucre ou du sel, pendant des années. Le virus ne se reproduit pas, il ne bouge pas, il n'assimile aucune substance, il ne « vit » pas. C'est un cristal. Et puis un jour, vous reprenez votre poudre, vous ajoutez de l'eau... Si vous placez un peu de la solution sur une feuille de tabac, la plante présente rapidement des signes d'infection : le virus a retrouvé ses pouvoirs, il se reproduit à une vitesse effarante.

- *Alors, vivant ou non ?*

- Disons qu'il est à la frontière. C'est une sorte de parasite qui a besoin de la vie pour se reproduire. Il utilise la cellule comme une machine à photocopier. On a même cru un moment que les virus étaient les formes les plus simples de la vie, et même qu'ils en étaient à l'origine. Mais c'est peu probable, car ils ont besoin de structures vivantes pour se reproduire. On pense aujourd'hui que les virus sont au contraire des structures hyperperfectionnées, les descendants de cellules qui auraient évolué en se débarrassant du matériel encombrant de la reproduction pour se réduire à leur plus simple expression et atteindre une plus grande efficacité ! Elles se seraient simplifiées pour arriver à leur minimum vital.

La contamination par la vie

- *Retrouvons nos gouttes un peu particulières, celles qui peuvent se reproduire. On devine qu'elles vont ainsi se mettre à proliférer.*

- En leur sein, le jeu de la chimie se poursuit. Le code de la reproduction se perfectionne. En se couplant deux par deux et en se modifiant légèrement, les brins d'ARN s'agencent en formant une double hélice, l'ADN, une structure qui finit par s'imposer parce qu'elle présente une plus grande stabilité. Un dialogue chimique commence alors entre deux types de chaînes de molécules : les protéines et l'ADN. Très probablement, la réaction entre les deux a été directe, les uns se sont mis dans les trous des autres, par un jeu d'affinités chimiques simples et régulières.

- *La nature en arrive au stade des gènes, les supports de l'hérédité ?*

- Les gènes de tous les êtres vivants sur Terre sont comme des segments de chapelets, torsadés en double hélice, composés de quatre molécules, les quatre bases, comme de très longs mots écrits dans un alphabet de quatre lettres. Elles s'encastrent deux par deux, dans une adéquation parfaite.

- *Les gouttes à ADN vont donc coloniser la Terre ?*

- D'une manière fulgurante ! Les premières gouttelettes sont apparues sur la Terre il y a environ 4 milliards d'années. Dans les quelque 500 millions d'années suivantes, la sélection chimique se poursuit. Il semble que la vie soit restée très longtemps, pendant des centaines de millions d'années, à l'état dormant, limitée à quelques zones localisées, dans des lagunes ou des étangs. Et puis, beaucoup plus récemment, elle a brusquement tout envahi.

- *En combien de temps ?*

- Peut-être en quelques dizaines ou centaines d'années, qui sait ? Une véritable explosion, si on la compare aux milliards d'années précédents. Chaque cellule se divise en 2, puis en 4, puis en 8, 16, 32, etc. On atteint très vite des quantités astronomiques. A cette époque, rien, sur Terre, ne peut les détruire et empêcher leur prolifération. Aujourd'hui, toute tentative d'apparition d'une nouvelle vie serait aussitôt anéantie par les êtres vivants actuels. A peine née, la vie a coupé les ponts derrière elle. D'une certaine manière, elle a contaminé la Terre.

- *Peut-on dire qu'il y a une « logique » de la nature qui l'a conduite à trouver et à généraliser l'ADN ?*

- Non. La nature ne « trouve » pas, elle n'a pas d'intention. Elle procède par élimination. L'ADN permet une variété considérable de structures vivantes. Celles qui, grâce à lui, ont pu se reproduire ont logiquement proliféré. Voilà pourquoi il s'est imposé.

- *La vie qui existerait sur d'autres planètes serait donc, elle aussi, fondée sur l'ADN ?*

- Probablement. L'ADN s'inscrit dans une évolution chimique logique de l'univers.

Le rouge et le vert

- *Comment évoluent nos premières gouttes ?*

- Dans certaines d'entre elles vont se sélectionner des mécanismes de fermentation. Au début de la vie, elles dégagent des quantités importantes de méthane et de gaz carbonique qui vont se dissoudre dans les océans. De tels systèmes existent encore aujourd'hui : dans la panse des ruminants, dans nos colons, des bactéries fermentent en l'absence d'oxygène et produisent du méthane, du gaz et des substances dont nous avons besoin pour vivre. Mais ce mécanisme n'est pas très efficace.

- *Qu'est-ce qu'il y a de mieux ?*

- Deux belles inventions vont avoir lieu, la photosynthèse et la respiration. La première est basée sur la chlorophylle, la seconde sur l'hémoglobine, deux molécules presque identiques qui sont probablement issues d'une même molécule « ancêtre ». Il se produit alors un clivage entre ces deux catégories : d'un côté, les gouttes qui fabriquent l'énergie directement, en utilisant la lumière solaire filtrant dans les océans et le gaz carbonique dégagé par les fermentaires (c'est la photosynthèse) ; de l'autre, celles qui absorbent les substances riches en énergie et l'oxygène rejetée par les autres (c'est la respiration) et vont devoir se déplacer pour trouver leur nourriture. C'est le divorce entre les futures bactéries et les futures algues, entre le monde animal et le monde végétal.

- *Déjà ? Il se produit à un stade aussi primitif ?*

- On le pense. L'arbre de la vie s'est ramifié très tôt, dès l'apparition des premières cellules. Les plus vieux fossiles de micro-organismes qui ont été découverts récemment en Australie sont des restes de bactéries à photosynthèse vieux de 3,5 milliards d'années.

Le clivage originel

- *Les deux mondes se separent, mais ils restent dépendants l'un de l'autre.*

- Oui. Ils vont se mettre en symbiose. En se servant du gaz carbonique et de l'eau, les cellules à photosynthèse fabriquent de l'oxygène et des sucres. D'autres les absorbent pour catalyser la combustion des sucres grâce à l'oxygène, en rejetant du gaz carbonique et des sels minéraux.

- *Ce sont les premiers repas de la nature.*

- Oui. Des cellules « mangent » d'autres cellules. L'environnement en est changé. L'apparition de la photosynthèse libère de l'oxygène en grande quantité, ce qui donne naissance, dans la haute atmosphère, à la fameuse couche d'ozone. Celle-ci forme une barrière aux rayons ultraviolets et crée un bouclier, une peau, qui protège cette prolifération microbienne.

- *Les gouttes s'appellent maintenant des cellules ?*

- Oui. Et ces cellules primitives vont poursuivre leur évolution, elles se dotent d'un noyau. Selon une théorie très récente, cette nouvelle étape résulterait d'un étrange accouplement : la cellule végétale serait née d'une cellule hôte qui aurait adopté des squatters, des algues à photosynthèse qui se seraient transformées en chloroplastes. Et d'une manière symétrique, la cellule animale serait une autre cellule hôte qui aurait cohabité avec un autre type de squatter, des bactéries qui, elles, seraient devenues les mitochondries, sortes de microcentrales de production d'énergie existant dans toutes les cellules vivantes évoluées.

- *Une forme de parasitisme ?*

- D'une certaine manière. Plutôt une symbiose. Ces micro-organismes se seraient ensuite perfectionnés, en acquérant par exemple un flagelle qui leur a permis de se déplacer. A côté des algues et des bactéries prolifère donc une autre famille, les cellules à noyau qui sont mobiles et prédatrices : elles possèdent une ouverture dans leur membrane, des cils vibratiles, qui attirent les bactéries et les algues, et elles recrachent leurs déchets.

- *Y avait-il d'autres évolutions possibles pour ces gouttes ?*

La nature a sans doute connu toutes les formes possibles de reproduction et de métabolisme. Elle a bourgeonné dans tous les sens. Mais la vie telle que nous la connaissons a éliminé toutes les autres pistes. On connaît une autre forme de vie sur la Terre, très rare, dans les grands fonds des océans, organisée autour des résurgences soufrées du magma terrestre : ce sont des sortes d'oasis sous-marines, où tout est jaune et rouge. Là, il n'y a pas de vert, puisqu'il n'y a pas de chlorophylle. Les bactéries sont mangées par des micro-cellules qui sont mangées par des micropoissons qui sont mangés par des poissons plus gros...

Les couleurs du vivant

- *La nature ne revient jamais en arrière dans cette histoire. Elle fonce, en avant toute, vers le plus complexe. Posséderait-elle une mémoire ?*

- Il y a une sorte de mémoire chimique, au sens où une molécule est à la fois une forme et une information pour les autres molécules. Ces formes sont complémentaires, elles s'encastrent les unes dans les autres, elles ont des affinités, elles se reconnaissent. Le monde moléculaire est un monde de signes, la chimie est son langage. Certaines populations de molécules conduisent de l'énergie à distance, d'autres sont propres à se reproduire, d'autres s'isolent de l'eau, d'autres encore attirent des nuages d'électrons. C'est ce que font les pigments, par exemple. Savez-vous pourquoi la vie est si colorée ?

- *Pas seulement pour faire joli, je suppose...*

- Pas seulement. Un pigment est une molécule qui possède des électrons très mobiles. Cette caractéristique lui permet d'absorber les grains de lumière, les photons, d'en restituer certains spectres, et donc de colorer la matière ; mais elle favorise en même temps la construction de chaînes moléculaires entrant dans la construction du vivant. Les pigments organisent une chimie subtile qui n'exige pas beaucoup d'énergie. C'est parce que l'hémoglobine et la chlorophylle ont ces propriétés qu'elles entrent dans la composition du vivant et que le sang est rouge, et les feuilles vertes.

- *La beauté en prime... Le monde vivant ne pouvait donc pas être gris ?*

- Probablement pas. Ni tout blanc, ni tout noir. La couleur est étroitement associée à la vie.

Les fausses coïncidences

- *Une fois encore, le temps a joué un rôle fondamental dans cette partie de l'histoire.*

- Oui. Il se contracte ou s'allonge selon les phases de l'évolution. L'apparition d'une molécule très réactive concentre l'espace-temps : elle peut envahir son environnement et neutraliser en quelques instants les autres molécules qui, elles, avaient eu besoin de plusieurs milliers d'années pour évoluer.

- *De la Terre primitive à la première cellule, le scénario est désormais complet ?*

- Nous en connaissons les grandes étapes, malgré quelques lacunes : on ne sait pas encore très bien comment les mécanismes reproducteurs par exemple se sont imposés. Certains chercheurs pensent toujours que la vie a pu naître ailleurs et qu'elle a été apportée sur la Terre par une météorite qui aurait ainsi contaminé la planète, ce qui n'est pas complètement absurde.

- *Peut-on reproduire cette évolution en laboratoire, par des synthèses chimiques et fabriquer de la vie dans des éprouvettes ?*

Presque. De nombreux scientifiques souhaitent le faire. C'est le domaine très récent de ce que l'on appelle la « vie artificielle » qui comprend plusieurs approches. On peut réaliser des synthèses de molécules, ou encore susciter une évolution spontanée en tube à essai, en créant des conditions de sélection darwiniennes pour fabriquer des molécules qui se reproduisent. On peut aussi sauter quelques étapes en utilisant la simulation par ordinateur. On parvient même aujourd'hui à créer des robots insectes capables de s'adapter spontanément à des situations nouvelles, de monter des escaliers, de se relever quand ils tombent, de fuir la chaleur, d'émettre des signaux entre eux. Certains chercheurs veulent également fabriquer d'autres formes de vie, à base de silicium par exemple.

- *On ne peut s'empêcher de constater, comme pour l'évolution de l'univers, qu'il y a aussi une sorte de logique de ce récit. Serait-ce celle du vivant, comme le suggérait le biologiste François Jacob ?*

- Disons plutôt une succession de réactions chimiques qui conduisent à des situations irréversibles et à de nouvelles propriétés. Tout cela construit une histoire au bout de laquelle nous nous trouvons et que nous retraçons. Nous la trouvons unique puisque c'est la nôtre.

- *Que de coïncidences quand même!*

- Ce ne sont pas des coïncidences. Considérons un soldat qui nous raconte un récit de guerre extraordinaire. Il était dans un appartement, un missile est tombé sur l'immeuble, il a été protégé par un lit. Au cours d'une mission, il a sauté en parachute, celui-ci s'est mis en vrille, mais notre homme

est tombé dans un marécage qui a amorti sa chute. Si son histoire paraît inouïe, c'est tout simplement parce qu'il est là pour nous la raconter. Il y a eu des millions d'histoires de soldats qui se sont, elles, terminées tragiquement mais, bien sûr, ces derniers ne sont plus là pour les raconter. La vie, c'est comme ça. Si elle nous paraît résulter d'une suite de coïncidences, c'est parce que nous oublions les millions de pistes qui n'ont pas abouti. Notre histoire est le seul récit que nous pouvons reconstituer. Voilà pourquoi elle nous semble si extraordinaire.

SCENE 3

L'explosion des espèces

Les cellules, trop longtemps solitaires, se retrouvent solidaires. Un monde haut en couleur s'épanouit : les espèces naissent, meurent, se diversifient. La vie croît et se multiplie.

La solidarité des cellules

- *A ce stade de notre histoire, la Terre est peuplée de cellules qui vivent paisiblement dans les océans et qui pourraient très bien continuer à le faire...*

- Mais il arrive un moment où elles sont contraintes d'évoluer. Les premières cellules, qui prolifèrent, s'empoisonnent elles-mêmes avec les déchets qu'elles recrachent dans l'environnement. Dès le début, la vie montre une tendance naturelle à regrouper les individus. Les « sociétés » cellulaires ont des avantages évolutifs évidents. Elles sont mieux protégées, elles survivent mieux que les cellules isolées.

- *Comment vont-elles se constituer ?*

- Le comportement d'une amibe, le dycostélium, qui vit encore aujourd'hui, peut nous aider à le savoir. Celle-ci se nourrit de bactéries. Si on la prive de nourriture et d'eau, elle émet une hormone de détresse. D'autres amibes la rejoignent et s'agglomèrent en une colonie de près de un millier d'individus, comme une limace se déplaçant à la recherche de nourriture. Si elles n'en trouvent pas, elles se figent, font pousser une tige avec des spores et restent indéfiniment, comme cela, en pleine sécheresse. Si l'on ajoute de l'eau, les spores germent et redonnent des amibes indépendantes qui repartent chacune de leur côté... Les volvox, petites cellules munies de flagelles, se conduisent de la même manière : dans un milieu pauvre en substances nutritives, elles sécrètent une sorte de gel, se collent les unes aux autres et se déplacent dans la même direction, les flagelles à l'extérieur, d'une manière coordonnée, en une seule et même entité.

- *Ainsi se seraient constitués les premiers organismes multicellulaires ?*

- Il est probable qu'une logique de socialisation semblable ait joué aux débuts de la vie. Les premières associations de cellules bénéficient d'un tuyau central, une sorte de tout-à-l'égout qui évacue les déchets. D'autres ont une forme fuselée et sont munies à l'avant d'un système de coordination et à l'arrière ou sur les côtés d'un système de propulsion. Elles restent ainsi accrochées ensemble.

- *A quoi ressemblent ces premiers paquets de cellules ?*

- Ils sont composés de quelques milliers d'individus et forment des petites gelées transparentes, ce sont les premiers organismes marins, des vers, des éponges, des petites méduses primitives. Cette transformation se déroule sur quelques centaines de milliers d'années seulement. L'évolution s'accélère.

La division du travail

- *Ces nouveaux assemblages sont très différents des précédents.*

- Oui. La matière est faite d'empilements d'atomes généralement identiques les uns aux autres. Dans le monde vivant, les cellules qui s'assemblent se différencient selon leur place dans la structure. Certaines d'entre elles vont se spécialiser dans la locomotion ; d'autres, dans la digestion ; d'autres encore, dans le stockage d'énergie. Petit à petit, en se reproduisant au fil des générations, ces organismes transmettent ces propriétés à leur descendance.

