

JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ STATISTIQUE DE PARIS

RENÉ RISSER

Rien et l'infini

Journal de la société statistique de Paris, tome 89 (1948), p. 28-42

http://www.numdam.org/item?id=JSFS_1948__89__28_0

© Société de statistique de Paris, 1948, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société statistique de Paris » (<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

IV

VARIÉTÉ

Rien et l'Infini.

En lisant, en goûtant plus chaque jour, l'œuvre du grand Pascal, nous avons été subjugué par la puissance de sa pensée, par son intuition à chaque instant en éveil, par son esprit en qui le savant, le poète et le saint étaient confondus; son œuvre géniale nous enseigne, suivant la magnifique expression de Renan, « les vérités qui dominent la mort, empêchent de la craindre et la font presque aimer ».

Si l'on se reporte à l'opuscule VIII intitulé « De l'esprit géométrique et de l'art de persuader », on est frappé par l'extrême rigueur des raisonnements, et tout particulièrement par celui où Pascal rappelle « qu'ainsi il y a des propriétés communes à toutes choses dont la connaissance ouvre l'esprit aux plus grandes merveilles de la nature ».

« La principale, dit-il, comprend les deux infinités qui se rencontrent dans toutes : l'une de grandeur, l'autre de petitesse. »

Pascal a très nettement mis en lumière le principe général posé par Cavalieri dans sa géométrie des indivisibles, en soutenant la légitimité du calcul des infiniment petits encore enveloppé de brumes; il répondait à certaines critiques contre l'emploi dudit calcul par cette phrase lapidaire : « On n'augmente pas une grandeur continue d'un certain ordre, lorsqu'on lui ajoute un tel nombre que l'on voudra, ces grandeurs d'un ordre d'infiniment supérieur. »

Si l'on pouvait — avant Pascal — grâce à la méthode d'Archimède et celle des indivisibles de Cavalieri, résoudre certains problèmes de quadrature ou de cubature, ressortissant au calcul intégral, et grâce aux méthodes de Descartes et de Fermat, traiter le problème inverse relatif aux tangentes se rattachant au calcul différentiel, on reconnaît que c'est à Pascal — à la suite de

ses belles recherches sur la roulette — que revient le mérite d'avoir formulé le principe de la nouvelle analyse infinitésimale. Dans l'ouvrage de Pascal sur la roulette, on trouve, écrit Émile Picard, « sous des formes géométriques extrêmement ingénieuses, les résultats fondamentaux se rapportant à ce que les géomètres appellent aujourd'hui les intégrales curvilignes et les intégrales doubles ».

J'ai donc été amené, en suivant l'idée de Pascal, dans le domaine des sciences et aussi dans celui de la pensée humaine, à signaler le rôle des très petits et des très grands nombres à travers la matière; il me suffit d'aborder l'atome qui synthétise le très petit nombre, puis de comparer d'une part les masses des étoiles qui peuplent l'Univers et, d'autre part, scruter les grandeurs des distances qui séparent ces mêmes étoiles de notre terre, pour faire apparaître des nombres extrêmement grands.

Tel est l'objet de cette communication qui touche aussi bien à la statistique qu'à l'histoire et à la philosophie des sciences.

Nous savons que les premiers philosophes grecs considéraient un morceau de métal comme continu; ce n'est que Leucippe qui eut tout d'abord une certaine intuition de la structure atomique de la matière.

Pour Leucippe et ses disciples, il était impossible de concevoir une divisibilité indéfinie de la matière; l'atome était l'élément ultime, indivisible au delà duquel il n'y avait plus rien à chercher. Cette conception propagée par le philosophe Démocrite, qui ne précisait ni la grandeur, ni le mode d'attache des atomes, fut combattue par certains grands esprits, et défendue avec non moins d'énergie par d'autres, comme Épicure et Lucrèce, puis tomba dans l'oubli pendant plus de dix-huit siècles.

