

SCIENCES D'AUJOURD'HUI
COLLECTION DIRIGÉE PAR ANDRÉ GEORGE

JEAN THIBAUD

*Directeur de l'Institut de Physique Atomique
Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon*

ÉNERGIE ATOMIQUE ET UNIVERS

NOUVELLE ÉDITION
*augmentée d'un chapitre complémentaire
avec 95 figures et 20 planches hors texte*



4108

ÉDITIONS
ALBIN MICHEL
PARIS

DE MÊME AUTEUR

ÉNERGIE ATOMIQUE ET UNIVERS

80R
43433
(36)

ÉNERGIE ATOMIQUE ET UNIVERS

*Droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés
pour tous pays, y compris l'U.R.S.S.*

Copyright by J. Thibaud, 1945.

DU MÊME AUTEUR

- La Spectrographie des rayons gamma* (Masson, Paris, 1925).
- Les Rayons X* (Théorie et applications) (Armand Colin, Paris, 3^e édition, 1941).
- Vie et Transmutations des Atomes* (Collection A. George, Albin Michel, Paris, 3^e édition, 1945).
- Techniques Actuelles en Physique Nucléaire* (en collaboration avec L. Cartan et P. Comparat, Gauthier-Villars, Paris, 1938).

DU MÊME AUTEUR

Les aspects géographiques des régions granitiques (Massif Parisien, 1953)

Les formes de l'érosion et les applications (Armand Colin, Paris, 3^e édition, 1957)

Les aspects géographiques des régions granitiques (Collection A. George, Albin Michel, Paris, 3^e édition, 1957)

Travaux de géographie en France (en collaboration avec J. Caron et R. Couget, Gauthier-Villars, Paris, 1958)

En vente chez Georges CHAIX,
12, Rue des Jeûneurs,
PARIS (2^e)

JEAN THIBAUD

Directeur de l'Institut de Physique Atomique
Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon

ENERGIE ATOMIQUE ET UNIVERS



M. AUDIN
LYON

1946

JEAN THIBAUD

Président de l'Institut de France
Président de l'Académie des Sciences et belles-lettres

ENERGIE ATOMIQUE ET UNIVERS

M. ARDIN
Lyon

SOMMAIRE

Avant-Propos (p. 9)

Introduction : ENQUÊTE SUR LE REEL (p. 11).

Chap. I. — La nature des choses (p. 33).

Première Partie. — *L'APPARENCE DE L'UNIVERS.*

Chap. II. — De la chimie-physique à la biologie (p. 51).

Chap. III. — Le microscope électronique (p. 81).

Chap. IV. — Les rayons X au sein des atomes (p. 129).

Deuxième Partie. — *LE FOND DES CHOSES.*

Chap. V. — L'étrange univers des noyaux d'atomes (p. 151).

Chap. VI. — Des noyaux qui explosent (p. 211).

Chap. VII. — La bombe nucléaire ou la machine à terminer les guerres (p. 245).

Chap. VIII. — Physique nucléaire annihilation matérielle et évolution des étoiles (p. 279).

AVANT-PROPOS

Plus qu'à aucune autre époque, les acquisitions récentes dans le domaine de la Physique ont modifié brutalement notre conception de l'univers et voici qu'elles nous obligent à songer à l'avenir même de notre espèce.

L'humanité est-elle parvenue à une situation telle qu'elle soit en mesure, seule entre les espèces animales, de mettre un terme à sa propre existence, par des moyens techniques appropriés, en même temps qu'à celle du globe qui lui sert de support? Telle est la question que chacun se pose devant la puissance des engins que la guerre a révélés, et particulièrement en présence de l'apparition décisive de l'énergie atomique comme moyen d'anéantissement.

Dans sa dernière œuvre théâtrale, Jean Giraudoux évoquait le drame du couple qui préférerait s'en remettre à l'ange exterminateur, en dépit des plus éloquents supplications de ce dernier. C'est l'espèce entière, cette fois-ci, qui, en présence d'une Minerve éblouissante lui offrant une inimaginable puissance, aura à fixer son choix entre l'extermination et la transformation heureuse de la condition humaine.

Le monde est en train de passer, quoique à son insu, de l'ère du charbon et du pétrole à celle de la captation de l'énergie subatomique: sauf accident, nous y voici installés pour des millénaires.

Mais sans doute me permettra-t-on d'affirmer que plus appréciables encore que les applications, même les plus grandioses, sont les nouveaux domaines offerts à l'exploration de la pensée. Quand bien même les hommes nous décevraient, la joie de connaître nous resterait: l'univers, de l'étoile à l'atome, nous propose les plus splendides aventures intellectuelles; il nous apporte aujourd'hui des solutions à des questions que l'humanité s'est toujours posées et

qu'elle pouvait croire définitivement interdites. Non seulement la matière, l'énergie, l'espace, le temps sont maintenant des concepts beaucoup plus précis, mais l'expérimentation nous impose elle-même des modes de pensée nouveaux, hardis, séduisants: voici l'indéterminisme pour les atomes, la courbure de l'espace pour les distances interstellaires, et voici les quanta, la mécanique ondulatoire.

Dans les applications techniques, et tout particulièrement en biologie, c'est le microscope électronique qui nous révèle les aspects des virus-protéines et atteint le point où la matière devient vie, ce sont aussi les radioéléments employés comme indicateurs par lesquels nous suivons les plus délicates réactions chimiques dans l'organisme.

La science n'est pas seulement conquête, ni orgueil de l'homme, elle est bien davantage un art magnifique: comme la musique ou la peinture, elle vise à nous faire comprendre, elle nous émeut devant la beauté de l'univers. Je me refuse à accepter, pour ma part, qu'elle puisse devenir puissance d'asservissement.

Est-il besoin de justifier la division de l'ouvrage? J'ai tenté de broser un large tableau, dans la première partie, de tous les phénomènes — et ils sont la majorité — où n'apparaît point encore le mystérieux démon intra-atomique. Dans la seconde, je me livre à lui, entendez que j'essaye d'initier aux propriétés si étranges des *noyaux* d'atomes.

C'est au cœur de ces noyaux qu'apparaît cette prodigieuse puissance que je montre à l'œuvre, aussi bien dans la bombe atomique ou dans ses applications plus pacifiques, qu'à l'origine de la chaleur stellaire ou de l'évolution des étoiles, une des récentes acquisitions des plus satisfaisantes.

Je réclame enfin pour le physicien l'autorisation de débattre quelques problèmes philosophiques et c'est ainsi que je me suis cru autorisé à situer dans l'introduction des remarques sur le problème du réel, une question qui inquiète bien des esprits en présence de la prodigieuse extension scientifique actuelle.



INTRODUCTION

ENQUÊTE SUR LE RÉEL

A. — *Essayant d'observer en lui-même, « et de suivre jusqu'aux idées cet effet mystérieux que produisent généralement sur les hommes une nuit pure et la présence des astres », P. Valéry (1) conseille à notre esprit de « s'exciter lui-même à se défaire de sa stupeur et à se reprendre de cette surprise que lui causent le sentiment d'être tout et l'évidence de n'être rien ».*

C'est là définir harmonieusement le point initial de la recherche, de ce désir de connaître qui, à toute époque, a porté les hommes à se prolonger au delà d'eux-mêmes par la mesure de l'univers, vers une tentative de compréhension cosmique.

(1) L'homme et la nuit.

B. — L'exploration du monde brillant des étoiles qui paraissent d'abord peintes sur une voûte, comme des repères pour le navigateur, donna bientôt à l'homme, à mesure qu'elle réduisait sa propre importance, l'idée de l'immensité: la figure du monde s'est agrandie singulièrement de Ptolémée ou de Galilée aux contemporains et les grands télescopes modernes sont bien près de remplacer les aimables légendes attachées à l'origine au dessin des constellations par un sentiment d'effroi, comme au bord d'un abîme: le nombre, dans cette poussière stellaire, augmente sans cesse, derrière chaque point lumineux on en peut déceler encore de nouveaux situés toujours plus loin, souvent serrés en une nébuleuse aussi massive en moyenne que 250 millions de soleils; les nébuleuses, parfois groupées à leur tour par centaines en amas comprenant un milliard de soleils, constituent d'autres îlots d'univers planant à des millions d'années de lumière, si bien que certains signaux lumineux que nous recevons de nos jours, remontent à un lointain passé, sans doute antérieur à l'origine de l'homme et peut-être même précédant les temps géologiques. En visant une étoile, nous réglons ainsi nos montres sur des phénomènes parfois disparus, vieux comme le monde.