- *On peut une fois encore expliquer ce phénomène par la seule urgence de survivre ?*

- Oui. Un organisme composé de cellules spécialisées résiste mieux qu'un ensemble de cellules identiques, car il peut répondre aux agressions de l'environnement de différentes manières, ce qui lui donne plus de chances de survie. Les systèmes monolithiques finissent toujours par disparaître.

- *Mais qu'est-ce qui pousse ces cellules à s'associer ? Elles ne se disent quand même pas « c'est mieux pour ma survie » !*

- Bien sûr que non ! Les cellules ne savent évidemment pas qu'elles ont intérêt à le faire. Mais elles possèdent des mécanismes d'accrochage qui les invitent à se lier à leurs semblables, elles échangent des substances les unes avec les autres. Le jeu de cette communication chimique et des petits changements qui affectent leurs gènes finit par les spécialiser. Une topographie s'établit ainsi dans le groupe des cellules. Une méduse par exemple possède un système de contraction pour se déplacer et un système sensoriel qui la rend capable de se diriger vers la nourriture. Le plan de l'ensemble est contenu dans chacune de ses cellules. Une seule suffit pour que l'organisme redémarre.

- *Malgré tout, les cellules qui sont restées solitaires ont bien survécu, certaines d'entre elles sont encore là aujourd'hui. Pourquoi ne se sont-elles pas regroupées celles-là ?*

- Parce qu'elles étaient bien adaptées à leur environnement. C'est le cas des paramécies ou des amibes: elles sont protégées par une membrane solide et sont équipées de cils vibratiles qui leur permettent de se déplacer facilement ; elles disposent de taches photosensibles qui leur indiquent la lumière et d'enzymes efficaces qui digèrent toutes sortes de proies. Une bactérie possède même une sorte de flair: des récepteurs chimiques communiquent avec son flagelle, et la guident vers les milieux les plus riches en nourriture, un peu comme on sent l'odeur du repas.

Vive le sexe

- *Comment les organismes à plusieurs cellules vont-ils poursuivre leur évolution ?*

- A partir des êtres pluricellulaires les plus simples, comme les algues, les méduses, les éponges, l'arbre de la vie se développe en trois grandes branches : celle des champignons, des fougères, des mousses, des plantes à fleur ; celle des vers, des mollusques, des crustacés, des arachnides, des insectes ; et celle des poissons, des reptiles, des procordés, puis des oiseaux, des amphibiens, des mammifères...

- *Et puis vient une invention majeure : le sexe. Jusque-là, les cellules se reproduisaient, au sens propre du mot, à l'identique. Avec le sexe, deux êtres vivants en donnent un troisième qui est différent d'eux. Quel est le petit futé qui l'a inventé ?*

- Selon certaines thèses, la sexualité serait née du... cannibalisme : en se mangeant les unes les autres, les cellules auraient intégré les gènes d'autres espèces, qui se seraient ensuite mélangés. Ce phénomène existe déjà chez les bactéries : certaines d'entre elles, baptisées les plus et les moins, s'apparient et échangent leur matériel génétique. Ensuite, à mesure que les organismes deviennent plus complexes, ils vont se doter de cellules spécialisées dans la reproduction, les cellules germinales, qui comportent chacune la moitié des gènes de leur organisme. La sexualité se généralise.

- *Et à partir de ce moment-là, le monde vivant devient de plus en plus varié.*

- C'est une révolution. Grâce à la sexualité, la nature peut brasser les gènes. La diversité explose. La grande aventure de l'évolution biologique commence ; elle va connaître d'innombrables essais ratés, des pistes qui ne mènent nulle part, des espèces qui ne survivent pas... La nature teste en vraie grandeur: si l'espèce nouvellement inventée ne s'adapte pas, elle disparaît.

- *Pourquoi la sexualité s'est-elle établie à deux ? Pourquoi pas à trois ?*

- Le mélange des gènes met en jeu, avec les deux brins de l'ADN, un processus de duplication. Pour brasser des paires de chromosomes dans un oeuf fécondé, il faut une machinerie biologique extrêmement complexe. Elle le serait encore davantage si elle devait mélanger trois patrimoines génétiques. Si des espèces ont inventé une sexualité de ce type, elles n'ont pas survécu.

La mort nécessaire

- *Un autre phénomène décisif se produit: l'introduction du temps à l'intérieur de l'organisme, c'est-à-dire le vieillissement avec, à terme, la disparition de l'individu, la mort. Ne pouvait-on vraiment pas s'en passer ?*

- La mort est aussi importante que la sexualité : elle remet en circulation les atomes, les molécules, les sels minéraux dont la nature a besoin pour continuer à se développer. Elle procède à un gigantesque recyclage des atomes, dont le nombre reste constant depuis le Big Bang. Grâce à elle, la vie animale peut se régénérer.

- *Était-elle présente dès les premiers organismes ?*

- Oui, les méduses vieillissent, elles aussi. Dans tous les êtres vivants, les cellules se reproduisent en permanence, mais elles possèdent un oscillateur chimique, une sorte d'horloge biologique interne qui limite le nombre de leurs reproductions : entre 40 et 50. Quand elles sont parvenues à ce stade, un mécanisme programmé dans leurs gènes les conduit à une sorte de suicide. Elles meurent. Seules les cellules cancéreuses échappent à cette fatalité : elles se reproduisent indéfiniment, sans se spécialiser, ni se différencier comme le font les cellules embryonnaires.

- *Mais leur immortalité provoque la mort de l'organisme auquel elles appartiennent... Peut-on dire que la mort est une nécessité de la vie ?*

- Absolument. C'est une logique du vivant. A mesure que les cellules se divisent, elles multiplient les erreurs de leurs messages génétiques qui s'accumulent avec le temps. Finalement, il y a tellement d'erreurs que l'organisme se dégrade et meurt. C'est un phénomène inéluctable. La mort

n'est certes pas un cadeau pour l'individu, mais c'est une prime pour l'espèce : elle lui permet de conserver son niveau de performances optimal.

- *Une fois que l'évolution connaît le sexe et la mort, que peut-elle faire de mieux ?*

- Se perfectionner davantage. Le monde vivant va ainsi sélectionner une manière de fabriquer de l'énergie ; en utilisant les sucres de la nourriture, il va enrichir son métabolisme et développer des muscles, ce qui va lui permettre d'agir, de nager, de voler, de courir, de conquérir le monde. Simultanément, les capteurs que sont les sens coordonnent les activités de l'organisme. Trois grandes nouveautés apparaissent : le système immunitaire, qui assure la protection contre les parasites ou les virus ; le système hormonal, qui permet la maîtrise des rythmes biologiques et de la reproduction sexuée ; et le système nerveux, qui régit la communication interne.

- *Quand ce dernier apparaît-il ?*

- Les premiers organismes, les méduses, les poissons primitifs, ont besoin, pour se reproduire, de coordonner leurs cellules. Ils disposent donc de canaux spécialisés dans lesquels circule l'information. Un ver, qui n'est pourtant composé que de quelques milliers de cellules, possède des fibres nerveuses qui convergent dans sa tête, en ganglions. Au fil de l'évolution, ce dispositif va se ramifier pour former un réseau de neurones interconnectés entre eux qui se rassembleront en un cerveau. En fait, les trois systèmes, nerveux, hormonal et immunitaire, apparaissent dès que les animaux sortent de l'eau.

Le cadeau des larmes

- *Qu'est-ce qui les incite à sortir de l'eau ?*

- Dans les océans, les espèces pullulent. La compétition règne. Il devient avantageux de s'aventurer sur la terre ferme pour y trouver la nourriture, tout en revenant dans l'océan pour y pondre ses oeufs. C'est un poisson bizarre nommé ichtyostéga qui a sans doute expérimenté cette formule le premier. Il possède de grosses nageoires, vit dans des petites lagunes et sort de temps en temps ses yeux globuleux hors de l'eau pour percevoir les petits insectes. Au fil des générations, les descendants de cette espèce se risquent plus longtemps sur la terre ferme, grâce à leurs branchies capables de capter l'oxygène de l'air, mais aussi grâce à leurs larmes : ils doivent en effet conserver leurs yeux humides pour voir aussi bien dans l'air que dans l'eau. Par sélections successives, l'espèce s'améliore : ses nageoires deviennent plus solides, une queue apparaît. Ses descendants seront les batraciens et les amphibiens. Nous ne serions pas là si ce poisson n'avait pas eu de larmes !

- *La vie au grand air favorise l'évolution ?*

- Oui. Dans l'air, la communication est plus immédiate, plus rapide, plus simple. L'accessibilité de la nourriture, plus grande. L'oxygène, pourtant, est un poison pour la vie : il contribue à faire naître des radicaux libres, des molécules déséquilibrées, qui induisent la destruction cellulaire et donc le vieillissement précoce ; mais il est essentiel pour donner de l'énergie aux organismes et faire avancer l'évolution.

- *Comment ces nouvelles contraintes du milieu terrestre vont-elles accélérer le perfectionnement des organismes ?*

- Avec l'apparition du squelette, les animaux deviennent assez solides pour s'affranchir de la pesanteur. L'invention des muscles leur permet de ne plus être des bouillies de gelées molles comme les vers de terre ou les méduses, mais d'exercer une pression mécanique sur leur environnement, de supporter le poids de la graisse protectrice et du cerveau. Tout se diversifie : le métabolisme, les

systèmes de locomotion... Pendant ce temps, sont sélectionnés chez les plantes des systèmes pour capter l'énergie solaire avec les feuilles et pour transporter l'énergie avec la sève.

Le flair des végétaux

- *Pourquoi les végétaux ne développent-ils pas toutes ces merveilles inventées par les animaux ?*

- A l'exception des algues qui évoluent à la surface des océans, les végétaux empruntent, eux, une voie plus économique grâce à leur immobilité, ce qui leur permet de ne pas dépenser trop d'énergie. Leur mode de vie est simple: des photopiles pour transformer directement l'énergie solaire en énergie chimique, des racines pour puiser les sels minéraux et l'eau... L'astuce, c'est leur système reproducteur qui, lui, est mobile, et utilise des moyens variés. Les végétaux ont donc hérité d'une sexualité très riche eux aussi, et ils se sont merveilleusement bien adaptés. Il suffit de regarder un champignon au pied d'un séquoia géant âgé de plusieurs milliers d'années pour le réaliser. Ou tout simplement de banals sapins de montagne.

- *En quoi sont-ils les résultats d'une bonne adaptation ?*

- Dans la forêt, ils ont besoin d'une certaine température pour se développer. Comme les pâquerettes de notre planète imaginaire, les arbres sombres et noirs capturent davantage le faible rayonnement solaire, réchauffent leur environnement immédiat et créent un microclimat favorable à leur croissance. Mais en hiver, ils se couvrent de neige et deviennent blancs. S'ils le restaient trop longtemps, ils ne pourraient plus assurer ces conditions propices. Or, comme leurs branches sont dirigées vers le bas et sont pointues, la neige tient moins longtemps ; ils retrouvent leur couleur et se réchauffent plus rapidement. L'évolution a retenu ces types d'arbres qui ont mieux résisté aux intempéries. Voilà pourquoi on trouve des sapins dans les montagnes...

- *et que l'on s'extasie sur leur merveilleuse adaptation. Une question naïve : pourquoi les végétaux n'ont-ils pas développé de cerveaux, eux aussi ?*

- Des êtres immobiles n'ont pas besoin de fonctions de coordination complexes. Ils ne sont pas poussés par la nécessité de fuir, de se défendre, de lutter comme les animaux. On commence cependant à découvrir, chez les plantes, une forme de système immunitaire, un système de communication et même un homologue de système nerveux. Les végétaux possèdent des mécanismes sophistiqués qui les protègent contre les envahisseurs : une sorte d'« hormone » végétale leur permet par exemple de mobiliser leurs défenses. On sait aussi que les arbres se « préviennent » à distance de la présence d'un agresseur.

- *Se « préviennent » ?*

- Oui. Quand ils sont en présence d'animaux prédateurs qui veulent manger leurs branches basses, certains arbres émettent des produits volatiles qui, transportés d'arbre en arbre, modifient la production de protéines et donnent aux feuilles un goût désagréable. Je n'irai pas jusqu'à dire qu'il faut pour autant parler à ses plantes d'appartement

- *On peut quand même affirmer que les animaux sont allés le plus loin dans la complexité, non ?*

- Il est vrai que, dans son adaptation au milieu, le monde animal fait preuve d'une plus grande exubérance que le monde végétal : il y a des espèces qui courent, qui fouissent, qui creusent, qui nagent, qui volent, qui rampent... Les animaux développent d'innombrables ruses, depuis les boutons-pression du hanneton jusqu'aux tentacules du poulpe, ils inventent des leurres, des ruses, des armes : griffes, ailes, bec, nageoires, carapaces, tentacules, poison...

L'exclusion naturelle

- *Quand on dit « ils » inventent...*

- Ils n'inventent pas. C'est le phénomène de la « sélection » qui élimine les moins aptes. Prenons par exemple des moineaux à gros bec qui se nourrissent exclusivement de petits vers nichés dans les trous des arbres. Ils sont tellement nombreux et actifs qu'ils finissent par éliminer tous les vers qui se trouvent à la surface des écorces. Sans nourriture, la majorité de l'espèce meurt. Mais une petite partie d'entre eux possède, à cause d'une mutation survenue par hasard, un bec pointu et plus long que les autres. Ses descendants peuvent, eux, aller chercher des vers dans des trous plus profonds, ils résistent mieux à la pénurie. Résultat : cette lignée s'impose. Au fil des générations, la majorité de l'espèce possédera un bec plus long. On ne peut pas dire pour autant que les moineaux ont « inventé » cette astuce. En réalité, c'est l'inverse : ceux qui n'ont pas eu la chance d'avoir la mutation qui a donné un bec plus fin sont morts.

- *Il n'y a donc pas d'intention dans le processus de l'évolution.*

- Non. L'évolution tente des milliers de solutions en même temps, certaines réussissent, d'autres pas. Celles qui permettent de survivre sont par définition conservées.

- *L'environnement n'agit pas directement sur l'évolution ?*

- On pense aujourd'hui qu'il a peut-être une influence sur le comportement des cellules, par l'intermédiaire des mitochondries, ces sous-usines qui, à l'intérieur des cellules, possèdent des plans génétiques indépendants et sont très sensibles aux changements. Mais cela ne se traduit pas à la descendance.

- *Le principe de la sélection naturelle reste donc tout à fait pertinent aujourd'hui ?*

- Oui, à condition de ne pas y voir l'idée d'un environnement démiurge qui déciderait de ce qui est bien et de ce qui n'est pas bien. Ça, on garde ; ça, on jette. Non. Parlons plutôt d'exclusion compétitive : au fil des générations, les espèces les moins adaptées sont exclues. Pour bien comprendre ce phénomène, il faut compter avec la durée et penser à la longue chaîne des générations successives qui vont se modifier très lentement.

- *L'écrasante majorité des solutions, des espèces inventées par la nature disparaissent. N'y a-t-il pas des moments où l'évolution est tentée de s'arrêter, où le monde vivant peut trouver sa stabilité, comme les pâquerettes de notre planète ?*

- Non, car la diversité est énorme dès le commencement de la vie. Pour reprendre la métaphore d'Hubert Reeves, il y a trop de lettres pour qu'elles ne puissent former qu'un seul mot. Peut-être la stabilité de quelques espèces frustes a-t-elle pu s'établir sur un petit astéride, dans une sorte de compromis ou d'armistice de l'évolution ? Mais pas sur la Terre, avec sa taille, sa géologie, sa biosphère, sa relation entre le minéral et l'organique, et son environnement en constant changement qui contraint les espèces à modifier leur adaptation et à évoluer.

- *Et cela prend quelques bonnes centaines de millions d'années.*

- Oui. Cette sélection agit sur des millions de générations successives. Les mécanismes sensoriels s'affinent, les comportements se diversifient. Certaines espèces s'associent et forment un véritable organisme collectif. Une ruche d'abeilles, par exemple, maintient sa température par le mouvement des ailes des insectes ; elle est irriguée par des hormones résultant du frottement des insectes. Lorsque les abeilles quittent la ruche pour chercher de la nourriture, elles indiquent les

sources les plus proches en dansant. La ruche économise ainsi l'énergie ; elle optimise sa chance de survie. Même chose pour les fourmis : elles entretiennent les larves, viennent aider la reine, se répartissent les tâches, un peu comme les cellules du volvox, et assurent l'équilibre de l'organisme fourmilier. Si l'on enlève trente pour cent des ouvrières, l'ensemble va se réadapter et rétablir la proportion.