C'est le chimiste John Dalton qui formula, en 1807, que chacune des substances élémentaires dont se composent les différents corps est constituée par une espèce de molécules rigoureusement identiques, qui restent insécables au travers de transformations physiques et chimiques; ce savant doit être considéré comme le fondateur de la théorie atomique avec les notions de poids atomique et de poids moléculaire.

Reprenant l'observation faite en 1827 par le botaniste Brown, Jean Perrin a réussi à filmer l'une des particules et à suivre ses évolutions; la découverte du mouvement brownien confirmait pour Jean Perrin, s'appuyant sur une théorie d'Einstein, la réduction des corps à des éléments extrêmement petits, et aussi la théorie cinétique de la matière. Jusque vers 1900, tous les savants étaient d'accord pour affirmer qu'un corps quelconque est formé de très petites particules dites molécules, représentant la plus petite quantité de matière qui pouvait exister. Ces molécules, qui ne sont pas en repos, sont animées de mouvements incessants, d'une amplitude variable avec l'état physique du corps considéré.

Dans les gaz, les molécules sont très écartées, relativement à leur propre grandeur, et l'attraction produite sur l'une d'elles par les autres est très faible.

La théorie cinétique des gaz a permis d'expliquer de la façon la plus simple, la pression exercée par le gaz sur les parois du vase qui le contient, ainsi que les lois de Mariotte et de Gay-Lussac et de démontrer à partir de principes plus

généraux l'hypothèse qu'Avogadro avait formulée au début du XIX^e siècle.

Rappelons, à ce propos, qu'Avogadro spécifie que « dans les mêmes conditions de température et de pression, deux volumes égaux de deux gaz différents contiennent le même nombre de molécules ».

L'étude des gaz a mis en évidence des nombres extrêmement petits et extrêmement grands qu'il est intéressant de signaler; c'est ainsi que les molécules du gaz carbonique se meuvent à la température habituelle avec une vitesse moyenne de 400 mètres par seconde, qu'elles subissent au cours d'une seconde environ 7 milliards de chocs, qu'en les assimilant à des sphères, il faut en aligner 100 millions pour réaliser une longueur de 1 centimètre, et que l'on en emmagasine 27,2 trillions dans 1 centimètre cube.

Si l'on pouvait abaisser la pression à un dix-millionième d'atmosphère, il y aurait 3 milliards de molécules par centimètre cube. On est parvenu à déterminer le nombre de molécules contenues dans 1 centimètre cube de gaz, grâce à une douzaine de méthodes empruntées aux diverses branches de la physique; le résultat obtenu ayant été le même, qu'elle qu'ait été la méthode utilisée, a entraîné chez les physiciens la conviction en la réalité des molécules. En particulier, les belles expériences de Jean Perrin ont permis d'attribuer au nombre d'Avogadro une valeur comprise entre 6×10^{23} et 7×10^{23} (nombre de molécules contenues dans une molécule gramme); ce nombre connu aujourd'hui, à 1/2 % près, est égal à $(6,03 \times 10^{23})$.

Les molécules sont elles-mêmes divisibles; ainsi la molécule du chlorure de sodium (sel marin) fournit — sous l'action du courant électrique — deux corps purs : le chlore et le sodium. Et comme le chlore et le sodium ne peuvent être décomposés en corps plus simples, on leur donne le nom de corps simples.

Quant à la molécule de chlore, elle n'est pas le plus petit fragment de cette matière dont on puisse concevoir l'existence; en effet, elle est constituée par l'union intime de deux particules, que l'on appelle atomes de chlore.

A côté des molécules d'hélium, d'argon, de xénon, de krypton..., qui ne renferment qu'un atome et sont dites monoatomiques, on voit les molécules d'oxygène, constituées par deux atomes. L'oxygène, le soufre, le calcium, susceptibles de s'unir à deux atomes d'un élément monovalent sont divalents ou diatomiques.

La notion de valence implique la notion d'équivalence de substitution; les atomes, en effet, ne peuvent se substituer l'un à l'autre dans une molécule sans en compromettre la stabilité qu'à la condition de présenter le même nombre de valences.