A. — *De sorte qu'un regard dans le télescope est un coup de sonde dans le passé aussi bien que dans l'espace? Me voici bien près de ressentir un religieux respect pour ces coupes d'observatoires où viennent converger le temps et l'immensité.*

B. — Le spectographe nous renseigne sur la température comme sur l'évolution atomique de ces astres, et on a pu même envisager quelle formidable chimie nucléaire présidait à leur évolution générale en étoiles géantes rouges ou en naines bleues.

Cet instrument nous prédit encore un éloignement progressif des nébuleuses qui s'écarteraient de nous, avec des vitesses proportionnelles à leur éloignement: fuite éperdue de la matière cosmique connue sous le nom de récession des nébuleuses.

A. — *Si bien que les observations télescopiques n'ont sans doute pas encore atteint les frontières de l'univers, si même celui-ci peut*

être considéré comme borné, question qui n'a d'ailleurs, sans doute, aucun sens...

B. — Les mathématiciens et les astronomes estiment que les temps sont venus où ils disposent d'assez de données pour tenter, à partir de notre observation terrestre, une première estimation de l'univers. La solution proposée est ingénieuse, elle apaise notre frayeur devant l'infini comme notre répugnance à concevoir le néant. Il suffit, au départ, d'un retour sur les notions premières de géométrie et de dénier toute réalité à une droite. L'univers, de la sorte, serait courbe par essence : se repliant sur lui-même il pourrait être fini quoique sans bornes. Etant fini vous devriez en atteindre les frontières en marchant droit devant vous, opération impossible puisqu'en raison de la courbure intrinsèque tout ce qui paraît filer en ligne droite décrit une gigantesque courbe, à votre insu.

A. — *Pourtant, il y a les ombres des objets produites par le soleil, et même celles du bord lunaire lors des éclipses, qui prouveraient que, sur de grandes distances la lumière suit, dans son parcours rectiligne, les lois d'Euclide...?*

B. — Approximation première seulement. Vos distances lunaires, pour appréciables qu'elles vous paraissent, sont ridiculement petites auprès de celles de l'univers. Notre domaine d'exploration quotidien, trop exigü, nous paraît sensiblement euclidien comme peut l'être une sorte de projection, sur un plan tangent en un point d'une sphère, d'un réseau de lignes géodésiques tracé sur cette sphère. L'espace, pris sur de grandes étendues, serait elliptique, et toute droite prolongée vers l'infini, tendrait à s'y recourber pour revenir vers son point de départ pour peu que vous la suiviez assez longtemps, de sorte que l'infini fuira toujours devant vous, si vous partez à sa poursuite à cheval sur la flèche de Zénon.

A. — *De sorte aussi que si j'aperçois devant moi une étoile, je la verrai également en retournant la tête, puisque la lumière peut suivre deux chemins courbes opposés pour parvenir de l'étoile jusqu'à moi?*

B. — En principe oui, et l'on devrait trouver là une preuve de la courbure de l'espace : en réalité, c'est bien improbable, car le second parcours, derrière la tête, est bien long, puisque la lumière mettra dix milliards, d'années à faire seulement le demi-tour de l'espace courbe. Et même si la chose s'avérait possible, comment identifieriez-vous cette faible image, venant par derrière, parmi la multitude prodigieuse des étoiles faibles, piquées sur la voûte nocturne? Vous auriez toujours quelque chance de trouver une étoile quelconque à la place où vous cherchiez votre pâle reflet du retour arrière. Pourtant bien qu'invérifiable, du moins dans l'état actuel de la Science, cette théorie de la courbure a d'incontestables avantages esthétiques. Ainsi pourquoi voulez-vous que l'espace, pris sur des distances astronomiques, demeure nécessairement euclidien? Cet espace plan n'est-il pas, au contraire, l'hypothèse trop élémentaire, difficile à admettre, et inutilement restrictive? Un espace à quatre dimensions, courbe, serait plus satisfaisant. Le malheur est que nous ne savons rien des moyens de prouver cette courbure, par exemple de montrer si l'espace supposé non euclidien est hyperbolique ou elliptique. En sorte que tous les calculs conserveront la précarité même de leur point de départ. Néanmoins, les théoriciens n'ont pas craint de s'aventurer : ils annoncent le nombre total d'atomes que peut renfermer l'univers comme étant égal à 10^{78} et calculent pour le rayon actuel de l'univers — car l'univers serait chaque jour un peu plus gros et augmenterait ses dimensions par l'expansion — la valeur $R = 10^{28}$ centimètres (1).

A. — *En sorte qu'à défaut d'être mathématicien, il faut se résigner à ne rien connaître du cosmos ! De vous à moi, ne trouvez-vous pas que les théoriciens exagèrent?*

(1) Il est difficile de donner une idée intuitive de la grandeur de tels nombres. Par exemple 10^{78} est l'écriture abrégée d'un nombre commençant par 10 et qui serait suivi de 77 zéros ; il faudrait plus d'une ligne pour le faire tenir !

B. — Il serait imprudent, en effet, d'avoir recours aux seules méthodes théoriques dans notre prospection cosmique, et d'adopter l'attitude un peu dédaigneuse de sir James Jeans, à l'endroit de l'expérimentation, quand il écrit (1) : « Il résulte de tout cela que si nous désirons la vérité ultime au sujet de l'univers ou de ses constituants, nous devons nous adresser au mathématicien... », ou encore : « Le fait que je veux souligner est le suivant : les méthodes du mathématicien peuvent nous donner une réponse totale et définitive, tandis que celles de l'expérimentateur ne permettent qu'une réponse partielle ».

En somme les mathématiciens estiment que les données de l'expérience sont plus gênantes qu'utiles et qu'ils en savent personnellement bien trop long pour s'arrêter à elles ! Or Dieu n'est pas uniquement mathématicien, ni le monde réduit seulement à un réseau d'équations.

L'élaboration de la pensée est souvent l'œuvre des contraires et le développement scientifique s'aide tour à tour des idées abstraites ou de l'expérience. J'espère vous citer, dans un moment, plusieurs cas célèbres récents où nous verrons une contradiction des faits se mettre en travers des idées reçues et les contraindre à une autre direction.

A. — *Autre chose : les géomètres ont créé des « espaces abstraits » dont les variantes peuvent être infinies, ainsi à suivre l'exclusive de sir Jeans, ne risquerions-nous pas un univers plural, donc indéterminé ? Et que faut-il penser de ces divers univers plus ou moins en expansion, ceux d'Einstein, de De Sitter ou de Lemaître ?*

B. — On mesure ordinairement les vitesses des étoiles par le déplacement des raies au spectroscopie vers le rouge ou vers le violet, le déplacement vers le rouge indiquant l'éloignement. Le fait brutal, constaté par Hubble, est le suivant : les nébuleuses éloignées montrent un déplacement vers le rouge, donc s'éloignent de

(1) *Le Progrès Scientifique*, p. 25.

nous. En outre, plus une nébuleuse est faible, c'est-à-dire plus elle est lointaine, et plus le déplacement vers le rouge est important. On peut ainsi penser que ces nébuleuses s'éloignent de nous avec des vitesses proportionnelles à leur éloignement. De là à songer à une expansion continue de l'univers et aux mathématiciens d'entrer en transe sacrée. Mais réservons ceci pour l'avenir qui en jugera. Par contre les résultats concrets obtenus en astrophysique par la seule expérimentation ne sont-ils pas admirables? Non seulement les caractères d'ensemble des principaux astres ont pu être fixés (dimensions, poids, température superficielle, vitesse de rotation ou de translation), mais la nature même de la matière qui les compose est connue avec la même précision que s'il s'agissait de substances à portée de main. Nous avons reconnu ainsi l'unité de matière stellaire, les étoiles étant formées à partir des mêmes corps simples que notre globe, mais dans des proportions différentes (hélium solaire).