- *Mais les fourmis sont incapables d'avoir des comportements autonomes.*

- Et incapables de planification. Elles communiquent individuellement par les phéromones, mais aussi collectivement par l'environnement: une jeune fourmi qui naît va apprendre les réseaux, les chemins, tracés par ses congénères. Le comportement simultané de milliers d'individus conduit à une forme d'intelligence collective. La fourmilière sait choisir le chemin le plus court par exemple pour rapporter de la nourriture. Ce mode d'association a plutôt bien réussi, puisque les fourmis existent depuis des millions d'années. Si la planète connaissait une guerre nucléaire, il est probable qu'elles survivraient grâce à leur carapace qui leur permet de résister aux radiations et grâce à leur mode d'organisation.

L'infortune des dinosaures

- *Un monde de fourmis et de bactéries... jolie perspective. Au fil de ce récit, on voit que, comme l'évolution de l'univers, celle de la vie a été pour le moins chaotique.*

- Oui. Elle a connu une accélération constante, mais aussi des crises, des culs-de-sac et des périodes de grande extinction. Il y a deux cents millions d'années, les dinosaures règnent sur la planète. Jamais des espèces n'avaient réussi à conquérir tous les milieux comme ils le font : il y en a des petits, des énormes, des végétariens, des carnivores, des coureurs, des volants, des amphibiens... Une formidable diversité qui les rend adaptés à leur environnement.

- *Et pourtant, ils vont disparaître... L'hypothèse que cela est dû à leur mauvaise adaptation est donc stupide ?*

- Totalemment. A la fin du jurassique, il y a soixante-cinq millions d'années, une énorme météorite de 5 kilomètres de diamètre tombe dans le golfe du Mexique, près du Yucatàn. Le choc est tel qu'il est répercuté de l'autre côté de la planète et provoque une résurgence du magma. Ce double bang crée un incendie mondial, les forêts s'embrasent, libèrent du gaz carbonique et des poussières qui recouvrent la Terre d'un immense voile. La planète s'obscurcit, un froid terrible en résulte, avec probablement par la suite, un effet de serre qui conduit à un réchauffement.

- *Seules quelques espèces survivent ?*

- Oui. C'est le cas des lémuriniens, qui sont mobiles, adaptables, munis de mains préhensiles. Ils se réfugient dans les anfractuosités des rochers et donnent naissance aux lignées qui conduiront aux mammifères. Ces derniers acquièrent un nouvel avantage pour assurer la survie de leur descendance : le fait de porter l'oeuf à l'intérieur de soi le protège bien davantage que s'il est à l'extérieur. Songez aux batraciens qui font des milliers d'oeufs qui sont dispersés, mangés, gaspillés...

La sélection dans la tête

- *A quel moment le vrai cerveau apparaît-il vraiment ?*

- Depuis les poissons, puis avec les vertébrés, les oiseaux, les reptiles, les amphibiens et l'homme, le cerveau n'a cessé de se perfectionner par couches successives. D'abord, le plus primitif : celui des reptiles qui coordonne les instincts primitifs de survie, la faim, la soif, l'instinct sexuel, la peur, puis le plaisir qui incite à l'union, et la douleur qui lui est indissociable. En présence d'un intrus, le cerveau primitif réagit en conduisant l'organisme à produire un poison, un venin, ou à sauter sur l'agresseur... Deuxième couche, chez les oiseaux : le mésencéphale, qui conduit à des mécanismes collectifs tels le soin des petits, la construction du nid, la recherche de nourriture, le partage, le chant, les parades amoureuses... Ensuite, la troisième couche apparaît chez les primates et surtout chez l'homme : le cortex cérébral qui introduit des données abstraites, la conscience, l'intelligence.

- *Le plus étonnant, c'est ce principe de sélection que l'on retrouve partout, dans l'univers, dans la première chimie des molécules, parmi les êtres vivants, et, si l'en en croit le neurobiologiste Jean-Pierre Changeux, à l'intérieur même du cerveau au moment où il se développe chez un nouveau-né.*

- Le développement du système nerveux obéirait en effet lui aussi au principe de la sélection darwinienne. Quand un petit animal grandit, ses neurones se câblent en obéissant à un plan donné par les gènes. Mais la soudure entre deux neurones ne subsiste que si ceux-ci fonctionnent dans un circuit, s'ils sont sollicités par l'environnement. Les neurones visuels d'un nouveau-né ne se connecteront pas si celui-ci est plongé en permanence dans l'obscurité. Il y a donc d'une certaine manière une sélection qui ne retient que les circuits pertinents pour l'individu. Apprendre, c'est éliminer.

- *Pour l'anthropologue Stephen J. Gould, chaque événement, même insignifiant, influence le cours de l'histoire. Comme dans le film de Frank Capra, La vie est belle, il suffit de modifier un petit rien pour que tout change, par une cascade de conséquences. Si le pikaïa, un ver qui est à l'origine de notre lignée, n'était pas apparu, ou si les dinosaures avaient survécu, nous ne serions pas là. Il n'y aurait donc pas, selon lui, de sens dans l'évolution. Celle-ci retiendrait, non pas les plus adaptés, mais les plus chanceux. La vie était peut-être un événement probable, mais l'homme, lui, est un sacré veinard.*

- Si les lémuriens n'avaient pas survécu, s'ils n'avaient pas été capables de se nourrir de baies dans leurs trous au moment où les dinosaures ont disparu, nous ne serions pas là. Il n'y a pas d'intention cachée dans cette histoire. Mais le résultat est que la complexité s'accroît. S'il existe des planètes qui se sont développées dans les mêmes conditions que la Terre, il n'est pas improbable que ces êtres vivants existent et qu'ils ne diffèrent pas plus de nous qu'une autruche d'un crocodile : quatre membres, deux yeux, un cerveau, des systèmes locomoteurs. Et il y a de fortes chances qu'ils en soient à peu près au même point de l'évolution que nous... On ne peut pas dire qu'il existe une loi qui pousse à la complexité. Mais on constate que quelque chose s'organise qui conduit à une intelligence de plus en plus grande et de plus en plus dématérialisée. Mais l'histoire de l'évolution est peut-être l'artefact d'une conscience qui prend conscience d'elle-même.

La mémoire des origines

- *Seul le cerveau humain s'interroge sur lui-même... C'est ce qui le distingue des autres ?*

- Pas seulement. Il est capable d'extérioriser des fonctions dans l'environnement. L'outil prolonge la main. L'homme peut maintenant faire tout ce que font les autres animaux : courir comme une gazelle avec une automobile, voler comme un aigle avec un Deltaplane, évoluer sous l'eau comme un dauphin, avancer sous terre comme une taupe... Un masque, des lunettes, un parachute, des ailes, des roues... Il a aussi étendu ses fonctions sensorielles par l'écriture qui permet de conserver la parole et de transmettre la pensée dans l'espace et dans le temps. C'est ce qui caractérise le cerveau humain: il n'est pas seulement une masse molle de neurones, ni un standard téléphonique qui rassemble tous les circuits du corps, ni même un ordinateur. Il s'étend aussi à l'extérieur, branché sur d'autres cerveaux humains à l'ensemble de la planète. C'est un réseau fluide, constamment en réorganisation, qui reconfigure ses neurones dans l'action et la réflexion.

- Dans toute cette histoire, on constate que la complexité se développe par agencements de choses simples : deux quarks au commencement de l'univers, quatre atomes symétriques pour le carbone, quatre bases seulement pour les gènes, deux molécules semblables pour fonder les mondes animal et végétal, deux individus pour le sexe... Comme si, à chaque étape, la nature trouvait le chemin le plus simple pour progresser.

- D'une certaine manière... La complexité, ce n'est pas la complication. C'est une répétition d'éléments simples qui se reproduisent et prolifèrent. Sur un écran d'ordinateur, on sait aujourd'hui simuler ce phénomène : en partant d'une forme élémentaire, on voit se constituer des dessins élaborés que l'on appelle du joli nom de « formes fractales » ; ils ressemblent à des ailes de papillons, à des queues d'hippocampes, à des montagnes, à des nuages. La vie est ainsi, répétitive. L'atome est dans la molécule qui est dans la cellule qui est dans l'organisme qui est dans la société...

- Nous portons donc en nous les traces de ces emboîtements.

- Exactement. Notre cerveau, avec ses trois couches, conserve la mémoire de l'évolution. Nos gènes également. Et la composition chimique de nos cellules est un petit morceau de l'océan primitif. Nous avons gardé en nous-mêmes le milieu dont nous sommes issus. Notre corps raconte l'histoire de nos origines.

ACTE 3

L'homme

SCENE 1

Le berceau africain

Des petits singes malins naissent dans un monde de fleurs. Pour résister à la sécheresse, leurs descendants se redressent et découvrent un nouvel univers.

Un ancêtre peu présentable

- « *S'il est vrai que l'homme descende du singe, prions pour que cela ne s'ébruite pas !* » s'est écriée une respectable dame anglaise, en 1860, en découvrant la théorie de l'évolution d'un certain Charles Darwin. Aujourd'hui, il semble bien qu'elle n'ait pas été exaucée : « cela » s'est ébruité.

- **Yves Coppens** : Pas complètement. Il nous a toujours été difficile d'admettre cette parenté, vous savez. L'origine animale de l'homme se heurte à tellement de convictions philosophiques ou religieuses qu'elle s'attire encore nombre de réticences... Ma grand-mère maternelle, bretonne de vieille souche, m'avait dit un jour, très sérieusement : « Toi, tu descends peut-être du singe, mais pas moi ! » Nombre de personnes entretiennent encore d'incroyables confusions à ce propos. Quand on affirme que nous descendons du singe, certaines d'entre elles croient que nous voulons parler du chimpanzé !

- *L'homme ne descend pas du singe, mais d'un singe, n'est-ce pas ?*

- Exactement. Il est issu d'une espèce qui fut l'ancêtre commun des deux lignées, celle des singes supérieurs d'Afrique d'une part, celle des pré-humains puis des humains d'autre part. L'homme n'est donc un singe au sens large que du point de vue de son « rangement » dans la classification animale ; sa spécificité est précisément d'avoir réussi à dépasser cette simple condition. Joël de Rosnay l'a rappelé, nous ne pouvons pas ignorer notre filiation : nous la portons dans notre propre corps.

- *Les scientifiques eux-mêmes ont eu, semble-t-il, quelques difficultés à le reconnaître.*

- Ils ne se sont jamais vraiment remis de leur toute première trouvaille. C'est la vieille Europe chrétienne du siècle dernier qui a eu l'idée de se pencher sur les origines de l'humanité, et c'est donc elle qui, en Belgique puis en Allemagne, a fait les premières découvertes. Quel choc ! Elle s'attendait à trouver un ancêtre présentable : l'homme n'avait-il pas été créé à l'image de Dieu ? Et la voilà qui tombe pile sur les fossiles d'un individu qui, on le comprendra plus tard, fait justement exception.

- *Qui était-ce ?*

- Néandertal. On a découvert un être « laid », au crâne surbaissé, à la face boursouflée et aux arcades sourcilières surdéveloppées en forme de visière... D'éminents savants n'ont alors cessé d'accabler ce pauvre hère. Les uns ont prétendu qu'il n'était qu'un individu arthritique et poilu. Selon d'autres, il ne pouvait émettre qu'un seul son : « Ugh ! » Inutile de dire qu'il a fallu de nombreuses années pour qu'on l'accepte dans notre famille, tout au plus comme un lointain cousin.

La technique du Petit Poucet

- *Quand vous « découvrez » un ancêtre, il s'agit en réalité de quelques bouts d'os, des fragments de mâchoire ou souvent de simples dents. Comment peut-on reconstituer un squelette entier avec si peu d'éléments ?*

- Les premiers restes découverts, souvent des dents effectivement, suffisent pour que l'on puisse passer de leur morphologie et de sa signification alimentaire au reste du corps. On sait, grâce aux lois de corrélations de l'anatomie comparée inventées par Cuvier, que telle dent s'inscrit dans tel type de mâchoire, que telle mâchoire correspond à tel type de crâne, que tel crâne se place sur tel type de colonne vertébrale, que telle colonne vertébrale s'associe à tel type de squelette appendiculaire, que tel squelette soutient tel type de musculature, etc. Par déductions, on parvient à passer de la dent à l'animal.

- *Et vous allez jusqu'à en déduire son développement, voire son comportement ?*

- Oui. Si l'on étudie, par exemple, l'émail d'une dent au microscope électronique, on voit de minuscules stries invisibles à l'oeil nu qui révèlent la manière dont la dent s'est développée et donnent des indications sur la croissance de l'individu. Si, par ailleurs, on lui trouve un fémur oblique alors que son articulation pour le genou est instable, ces observations traduisent une locomotion à la fois bipède et arboricole. Mais bien sûr, plus on dispose d'éléments, plus la reconstitution est précise.

- *Depuis les premières recherches du siècle dernier, en suivant tous ces petits bouts d'os à la manière d'un Petit Poucet, les scientifiques ont-ils pu retrouver le cheminement de l'homme dans sa totalité ?*

- Curieusement, on a trouvé les fossiles dans l'ordre inverse de leur ancienneté : d'abord les hommes modernes, puis leurs ancêtres, ce qui a permis de les reconnaître et de les accepter avec un peu moins de difficultés. Il a d'abord fallu admettre l'idée que l'homme est bien plus ancien qu'on ne le croyait.

Apparus avec les fleurs

- *A quelle date fixe-t-on maintenant son origine ?*

- Pas plus qu'une « origine » de la vie, on ne peut véritablement déterminer une « origine » de l'homme. Ni une véritable définition de l'humain d'ailleurs. On constate plutôt une longue évolution, une filiation zoologique au cours de laquelle les différents caractères se mettent en place.

- *En connaît-on au moins les grandes étapes ?*

- Oui. Il nous faut remonter à la fin du crétacé, il y a soixante-dix millions d'années. C'est l'aube du tertiaire, les derniers dinosaures disparaissent. L'environnement subit de profondes modifications, et l'on sait que l'histoire de l'évolution est étroitement liée à celle du climat. A cette époque-là, l'Afrique est une île, l'Amérique du Sud et l'Asie également. Sur un continent qui réunit l'Europe, l'Amérique du Nord et le Groenland, apparaissent de petits animaux: les premiers singes qui descendent d'insectivores. Ils commencent à proliférer au milieu d'une flore toute nouvelle : celle des premières plantes à fleurs.

- *Nés avec les premières fleurs ! Quelle belle idée...*

- C'est donc aussi l'époque des premiers fruits. Les singes, qui conquièrent ce nouveau milieu, sont en effet les premiers à les consommer. Ils rompent avec les habitudes de leurs ancêtres qui se nourrissaient d'insectes. Cela va entraîner, au fil des générations, une série de transformations anatomiques : leur corps, par exemple, s'équipe d'une clavicule, une jolie innovation.

- *Pour quelle raison ?*

- Elle élargit la cage thoracique de l'animal, augmente donc l'amplitude de ses membres supérieurs et lui permet, au moment de la cueillette, de bien saisir le tronc des arbres pour mieux y grimper. Pour la même raison, les griffes, gênantes pour l'escalade, deviendront des ongles plats. La patte possédera, elle, un doigt, parmi les primitifs, qui deviendra opposable aux autres, ce qui permettra à l'ensemble de cette extrémité de saisir un fruit, une pierre ou un morceau de bois.

Le groupe du purgatoire

- *Qui sont ces charmants animaux ?*

- Le plus ancien primate que l'on connaisse a été baptisé Purgatorius, parce que les chercheurs qui l'ont découvert dans les montagnes Rocheuses, en Amérique du Nord, travaillaient dans un site difficile. un vrai purgatoire... Il n'est pas plus gros qu'un rat. Il vit dans les arbres, se nourrit de fruits, mais ne dédaigne pas les insectes pour autant.