Si l'on s'en tient à cette définition de la valence, celle-ci semble être une propriété atomique, mais l'expérience contredit cette conception simpliste; c'est ainsi que l'oxygène, le plus souvent divalent, peut devenir trivalent; l'azote, le phosphore sont tantôt trivalents, tantôt quintivalents, le carbone est bivalent ou quadrivalent.

En définitive, la valence est une propriété essentiellement variable; elle ne doit être considérée que comme une première approximation, permettant de concevoir les structures moléculaires.

L'atome d'hydrogène peut être assimilé à une sphère d'un rayon égal à un dix-millionième de millimètre; les atomes des autres éléments chimiques,

dont les masses peuvent être très différentes de celle de l'atome d'hydrogène, ont généralement des dimensions supérieures à celle de l'atome d'hydrogène.

Il est un moyen curieux de se rendre compte de l'extrême petitesse des atomes qui a été suggéré par le physicien scandinave Carl Störmer; il consiste à agrandir les objets dans le rapport de 1 à $(100)^4 = 100$ millions.

L'atome d'hydrogène atteindrait un diamètre de 1 centimètre environ, mais un cheveu, dont l'épaisseur est de un dixième de millimètre, atteindrait 10 kilomètres et les microbes apparaîtraient comme des monstres de 100 mètres.

Les physiciens et les chimistes qui s'étaient demandé s'il n'était pas possible de scinder les atomes en particules plus petites ont d'abord cru devoir renoncer à cette conception; mais, après les progrès réalisés au cours de ces cinquante dernières années, les savants ont été amenés à admettre que l'atome n'est plus l'ultime particule indivisible du monde matériel,

Les premiers physiciens qui parvinrent à reconnaître dans les rayons cathodiques une forme de matière plus ténue que la matière habituelle des particules constituant les atomes, furent Crookes en 1880, et plus tard, de manière plus précise, Jean Perrin et J.-J. Thomson (1895-1897). Ces corpuscules que l'on retrouve dans toute matière, dans toute espèce d'atomes et molécules, sont les électrons négatifs ou *négatons*.

Les hypothèses sur la structure des atomes et des molécules, sur le rôle qu'y jouent les électrons négatifs, sur la nature des charges positives restèrent assez vagues et peu satisfaisantes jusqu'en 1911. Rutherford parvint alors à les préciser grâce à des expériences extrêmement ingénieuses et hardies; ces expériences le conduisirent à comparer l'atome à un système planétaire très compliqué. On peut envisager ce système comme composé d'un centre électrisé positivement, autour duquel gravitent des corpuscules électrisés négativement nommés négatons, qui sont en nombre suffisant pour neutraliser la charge positive du noyau.

Le négaton est extraordinairement léger; en effet, pour en avoir un gramme, il faut en grouper un nombre égal à 1 milliard au cube (soit 10^{27}).

En ce qui concerne le dispositif du noyau et de ses satellites à l'intérieur de l'atome, il a été émis diverses hypothèses dont la première présentée en 1909 par Rutherford à la suite d'une suggestion faite par Jean Perrin, consiste à considérer l'atome comme un système analogue au système solaire.

Le « soleil » de l'atome est un corpuscule très petit, extrêmement dense qui contient presque toute la masse de l'atome; ce noyau qui diffère d'ailleurs d'un atome à l'autre, est chargé d'une quantité d'électricité positive, variable avec chaque élément.

A des distances énormes par rapport au diamètre du noyau central, gravitent les grains d'électricité négative ou négatons avec des vitesses formidables; le nombre de ces négatons, qui diffère d'ailleurs d'un élément au suivant, est égal au nombre atomique, ou numéro d'ordre de l'élément dans la fameuse classification périodique de Mendéleef; il est égal à 1 pour l'hydrogène (H) (qui doit être mis à part), à 2 pour l'hélium (He), 3 pour le lithium, 7 pour l'azote, 8 pour l'oxygène..., et enfin à 92 pour l'uranium qui représentait, jusqu'en 1939, le plus complexe de ces mondes *infra* microscopique.