La plus belle acquisition en ce domaine, toute récente encore mais dont nous pouvons être fiers, se rapporte à l'origine de cette énorme énergie stellaire, une des inconnues les plus préoccupantes jusqu'ici pour l'humanité puisqu'elle met en cause l'existence de l'astre-roi, c'est-à-dire l'avenir même de notre espèce : les physiciens pensaient bien, après élimination de toutes les causes classiques, inadéquates, que les transmutations d'atomes, mettant en action des énergies considérables échappées aux noyaux, devaient y jouer un rôle fondamental (1).

Vous savez qu'après s'être cantonnées, il y a quelques années encore, à de rares éléments, aluminium, azote, etc., les désintégrations atomiques provoquées, ont, en peu de temps, été obtenues pour tous les corps simples.

A mieux connaître ces réactions nucléaires, telles que nous les

(1) Voir J. Thibaud, *Vie et Transmutation des Atomes*, A. Michel édit. (Collection A. George) p. 55 et 183 (1^{re} édition) (les références ultérieures à cet ouvrage, qui peut servir d'initiation première, seront désignées désormais par V.T.A.)

obtenons dans nos laboratoires terrestres, il est devenu possible de choisir celles d'entre elles susceptibles d'alimenter chaque type d'étoile jusqu'à la température que nous lui connaissons, ceci en dépit du rayonnement intense qui tend à l'épuiser. C'est ainsi que Gamow, Strömngren, Von Weizsäcker, Teller et surtout Bethe se sont trouvés d'accord pour une seule possibilité, mais qui cadre très bien avec toutes les données : c'est au cycle de transmutation du noyau d'hydrogène en hélium par l'intermédiaire d'une transformation passagère aidée par les noyaux de carbone et d'azote, lesquels « catalysent » en quelque sorte la suite des réactions nucléaires, pour se trouver finalement régénérés, que l'on doit la chaleur si douce du soleil et la lumière des étoiles.

Ceci a permis à ces physiciens, particulièrement à Bethe, d'écrire l'histoire d'une étoile. Chacune d'elles grandit, puis dépérit. Jeune elle est riche d'hydrogène, son combustible par excellence, vieille elle en manque, mais par contre, bourrée d'un déchet, l'hélium, inutilisable pour produire de l'énergie nucléaire en son sein, elle s'étiolle sur ses scories atomiques.

Une confirmation éclatante de l'exactitude de telles spéculations a été donnée, il y a peu : ces réactions conduisent à la prévision rigoureuse du diagramme d'Herzsprung-Russell empiriquement obtenu et jusqu'ici très mystérieux.

Classées sur un graphique, en fonction de leur couleur et de leur puissance de radiation lumineuse, les étoiles se distribuaient étrangement sur deux lignes qui se coupaient : l'une de ces lignes correspond aux étoiles dites naines, les plus nombreuses, l'autre contient les « géantes ». Eh bien, maintenant, ce diagramme d'évolution des types différents d'étoiles possibles peut être tracé par avance, en calculant les étapes successives suivant le degré de contraction de la masse stellaire et la température qui en résulte. Une fois atteinte une température déterminée, un nouveau type de réaction nucléaire entre en jeu, et, simultanément, l'étoile se déplace sur le diagramme...

La durée d'évolution du cycle conduit à attribuer ainsi aux étoiles un passé de quelques milliards d'années et leur promet un ave-

rir qui nous retire maintenant toute inquiétude. Tout ceci doit être considéré comme définitif : c'est un beau succès à l'actif de la physique des atomes...

A. — *Rien n'est aussi proche de l'atome que l'étoile, qui serait une amplification de ce dernier, rien n'en suggère autant l'idée, d'ailleurs, à nos regards. Il suffit d'ignorer la mesure et l'étalon.*

A des yeux neufs, l'un comme l'autre, apparaissent singularités ponctuelles, isolées par d'énormes espaces vides, et en même temps, rayonnant de toute l'énergie qu'ils enserrent. Les uns, les autres, sont légions, il s'en présente sans cesse de nouveau quand on tente de les dénombrer, ils semblent jetés au hasard dans l'espace, comme des matières figées dans l'extrême froid du vide noir et qui brûleraient pourtant d'un ardent feu intérieur.

B. — L'abbé Lemaître a même proposé de considérer l'ensemble de l'univers comme un super-atome, qui aurait évolué. A l'origine, le monde aurait été un atome compact, énorme, qui, plus tard, devait essaimer ses débris...

A. — *Par une heureuse symétrie, on vient à penser, qu'en retournant le cosmos, les grains matériels ultimes qui le constituent et l'infiniment petit particulaire, sont comme le reflet de la voûte céleste, dans un miroir rapetissant, une autre poussière de points. De même que les admirables télescopes du Mont-Wilson aux U.S.A. photographient les très lointaines profondeurs du ciel, n'avez-vous point d'instruments pour fixer les grains ultimes de la substance?*

B. — Le « microscope électronique » est le dernier mot, en ce genre et recule assez loin la limitation imposée à son prédécesseur, le microscope optique bien connu, par l'intervention fâcheuse des effets de diffraction de la lumière. Il utilise, pour former les images agrandies, des particules chargées, des électrons, convenablement lancés puis dirigés. Malheureusement il y a peu de chance qu'il puisse jamais tirer la photographie d'un atome isolé : il connaît

à son tour la limitation et pour la même raison que le microscope ordinaire.

En effet, l'électron — comme d'ailleurs ses autres congénères les grains matériels ultimes, protons, neutrons — n'est pas tout à fait un corpuscule. Une véritable particule, une singularité ponctuelle, si elle vient à se manifester en un point A de l'espace, ne saurait être présente simultanément au point B, distant du premier. Il est établi, au contraire, que les grains ultimes portent leurs effets dans l'espace, très loin des points qui les représentent. De telles manifestations spatialement étendues sont connues pour être des ondes.

C'est à Louis de Broglie que revient le très grand mérite d'avoir eu l'intuition de la double nature de chaque grain ultime, lequel participant des propriétés des ondes serait donc simultanément ondulation et corpuscule. Il attache donc à chaque déplacement d'électron une longueur d'onde déterminée, comme pour une propagation optique. C'est pourquoi le pouvoir de résolution du microscope électronique se trouve également limité par la diffraction résultant de l'existence de cette longueur d'onde.

A. — *Cette dualité essentielle de tout grain est chose bien étrange. Mais comment peut-on déceler ces prolongements spatiaux de l'électron, en un mot, ses effets ondulatoires?*

B. — De la même manière que Young le fit quand il voulut établir la nature ondulatoire de la lumière, considérée antérieurement par Newton comme d'essence granulaire. Vous envoyez un jet d'électrons sur un écran percé de deux ouvertures rapprochées α et β (figure 1). Le premier électron passant au travers du trou α par exemple, « sait » qu'un autre électron va le suivre et passer par le trou β ; il s'arrangera pour modifier son trajet, après traversée de α , de manière à retrouver le second électron dans des zones P déterminées d'un écran d'observation M (plaque photographique). Quand je dis « sait » et « s'arrangera », je n'entends donner à l'électron ni conscience, ni libre arbitre. Ces mots expriment

ment seulement les propriétés d'étendue spatiale et de répétition périodique dans le temps, qui caractérisent une onde.

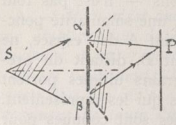


FIG. I

A. — En somme le caractère semi-ondulatoire de l'électron atténue la possibilité de stricte localisation dans l'espace que lui conférerait son titre de corpuscule.

B. — Aussi a-t-on beaucoup parlé « d'indétermination » à propos des particules atomiques. Il est impossible de serrer de près, par une expérience appropriée, une seule

d'entre elles. Chacune conserve un petit domaine d'imprécision soit dans la mesure de sa position dans l'espace, soit dans celle de sa vitesse. Elle est très jalouse de conserver, vis-à-vis de nous, observateurs, cette marge de sécurité. Et cette marge est dans l'essence même de l'Univers : on la mesure par la grandeur d'une certaine constante, h .