- *Et c'est l'un de nos ancêtres ?*

- Pas en lignée directe, évidemment. Ces petits primates vont coloniser l'Eurasie, puis l'île formée par l'Afrique et l'Arabie réunies recouverte d'une épaisse forêt tropicale. C'est là que plus tard, il y a 35 millions d'années, apparaissent les premiers vrais ancêtres communs à l'homme et aux grands singes, les primates supérieurs. Ces grands singes sont isolés en Afrique, ce qui plaide en faveur d'une origine unique de la lignée de l'homme. Il semble qu'à ce moment-là un premier assèchement se produise, provoquant la sélection et l'adaptation de nouvelles espèces.

- *Lesquelles ?*

- Dans le bassin du Fayoun (la région du Caire aujourd'hui) et en Oman, vit un petit singe quadrupède, que l'on a baptisé l'aegyptopithèque puisque c'est en Égypte qu'on l'a d'abord découvert. Il a la taille d'un chat, une grande queue, un grand museau et se distingue de ses prédécesseurs par un léger développement cérébral frontal : 40 centimètres cubes de capacité crânienne (contre 1 400 pour nous aujourd'hui), ce qui est très modeste, mais lui permet quand même de faire preuve d'une certaine latitude de réactions.

- *Qu'entendez-vous par là ?*

- Grâce au développement de son système nerveux central, il peut exercer de nouvelles aptitudes. La vision, notamment, se développe et l'emporte sur l'olfaction : il voit en relief, ce qui correspond à une bonne adaptation à une vie dans les arbres. En même temps, ces petits primates s'essaient à des comportements sociaux: ils communiquent par mimiques.

- *Comment le savez-vous ?*

- Nous ne pouvons évidemment pas observer un petit Purgatorius, espèce disparue depuis bien longtemps, mais les lémuriens, qui vivent aujourd'hui en Afrique, ou les Tarsiens, qui vivent, eux, en Asie, nous donnent de précieuses indications comparables en certains points. Ils ont une vie sociale développée. L'observation des crânes fossiles de Purgatorius, et surtout des endocrânes que

l'on peut mouler, va dans le même sens. Les dimensions de certaines parties de leur encéphale permettent de penser qu'ils étaient déjà très sociables.

- *Vivaient-ils en famille ?*

- Elwyn Simons, le chercheur américain qui les a découverts, m'a fait remarquer que deux des crânes trouvés au même endroit présentent un dimorphisme sexuel important: ils sont très différents l'un de l'autre. L'un serait celui du mâle ; l'autre, celui de la femelle. Ce qui suggère qu'ils vivaient en groupes. Donc qu'ils développaient déjà une certaine forme de communication, et de vivacité d'esprit. C'est simple, non ?

- *Audacieux, en tout cas. Que se passe-t-il ensuite ?*

- Leur descendant, le proconsul, vit dans la forêt plus au sud et possède une capacité crânienne plus développée (150 centimètres cubes). Il y en a, en réalité, plusieurs espèces : les plus grandes ont la taille d'un petit chimpanzé. Les proconsuls vont connaître un événement géographique majeur: il y a 17 millions d'années, la plaque Afrique-Arabie se joint à celle de l'Europe-Asie. Les singes africains, le proconsul et ses descendants, vont emprunter ce pont et se répandre en Europe et en Asie. Certains d'entre eux évoluent et donnent un nouveau bouquet d'espèces : notamment le kenyapithèque au Kenya, mais aussi le dryopithèque (« singe des chênes ») en Europe, et puis, un peu plus tard, en Asie, le ramapithèque. On a cru un moment que ce dernier faisait partie de notre famille, mais on s'était trompé.

Tombé de la branche

- *On le voyait encore récemment sur les illustrations des manuels scolaires qui gambadait, tout fou, derrière la file indienne de nos ancêtres. Le voilà définitivement déchu ?*

- Oui. Ce sont les biologistes qui nous ont fait changer d'avis. En testant, grâce à des techniques de pointe, les anticorps trouvés sur quelques fragments de dents de ramapithèques, ils lui ont trouvé une proche parenté non pas avec les hommes mais avec les orangs-outans. La même expérience, réalisée avec des dents d'australopithèques, montre en revanche que ceux-ci sont très proches des humains. Par ailleurs, les biologistes ont également établi que l'homme et le chimpanzé étaient génétiquement très proches : 99 % de nos gènes sont communs aux deux espèces.

- *C'est le 1 % qui fait l'humain ?*

- Oui. Et puis, pour confirmer tout cela, on a découvert au Pakistan une face de ramapithèque, morphologiquement très proche elle aussi de celle des orangs-outans. La cause est donc entendue : ramapithèque n'est pas notre ancêtre, mais celui de l'orang-outan.

- *Ramapithèque tombé de notre branche, poursuit-on toujours la même quête du « chaînon manquant » entre l'homme et le singe ?*

- L'expression est inexacte, car elle suppose qu'il y ait un intermédiaire entre l'homme d'aujourd'hui et le singe d'aujourd'hui. Ce que l'on recherche, c'est l'ancêtre commun aux hommes et donc aux grands singes africains, la fourche qui sépare les deux rameaux conduisant, l'un vers les chimpanzés et les gorilles et l'autre, vers les australopithèques et puis vers les hommes. Tout dépend de la date de cette divergence.

- *Sur quelle date s'accorde-t-on aujourd'hui ?*

- Les biologistes parlaient de 5 millions d'années, les paléontologistes en étaient à 15. Nous avons fait un compromis: 7 millions d'années. Ce que tout le monde admet plus ou moins

désormais. En abandonnant ramapithèque, nous avons donc avancé la date de la grande rupture, et écarté l'orang-outan de notre branche : puisque les chimpanzés et les hommes sont génétiquement très proches, l'explication logique est qu'ils ont eu un ancêtre commun. Nous avons du même coup abandonné l'idée d'une origine asiatique de l'homme. Ce sont bien les descendants des grands singes restés en Afrique qui vont donner naissance aux ancêtres de l'homme.

La savane primitive

- *Comment, finalement, s'est-on tourné vers l'Afrique ?*

- L'idée qu'elle ait pu constituer le berceau de l'humanité avait été suggérée par Darwin, et puis par Teilhard de Chardin. Après avoir travaillé toute sa vie en Europe puis en Asie, ce dernier s'est écrié, au retour d'une mission en Afrique juste avant sa mort : « C'est là-bas qu'il faut chercher bien sûr, nous sommes idiots de ne pas y avoir pensé plus tôt ! ». Et puis, la découverte, par Louis Leakey en Tanzanie en 1959, d'un crâne entier confirme cette intuition : le calcul de son âge, réalisé en mesurant la désintégration naturelle de certains isotopes instables, crée un choc : 1,75 million d'années. Au début, personne n'a voulu l'admettre.

- *Toujours cette arrogance qui voudrait que l'homme ne soit pas si archaïque ?*

- Oui. A l'époque, on connaît la plupart des ancêtres de l'homme, mais on situe mal leur âge et leur statut (le premier australopithèque avait été découvert en 1924, mais on l'a longtemps considéré comme un « parent du chimpanzé »). On pense que l'apparition du premier ancêtre est relativement récente, 800 000 ans tout au plus. Avec les nouvelles méthodes de datation par les radio-isotopes et l'extraordinaire moisson de fossiles qui va suivre, on va bien être obligé de le vieillir.

- *Tous les regards se tournent donc vers l'Afrique.*

- Oui. Chaque année connaît alors une expédition internationale au Kenya, en Tanzanie, en Éthiopie dans des sites aujourd'hui célèbres : le lac Turkana, Olduvai, la vallée de l'Omo... J'ai fait le calcul : au total, nous avons dû ramasser 250 000 fossiles, dont 2 000 ossements humains et pré-humains, la majeure partie datant de 2 à 3 millions d'années. Une belle récolte qui nous a permis de reconstituer notre généalogie.

- *On en est sûr désormais, l'homme est né en Afrique ?*

- La science ne peut jamais être « sûre ». Mais toutes les découvertes convergent vers cette conclusion. Il suffit de considérer rapidement les différents lieux où nous avons trouvé les fossiles reconnus comme étant des ancêtres de l'homme. Les fossiles de 7 millions d'années n'ont été trouvés qu'au Kenya. Ceux de 6 millions, puis de 5 millions d'années également. Ceux de 4 millions : au Kenya, en Tanzanie et en Éthiopie. Ceux de 3 millions, au Kenya, en Éthiopie, en Tanzanie, en Afrique du Sud, au Tchad. Ceux de 2 millions : mêmes régions, avec, en plus, quelques pierres taillées en Europe et en Asie... Ceux de 1 million : cette fois, ils s'étendent à toute l'Afrique, à l'Asie, à l'Europe. Ensuite, on aborde l'Australie, l'Amérique. Aligned toutes ces cartes dans l'ordre chronologique et faites-les défiler en fondu enchaîné, vous découvrez l'histoire du peuplement humain et vous êtes bien obligés de conclure ceci : l'homme est parti d'un petit foyer africain, il s'est lentement répandu en Afrique, puis dans le monde entier, avec maintenant une légère incursion dans le système solaire.

L'insaisissable grand-père

- *L'Afrique, donc, vers 7 millions d'années. Nous tenons une unité de lieu et de temps. Connait-on maintenant le personnage qui évolue sur cette scène primitive, notre tout premier grand-père ?*

- Il est difficile de l'établir avec précision. Depuis une vingtaine d'années, à chaque nouvelle découverte de fossiles datant de cette période, on a pensé avoir trouvé l'ancêtre. Sivapithèque, kenyapithèque, ouranopithèque, gigantopithèque et autres oréopithèques ou otavipithèques, toutes espèces découvertes, ont joué tour à tour ce rôle. L'ancêtre commun aux singes et aux hommes est l'un d'eux.

- *Soit. Mais lequel ?*

- Nous ne le savons pas. Le kenyapithèque (15 millions d'années) découvert par Louis Leakey, s'il n'est pas l'ancêtre commun, est au moins l'un de ses cousins. Son crâne présente des preuves d'adaptation à la savane : des canines réduites, des molaires plus grosses, à l'émail plus épais et à l'usure différentielle qui indique que le temps de l'enfance s'était allongé.

- *Attendez ! Comment l'émail des dents peut-il donner des informations sur l'enfance de l'individu ?*

- L'usure différente de l'émail des dents successives montre une durée plus longue de l'éruption dentaire. Si les dents poussent plus tardivement, le stade adulte arrive lui aussi plus tardivement, ce qui indique que l'enfant a passé davantage de temps en compagnie de sa mère. La preuve nos dents mettent trois fois plus de temps à pousser que celles des chimpanzés. La durée du maternage, c'est aussi celle de l'éducation, de l'apprentissage. Plus l'enfance est longue, plus l'espèce est « instruite ». On a donc décelé une évolution de ce type chez nos kenyapithèques.

- *Que sait-on sur ce curieux animal ?*

- C'est un grand singe, un quadrupède arboricole, doté de membres supérieurs aux articulations solides, qui se redresse de temps en temps. Il possède un cerveau plus gros que celui de ses ancêtres (300 centimètres cubes), une face un peu plus réduite, et il n'a bien évidemment plus de queue depuis longtemps. Il habite tantôt dans la savane, tantôt dans la forêt. Il consomme non seulement des fruits, mais aussi des tubercules, des rhizomes, ce que révèle l'épaississement de son émail : car on use davantage ses dents en mangeant des racines que des fruits. Et il vit sûrement en société.

Les bénéfices de la sécheresse

- *Que s'est-il passé ensuite*

- Il y a 7 millions d'années, cet ancêtre vit dans l'épaisse forêt qui couvre tout le territoire africain quand survient un événement géologique : la vallée de Rift s'effondre, certains de ses bords remontent, en formant peu à peu un véritable mur. Cette faille est gigantesque : elle parcourt toute l'Afrique de l'Est jusqu'à la mer Rouge, puis le Jourdain, et s'achève en Méditerranée : 6 000 kilomètres au total, plus de 4 000 mètres de profondeur dans le lac Tanganyika. Un astronaute américain m'a dit un jour que cette grande balafre qui coupe la Terre est même visible de la Lune. Impressionnant, non ?

- *Effectivement. Quelles en sont les conséquences ?*

- Le climat en est bouleversé : les pluies continuent à arroser l'Ouest, mais de moins en moins l'Est, à l'abri de cette muraille (le Ruwenzori). De ce côté-là, les paléobotanistes le confirment, la forêt régresse, la flore se transforme. On peut voir par exemple aujourd'hui un phénomène semblable, en miniature, dans l'île de la Réunion : des collines séparent l'Est et l'Ouest ; il pleut souvent d'un côté ; de l'autre, la région est sèche. Les cultures sont très différentes.

- *Nos ancêtres, eux, se trouvent donc séparés en deux populations.*

- Oui. Ceux qui sont restés à l'ouest de la fracture continuent à vivre leur vie arboricole, mais ceux qui se trouvent isolés à l'est sont confrontés à la savane, puis à la steppe. Ce partage en deux environnements a pu susciter au fil des générations deux évolutions différentes : ceux de l'Ouest ont donné les singes actuels, les gorilles et les chimpanzés. Ceux de l'Est, les pré-humains, puis les humains.

- *Sur quoi fondez-vous cette hypothèse ?*

- Les 2 000 restes humains et pré-humains que nous avons recueillis au fil des années ont tous été découverts à l'est de la vallée de Rift ! Pas un seul os de pré-chimpanzé ou de pré-gorille de ce côté-là. A l'Ouest, c'est vrai, on n'a pas encore trouvé de vestiges de pré-singes, qui seraient les homologues des pré-humains de l'Est, ce qui renforcerait la théorie. Mais celle-ci est plausible. Ce serait donc cette petite région d'Afrique orientale, en forme de quartier d'orange, qui aurait donné un nouveau coup de pouce à l'évolution des primates vers l'homme.

- *Notre berceau... Nous serions nés de la sécheresse en quelque sorte ?*

- Exactement. Tout ce qui nous caractérise, la station debout, notre alimentation omnivore, le développement de notre cerveau, l'invention de nos outils, tout cela résulterait d'une adaptation à un milieu plus sec. C'est le mécanisme classique de la sélection naturelle : un petit groupe d'ancêtres, qui possèdent génétiquement des caractères qui constituent des avantages pour mieux survivre dans ce nouvel environnement, deviennent petit à petit majoritaires dans la population, puisque, vivant plus longtemps que les autres, ils ont une descendance plus volontiers porteuse de ces mêmes caractères, plus nombreuse.

Le singe debout

- *Quels avantages ?*

- On ne le sait pas. Peut-être une croissance différente du bassin, qui leur permet de se redresser plus facilement et donc de mieux voir leurs proies et leurs prédateurs, d'attaquer et de se défendre, de transporter de la nourriture ou leurs enfants... La station debout est-elle la cause de cette évolution, ou la conséquence ? En tout cas, ceux qui disposent de cet avantage génétique prévalent, au fil des générations. Il faut être très tonique pour sauver sa peau dans un tel milieu.

- *Qu'est-ce qui les incite à adopter définitivement la position debout ?*

- Certains individus possèdent, à cause d'une mutation génétique, un bassin plus large et moins haut qui les gêne pour rester à quatre pattes. Dans le nouveau milieu, ce « handicap » devient un avantage. Au fil des générations, il s'impose.

- *C'est une hypothèse ?*

- Bien sûr. Qui peut vraiment savoir ? Quand on observe les chimpanzés, on les voit se mettre debout dans trois types de situation : pour voir plus loin, pour se défendre ou attaquer - parce que

cela leur libère les mains et leur permet de lancer des cailloux -, et enfin pour porter la nourriture et les petits. On peut imaginer qu'à l'époque nos ancêtres perdent leur toison pour faciliter leur transpiration à cause de la sécheresse et que, pour porter leur bébé, les mères aient besoin de les tenir (alors que, chez les singes, les petits se tiennent tout seuls, bien accrochés aux poils). On peut aussi penser que, debout dans leur paysage découvert, on offre moins de prise au soleil et l'on réduit la transpiration.