Quelques mois plus tard, à la suite des suggestions de Fermi, le neptunium

et le plutonium de poids atomiques respectifs 93 et 94, vinrent compléter la fameuse classification de Mendéléef.

Le physicien Niels Bohr, travaillant au laboratoire de Rutherford, perfectionna la théorie de l'atome planétaire; ledit atome était en effet instable en mécanique classique, car il était comparable à une petite antenne électromagnétique. Chaque révolution d'un électron autour du noyau devait nécessairement s'accompagner d'un rayonnement de l'émission d'une onde lumineuse de même période; l'énergie du mouvement de l'électron devait diminuer sans cesse pour s'évanouir en fin de compte.

Bohr appliquant aux atomes et aux molécules l'hypothèse des quanta, à laquelle nous ferons allusion dans un instant, admet que les atomes ne pouvaient rayonner que par sauts brusques, discontinus, en passant soudain d'une trajectoire dite stationnaire à une autre : une de ces orbites, la plus proche du noyau, celle dont le niveau est le plus bas, est incapable de perdre de l'énergie par rayonnement et reste indéfiniment stable.

Dans les atomes à plusieurs électrons, comme l'hélium qui en a deux, chacun des électrons se trouve à l'état normal sur son orbite la plus stable, celle qui diffère d'un électron à l'autre. Le noyau He porte une charge double du noyau H et une masse quadruple.

Le noyau H est le plus léger de tous et sa charge positive est en valeur absolue égale à celle de l'électron qu'elle neutralise dans l'atome d'H (hydrogène); les charges de tous les autres noyaux sont des multiples entiers de celle-ci.

Le noyau de l'hydrogène (H) a donc tous les caractères d'une particule élémentaire; c'est le proton de masse atomique 1, de charge électrique unité, auquel est adjoint un négaton. Le poids de ce négaton, qui est très sensiblement $1/1.840$ de celui de l'atome d'hydrogène représente en gramme : 0,000.000.000.000.000.000.000.000.000.9, ou $\frac{0 \text{ gr. } 9}{10^{27}}$; cette très petite fraction de gramme est à très peu près égale à celle que l'on obtient en comparant le poids de 5 grammes à celui de la terre.

Si l'on passe de l'atome d'hydrogène à l'atome d'hélium, puis à ceux du lithium, du glucinium..., et enfin à celui de l'uranium, on peut se figurer les négatons planétaires de ces divers atomes comme répartis sur des couches emboîtées les unes dans les autres, ainsi que le seraient les tuniques successives d'un oignon. Il y a lieu de signaler, à ce propos, que la septième couche (dite couche Q), ou septième tunique, qui débute au 87^e élément, s'interrompt incomplète avec l'uranium qui compte 92 négatons satellites.

Dès la découverte de la radioactivité, on soupçonna que les atomes (nous disons aujourd'hui les noyaux) n'étaient pas simples. C'est par l'analyse du rayonnement émis par les corps radioactifs, à la suite des recherches de Becquerel, de Curie et de Rutherford, puis par l'étude précise des transmutations radioactives effectuée par Rutherford et Soddy, que l'on parvint à comprendre la structure des noyaux.

L'analyse magnétique de ces rayons permet de les diviser en trois faisceaux distincts, désignés respectivement sous le nom de rayons β , de rayons γ , et enfin de rayons α ; le premier faisceau négatif (β) constitué par des électrons,

est dévié par un aimant comme les rayons cathodiques, le second faisceau non dévié (dit rayons γ) est formé de rayons analogues aux rayons X, et enfin le troisième faisceau, qui est dévié faiblement mais en sens inverse du premier est constitué par des rayons α .