A. — L'infirmité même de notre esprit, la quantité limitée de substance grise dont dispose notre cerveau, nous gênent dans la compréhension de ces situations paradoxales, telles que le dualisme fondamental dont vous parlez, ou certains résultats de la théorie de la relativité. Il est certain que l'homme a d'abord construit un monde à sa mesure, plat et circulaire, puis qu'il a dû l'agrandir aussi bien vers les grandes que vers les petites échelles, aussi bien en direction de la nébuleuse que dans celle de l'atome. Ainsi par un sorte de réaction entre l'esprit et l'univers, s'établit lentement la construction de la « réalité ». Mais ces réactions mutuelles posent un redoutable problème. Dans quelle mesure la conformation même de notre esprit déforme-t-elle la structure de l'univers, ou inversement, comment la manière d'être, propre au cosmos, agit-elle sur l'esprit, par exemple en créant des modes nouveaux de pensée ? Platon et ses hommes enchaînés dans l'ancre souterrain de sa « République », concluaient, en pessimistes, que la seule réalité était ombre...

B. — Le réel est un état limite vers lequel nous tendons sans l'atteindre. C'est le point à l'infini de nos connaissances. Nous en détachons des « coupes » de plus en plus perfectionnées selon les époques de notre développement intellectuel. Ces coupes embrassent un nombre de plus en plus important de faits et de découvertes. Elles présenteront, en même temps qu'une complication croissante dans le détail, une simplification dans les idées générales, de sorte que des compartiments du savoir qu'il fallait jusque là traiter indépendamment, se fondront dans une construction plus générale et plus harmonieuse. Ainsi la mécanique galiléenne est-elle devenue un cas particulier de la relativité, de même que la spectroscopie n'est plus qu'un aspect particulier de la mécanique quantique.

Mais voici que les recherches atomiques nous révèlent, en microphysique, l'essence même de la matière : l'étude poussée de l'infiniment petit conduit aux « noyaux » d'atomes et, par eux, au moyen de transformer cette matière. Nous voici parvenus au seuil d'un autre monde, celui des noyaux, substratum du cosmos. La rencontre des noyaux atomiques est un fait d'une importance aussi capitale que la rencontre de l'homme par l'homme. Des questions étranges vont être échangées, pour la première fois : les réponses sont surprenantes et choquent nos habitudes d'esprit. Les grains que nous poursuivons, en essayant de les cerner dans les petits domaines spatiaux qu'ils sont censés occuper, abandonnent leur individualité. Bien plus, ils sont susceptibles d'échanger leurs positions, sans qu'il soit, ainsi possible de discerner celui qui se trouve, à un instant fixé, en A ou en B. Ces « échanges » entre individus de même nature et indiscernables, s'accompagnent de forces d'une nature entièrement nouvelle et d'une très grande intensité, forces qui jouent le rôle primordial dans la cohésion des noyaux complexes, par conséquent qui se trouvent être la raison même de l'existence de la matière.

A. — *J'avoue avoir en votre présence quelque peu le vertige et puis-je l'avouer? il me vient une pointe de scepticisme. Comme si tout ce que vous m'exposez n'était qu'une construction de l'esprit*

humain, édifice peut-être admirable mais sans rapport avec le réel?

B. — Qu'appellez-vous le réel? Quel est selon vous le critère de la réalité?

A. — *Que voici une ennuyeuse question, et qui mériterait d'être commentée. Mais permettez-moi d'abord d'achever ma pensée. Je ne veux pas ériger le doute en système; parvenir à faire naître le doute est un exercice banal, que tout bon professeur de philosophie sait exécuter avec adresse devant un auditoire de « moins de vingt ans ». Nous nous sommes tous laissés entraîner, ravis, à l'issue de notre phase scolaire, et quant à moi je me souviens d'être devenu un temps incapable de saisir un bouton de porte sans être pris de doute philosophique devant la réalité de l'objet à saisir, autant que devant l'opportunité du geste à faire pour le saisir...*

Reconnaissez pourtant que les objets que vous manipulez, vous autres physiciens, sont autrement difficiles à reconnaître et à saisir, que le bouton de la porte. Vous classez les électrons par niveaux énergétiques, vous sondez la structure nucléaire, et rangez soigneusement, bien étiquetés par degrés d'énergie, protons et neutrons, dans un domaine de l'infiniment petit où nul œil animal ne s'aventurera, ce qui est déjà inquiétant pour l'homme de la rue. En fin de compte, vous nous avouez que l'électron, et même tout « grain » d'énergie que vous nous présentiez au début comme une singularité quasi ponctuelle est, de nouvel examen, non localisable, qu'il est infiniment étendu dans l'espace, en quelque sorte omni-présent et qu'il faut tout le champ d'extension d'une onde, tous les prolongements tactiles de la conception ondulatoire, pour aller en dénicher les plus subtiles manifestations dans les moindres recoins de l'espace! J'ai bien l'impression de votre sincérité comme diraient les peintres, j'ai le sentiment, aussi, de la richesse de votre conception protéiforme, adaptable à tous les cas concrets, mais cette subtilité même de votre pensée me met en défiance envers ce qui peut finalement n'être que construction de l'esprit, et vous risquez de ne pas emporter mon adhésion; je serais même tenté de crier : on se moque du public!

B. — Je vous l'accorde, et vous posez ici le problème des rapports de l'esprit et de la réalité. Tout d'abord, aucun d'entre nous n'est en mesure de nier la part énorme de l'esprit humain dans la construction du cosmos, l'intervention insigne de la structure propre à notre entendement, ses infirmités comprises. C'est ainsi que chaque processus créateur a besoin d'« images », il faut nourrir d'abord l'esprit de fictions rudimentaires, de schémas analogues aux jeux constructifs des enfants, votre esprit analytique et simplificateur ayant besoin de se dépouiller d'abord des incidences. La grande difficulté est même de savoir à temps voulu, se détacher d'un schéma, de rejeter une image quand elle nous a fourni tout ce qu'elle pouvait nous donner, avant qu'elle ne nous entraîne dans des extensions et des comparaisons abusives. A ce point de vue, les théories physiques actuelles les plus achevées, quantique et ondulatoire, vont à l'extrême, et résolument abstraites, rejettent *a priori* toute description d'un système par mécanisme et par figure. Comme si l'esprit humain se dégagait par degré de ses tâtonnements du début, de ses faiblesses primitives.

Vous direz, également, que le rôle de notre entendement se manifeste dans l'histoire de l'évolution des sciences — d'abord toutes empiriques et classificatrices, comme l'histoire naturelle, pour devenir ensuite hardiment prospectrices et dominatrices, comme l'astrophysique ou la physique nucléaire. Certes, on est bien des fois passé à côté d'une découverte importante, qui, traitée par un esprit mûri différemment, aurait pu être faite dix ou vingt ans auparavant. De même, la venue de certaines fortes personnalités que vous nommez des génies, a hâté d'un coup l'évolution. Tout ceci, je vous l'accorde. Toutefois, avec un peu de recul, ces fluctuations disparaissent (1). Et si c'était à refaire, je ne crois pas que les Sciences évolueraient autrement. L'ordre de succession des découvertes que vous connaissez est sans doute le seul compatible avec la structure

(1) Exemple typique: il y a des moments de l'histoire où une découverte devient *imminente*, les moyens techniques sont enfin prêts, les esprits des chercheurs tendent dans une même direction dans les différents pays, le plus rapide l'emporte, mais l'annonce de la découverte surprend rarement les initiés, dont beaucoup étaient déjà en piste et placés.

de notre entendement, mais *aussi* avec celle de l'Univers. Il est bien improbable que la géométrie riemanienne ait pu être découverte avant l'eulidienne et tout à fait impossible que la récession des nébuleuses fut observée avant les phases de la lune. Il faut avoir eu la notion d'étendue spatiale et le concept de mesure pour créer ensuite la géométrie. Et parler des grains sub-atomiques nous paraît à peine concevable avant d'avoir reconnu toutes les lois de l'électricité.

L'homme s'est cherché à travers la nature, je veux dire qu'il a voulu imposer à ses investigations cette forme particulière à son cerveau, ce besoin spécial, qu'il nomme compréhension : il a tenté d'abord de sortir de la peur primitive et instinctive en face des éléments, considérée à l'origine comme une malédiction qui lui était destinée, pour les séparer ensuite de lui-même et les rattacher à de grandes relations qu'il suppose extérieures à sa personne, et qu'il désigne comme des lois physiques.