- *Quelle qu'en soit la raison, on est donc certain qu'ils ont définitivement adopté cette position ?*

- Oui. L'observation des empreintes internes des crânes fossiles nous donne les mêmes indications : les circonvolutions du cerveau sont moins marquées en haut que sur les côtés, ce qui est logique car si le corps est redressé, la partie haute du cerveau n'appuie plus sur l'os et y laisse donc moins d'empreintes.

- *Et cet être qui se met alors debout va engendrer une nouvelle espèce...*

- Plutôt un foisonnement de nouvelles espèces, qui ne sont pas tout à fait des hommes et dont les plus vieux fossiles datent de 7 millions d'années : les australopithèques, ou, si l'on préfère, les pré-humains.

SCENE 2

Nos ancêtres s'organisent

Pas encore hommes, plus vraiment singes, mais debout sur leurs deux pattes de derrière, nos premiers ancêtres considèrent le monde de haut. Ils se disent des mots d'amour et mangent des escargots.

Des australopithèques à cloche-pied

- *En Afrique orientale, il y a 8 millions d'années, les pré-humains sont déjà à l'oeuvre. Ils ont rompu avec le monde des grands singes. En quoi se distinguent-ils des espèces qui les ont précédés ?*

- Ils sont debout et ils le restent. C'est une vraie révolution. Leur bassin, leurs membres supérieurs plus courts, leurs côtes et même leur crâne, posé différemment sur la colonne vertébrale... Toute la morphologie de leur squelette révèle une attitude de bipède. De plus, en Tanzanie, on a découvert leurs empreintes de pas, fossilisées dans une dalle volcanique: ce sont les traces d'un bipède de 3,5 millions d'années. Les chercheurs anglais qui les ont, relevées ont remarqué que celles-ci étaient croisées, comme si la marche était hésitante.

- *Qu'en ont-ils conclu ?*

- Qu'il s'agissait peut-être de deux australopithèques qui passaient à cloche-pied. Ou, ont ajouté des Français facétieux, que la consommation d'alcool était peut-être plus ancienne qu'on ne le croyait... La dalle était-elle glissante à l'époque ? On a heureusement trouvé plus tard, dans le même lieu, les traces de pas d'un adulte et d'un enfant qui étaient, elles, tout à fait régulières.

- *L'honneur est sauf. Combien y a-t-il d'espèces d'australopithèques ?*

- On a cru longtemps qu'il n'y en avait qu'une. En réalité, leur monde est bien plus compliqué : entre 8 millions d'années et 1 million d'années, l'Afrique connaît un véritable foisonnement d'espèces. Parmi elles, certains groupes vont évoluer pour donner les premiers hommes, mais les espèces ne cessent pas pour autant de développer leur descendance plus classique. Elles sont donc parfois contemporaines les unes des autres, et il n'est pas rare qu'un ancêtre de l'une soit en même temps son cousin.

- *Parvient-on à s'y retrouver dans un tel foisonnement ?*

- Oui, oui, bien sûr! Tout débute naturellement par des espèces archaïques qui se nomment motopithèque, ardiopithèque... Elles ne vont pas au-delà de 4 millions d'années. Puis, les australopithèques proprement dits vont prendre le relais, de 4 millions à 1 million d'années. N'oublions pas que tout ce monde-là vit en Afrique de l'Est, grande province divisée en bassins, ce qui favorise la diversification des espèces. On trouve par exemple des australopithèques baptisés anamensis dans la région du lac Turkana, plus découverte, et surtout des afarensis dans le bassin de l'Afar, beaucoup plus boisé.

- *Découvre-t-on toujours de nouvelles espèces ?*

- Oui, mais la récolte est modeste, car les bassins de sédiments datant de 4 à 8 millions d'années, période essentielle pour comprendre l'apparition des hominidés, sont rares et peu volumineux. Nous disposons donc de peu de fossiles, mais même si nous ne savons pas très précisément comment ces espèces dérivent les unes des autres, ils nous permettent quand même de fixer les grandes filiations.

- *A quoi ressemblent les pré-humains ?*

- Les fossiles les plus étudiés sont, comme vous le savez, les ossements de Lucy, jeune femelle de 3 millions d'années, le squelette le plus complet, ou du moins le moins incomplet, que l'on ait découvert.

Le genou de Lucy

- *Votre Lucy, puisque vous en êtes l'un des découvreurs. Est-ce vrai qu'elle doit son prénom aux Beatles ?*

- C'est exact. Quand nous l'avons trouvée en 1974 dans l'Afar éthiopien, nous écoutions souvent une cassette, parmi d'autres, qui comportait la chanson des Beatles *Lucy in the sky with diamonds*. Les Éthiopiens, eux, ont préféré la baptiser Birkinesh, c'est-à-dire « personne de valeur ».

- *Elle en a, effectivement, non seulement à cause de sa notoriété, mais aussi par ce qu'elle nous a appris, n'est-ce pas ?*

- Oui. Elle a été étudiée, morceau par morceau. De nombreuses thèses ont été consacrées à son bras, à son coude, à son omoplate, à son genou...

- *A quoi ressemble-t-elle ?*

- Elle ne mesure pas plus de un mètre de haut. Elle est légèrement voûtée, avec des membres supérieurs légèrement plus longs que les nôtres par rapport aux membres inférieurs, une petite tête, des mains capables de saisir des objets, mais aussi des branches. Elle est bipède, mais grimpe encore aux arbres.

- *Elle marche donc, comme nous ?*

- Pas exactement. En comparant différents types de marche - celles des hommes, des enfants, des chimpanzés actuels -, on en a déduit que celle-ci avait évolué au cours du temps : le pas de Lucy devait être plus court que le nôtre, rapide, un peu trotté, et peut-être ondulé... On a même reconstitué un accouchement, en étudiant la taille probable du fœtus, selon la dimension de son bassin. Il semble que le mouvement des bébés de Lucy à la naissance, si elle en a eu, était très semblable à celui des nouveau-nés humains aujourd'hui, et non à celui des bébés singes.

- *Que sait-on encore sur Lucy ?*

- Malgré sa bipédie, elle grimpe quand même aux arbres, comme certaines de ses articulations le montrent : le coude et l'épaule présentent un ajustement plus solide que le nôtre, qui agit comme une sécurité quand elle passe d'une branche à l'autre, les phalanges sont un peu arrondies, le genou possède au contraire une grande amplitude de rotation, aptitudes typiques du grimpeur qui ajuste ses sauts dans l'espace. Elle vit en société ; comme tous les primates, elle est végétarienne : l'épaisseur de l'émail de ses dents indique qu'elle devait manger des fruits, mais aussi des tubercules. Et d'après leur usure, il semble qu'elle soit morte vers l'âge de 20 ans, probablement noyée, ou dévorée par un crocodile, puisqu'on l'a trouvée dans un milieu lacustre.

- *Pauvre grand-mère.*

- Ne vous attristez pas. Elle n'est probablement pas notre arrière-grand-mère, plutôt une branche dérivée, car ses caractéristiques physiques sont archaïques. A la même époque, les australopithèques anamensis ou africanus d'Afrique du Sud ont, eux, par exemple, un genou plus humain. Les espèces de pré-humains ont peut-être évolué simultanément. Et ce n'est pas parce que deux espèces ont des caractères comparables qu'elles appartiennent à une même filiation. Comparez les poissons et les mammifères marins : ils se ressemblent, et pourtant ce sont des animaux totalement différents : les ancêtres des mammifères marins sont des quadrupèdes terrestres, qui ont fini par retourner dans l'eau.

Libres de leurs mains

- *On ne connaît donc pas notre vrai ancêtre australopithèque.*

- Non. J'ai pour ma part une petite faiblesse pour l'anamensis. Il a l'âge qui convient, 4 millions d'années, et il possède des membres inférieurs et supérieurs de morphologie pratiquement moderne, ce qui lui donne une bipédie semblable à la nôtre, au contraire de Lucy qui conserve encore quelques caractères arboricoles. Puis apparaissent d'autres australopithèques, les robustes.

- *Qu'ont-ils de plus que les autres ?*

- Grâce à leurs membres inférieurs mieux calés, ils sont meilleurs marcheurs que leurs prédécesseurs. Leur cerveau reste modeste : environ 500 centimètres cubes, mais il est mieux irrigué. Leur denture s'est transformée et leur permet de bien mastiquer, voire de mouliner, car, en raison de la diminution du nombre d'arbustes et, par suite, de leurs fruits, l'alimentation est devenue plus coriace, plus fibreuse. La récolte de fossiles effectuée dans la vallée de l'Omo en Éthiopie a en outre permis de découvrir, à côté des restes d'australopithèques de parfois plus de 3 millions d'années, une grande quantité de pierres taillées.

- *Les australopithèques utilisent donc déjà l'outil ?*

- Oui. On a encore beaucoup de difficultés à admettre cette idée, mais il semble bien qu'ils soient les premiers à le faire. Les traces relevées sur ces petites pierres montrent qu'elles servaient à l'épluchure de racines ou de tubercules, et non pas à la découpe de la viande ou à la raclure de l'os. Il est possible qu'elles aient été utilisées par des australopithèques de la famille de Lucy. Ce qui signifierait que les premiers outils ont été fabriqués par des êtres qui n'avaient pas encore l'entière liberté de leurs mains.

Le cerveau locataire

- *André Leroi-Gourhan avait proposé un scénario séduisant : ayant découvert l'outil, le pré-humain a eu besoin de libérer ses mains et il a adopté la station debout. Ce faisant, sa boîte crânienne a pu se développer, et le cerveau également.*

- C'est tout à fait probable. Le poisson n'avait pas de problèmes pour soutenir sa tête puisqu'elle faisait corps avec le reste de la bête. Dès qu'il a commencé à développer des poumons et à se traîner

sur le sol, le quadrupède terrestre, lui, a eu des problèmes pour retenir une tête de plus en plus indépendante. A plus forte raison quand il est devenu bipède. La station debout libère la tête et permet en même temps l'agrandissement de la boîte crânienne, le cerveau n'a plus ensuite qu'à occuper la place disponible, en bon locataire.

- *Et dès lors, il peut inaugurer de nouvelles aptitudes ?*

- Oui. Il est possible également que le grossissement du cerveau entraîne à son tour un raccourcissement de temps de grossesse : le cerveau des foetus devenant plus gros, il faut que l'accouchement soit plus précoce, ce qui permet la poursuite du développement cérébral après la naissance. Il semble bien que la position du bébé, qui se présente par la tête et non par le siège, résulte elle aussi de la position debout. Autre conséquence évidente : en se maintenant debout, l'australopithèque se sert davantage de ses mains et peut perfectionner ses outils.

- *L'outil est pourtant utilisé par les singes...*

- C'est vrai, il n'est pas spécifiquement humain, ni pré-humain. Les singes savent par exemple effeuiller des branches pour aller pêcher les termites, ou utiliser des cailloux pour casser des noix. Mais façonner un outil avec un autre est apparemment un stade supérieur qui n'est pas atteint par les singes.

- *Les australopithèques de cette période communiquent-ils entre eux ?*

- Il est probable qu'ils ont des tas de choses à se dire, mais ils le font par mimiques, signes ou sons modulés, car ils n'ont pas la possibilité mécanique de parler de manière articulée. Regardez les chimpanzés: on a longtemps essayé de leur faire prononcer quelques mots, jusqu'au moment où l'on a compris que le peu de profondeur de leur palais, l'emplacement de leur larynx les en empêchaient. Quand on a eu l'idée de leur apprendre le langage des sourds-muets, on s'est aperçu qu'ils pouvaient non seulement enregistrer plusieurs centaines de concepts, mais aussi les associer. Ce qui est sûr, c'est que l'usage du langage se généralisera vraiment avec cet autre individu qui apparaît vers 3 millions d'années, plus grand, plus droit, moins grimpeur que les pré-humains, doté d'un encéphale plus développé et plus vascularisé que le leur: l'homme.

Un individu opportuniste

- *Les australopithèques vont-ils cohabiter avec lui ?*

- Pendant au moins un million d'années, sinon deux ! Ils n'occupent pas les mêmes milieux, mais ils se croisent de temps en temps.

- *Et évidemment, ils vont entrer en rivalité.*

- Pourquoi ? Je sais combien on aime habiller le passé avec des images dramatiques. Regardez le nombre de représentations de la préhistoire où l'on voit nos pauvres ancêtres terrorisés, perdus dans un paysage agrémenté de volcans et d'incendies en arrière-plan, fuir devant une horrible bête sauvage ou devant de gros australopithèques armés de massues. Ou, inversement, nos premiers hommes, soudain très civilisés, se mettre à l'affût pour attaquer d'horribles monstres velus...

- *La réalité ne correspond pas à ces clichés ?*

- Je ne le pense pas. Il est vrai qu'avec leur cerveau les hommes peuvent élaborer des stratégies et des actions concertées contre les australopithèques pour les consommer. Des batailles peuvent se produire, mais elles ne sont jamais « rangées », elles sont certainement limitées et les deux populations cohabitent. Il suffit de voir aujourd'hui encore des Masaï, au creux de la Caldera du

N'Gorongoro, passer au milieu de lions, de rhinocéros, de buffles, toutes bestioles pas spécialement tendres, pour comprendre que l'on peut vivre en paix attentive, c'est-à-dire en équilibre avec son milieu. Ce qui n'empêche pas que l'un d'eux se fasse dévorer de temps en temps... Disons que, parfois, un humain chasse et mange un enfant australopithèque, ce n'est pas mauvais et c'est plus tendre qu'un adulte.

- *Allons donc ! C'est sérieux ?*

- Tout à fait. Les petits humains sont omnivores. Tout « gibier » qui passe à leur portée est bon à prendre. Cela dit, on ne peut pas expliquer la disparition des australopithèques par une extermination massive.

- *Alors par quoi ?*

- Par les mécanismes classiques de la sélection naturelle. Vers 1 million d'années, dans un milieu qui continue à devenir de plus en plus sec et un peu plus frais, l'australopithèque devient de moins en moins adapté. Et de plus en plus vulnérable.

- *Il entre en compétition avec les hommes.*

- Oui, mais cela n'implique pas de violence. Les huîtres plates ont disparu sous la pression des huîtres dites portugaises. Et que l'on sache, il n'y a pas eu de bagarres entre elles ! La portugaise s'est tout simplement adaptée à merveille au milieu des plates et elle a proliféré.

- *Les australopithèques sont trop proches des hommes, en quelque sorte.*

- Oui. Et contrairement aux hommes, ils ne peuvent pas, eux, dépasser leur « niche » écologique et demeurent très inféodés à leur milieu. Alors, leurs espèces deviennent moins fécondes et, au bout de quelques centaines de milliers d'années, elles finiront par disparaître. L'homme s'impose: il est plus grand, il se tient plus droit, il a une alimentation omnivore, il mange de la viande, il est très opportuniste et il est de mieux en mieux outillé.

La foule des Homo

- *Il y a 3 millions d'années, il y a donc en même temps dans le paysage des pré-humains archaïques qui trottent, des australopithèques plus solides qui marchent sur leurs pattes arrière et les tout premiers représentants du genre humain, qui commencent à chasser. Cela fait du monde!*

- Oui, deux univers se « rejoignent » : celui des pré-humains qui va s'éteindre et celui des humains, qui vient de naître. On avait pris l'habitude de classer ces derniers en trois formes : *habilis*, *erectus*, *sapiens*. Mais récemment, on en a découvert d'autres, tels *Homo rudolfensis* et *Homo ergaster*.

- *Pourquoi tant d'espèces ?*

- C'est sans doute le résultat du foisonnement des espèces d'australopithèques qui furent leurs ancêtres. Il est très difficile d'établir un lien entre toutes ces populations, et il n'est pas certain qu'il s'agisse véritablement d'espèces. Les *Homo* évoluent d'une manière si régulière que, pour moi, *habilis*, *erectus*, *sapiens* ne sont que des stades d'une même espèce.

- *Il faudrait donc parler tout simplement de l'homme au singulier ?*

- Oui, il s'agit du genre humain.

- *Qu'est-ce qui le caractérise ?*

- Ses pieds ! C'est l'une des dernières acquisitions de l'humanité : un pied tout à fait particulier, spécifique à l'homme, qui s'impose à cause de la bipédie, avec des orteils parallèles. Il possède aussi des membres supérieurs moins solides que ceux de ses ancêtres et, au contraire, des membres inférieurs plus stables, car il monte moins souvent aux arbres. Il a une mâchoire plus ronde, avec des canines et des incisives plus développées, relativement à des molaires moins grosses que celles des australopithèques, en raison de son alimentation omnivore ; et, bien sûr, un cerveau beaucoup plus gros, doté de circonvolutions complexes.

- *Il est poilu ?*

- Il ne l'est sans doute plus.

- *Noir ?*

- Comment savoir ? Probablement coloré, puisqu'il vit dans un pays découvert où l'ensoleillement est très important. Vers 2,5 millions d'années, on le sait par les études de faune et de flore, il se produit en tout cas une crise climatique très importante : un grand coup de sécheresse.

- *Quelque chose de comparable à la séparation du Rift qui a créé les australopithèques ?*

- Oui, et cela va provoquer d'immenses bouleversements. La faune et la flore se modifient. Les arbres disparaissent au profit des graminées, nombre d'espèces animales s'éteignent. Les gros australopithèques, qui possèdent un petit cerveau, mais un gros corps et une mâchoire puissante, vont se rabattre sur les végétaux fibreux et coriaces, tubercules et fruits à coque dure. Les hommes, eux, avec leur cerveau plus développé et leurs molaires étroites et longues, trouvent une alimentation d'omnivore, on pourrait dire mixte, végétaux et viande. Gros australopithèques et hommes sont d'ailleurs sans doute eux-mêmes des produits de la sélection suscitée par cette crise climatique.

La sécheresse de l'amour

- *Que mangent-ils, nos omnivores ?*

- Aussi bien des grenouilles, des fruits, des graines et des tubercules que des éléphants ! Les os des repas qu'ils nous ont laissés montrent que leurs menus sont très variés. Grâce à leur dentition solide, ils peuvent casser des graines et des fruits à coque dure. Et comme le montrent certains crânes d'animaux qui portent des traces de pierres jetées, ce sont déjà des chasseurs avérés : ils prennent aussi bien des gazelles que des caméléons, des hippopotames que des escargots. Ceux qui raillent les habitudes alimentaires des Français devraient savoir que leurs ancêtres étaient déjà des mangeurs de grenouilles et d'escargots ! L'homme est vraiment un individu qui mange de tout. Il est très opportuniste, je vous le disais.

- *Belle mentalité...*

- Il apporte quand même son gibier dans certains lieux particuliers, ce qui indique qu'il le rapporte à ses semblables. C'est un événement. Les grands singes mangent eux-mêmes leurs proies ou se les volent. Pour la première fois, cet individu-là partage, il participe donc à une forme d'organisation sociale. Vers 2 millions d'années, il s'essaie aussi à des abris primitifs, des protections circulaires ou en croissant dont on a découvert quelques vestiges.

- *Communique-t-il ?*

- L'adaptation à la sécheresse s'est traduite chez lui par une modification des voies respiratoires, et donc par la descente du larynx. L'homme est le seul vertébré à posséder un larynx en position

basse. Cela permet, avec l'établissement de cordes vocales, l'installation d'une sorte de caisse de résonance entre celles-ci et la bouche, combinée à l'approfondissement et à la réduction de l'os mandibulaire derrière les incisives, qui offrent une plus grande mobilité de la langue. S'il n'est pas encore articulé comme le nôtre, le langage devient quand même alors beaucoup plus élaboré. Certaines études de crâne révèlent en outre la présence, chez les premiers hommes, d'une région cérébrale frontale qui correspond aujourd'hui à l'aire principale du langage dite de Broca. L'évolution du vocabulaire, de la grammaire, de la syntaxe a dû suivre assez rapidement.

- *Et tout cela à cause du climat ?*

- L'évolution est en effet événementielle, et l'événement est souvent environnemental. Il est de toute façon difficile d'imaginer que le larynx soit descendu rien que pour permettre à l'homme de parler !

- *En fait, selon vous, non seulement le corps de l'homme, mais aussi son langage, sa culture résulteraient de la sécheresse !*

- C'est en tout cas une bonne explication.

- *Et l'amour ?*

- Vous allez dire que j'exagère mais pour moi l'amour est aussi le fruit de la sécheresse. Celle-ci a logiquement rapproché les êtres. En induisant une grossesse plus courte dans un milieu beaucoup plus exposé, elle a forcé la mère et l'enfant à rester plus longtemps ensemble. Ce qui, l'apparition de la conscience aidant, a fait naître l'émotion. Et peut-être, à la même époque, l'homme, le père, a-t-il dû, lui aussi, se rapprocher de ce couple mère-enfant, au moins le temps d'une saison sexuelle. Les sentiments entre l'homme et la femme sont peut-être nés en même temps. Edgar Morin m'a dit un jour à ce sujet: « Freud voulait faire disparaître le père, et vous, les préhistoriens, vous le faites réapparaître pour expliquer l'épanouissement de l'humanité. » C'est un peu vrai.

SCENE 3

La conquête humaine

Le vieux monde meurt, un nouveau naît, dominé par un bipède opportuniste qui conquiert la planète. il invente l'art, l'amour, la guerre et s'interroge sur ses origines.

L'esprit de colline

- *Les premiers représentants du genre humain sont déjà bavards et amoureux. Très vite, ils vont entreprendre la colonisation du monde. Parce qu'ils sont curieux de nature ?*

- Pourquoi attendraient-ils des centaines de milliers d'années dans leur berceau sans bouger ? Quand on monte sur une colline pour voir ce qu'il y a de l'autre côté, et que l'on découvre, à l'horizon, une autre colline, on a évidemment envie d'y grimper... Et puis, notre homme est doté d'une certaine intelligence ; il doit chasser pour se nourrir, ce qui l'incite à voyager. Il a de quoi s'imposer: il doit être assez impressionnant quand il se met à lancer des pierres.

- *Nos premiers hommes vivent en famille ?*

- En petits groupes de vingt à trente personnes, sans doute. On a observé des mouvements comparables chez les chasseurs inuits du Groenland. Quand la population augmente elle finit par atteindre un seuil au delà duquel elle est trop importante, et alors par essaimer, pour des raisons de survie un petit groupe se détache et part chercher la nourriture ailleurs, en s'installant à quelques dizaines de kilomètres de là. A l'époque de nos premiers hommes, la démographie va croître rapidement.

- *Comment peut-on savoir cela ?*

- Dans un environnement donné, il y a une relation entre le nombre d'herbivores, de carnivores et d'omnivores. En calculant la proportion des fossiles d'hommes retrouvés dans un gisement de la même période, lorsque les chiffres sont suffisamment importants pour que la statistique soit significative, on peut estimer leur population : cela donne environ 1 homme pour 10 kilomètres carrés. Ce qui correspond par exemple à la densité du peuplement aborigène dans certaines régions d'Australie.

- *Par petits essaimages, les premiers hommes commencent donc à coloniser la planète.*

- Oui. Un déplacement de 50 kilomètres seulement par génération, par exemple, ce qui n'est pas énorme, suffit à les conduire de leur région est-africaine d'origine jusqu'à l'Europe en à peine 15 000 ans, c'est-à-dire presque instantanément au regard de notre histoire : 15 000 ans, ce n'est même pas la marge d'erreur de nos datations. En partant du berceau africain, ils vont progresser ainsi jusqu'en Extrême Occident et en Extrême-Orient, où l'on retrouve des pierres taillées ou des fossiles de plus de 2 millions d'années.

Des silex laborieux

- *Il s'agit toujours des mêmes hommes ?*

- Il s'agit d'un des Premiers hommes d'abord, *Homo habilis* Ou *Homo rudolfensis*, puis d'un des hommes suivants, *Homo ergaster* ou *Homo erectus*. Mais comme nous disposons de fossiles intermédiaires, il semble qu'après une explosion de formes est-africaines le conquérant du monde ne soit qu'une seule et même espèce d'homme à laquelle on donne des noms de stades-évolutifs (des grades) successifs : *habilis, erectus, sapiens...*

- *Qu'est-ce qui caractérise l'Homo erectus ?*

- Il possède un cerveau plus gros (900 centimètres cubes) que celui de son prédécesseur, il est plus raffiné dans la manière de se comporter, d'occuper le terrain, de fabriquer ses outils. Il passe de la simple taille - caillou contre caillou - à la méthode du percuteur tendre : tape avec un morceau de bois ou de corne sur son caillou, ce qui lui permet de mieux contrôler l'éclatement de la pierre et de faire des outils plus fins.

- *Un million d'années à frapper sur des silex! Il faut tant de temps pour trouver la bonne arête !*

- Oui. Le progrès humain est lent. Pour Leroi-Gourhan, la préhistoire pouvait se lire dans l'étude des arêtes dont vous parlez. En comparant des quantités égales de silex taillés de chaque grande époque, il avait noté combien les longueurs des tranchants augmentaient lentement : 10 centimètres de partie coupante pour un kilo de premiers galets aménagés (3 millions d'années), 40 centimètres pour les premiers bifaces, et plus tard, 2 mètres pour les outils de Néandertal (50 000 ans), 20 mètres pour ceux de Cro-Magnon (20 000 ans). Plus on avance dans le temps, plus la taille se perfectionne.

- *De quelle manière ?*

- Un certain type de taille baptisé « technique Levallois » par exemple, exige d'appliquer une douzaine de coups précis avant d'obtenir l'éclat que l'on cherche, ce qui suppose déjà l'élaboration d'une stratégie et une bonne capacité d'abstraction. Un préhistorien comparait cette technique à la fabrication d'une cocotte en papier : on plie la feuille de papier une fois, deux fois, quatorze fois et l'on peut actionner la queue de la cocotte. Mais cela exige un vrai savoir-faire.

La pagaille au foyer

- *Malgré tout, on peut quand même dire que les aptitudes ont été lentes à suivre, malgré le développement du cerveau.*

- Oui. Le pauvre *Homo erectus* a traciné son biface pendant des centaines de milliers d'années. Les outils sur éclats, sur lames, les métaux, le nucléaire seront inventés en un éclair comparés à cela ! En étudiant des gisements en Afrique de l'Est, on observe un tournant vers 100 000 ans. A partir de ce moment-là, il semble que les changements culturels prennent le pas sur les modifications anatomiques. L'évolution trouve de nouvelles réponses aux sollicitations du milieu. L'acquis l'emporte.

- *Est-ce que cela s'accompagne d'un changement dans l'organisation sociale des humains ?*

- Lorsque l'on regarde les traces d'un lieu occupé par *Homo habilis*, on découvre une vraie pagaille: tout est mêlé, les restes de nourriture, ceux de la taille, ceux du découpage de la viande. Tout devait se faire au même endroit. Lorsque l'on progresse dans le temps, on relève chez les *erectus* une spécialisation des aires de campement : il y a un endroit où l'on dort, un endroit où l'on mange, un endroit où l'on taille. Ce qui indique effectivement une forme d'organisation des tâches. Plus tard, ces lieux seront complètement séparés, parfois de plusieurs centaines de mètres. Et l'on trouvera un foyer.

- *C'est erectus qui invente le feu ?*

- Oui, vers 500 000 ans. Le feu aurait pu être maîtrisé bien avant cela. Mais la société n'y était pas prête. Ce n'est pas un hasard si la maîtrise du feu intervient en même temps que l'invention du percuteur tendre et celle de l'éclat Levallois. Peut-être y a-t-il eu quelques petits génies qui ont trouvé des manières bien plus astucieuses de tailler la pierre, mais toutes les sociétés dédaignent leurs inventeurs si elles ne sont pas prêtes à les comprendre : il faut attendre que l'ensemble de la collectivité atteigne une maturité suffisante pour que l'idée puisse être mise en pratique et généralisée.

L'homme à la visière

- *Et à ce même moment, l'Homo erectus disparaît pour laisser la place à l'Homo sapiens, l'homme moderne.*

- Oui. L'un dérive de l'autre, doucement, par un long processus évolutif. La transformation est graduelle, elle se produit partout de manière homogène, en Asie, en Afrique. A une exception près : notre fameux Neandertal, en Europe.

- *Celui qui a effarouché les premiers chercheurs. D'où vient-il, celui-là ?*

- Il descendrait, lui, d'un *Homo habilis* qui a peuplé l'Europe très tôt, vers 2,5 millions d'années. A cause de glaciations successives, ce continent est devenu une sorte d'île fermée par les Alpes et par les régions du Nord couvertes de glace. Les premiers *habilis* s'y sont trouvés isolés, au sens propre du mot, et ils n'ont pas évolué comme leurs semblables des autres continents.

- *Pourquoi ?*

- On sait que, dans une île, la faune ou la flore se démarquent, avec le temps, de celles du continent voisin : elle subit une dérive génétique. Plus l'île est ancienne, et plus sa faune ou sa flore se diversifient et se distinguent des faunes ou des flores continentales. Si l'on enfermait un groupe d'hommes et de femmes sur une autre planète, leur population deviendrait de la même manière peu à peu différente de la nôtre. Eh bien ! Neandertal est ainsi né d'une dérive génétique similaire. Il possède une visière sous-orbitaire, pas de front, pas de menton, une face boursouflée.

- *Cela ne va pas lui réussir..*

- Il vit quand même en Europe de 2 500 000 ans, ou presque, à 35 000 ans, et parvient à cohabiter un moment avec un autre sapiens, Cro-Magnon, ainsi baptisé parce que l'on a trouvé ses restes à Cro-Magnon, en France. Ce dernier a évolué de son côté, en Asie et en Afrique, avant d'arriver en Europe tardivement, vers 40 000 ans.

La première cohabitation

- *Comment se passe la cohabitation ? On n'ose pas imaginer que les deux populations se livrent bataille.*

- On a longtemps opposé ces deux types d'hommes: le premier aurait été barbare, le second civilisé. En fait, ils sont très proches. Ils occupent les mêmes sites l'un après l'autre. Ils ont un outillage comparable, un mode de vie comparable. Neandertal est adroit, créatif ; il possède un langage élaboré ; il enterre ses morts ; il ramasse des objets pour le plaisir: on a trouvé des collections de fossiles et de minéraux dans des habitations de Néandertaliens de 80000 ans. Il prend également très bien le virage technologique du paléolithique supérieur: les industries lamellaires de Charente-Maritime ou de l'Yonne en France, que l'on attribuait à Cro-Magnon, sont en réalité les siennes.

- *Les deux populations se sont-elles alors mélangées ?*

- On ne le sait pas. On n'a pas trouvé de fossiles qui posséderaient à la fois les traits des deux formes. C'est la raison pour laquelle certains chercheurs pensent toujours avoir affaire à deux espèces différentes...

- *Mais Neandertal a fini par disparaître. Pourquoi ? On ne peut s'empêcher de se demander si Cro-Magnon ne l'a pas exterminé.*

- On connaît une grotte du sud-ouest de la France dans laquelle on relève un niveau Neandertal, puis Cro-Magnon, puis de nouveau Neandertal, et encore Cro-Magnon, comme s'il y avait eu des occupations successives, saisonnières ou agressives. Y a-t-il eu bataille ? Je pense plutôt que Neandertal disparaît en douceur. Cro-Magnon est mieux équipé culturellement et biologiquement que lui. S'il y a eu compétition, peut-être n'est-elle pas violente ? En tout cas, elle aboutit à la prévalence de l'un des deux.

L'art et la manière

- *Cro-Magnon, c'est vous ? c'est moi ?*

- Oui. C'est l'homme moderne. Il possède un squelette gracile, un cerveau développé, qui lui permet de développer encore un peu plus sa pensée symbolique. Il va finir de coloniser la planète : il pousse de tous les côtés, il envahit l'Amérique en passant par le détroit de Béring qui était émergé, 100 000 ans avant Christophe Colomb. Et se rend même en Australie, sur des radeaux, dès 60 000 ans au moins.