Mais ce développement univoque de la Science n'a pas seulement pour cause une certaine structure de la substance grise et de ses réflexes conditionnés, il est dû avant tout à l'essence même du réel. D'autres êtres, doués de sens différents, placés dans le même cosmos auraient construit une Science qui, dans son aboutissement, ne serait pas tellement différente de celle que nous connaissons, mais se serait faite à rebours. C'est d'abord une question de dimensions de l'observateur : un être pensant, de dimensions atomiques, serait né avec l'idée de la discontinuité comme nous devant les étoiles célestes. Il lui aurait fallu un millénaire pour arriver à la notion de continuité statistique. Mais un être pensant de la taille de l'univers nous traiterait de simple d'esprit si nous lui disions que les étoiles sont rares et la matière céleste discontinue. Ou bien encore pourvu de prolongements nerveux sensibles au champ électrique ou à l'action magnétique, qui nous font défaut, mais aveugle pour la lumière par contre, un être « à l'envers » aurait décelé, dès l'origine, les perturbations électromagnétiques alors qu'il ignorerait les couleurs ; il lui aurait fallu, à n'en pas douter, dix siècles de développement scientifique pour passer de l'appareil récepteur de T.S.F., qui lui serait presque aussi naturel que la vue chez

nous, au spectroscopie, et ultérieurement à la vision artificielle du bleu ou du rouge. Ainsi, finalement, malgré les voies opposées, des résultats équivalents, extérieurs à l'être perceptif et caractéristiques du réel. Quoi que vous supposiez de la nature des organes de relation avec l'extérieur, de l'être que vous inventerez, ces organes ne seront qu'en fonction d'une réalité extérieure. Point d'organe à capter l'inexistant. Ces organes de relation sont déjà des preuves, de leur fait même.

A. — *Vous ne m'éclairez toujours pas sur la réalité effective...*

B. — J'y viens maintenant. Ma conviction est qu'il peut exister un réel extérieur à l'homme, mais la difficulté est de le percevoir en dehors de nous-mêmes, parce que les « sections » du réel que nous pouvons opérer et « ramener à nous » comme le plongeur ramène avec la bathysphère les animaux étranges des grands fonds, participent de la double chétivité de nos sens, toujours médiocres, et de la traduction que notre esprit infirme fournit des données sensorielles.

Je trouve une première preuve de l'existence indépendante de l'univers dans le fait suivant : tout est pensable, j'entends que, fermé dans votre chambre et réduit aux seules ressources de la pensée, vous pouvez échafauder l'hypothèse qu'il vous plaira ou l'hypothèse exactement contraire et ceci avec autant d'arguments. C'est à n'en pas sortir et l'origine même du doute philosophique : enfermé dans la caverne, jouet des ombres contradictoires, personne ne peut espérer s'échapper sans recours aux réactions de la réalité, sans éprouver ses songes à un guide extérieur plus compétent : la connaissance du monde fuit devant vous, l'esprit tourne en rond. Démocrite croit à l'atomisme, c'est-à-dire à la discontinuité de structure de la matière, tandis que Goethe, pour des raisons esthétiques, en tient pour la doctrine du continu — qui a tort, qui a raison ? Autre exemple : les alchimistes, dès le moyen âge, croyaient à la possibilité de muter les éléments les uns dans les autres. Pouvaient-ils étayer leur croyance sur des faits expérimentaux ? Parvinrent-ils à ces transmutations ? Certes non. L'époque contem-

poraine, pourtant, a été plus heureuse, parce qu'elle a suivi un autre guide, l'enchaînement logique de faits expérimentaux.

Finalement, je serais tenté de définir le réel comme le plan où s'éprouve la pensée de l'homme : définition qui implique donc, dès le départ, l'infirmité humaine, mais lui ménage pourtant tous les espoirs. Le réel est la pierre de touche, c'est un contact sûr qui répond par oui ou par non quoique parfois en termes déconcertants, aux questions que l'homme de Science, moderne Œdipe, tente de lui poser par l'intermédiaire des instruments.

A. — *Je retiens votre définition, mais suis curieux d'avoir des échos de tels entretiens.*

B. — Il est possible d'ailleurs de citer les plus célèbres réponses : si l'homme s'est cherché, à l'origine, à travers la nature, cette dernière le lui a bien rendu par la suite. J'entends par là qu'en lui faisant un certain nombre de cadeaux précieux, elle l'a contraint le plus souvent. L'étude de l'univers est souvent violence faite à notre routine d'esprit, éclatement des systèmes sur lesquels nous comptons pouvoir enfin paresseusement reposer. L'électromagnétisme battait son plein vers les années 90 du siècle dernier et l'on espérait pouvoir souffler un bout de temps : mais il y eut l'expérience de Michelson qui soudainement vint tout remettre en question. Cette expérience qui *devait* montrer un déplacement de franges observables à l'interféromètre, lié au mouvement terrestre et qui s'obstina à ne rien donner. Il fallut pour en sortir, tout reprendre par la base, jusqu'aux principes même de la mécanique et de là naquit ce bel effort de pensée qu'est la Relativité avec Lorentz, Einstein et d'autres. L'expérience de Michelson força l'esprit vers autre chose de plus compliqué, mais incontestablement de plus esthétique, qui avait échappé jusqu'alors. Nierez-vous l'intervention quasi-miraculeuse du réel ?

On pourrait faire ainsi un recueil des refus retentissants que la réalité a opposés, des réactions de contrainte incessante que le cosmos fait subir à l'homme — et des violences qu'il opère sur sa pensée.

Vers 1900, c'est le spectre du corps noir qui refuse énergiquement de se plier à l'analyse mathématique qu'en vertu des idées classiques, Max Planck essayait de lui appliquer. Avec une intuition profonde, Planck n'insista pas, il opta pour le refus, j'entends qu'il admis ce refus comme une base nouvelle bien qu'alors absolument incompréhensible et scandaleuse, sur laquelle il jeta les premiers linéaments de la théorie des quanta.

Un autre refus retentissant est celui qu'opposa le spectre de l'atome d'hydrogène de laisser exprimer les termes successifs de ses raies brillantes autrement que par une formule étrange, laquelle faisait intervenir une mystérieuse relation, une condition de quantité de mouvement, tout aussi scandaleuse que celle découverte par Planck. Ici le fauteur et l'acceptateur du scandale fut Niels Bohr, qui se plia à l'exigence du fait et l'imposa à tout le monde, par l'importance des conséquences révélées, sans d'ailleurs que personne durant longtemps ne comprît rien au mystère qui s'y cachait.

Pour tous les mouvements électroniques dans l'intérieur de l'atome, le moment de la quantité de mouvement particulière se montrait fixe, et égal au produit d'une constante, h , par $1/2 \pi$, c'est-à-dire par le rapport du rayon de la circonférence à la longueur de son contour.

Le mystère de cette relation fut percé à jour par L. de Broglie, qui, toujours guidé par les faits, tels que l'effet photoélectrique ou l'effet Compton, jeta les bases d'une doctrine nouvelle, la mécanique ondulatoire, bientôt perfectionnée par Schrödinger. Il retrouvait le rapport géométrique $1/2 \pi$ ci-dessus, comme le résultat d'une résonance d'une onde sur le contour circulaire (voir Ch. 5, p. 162).

Dans d'autres cas, le réel se présente à nous comme le résidu incoercible sur lequel la recherche trébuche, c'est la petite divergence, négligeable en première approximation, l'effet « de second ordre » où se trouvera la vérité, la légère ondulation des points expérimentaux autour de la courbe continue que notre esprit trace « par raison de continuité » pour les relier entre eux, ondulation qui révélera, demain, le fait essentiel.

Pour l'expérimentateur ces mouvements contrariants de la Nature peuvent tantôt se faire jour après de longues recherches,

comme ce fut le cas lorsque A.-H. Compton découvrit la diffusion quantique des rayons X, ou, tout au contraire, se manifester spontanément à l'attention du physicien : tel fut le cas de Röntgen découvrant les rayons X. On dit alors, dans le commun, que l'on a trouvé « par hasard » et ce recours au hasard n'est pas sans pittoresque quand on sait tout le talent qu'il faut pour seulement savoir « observer ».

Et dites-moi, je vous prie, comment tolérer, si la Science n'est que construction de l'esprit, une expression aussi anarchique que $W = h\nu$, qui relie le grain d'énergie W à sa fréquence ν ? L'esprit aurait avancé, à sa place, un formalisme de bon usage, tourné et retourné par des générations de candidats aux Grandes Ecoles, tel les sections des quadriques et qui ne renfermerait aucun calamiteux pétard. La relation entre énergie et fréquence, $W = h\nu$, nous est imposée. Nous ne savons ni d'où elle vient, ni où elle nous conduit. Il faut l'accepter, toujours sans la comprendre. $W = h\nu$ est l'émanation même d'une réalité qui nous dépasse, au point que nous discernons, dans cette expression, à la constante h de proportionnalité la qualité d'« universelle », une des plus respectables distinctions que nous puissions conférer dans la hiérarchie de la connaissance : le sens de h nous échappe encore, mais déjà les physiciens lui ont concédé, comme jadis aux empereurs défunts, la déification. On peut dire, si l'on veut, que h représente le produit des indéterminations expérimentales nécessaires des deux grandeurs canoniques x et p , mais cela épaissit le mystère plutôt que de l'éclaircir.

A. — *Je conçois que devant l'élan scientifique, le développement grandiose de la connaissance exacte, les non-adeptes de la Science cherchent à entraîner la discussion vers le domaine du « réalisme » et posent, par une défense toute naturelle, la question d'existence.*

B. — Vous le dites avec justesse : il faut malheureusement pour ressentir toute la profondeur de cette efficace prospection de l'univers, appartenir au petit groupe des spécialistes, de sorte qu'il est à peu près impossible de faire partager son sentiment.

A. — *Ceci est regrettable, car émettre une opinion raisonnable sur le réel ou sur le problème de l'univers deviendra ainsi, de plus en plus, impraticable aux philosophes de culture générale.*

Il en sera comme d'une écriture musicale, de plus en plus raffinée, échappant sans cesse aux lignes mélodiques faciles, faisant appel à des dissonances inusitées, à des accords hardis : peu à peu imperceptible au plus grand nombre, cette musique ne sera affaire que des adeptes du contrepoint...

B. — J'aimerais pouvoir vous faire partager mes souvenirs de certaines réunions internationales de chercheurs sur les problèmes les plus actuels de la physique, que ce soit à Londres ou à Cambridge, auprès du grand lord Rutherford, à Zürich, entre l'École Polytechnique Fédérale et le lac aimable, à Bologne lors de la célébration fastueuse du souvenir de Galvani dans le vieil Archigimnasio... Des esprits distingués, jeunes ou chevronnés, s'y mesureraient, chacun apportant résultats, critiques ou espoirs. A les écouter, l'intérêt, l'heureuse surprise croissaient ; l'entendement se dégageait de l'espace comme du temps, les lieux comme les visages disparaissaient. S'il fallait désigner les heures où j'ai connu le ravissement, presque au sens étymologique, c'est celles-là que je marquerais. Lorsqu'il fallait revenir, j'entends se séparer, on s'étonnait de se retrouver de chair ; la course avait été si lointaine, malgré le peu de durée, qu'on en sentait de la fatigue. Est-ce là ce que connurent les grands mystiques au cours de l'expérience religieuse ?

A. — *J'imagine vos réunions, où les langagés se mélangent. Chez vous, physiciens, le mode d'expression est peu vis-à-vis du but à atteindre, se faire entendre. Dans un mauvais français pour les uns, un anglais déplorable pour les autres, avec une élocution tâtonnante, les idées, avant tout, s'affrontent.*

Chez nous, lettrés, la forme, le plus souvent prédomine : chacun s'efforce vers une harmonieuse conférence, un style châtié. J'avoue que souvent l'expression y prend le pas sur le fond, mais notre rôle n'est-il pas d'être plus « vivants » que vous ? Notre domaine

n'est-il pas l'homme et son psychisme, si le vôtre tend à être l'univers même?

B. — Pour revenir à notre objet, laissez-moi encore vous citer comme un des tests typiques de manifestation du concret, l'« expérience électronique » qui peut se faire avec n'importe quelle ampoule à vide, du genre tube à rayons X, lampe de T.S.F., ou mieux oscillographe cathodique : avec un même faisceau électronique vous pouvez vous livrer soit au dénombrement des particules, et peser leurs masses une par une, soit, au contraire, produire des figures d'interférences. Cela revient à considérer les électrons comme des grains, des individus localisés dans l'espace-temps, ou, à l'opposé, comme des ondes spatialement étendues.

Ainsi l'expérience nous impose-t-elle le dualisme d'aspect de la matière. A notre esprit de se hausser, de tenter d'englober ces deux faces complémentaires de la réalité, ce qui n'a pas encore été obtenu.

Donc la réaction perceptible du réel sur l'homme est d'aiguiser son intelligence. Sans cesse la théorie embrasse plus de faits, d'apparence autrefois contradictoire, mais elle se complique simultanément. Il faut faire appel, pour exprimer ce qui se livre à nous du réel, aux espaces abstraits à n dimensions (espaces de Hilbert), aux surfaces labiles de Gauss (gravifique), aux tenseurs.

En mécanique quantique, le dépouillement des figures devient extrême, il ne reste que des objets qui peuvent permuter dans l'espace comme dans le temps, c'est-à-dire échanger leurs positions dans l'espace, comme leurs heures de manifestation. A un certain degré de recherche dans la précision, deux individus atomiques cessent d'être distinguables, non qu'on ne puisse encore les déceler, comme l'ultra-microscope distingue les particules invisibles des virus par les anneaux de diffraction qu'elles engendrent, mais l'impersonnalité devient une règle, dans l'éternelle permutation de leurs coordonnées.

On a dit que la causalité même serait défaillante, mais je penserais plutôt que c'est la *continuité temporelle* qui vient à faire défaut.

A. — *Je vois ici que la philosophie a beaucoup à recevoir de vous, ne serait-ce que pour la notion d'être, d'individu aussi bien que pour le problème du temps, toujours ouvert. Et je vous cède la force des faits que vous rappelez.*

B. — Encore n'ai-je pas fait appel à un critère assez probant bien qu'indirect en faveur de la réalité, l'argument d'efficience. En premier lieu le progrès même de toute recherche scientifique n'a-t-il pas sa cause dans un ordre naturel? Sans réel, aucun développement possible. Mais plus encore, concevez-vous les pensionnaires de la cave platonicienne, jouets des apparences mais parvenant cependant à créer, à partir d'elles, une multitude d'éléments nouveaux, de noyaux radioactifs inexistant hier encore? L'apparence n'engendre que l'apparence. Donc les ombres sur les murs portent en elles, au contraire, les signes de la réalité.

Et puisque nous en sommes aux résultats pratiques, il n'est pas jusqu'au domaine biologique qui ne reçoive une impulsion jeune des découvertes récentes de la physique corpusculaire et de la chimie nucléaire. Déjà le microscope électronique fournit de curieuses figures, d'aspect géométrique, des molécules de certains virus filtrants. Mais ne faut-il pas encore attendre davantage de l'utilisation générale des radioéléments de synthèse pour l'étude des réactions organiques les plus délicates intervenant dans les processus vitaux? Vous souhaiteriez connaître où passent les substances que vous faites absorber à un être vivant, suivre à travers l'organisme la migration des atomes, même injectés à l'état de traces impondérables, épier une transformation moléculaire qui a son siège dans le foie : il faudrait pouvoir « marquer » à l'avance chacun de ces atomes, pour le reconnaître ultérieurement, après avoir sacrifié l'animal. Et que cette marque se traduise à nous, pourtant, avec assez de puissance pour que nous décelions l'emplacement final de l'atome ainsi repéré. Ainsi, dans les hauts alpages de l'Oisans, où les troupeaux se déplacent seuls et se mêlent, les bergers marquent-ils leurs chèvres à l'oreille, pour les reconnaître à l'automne.