- *Et il s'installe durablement en Europe.*

- C'est cette population particulière de Cro-Magnon, en Europe, qui va faire en effet ce qu'elle n'avait pas fait en Asie et en Afrique: à partir de 40 000 ans, elle projette son imaginaire en dessinant sur des objets et des parois.

- *Les plus anciennes grottes ornées que l'on connaisse aujourd'hui ont quelque 40 000 ans. Peut-on y voir les origines de l'art ?*

- Non, la naissance de l'art s'est faite progressivement. Il existe en réalité une vraie continuité de la culture, de Neandertal à Cro-Magnon, alors qu'il y a une discontinuité anatomique. Les hommes

de Neandertal manifestent une très grande curiosité. Ils récoltent des minéraux, percent coquilles et dents pour en faire des colliers, inventent des instruments de musique, sifflets, petites flûtes, en utilisant des ossements. L'utilisation de l'ocre remonte, par exemple, encore plus loin, à plusieurs centaines de milliers d'années.

- *Enterrer ses semblables, peindre, faire des actes gratuits, se livrer à des rituels, c'est découvrir la notion du temps, c'est s'inscrire dans un univers ?*

- Oui. La conscience et sa conséquence, la pensée symbolique, se sont élaborées lentement, au fil des générations. Mais ce qui est neuf depuis 100 000 ans, c'est la capacité de l'homme d'imaginer un autre monde, au point d'en préparer le voyage, ce sont les rites et, à partir de 40 000 ans, l'art qui l'accompagne. Seuls certains individus ont d'ailleurs droit à cette sépulture, ce qui indique une sélection sociale.

Le relais de la culture

- *Et puis viennent le bronze, le fer, l'écriture, l'histoire telle que nous l'appréhendons aujourd'hui. Et la guerre... C'est bien l'homme moderne qui l'a inventée ?*

- Oui, mais elle est récente. Les premiers chamiers que l'on a mis au jour datent de l'âge des métaux, il y a quatre mille ans. Comme si la découverte de l'agriculture et de l'élevage, puis du cuivre, de l'étain, du fer, entraînait le désir de propriété, donc la nécessité de défendre son patrimoine. Il est vrai que la fabrication du métal passait par la possession de gisements. Ce qui a donné une richesse inattendue à certaines populations qui en ont usé.

- *En épanouissant la culture, l'homme maîtrise sa nature. Son corps va-t-il encore évoluer, des premiers Cro-Magnon jusqu'à nous ?*

- Très légèrement. Son squelette devient plus gracile, sa musculature aussi ; ses dents se réduisent, leur nombre également. Quant au temps de gestation, il se raccourcit. La mère et l'enfant se rapprochent l'un de l'autre, le temps d'apprentissage s'allonge. Et la population va rapidement augmenter: 150 000 humains il y a 3 millions d'années dans un petit coin de l'Afrique, quelques millions sur la planète il y a 2 millions d'années, 10 à 20 millions il y a 10 000 ans... Puis 1 milliard il y a 200 ans, et 6 milliards aujourd'hui.

- *L'espèce humaine ensuite se diversifie. Est-ce que le concept de race a un sens pour vous ?*

- Non. En terminologie botanique ou zoologique, une race est une sous-espèce. C'est abusif dans le cas de l'homme: nous sommes tous *sapiens sapiens*. Certes, il existe bien des populations au sein desquelles les individus sont plus proches les uns des autres qu'ils ne le sont de ceux d'une autre population, mais il n'y a pas de races humaines. Le mélange est tel qu'au niveau des tissus, de la cellule, de la molécule, ces distinctions n'ont aucun sens.

Eve et la pomme

- *Qu'est-ce qui reste mystérieux dans ce scénario des origines de l'homme que nous venons de parcourir ?*

- Le grand mystère, c'est la manière dont procède l'évolution. Dans un milieu qui change, les animaux et les hommes sont capables de se transformer pour s'adapter à de nouvelles conditions climatiques, comme s'il y avait, à chaque fois, l'échantillon de mutations adéquat pour que le bon choix puisse se faire. L'évolution procède certainement par la sélection naturelle. Mais suffit-elle pour expliquer une si merveilleuse adaptation des êtres vivants aux changements de leur environnement ? Celui-ci induit-il plus directement des changements génétiques ? On le comprendra peut-être dans quelque temps...

- *Diriez-vous que notre histoire a un sens, une logique ?*

- Je ne peux que le constater: les êtres vivants d'aujourd'hui sont plus complexes que ceux qui vivaient il y a un milliard d'années. Et pour ma part, je ne crois ni à la contingence, ni au hasard, qui ne semblent apparaître que lorsque l'on étudie une très courte période.

- *Cela voudrait-il dire qu'il faudrait concilier la conception scientifique de nos origines avec celle des religions par exemple ?*

- Ce n'est pas incompatible. La science, finalement, ne fait qu'observer. Elle ne peut être dogmatique. Elle sait bien que la réalité est toujours plus complexe.

- *Où situeriez-vous Adam et Eve dans votre histoire ?*

- Pour moi, ils seraient des *Homo habilis*, vivant dans la belle savane parfumée de l'Afrique de l'Est, il y a trois millions d'années, près de cette faille. Cette région-là devait être une sorte de paradis terrestre quand l'homme a commencé à chasser et à parler.

- *Avec des serpents et des pommes ?*

- Des pommes de doum, oui, qui sont des fruits de palmiers. Quant aux serpents, ils ne manquent pas... Mais n'essayons pas de faire coller l'Écriture à la science, cela n'aurait pas de sens.

La mort dans l'âme

- *Qu'est-ce qui, pour vous, fonde la spécificité humaine ?*

- C'est davantage une question de degré que de nature. Quand on observe les chimpanzés, on est frappé par leurs ressemblances avec nous, par certains comportements : des mâles, par exemple, dansent devant les femelles quand tombe la première pluie. Lévi-Strauss a construit sa perception des sociétés humaines sur le tabou de l'inceste entre la mère et l'enfant. Eh bien ! l'on observe aussi cet interdit chez les chimpanzés.

- *Comment définir l'humain alors ? Par la conscience ? Par l'amour ?*

- Par l'émotion, sûrement. Mais surtout par la conscience de la mort, qui se situe à un degré de réflexion supérieur. Réaliser que chacun est unique et qu'il ne peut être remplacé, que la disparition d'un être est un drame sans retour, ce serait pour moi l'essentiel de la définition de la conscience réfléchie. Cela englobe évidemment la conscience de soi, des autres, du milieu, du temps également.

- *Quelle serait, pour vous, la morale de cette longue histoire ?*

- Ce que ce dernier acte nous enseigne, c'est d'abord que nous possédons une origine unique : nous sommes tous des Africains d'origine, nés il y a trois millions d'années, et cela devrait nous inciter à la fraternité. Il faut aussi rappeler que l'homme est sorti du monde animal lentement, après

une longue lutte contre la nature, en imposant sa culture contre le déterminisme inné. Nous sommes aujourd'hui merveilleusement libres - nous jouons avec nos gènes, nous faisons des bébés en éprouvettes, mais nous sommes aussi très vulnérables. Si l'un de nos petits grandissait à l'écart de la société, il serait démuni, il n'arriverait même pas à marcher sur ses pattes de derrière, il n'apprendrait rien. Il a fallu toute l'évolution de l'univers, de la vie et de l'homme pour acquérir cette liberté fragile qui nous donne aujourd'hui notre dignité et notre responsabilité. Et si nous nous interrogeons maintenant sur nos origines cosmiques, animales et humaines, c'est pour mieux nous en dégager.

Epilogue

A l'étroit sur leur petite Terre, menacés par leur propre puissance, les êtres conscients et curieux lèvent les yeux au ciel et interrogent, anxieux : comment cette belle histoire du monde va-t-elle continuer ?

L'avenir de la vie

Dominique Simonnet: *Nous en sommes donc là, après 15 milliards d'années d'évolution, et seulement quelques millénaires de civilisation. L'évolution, qui se déroule depuis le Big Bang, en inventant des structures toujours plus complexes dont nous sommes les plus beaux fleurons, se poursuit-elle encore au ourd'hui ?*

Joël de Rosnay : Les particules, les atomes, les molécules, les macromolécules, les cellules, les premiers organismes faits de plusieurs cellules, les populations faites de plusieurs organismes, les écosystèmes faits de populations, et puis l'homme qui, aujourd'hui, extériorise sa biologie... L'évolution continue, bien sûr. Mais maintenant, elle est surtout technique et sociale. La culture prend le relais.

- *Nous serions donc à un tournant de l'histoire, une rupture comparable à l'apparition de la vie.*

- Oui. Après la phase cosmique, chimique, biologique, nous inaugurons le quatrième acte, que jouera l'humanité dans le prochain millénaire. Nous accédons à une conscience de nous-mêmes qui devient collective.

- *Comment caractériseriez-vous ce prochain acte ?*

- On pourrait dire que nous sommes en train d'inventer une nouvelle forme de vie : un macro-organisme planétaire, qui englobe le monde vivant et les productions humaines, qui évolue lui aussi et dont nous serions les cellules. Il possède son système nerveux, dont Internet est un embryon, et un métabolisme qui recycle les matériaux. Ce cerveau global, fait de systèmes interdépendants, relie les hommes à la vitesse de l'électron et bouleverse nos échanges.

- *Si l'on garde la métaphore, peut-on parler d'une sélection, non plus naturelle, mais culturelle cette fois ?*

- Je le pense. Nos inventions sont les équivalents des mutations. Cette évolution technique et sociale progresse beaucoup plus vite que ne le faisait l'évolution biologique darwinienne. L'homme crée de nouvelles « espèces » : le téléphone, le téléviseur, la voiture, l'ordinateur, les satellites...

- *Et c'est lui qui fait la sélection.*

- Oui. Qu'est-ce que le marché, par exemple, si ce n'est un système darwinien qui sélectionne, élimine, amplifie certaines espèces d'inventions ? La grande différence avec l'évolution biologique, c'est que l'homme peut inventer dans l'abstrait autant d'espèces qu'il le souhaite : cette nouvelle évolution se dématérialise. Il insère, entre le monde réel et le monde imaginaire, un nouveau monde, le virtuel, ce qui lui permet non seulement d'explorer des univers artificiels, mais aussi de fabriquer et de tester des objets ou des machines qui n'existent pas encore. D'une certaine manière, cette évolution culturelle et technique suit la même « logique » que l'évolution naturelle.

- *Peut-on dire alors que la complexité continue son oeuvre ?*

- Oui. Mais elle se libère petit à petit du lourd manteau de la matière. D'une certaine manière, nous rejoignons le Big Bang. L'explosion d'énergie, il y a 12 milliards d'années, ressemble à l'inverse du « point oméga » cher à Teilhard de Chardin, qui serait une implosion de l'esprit libéré de la matière. Si l'on oublie le temps, les deux pourraient être confondus.

- *Difficile quand même d'oublier le temps, et la très courte durée de vie à laquelle nous, les êtres humains, sommes contraints. Est-ce que l'individu a encore un avenir s'il doit s'intégrer, comme une cellule, dans un ensemble planétaire qui le dépasse ?*

- Bien sûr. Je pense qu'il peut se perfectionner davantage. Quand les cellules se mettent en société, elles accèdent à une individualité plus grande encore que si elles sont isolées. L'étape de la macro-organisation comporte, c'est vrai, un risque d'homogénéisation planétaire, mais aussi des germes de diversification. Plus la planète se globalise, plus elle se différencie.

- *Vous décrivez la société actuelle en biologiste, en parlant d'évolution, de cerveau, de mutations... Vous ne prendriez pas vos métaphores pour des réalités ?*

- On ne peut déduire de la biologie une vision de la société. Prétendre le contraire conduit à des idéologies inacceptables. En revanche, la biologie peut irriguer notre réflexion. Les métaphores mécaniques, les engrenages, les horloges ont dominé le début du siècle. Ce sont maintenant les métaphores de l'organisme qui sont les plus pédagogiques, à condition de ne pas les prendre au pied de la lettre. L'organisme planétaire que nous créons extériorise nos fonctions et nos sens : notre vue par la télévision, notre mémoire par les ordinateurs, nos jambes par les transports... Reste cette grande question : allons-nous vivre en symbiose avec lui ou devenir des parasites et détruire l'hôte sur lequel nous sommes, ce qui alors nous conduirait à de graves crises économiques, écologiques et sociales ?

- *Quelle est votre prédiction ?*

- Nous drainons actuellement à notre profit des ressources énergétiques, des informations, des matériaux et nous recrachons des déchets dans l'environnement en appauvrissant à chaque fois le système qui nous soutient. Nous nous parasitons nous-mêmes, puisque certaines sociétés industrialisées freinent la croissance des autres. Si nous continuons sur la voie actuelle, nous deviendrons les parasites de la Terre.

- *Comment faire alors pour éviter cela ? Préserver la planète ?*

- Il ne s'agit pas, comme le souhaitent peut-être les écologistes nostalgiques, d'enfermer la variété du vivant dans des enclos en créant des réserves ; mais plutôt de trouver l'harmonie entre la Terre et la technologie, entre l'écologie et l'économie. Pour éviter des crises, nous devrions tirer les leçons de nos connaissances sur l'évolution de la complexité, telle que nous venons de la raconter. Comprendre notre histoire peut donner un recul nécessaire, une direction, un « sens » à ce que nous faisons, et sans doute davantage de sagesse. Pour ma part, je crois en la croissance de l'intelligence collective, en un humanisme technologique. Et j'ai espoir que, si nous le voulons, nous pourrions aborder la prochaine étape de l'humanité avec sérénité.

L'avenir de l'homme

- *Notre histoire du monde aborde désormais un quatrième acte, nous dit Joël de Rosnay, celui de l'évolution culturelle. C'est aussi votre avis ?*

Yves Coppens: Un jour, j'ai dit à l'explorateur Jean-Louis Étienne, de retour du pôle Nord: « Comme tu as dû avoir froid là-bas » Il m'a répondu simplement: « Mais non, j'étais couvert » C'est assez typique de notre évolution culturelle. Nous améliorons chaque jour davantage la maîtrise de notre corps, de notre environnement et nous avons passé le relais à la culture. C'est elle désormais, et non plus la nature, qui répond le plus vite aux sollicitations du milieu.

- *Notre corps d'Homo sapiens ne se modifie donc plus ?*

- Si, mais très lentement. Il nous faut pour cela regarder vers un avenir plus lointain, bien au-delà du prochain millénaire ! Dans dix millions d'années, il y a quelque chance que nous ayons une tête différente de celle que nous avons actuellement. Notre squelette deviendra plus gracieuse et notre cerveau va sans doute continuer à se développer.

- *Ce qui va permettre de nouvelles aptitudes.*

- Oui. Il n'est pas impossible que l'accroissement de la taille du cerveau, et donc de la tête du fœtus, impose un temps de gestation encore plus court. Si la mère du super-humain de demain doit accoucher à six mois, la petite enfance en sera allongée, le temps d'apprentissage également. On ne comprend pas bien ce qu'a été la gestation dans le passé, mais on peut penser que notre évolution s'est faite dans ce sens et qu'elle peut se poursuivre ainsi.

- *Notre évolution biologique n'est donc pas vraiment terminée.*

- Elle est ralentie, mais elle se poursuit. Car nous restons soumis aux lois de la biologie, et sujets à des adaptations. Les virus, qui évoluent eux aussi, peuvent nous causer des problèmes. Nous ne sommes pas non plus à l'abri d'un cataclysme cosmique qui altérerait l'atmosphère. Mais en revanche, on ne peut plus dire que l'homme est soumis à une vraie sélection naturelle.

- *Plus de grandes mutations de nos gènes qui pourraient encore changer notre espèce ?*

- Des mutations, si, bien sûr. Mais des homozygoties pour les faire apparaître, c'est autre chose. Dans la population humaine actuelle, le brassage des gènes est permanent. Il n'y a plus de groupes isolés qui soient susceptibles de faire apparaître par dérive génétique des caractères récessifs. Sauf si nous colonisons l'espace. Il est probable d'ailleurs que l'homme y parvienne ; en acquérant une meilleure connaissance des planètes, il engagera un nouveau type d'expansion, comme celui qu'il a entrepris il y a trois millions d'années pour envahir la planète.