Le mieux serait que l'atome, après avoir joué son rôle chimique

dans l'organisme vivant, subisse une explosion radioactive détectable avec nos instruments sensibles, afin de signaler sa présence. C'est ainsi que G. Hevesy s'est trouvé conduit à utiliser les radioéléments synthétiques que l'on sait maintenant produire, principalement par bombardement neutronique, et à les faire fonctionner comme « atomes marqués ». Comme nous savons ainsi estamper bien des corps simples qui peuvent entrer dans la constitution des médicaments ou des substances nécessaires au maintien de la vie, c'est donc un champ immense de recherches qui s'offre. Citons parmi elles le fonctionnement des glandes à sécrétions internes, la constitution et les transformations des hormones, peut-être même l'origine et les conditions d'évolution des tumeurs; et surtout les mécanismes de l'hérédité, de la division cellulaire ou de l'évolution dirigée des espèces animales. Que ne peut-on attendre d'une méthode d'exploration aussi délicate quand on songe que le contenu de l'« infiniment petit » biologique tient du prodige!

C'est d'ailleurs dans ce monde ténu des cellules que nous attend l'ironique revanche du réel sur ceux qui douteraient de lui. N'oubliez pas que le nez busqué dont votre famille est fière, l'aversion que votre grand-père manifestait déjà pour les chats, voire sa prédilection pour la musique du xviii^e siècle, se transmettent à nous dans de minuscules éléments cellulaires que le microscope ne parvient pas à distinguer. Et la lente desquamation des tubes séminifères livre avec une prodigalité elle-même stupéfiante des millions d'exemplaires à l'état potentiel de ce même nez busqué, de cette même passion pour J. S. Bach. Bien plus, la cellule séminale ne contient pas seulement ces caractères essentiels de notre descendance, mais, par un luxe inouï, jusqu'aux plus futiles, la position d'un grain de beauté par exemple. Par ailleurs, notre organisme en voie de croissance renferme à côté de milliards d'éléments sans grande personnalité qui seront sang, os, muscles, de très rares molécules qui conditionnent notre développement ultérieur: eh bien, quelque puisse être votre désir personnel de nier le réel, qu'une seule de ces réactions chimiques d'hormones tourne mal et vous voici goitreux, nain ou addisonien!



CHAPITRE I

LA NATURE DES CHOSES

A l'époque révolue, mais encore si récente, de la vie facile, le romancier anglais A. Huxley prétendait, dans l'un de ses ouvrages, que l'on pourrait vivre heureux, à condition de ne pas penser. Selon lui, la fonction des journaux, du cinéma, de la radio, du jazz, de l'auto, était d'empêcher la pensée, de tuer le temps, et en ce sens, ils devaient représenter les instruments les plus puissants du bonheur humain.

Sans doute l'existence nouvelle où nous entrons, plus dépouillée de ces bruyants accompagnements, remettra-t-elle en honneur l'exercice de la pensée et la solution des questions qui ont toujours préoccupé l'humanité : parmi celles-ci, le problème de la structure matérielle est l'un de ceux qui ont donné lieu au plus grand nombre d'interprétations intuitives de la part des divers systèmes philosophiques.

Nous nous bornerons à rechercher, en face de ces hypothèses, quelle peut être aujourd'hui notre attitude purement objective, notre attitude strictement scientifique, à la lumière des découvertes contemporaines.

Interrogeons le physicien — l'homme le plus averti, avec le chi-

miste, de la constitution matérielle — et demandons-lui comment il se représente le monde sensible, et ceci d'une façon qui soit en harmonie avec ses connaissances. Il expliquera qu'il existe des entités extrêmement ténues, des corpuscules qui ont reçu des appellations en « ons », protons, électrons, positons, neutrons — unités fondamentales du monde physique. Ces grains, fait essentiel, sont soumis à de violentes actions réciproques et sont susceptibles de se cimenter pour former des *atomes*.

Le physicien sait mesurer la limite des dimensions de ces corpuscules : aucun d'eux ne dépasse beaucoup le millionième de millionième de millimètre, grandeur infime, laquelle comparée au millimètre, est dans le même rapport que l'épaisseur d'un timbre-poste vis-à-vis de la circonférence de la terre.

Il nous dira qu'à partir de ces quelques types élémentaires, à condition de les répéter à des nombres *astronomiques* d'exemplaires et d'en étudier les réactions mutuelles, il est possible d'obtenir une représentation satisfaisante de la matière, et ceci aussi bien pour les propriétés chimiques des corps que pour toutes les propriétés si méticuleusement précises qui constituent le long enseignement de la physique.

Il insistera sur la forte personnalité de chacun de ces corpuscules élémentaires. Dire qu'ils possèdent une conscience serait aller trop loin, mais on doit leur reconnaître un certain degré de liberté : ces grains se transforment et leur permanence n'est pas indéfinie.

Ainsi retiendrons-nous de notre entretien avec le physicien que la représentation du monde sensible, à l'heure actuelle, repose sur deux principes, qu'une longue suite d'observations et d'expériences étayent solidement : la divisibilité de la matière en individualités distinctes, les atomes, et l'existence d'actions à distances entre les grains matériels, actions déjà prévues dans le dynamisme kantien. Ou encore : la matière serait peuplée par des races de petits êtres, réagissant entre eux à tout moment ; individualisme, certes, mais esprit social, en même temps, ainsi pourrions-nous caractériser les groupements matériels.

Il faut s'arrêter ici sur la nature des liaisons entre atomes ou entre grains matériels. Il ne s'agit pas de liens rigides ; chacun

d'eux se trouve en interaction avec les autres, mais garde la permission d'exécuter certains mouvements individuels, tout en restant dans le domaine d'action de ses plus proches voisins. En ce sens, un des types les plus connus d'action à distance est la gravitation. Vers le moment où Leibnitz jetait les bases du calcul différentiel, où J.-S. Bach posait les principes de la musique moderne, Isaac Newton méditait sur les lois d'attractions des masses matérielles. On a précisé, depuis cette époque, d'autres types d'action à distance : les forces magnétiques entre aimants, les forces électrostatiques entre charges électriques.

Toutes ces actions ont un caractère commun : elles augmentent très rapidement quand la distance entre corpuscules réagissant décroît ; aussi faut-il nous attendre à ce que, dans le cas des grains matériels ultimes, susceptibles de se rapprocher beaucoup par suite de leur faible diamètre, les forces d'interaction prennent une importance insoupçonnée, hors de proportion avec les forces que nous pouvons développer dans les machines, à l'échelle humaine.

On peut estimer, à première vue, qu'une telle représentation ne s'impose pas à notre expérience sensorielle quotidienne.

C'est qu'en effet la trame qui constitue le tissu de la matière est des plus ténues, si bien que celle-ci, au niveau de nos sens, nous présente toujours un aspect de continuité. Il faudra descendre dans l'échelle des grandeurs, perfectionner les moyens d'observation de l'infiniment petit pour avoir quelque chance de distinguer les légions d'individualités qui constituent la matière. L'invention du microscope a été à ce point de vue un grand progrès, pourtant insuffisant car il ne nous permet pas de distinguer les contours des molécules, même parmi les plus gigantesques, telles que les protéines. C'est seulement bien en-dessous des dimensions des bactéries, pour les diamètres mille fois plus petits encore, que nous percevons la nécessité d'avoir recours à une théorie du discontinu.

Il y a cependant des cas où nous avons le sentiment d'une structure périodique de la matière : les belles colorations que présentent la nacre, les écailles des ailes de papillons, les élytres des insectes, indiquent une structure feuilletée, et Wood a montré que l'on peut faire évaporer une solution de chlorate de potasse dans des condi-

tions telles que l'on puisse faire apparaître dans ce sel, ordinairement incolore, de petits cristaux brillamment irisés. Ainsi l'onde lumineuse se joue dans les enchevêtrements réguliers des micro-cristaux comme elle le ferait dans une soierie fine, dans la moire, en produisant la même décomposition spectrale.

Mais c'est à la conjugaison d'auxiliaires nouveaux, la radio-activité, les électrons et les rayons X, que nous devons les seuls progrès décisifs, particulièrement depuis l'époque de l'autre guerre.

L'existence des électrons fut reconnue dans les décharges électriques, dans les gaz à basse pression : ils ont une grande part de responsabilité dans ces phénomènes lumineux, souvent agressifs pour nos yeux, produits dans les tubes à néon, aux devantures des magasins. Ces mêmes électrons furent également décelés dans l'étincelle électrique, dans les phénomènes radioactifs, et finalement leur importance devint primordiale dans toutes les manifestations du courant électrique, dont ils sont la substance même.