- *Que se passerait-il dans ce cas ?*

- Les petites populations installées sur une autre Terre, Si elles restent longtemps isolées, dériveront, divergeront : leur biologie et leur culture évolueront différemment. Imaginez toutes les cultures nouvelles qui pourraient naître sur d'autres planètes... Et peut-être aussi les nouvelles espèces.

- *Si nous allons dans l'espace, le corps changera considérablement n'est-ce pas ? Les séjours en orbite autour de la Terre ont montré que les os s'atrophient rapidement, que l'organisme ne fonctionne plus de la même manière. Nous risquons de devenir des limaces savantes...*

- Nous savons encore peu de chose des conditions et conséquences de la vie dans l'espace. En apesanteur, les modifications du corps sont importantes, les éléments minéraux des os migrent et il est difficile de les faire retourner dans leurs sites d'origine. Après quelques millions d'années d'exil dans l'espace, nos cousins seront sans doute très différents de nous. Peut-être alors retrouverons-nous une sorte de diversité des populations, voire des vraies races.

- *On est en train de la perdre aujourd'hui : la culture humaine devient de plus en plus homogène, le monde devient global, la planète toute petite.*

- C'est vrai. Les gens voyagent beaucoup, se mélangent biologiquement et culturellement. Les cultures aussi. Mais quand on voit par exemple les Bochimans ou les Amérindiens relégués dans ce que l'on appelle en terme cru des « réserves », on peut s'interroger : vouloir maintenir ces populations dans leurs traditions, leurs chants, leurs langues, n'est-ce pas leur interdire l'accès au

monde contemporain ? Les réserves ne sont-elles pas des petites îles d'origine que nous nous offrons pour notre plaisir et non pas pour le leur ? Je crois que ces populations n'ont pas d'autre solution que de se mêler génétiquement et culturellement à nous - et réciproquement - ou à disparaître. Il ne faut pas en éprouver de la nostalgie.

- *La complexité, que l'on voit à l'oeuvre depuis le Big Bang, vante-t-elle se poursuivre selon vous ?*

- Oui. L'homme accumule une connaissance grandissante. Il progresse vers un plus grand savoir, une plus grande liberté, vers une culture et peut-être une nature de plus en plus complexes. Nous suivons la même voie que celle de la matière et de la vie.

- *Vous êtes plutôt de l'espèce optimiste ?*

- Résolument. Je trouve que les sociétés humaines s'organisent plutôt bien. Petit à petit, nous prenons conscience de notre environnement. Regardez la Société des Nations, l'ONU : ces organismes ont connu nombre de difficultés. Mais quand on considère les choses avec du recul, on voit que l'homme a pris conscience de sa condition mondiale en a peine soixante-dix ans. Qu'est-ce que cela au regard de notre histoire ?

- *Peu de chose. Mais beaucoup pour un individu...*

- Il ne faut pas oublier que la durée de notre modernité est négligeable si on la compare aux 3 millions d'années de vie de notre espèce. L'humanité actuelle, bien qu'elle soit arrivée à un certain niveau de réflexion, me semble encore bien jeune. Nombre des difficultés de notre siècle viennent de ce que bien des populations n'ont qu'une information réduite sur le monde.

L'avenir de l'univers

- *Une vie d'homme est un événement dérisoire au regard de notre histoire, constatons-nous avec Yves Coppens. Peut-être sommes-nous encore dans la préhistoire de l'humanité, ou dans celle de l'univers ? Pendant combien de temps encore celui-ci va-t-il s'étendre ?*

Hubert Reeves : Les observations les plus récentes semblent favoriser le scénario d'une expansion continue. L'univers serait alors infini en dimension et sa vie se prolongerait indéfiniment. Il se refroidirait en tendant lentement vers la température du zéro absolu. Cela dit, on ne peut pas être catégorique : nos prédictions s'appuient sur des théories qui sont fondées sur l'existence de quatre forces, et de quatre seulement. Rien ne nous permet d'affirmer aujourd'hui que nous n'en découvrirons pas d'autres. Ces découvertes pourraient modifier nos prévisions.

- *S'il s'étend de manière infinie, cela veut-il dire qu'il va devenir de plus en plus vide, que les corps célestes vont continuer à s'éloigner, et que le ciel, vu d'ici, sera tout noir ?*

- Les étoiles qui éclairent notre ciel nocturne ne participent pas à l'expansion. Globalement, elles ne s'éloignent pas de nous. L'expansion se joue entre les galaxies, et non pas à l'intérieur de celles-ci. Avec le temps, ces galaxies paraîtront de plus en plus faibles à nos télescopes. Mais cet affaiblissement ne sera pas perceptible avant plusieurs milliards d'années.

- *Tout cela est hypothétique, car les hommes ne seront plus là pour faire des observations : certaines étoiles vont mourir, et notamment la nôtre, le Soleil, n'est-ce pas ?*

- Oui. Aujourd'hui, comme nous l'avons dit précédemment, notre Soleil a déjà brûlé la moitié de son hydrogène, il est au milieu de sa vie. Dans 5 milliards d'années, il aura presque tout consommé, il deviendra une géante rouge. Son noyau central se contractera de plus en plus, tandis que son

atmosphère s'étendra au contraire jusqu'à 1 milliard de kilomètres. En même temps, sa couleur va passer du jaune au rouge.

- *A ce moment-là, les planètes seront grillées.*

- Oui. Le Soleil sera mille fois plus lumineux qu'aujourd'hui. Vu de la Terre, il occupera une grande partie du ciel. La température sur notre planète grimpera jusqu'à plusieurs milliers de degrés. La vie disparaîtra, la Terre sera volatilisée. Cela prendra quelques centaines de millions d'années. Notre étoile désintégrera aussi Mercure, Vénus et peut-être Mars. Les planètes lointaines, telles Jupiter et Saturne, perdront leur atmosphère d'hydrogène et d'hélium et ne conserveront que leurs énormes noyaux rocheux dénudés. Plus tard encore, le Soleil, privé de sa source d'énergie nucléaire, prendra l'aspect d'une naine blanche, de la dimension de la Lune. Il se refroidira lentement, pendant plusieurs milliards d'années, et deviendra une naine noire, un cadavre stellaire sans lumière.

- *Que deviendra la matière qui composait la Terre ?*

- Elle retournera -à l'espace interstellaire. Plus tard, elle pourra servir à constituer de nouvelles étoiles, voire participer à la formation de planètes.

- *Et à de nouvelles vies ?*

- Pourquoi pas ? Les atomes de notre corps serviront peut-être un jour à composer des organismes vivants, dans quelques lointaines biosphères...

- *Seule certitude, l'homme ne pourra pas rester sur la Terre plus de quatre milliards d'années.*

- Oui, mais on peut penser, comme Yves Coppens, que bien avant cette date fatidique nous serons en mesure d'accomplir de longs voyages interstellaires. Songez aux progrès accomplis en deux ou trois générations : nos grands-mères voyageaient à 50 kilomètres à l'heure maximum tandis que nous disposons aujourd'hui de vaisseaux atteignant 50 000 kilomètres à l'heure. Il n'est pas exclu que les sondes accèdent un jour à des vitesses voisines de celle de la lumière. Nos descendants seront alors en mesure d'aller chercher la lumière auprès d'étoiles lointaines...

- *C'est la jolie formule de Konstantin Tsiolkovski, le père de l'espace soviétique russe : « La Terre est notre berceau, mais on ne reste pas éternellement dans son berceau... ». Cela dit, l'évolution de la complexité peut se poursuivre avec l'homme, mais aussi sans lui. Après tout, il n'est pas certain que nous soyons les héros de cette histoire.*

- C'est vrai. On pourrait imaginer que l'espèce humaine s'éteigne, sans que la vie ne disparaisse totalement. Les insectes, par exemple, sont beaucoup plus résistants que nous. Les scorpions peuvent vivre avec un taux de radioactivité bien supérieur à celui qui nous tuerait. Ils pourraient survivre à une guerre nucléaire, développer leur intelligence et redécouvrir la technologie. Ils risqueraient alors, dans quelques millions d'années, de rencontrer des problèmes de pollution analogues aux nôtres.

- *Au fil de nos dialogues, nous avons refusé de trouver un sens à notre histoire, ou tout au moins d'adopter un point de vue déterministe. Mais force nous est de constater que la complexité n'a cessé de progresser. On peut se dire qu'elle va continuer..*

- Je suis frappé par les deux faces de la réalité. La première montre cette belle histoire que nous venons de raconter. Elle laisserait en effet penser que tout cela a un sens. La seconde, plus sombre, révèle l'homme d'aujourd'hui, incapable de vivre harmonieusement avec les siens et avec la biosphère. Guerres et détériorations lui sont familières. Comme si quelque chose avait cafouillé à un moment donné dans l'évolution.

- *Et quelle interprétation en faites-vous ?*

- Pourquoi cela marche-t-il si bien dans le monde physique et si mal dans le monde humain ? La nature aurait-elle atteint son « niveau d'incompétence » en s'aventurant aussi loin dans la complexité ? Telle serait, j'imagine, une interprétation basée uniquement sur les effets de la sélection naturelle dans l'optique darwinienne. Mais si, par ailleurs, l'évolution avait pour produit nécessaire

l'apparition d'un être libre, peut-être sommes-nous en train de payer le prix de cette liberté ? On pourrait résumer le drame cosmique en trois phrases : la nature engendre la complexité ; la complexité engendre l'efficacité ; l'efficacité peut détruire la complexité.

- *Ce qui veut dire ?*

- Au XXe siècle, les êtres humains ont inventé deux manières de s'autodétruire : le surarmement nucléaire et la détérioration de l'environnement. Est-ce que la complexité est viable ? Est-ce une bonne idée pour la nature d'atteindre ce niveau d'évolution qui la conduit à se menacer elle-même ? L'intelligence est-elle un cadeau empoisonné ?

- *Et que répondez-vous ?*

- Nous sommes actuellement confrontés aux limites de notre planète. Est-il possible de faire coexister dix milliards de personnes sans la détériorer ? Même si les êtres humains sont géniaux, et ils l'ont prouvé de nombreuses fois en cassant les atomes et en explorant le système solaire, cette tâche-là sera plus ardue que tout ce que nous avons fait dans le passé. Elle impose en particulier d'abandonner l'idée de croissance économique et de se confiner au « développement durable ». Cela est difficile à faire comprendre à nos dirigeants.

- *Gérer l'organisme planétaire dont Joël de Rosnay nous parlait...*

- Dans un organisme, il y a un système d'alarme et de guérison. Lors d'une blessure, le corps entier se mobilise. Il nous faut inventer un système analogue au niveau de la planète. L'ONU et les associations humanitaires en sont déjà des ébauches. Il faudrait aller beaucoup plus loin.

- *Ne sommes-nous pas trompés par un effet d'optique ? N'avons-nous pas trop le nez collé sur notre siècle ? Si l'on analysait les choses du point de vue d'un agneau par exemple, on pourrait certes tenir des propos très pessimistes, mais du point de vue humain ? Ne sommes-nous pas encore tout simplement dans la préhistoire, comme le suggère Yves Coppens ? Peut-être nous faut-il encore beaucoup de temps pour accéder à un stade supérieur de morale et de civilisation ?*

- L'humanité a-t-elle vraiment progressé sur le plan du comportement et de la morale ? Je n'en suis pas certain. On pourrait en discuter longuement. Bien sûr, il y a eu l'abolition de l'esclavage et la reconnaissance des droits de l'homme. Mais les Indiens d'Amérique avaient déjà atteint un niveau de comportement humain admirable. Ils avaient établi des règles de conduite sociale qui ont largement influencé la Constitution américaine. Claude Lévi-Strauss a montré que l'esclavage apparaît avec les grandes civilisations. Le progrès de la morale n'est pas une évidence.

- *Il est possible que cette question se pose aussi ailleurs...*

- Notre civilisation sur la Terre n'est vraisemblablement qu'un exemple parmi beaucoup d'autres. Dans l'hypothèse où l'évolution cosmique a conduit à la formation d'autres planètes, d'autres formes de vie, d'autres intelligences, on peut également supposer que ces civilisations extraterrestres ont été confrontées aux menaces que nous rencontrons aujourd'hui sur la Terre. Une visite à ces mondes nous présenterait deux cas de figures bien différents : des planètes arides, couvertes de déchets radioactifs, chez ceux qui n'ont pas su s'adapter ; des surfaces vertes et accueillantes chez les autres.

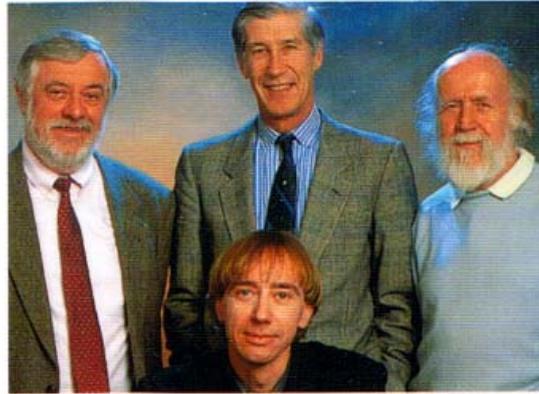
- *La symbiose ou la mort, disait Joël de Rosnay. On peut dire aussi: la sagesse, ou alors la revanche de la matière ?*

- Se pose maintenant à nous cette question cruciale sommes-nous en mesure de coexister avec notre propre puissance ? Si la réponse est non, l'évolution continuera sans nous. Comme Sisyphe, nous aurons poussé notre caillou au sommet de la montagne pour le laisser finalement échapper. C'est un peu bête, non ? Il ne faut pas nous aveugler sur la gravité de la situation présente. Pourtant, il importe de rester optimiste. Il faut tout mettre en oeuvre pour sauver notre planète avant qu'il ne soit trop tard. Nous en sommes les responsables, les héritiers. A nous de faire en sorte que cette belle histoire du monde se poursuive.

REALISATION : ATRELIER GRAPHIQUE DES EDITIONS DE SEPTEMBRE A PARIS

IMPRESSION : BUSSIÈRE CAMEDAN IMPRIMERIES A ST-ARMAND (CHER)

DEPOT LEGAL AVRIL 1996. N° 26440-7 (1/1224)



« **D'**où venons-nous ? Que sommes-nous ? Pourquoi sommes-nous là ? Voilà bien les seules questions qui valent d'être posées. Jusqu'à présent, seules la religion et la philosophie y répondaient. Aujourd'hui, la science, elle aussi, s'est fait une opinion : elle a reconstitué l'histoire du monde. C'est la même évolution qui, depuis 15 milliards d'années, pousse la matière à s'organiser, du Big Bang à l'intelligence. Nous descendons des singes, des bactéries, des galaxies. Et notre corps est composé de particules issues de la nuit des temps.

Voici le premier récit complet de nos origines, à la lumière des connaissances les plus modernes. L'univers, la vie, l'homme ... Trois actes d'une même épopée racontés dans un dialogue sans jargon. Qu'y avait-il avant ? Comment la vie est-elle née de l'inanimé ? Cette évolution va-t-elle se poursuivre ? Est-elle compatible avec la foi ? C'est assurément la plus belle histoire qui nous est offerte ici. Puisque c'est la nôtre. » D. S.

Hubert Reeves, astrophysicien, enseigne la cosmologie à Montréal et Paris. Il est l'auteur de *Patience dans l'azur*.

Joël de Rosnay, ancien directeur à l'Institut Pasteur, directeur à la Cité des Sciences, est l'auteur de *L'Aventure du vivant*.

Yves Coppens, professeur au Collège de France, co-découvreur de Lucy, est l'auteur de *Le Singe, l'Afrique et l'Homme*.

Dominique Simonnet, rédacteur en chef-adjoint à *L'Express*, auteur de *Vivent les bébés !* et des séries télévisées *Drôle de planète*.



9 782020 264402

Hymne à la création, Jordan 1995 © Jordan Lamorlette
© photo de page 4. Ulf Andersen /Gamma
ISBN 2.02.026440.4 / Imprimé en France 4.96-7