Bien plus, l'atomistique nous a appris que ces électrons étaient partie constitutive de l'atome lui-même, dont ils forment le rempart extérieur. L'atome serait un système solaire en miniature, dont les électrons représenteraient les planètes.

L'existence d'un tel cortège d'électrons, d'une sorte de ceinture brillante de corpuscules entourant le petit domaine spatial dévolu à l'atome, entraîne bien des conséquences et elle joue un grand rôle dans le comportement des rayons X vis-à-vis de l'atome, car ces dernières radiations ont la propriété de se diffuser fortement sur les électrons.

En sorte que si l'on dirige un pinceau de rayons X sur la matière, chaque atome devient un minuscule centre de diffusion de la lumière Röntgen, un point brillant sur fond noir.

La méthode des rayons X permet donc de fixer par photographies les positions respectives dans l'espace des atomes matériels. Là où la lumière ordinaire trop grossière ne fait pas attention à des corps aussi petits que les atomes (1), les rayons X feront appa-

(1) W. H. Bragg.

raître des dessins admirables : les architectures cubistes des cristaux nous seront révélées dans leur délicatesse et leur complexité.

L'introspection des molécules à l'aide des rayons X, ce procédé de photographie intime des atomes, nous fait penser malgré nous à « la Montagne Magique » de Th. Mann et plus spécialement au portrait intérieur que Claudia Chauchat laissait en souvenir d'elle à son admirateur : une radiographie de sa poitrine ravagée.

De même une fibre de soie, un muscle, un fragment de sucre, exposés devant l'ampoule productrice de rayons X, livreront leur portrait intérieur, sous forme de diagramme photographié où chaque tache est le reflet d'une chaîne d'atomes.

Notons que les formules chimiques symboliques, établies autrefois par les chimistes, et destinées à représenter les possibilités réactionnelles de la molécule, correspondent scrupuleusement à la petite image intérieure obtenue par les rayons X. Cette dernière est pourtant plus riche, elle nous donne la topographie de la molécule. Ainsi la physique atomique a-t-elle repris en sous-cœur les résultats de la chimie et leur confère, en les perfectionnant, une valeur accrue.

Il faut ici attirer l'attention sur l'origine de la cohésion qui fixe les atomes d'un cristal en des points déterminés de l'espace, qui impose au cristal sa structure particulière, ainsi que sur les affinités qui se manifestent entre telle et telle espèces chimiques, comme l'hydrogène et l'oxygène.

Ces forces sont de nature électrique. Elles reposent sur la très ancienne loi due au physicien Coulomb qui règle les forces attractives entre charges électriques de signes opposés, ou répulsives entre charges de même signe.

C'est parce qu'atomes et molécules présentent dans leur minuscule domaine spatial des charges tantôt positives, tantôt négatives, qu'ils peuvent tendre à se grouper ou à s'éloigner.

Et c'est parce que les atomes isolés, les molécules séparées, sont entrés dans nos possibilités d'observation que nous avons obtenu des détails sur la forme même des molécules, sur leurs relations,

sur les destructions, arrangements, réorganisations qui constituent l'essence même de notre mobile univers.

Par exemple, les molécules d'un liquide auraient une propension constante à se rassembler, à s'agglomérer sous l'action de forces à caractère électrique. Mais en sens contraire, ces mêmes molécules ont une tendance aussi marquée à la rupture, à la dissémination par suite des mouvements et des vibrations incessantes dus à la chaleur. Ce n'est que lors d'une diminution suffisante de la chaleur que les molécules du liquide pourraient se rapprocher, s'agglomérer, selon leur tendance naturelle, et nous verrons le liquide geler, se solidifier.

Ces études ont mis en lumière le rôle primordial joué par la forme même de ces molécules, ou par leur degré de symétrie. Puisque les éléments constitutifs de la molécule sont chargés, la répartition de ces charges modifiera les rapports avec les molécules voisines. Une molécule allongée, oblongue, où les charges sont dissymétriques, bien que tout à fait neutre à grande distance, se comportera de près comme une sorte de petit aimant, d'autres molécules ou atomes, venant à s'approcher au voisinage de cette molécule dissymétrique, se trouveront sollicités par des interactions électrostatiques locales, d'où une tendance à des liaisons, voire à de simples associations.

On comprend dès lors l'origine de l'*activité chimique* que les molécules ou telle partie de leur chaîne, manifestent à des degrés divers : les groupements à forme dissymétrique, dont les charges électriques sont déséquilibrées, seront chimiquement actifs, tandis que les groupements symétriques ne le seront pas.

Je désire citer ici, comme un exemple particulièrement probant, le cas de substances d'une grande importance en biologie animale ou végétale, les corps gras, qui ont fait l'objet de nombreuses et fructueuses études aux rayons X.

Les molécules des corps gras, quels qu'ils soient, ont un double caractère commun : longues, étroites, elles possèdent une sorte d'épine dorsale rigide, constituée par une chaîne d'atomes de carbone en nombre variable suivant la substance. En second lieu, leur activité chimique, ou, si l'on préfère, leur charge électrique efficace,

Sciences d'Aujourd'hui

DERNIERS VOLUMES PARUS :

C. ARAMBOURG, L. CUÉNOT, P.-P. GRASSÉ, J. B. S. HALDANE, J. PIVETEAU, G. G. SIMPSON, F. A. STENSIÖ, P. TEILHARD DE CHARDIN, H. V. VALLOIS, J. VIRET, D. M. S. WATSON

PALÉONTOLOGIE ET TRANSFORMISME

Edmond BAUER

L'ÉLECTROMAGNÉTISME, hier et aujourd'hui

Louis de BROGLIE

MATIÈRE ET LUMIÈRE

CONTINU ET DISCONTINU en Physique moderne
ONDES, CORPUSCULES, MÉCANIQUE ONDULATOIRE
PHYSIQUE ET MICROPHYSIQUE

Yvette CAUCHOIS

ATOMES, SPECTRES, MATIÈRE

J. COULOMB

LA CONSTITUTION PHYSIQUE DE LA TERRE

Jean DUFAY

NÉBULEUSES GALACTIQUES ET MATIÈRE INTERSTELLAIRE

Werner HEISENBERG

LA PHYSIQUE DU NOYAU ATOMIQUE

Théo KAHAN et Claude MAGNAN

L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET SES APPLICATIONS

Louis LEPRINCE-RINGUET

LES RAYONS COSMIQUES

Emmanuel de MARTONNE

GÉOGRAPHIE AÉRIENNE

Jacques NICOLLE

LA SYMÉTRIE ET SES APPLICATIONS

André PARROT

ARCHÉOLOGIE MÉSOPOTAMIENNE

Tome I — Les Étapes

Tome II — Technique et Problèmes

D^r George Gaylord SIMPSON

RYTHME ET MODALITÉS DE L'ÉVOLUTION

Jean THIBAUD

VIE ET TRANSMUTATIONS DES ATOMES

André VARAGNAC

CIVILISATION TRADITIONNELLE ET GENRES DE VIE

Gérard de VAUCOULEURS

PHYSIQUE DE LA PLANÈTE MARS. Introduction à l'Aréophysique.

Éditions Albin Michel

Participant d'une démarche de transmission de fictions ou de savoirs rendus difficiles d'accès par le temps, cette édition numérique redonne vie à une œuvre existant jusqu'alors uniquement sur un support imprimé, conformément à la loi n° 2012-287 du 1^{er} mars 2012 relative à l'exploitation des Livres Indisponibles du XX^e siècle.

Cette édition numérique a été réalisée à partir d'un support physique parfois ancien conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal. Elle peut donc reproduire, au-delà du texte lui-même, des éléments propres à l'exemplaire qui a servi à la numérisation.

Cette édition numérique a été fabriquée par la société FeniXX au format PDF.

La couverture reproduit celle du livre original conservé au sein des collections de la Bibliothèque nationale de France, notamment au titre du dépôt légal.

*

La société FeniXX diffuse cette édition numérique en accord avec l'éditeur du livre original, qui dispose d'une licence exclusive confiée par la Sofia – Société Française des Intérêts des Auteurs de l'Écrit – dans le cadre de la loi n° 2012-287 du 1^{er} mars 2012.

Avec le soutien du