Rutherford reconnut bientôt que les rayons α sont des noyaux d'hélium portant une double charge positive et qu'on peut désigner sous le nom d'héliions. Grâce au compteur Geiger, on a pu compter les héliions émanant chaque seconde d'un gramme de radium; ils sont au nombre de 36 milliards, et leur vitesse est de 20.000 kilomètres à la seconde; on est d'ailleurs arrivé par la suite à matérialiser la trajectoire de chaque héliion. Ces héliions pèsent presque exactement, ce que pèsent quatre protons et leur charge est double; on les crut autrefois constitués par quatre protons et deux électrons, mais cette hypothèse, qui se heurta toujours à de graves difficultés, n'a été définitivement abandonnée qu'après la découverte du *neutron* dont nous parlerons dans un instant.

Les recherches faites après cette découverte ont montré que les noyaux sont constitués par un nombre de protons égal à celui des charges élémentaires qu'ils portent, et que leur masse est complétée par des neutrons.

Toutefois, à partir d'une certaine complication, ces noyaux ne sont plus stables et font alors explosion. C'est ainsi que dans un cristal d'un sel de radium, un noyau de Ra fait explosion, puis un autre et ainsi de suite; ce noyau qui a explosé émet un héliion, en perdant deux charges élémentaires d'électricité positive, et se transforme en un autre corps qui est un gaz analogue à l'argon et constitue l'émanation du radium instable à son tour.

Les physiciens se sont alors demandé s'il n'y avait pas moyen de provoquer l'explosion des noyaux atomiques; Rutherford le premier en 1919, s'est attaché à ce problème en bombardant des atomes d'azote au moyen d'héliions projetés par le radium. Quelques noyaux d'azote heurtés de plein fouet explosèrent; l'un des sept protons constituant chaque noyau d'azote s'enfuyait, alors que les six autres s'agglutinant à un héliion représentant la bombe ou le canon, constituaient un noyau de huit protons, c'est-à-dire un noyau d'oxygène.

C'est cette expérience célèbre qui a donné naissance à la chimie nucléaire.

Ayant pris connaissance d'essais faits à Heidelberg en 1930, par les physiciens Bothe et Becker, M^{me} Irène Curie et son mari M. F. Joliot furent amenés à soumettre le glucinium à un bombardement d'atome d'hélium, et reconnurent que sous cette action, le glucinium émettait un rayonnement; ces savants mirent alors en évidence des rayons très pénétrants, différents des rayons gamma du radium.

Ce rayonnement d'un type nouveau, n'étant dévié ni par l'électricité ni par l'aimant, constituait en 1932, pour le physicien anglais Chadwick, un jaillissement des particules de même grosseur que les protons, mais neutres; ainsi apparaissait dans le domaine de la physique, le *neutron*, ayant une masse égale à celle du proton, dont l'introduction permit d'interpréter facilement la composition de tous les noyaux.

Alors que le proton est électrisé positivement et l'électron négativement, le neutron qui porte une masse égale à celle du proton est de plus neutre.

Tous les noyaux sont — comme nous l'avons dit — constitués par des protons

et des neutrons, c'est-à-dire par deux espèces de particules élémentaires lourdes, alors que l'électron est 1.840 fois plus léger qu'un proton.

Malgré la différence considérable des masses, on crut longtemps que le proton était la particule positive la plus simple s'opposant à l'électron négatif; les physiciens jugèrent qu'il ne pouvait exister un corpuscule positif correspondant à l'électron, jusqu'au moment où le savant anglais Dirac déclara que l'*électron positif* devait exister, et engagea les physiciens s'occupant d'atomistique à poursuivre leurs recherches.

Anderson, savant Américain, parvint en 1932 à faire sortir de leur cachette des grains d'électricité positive qui sont 1.840 fois moins lourds que les protons et auxquels on donna le nom de *positrons*.

Si ce nouveau venu est aussi lourd que le négaton, sa vie qui est très brève en présence de la matière, n'est que de un cent-millionième de seconde dans l'air.

Quant aux *photons*, auxquels nous ferons allusion plus loin, ce sont des corpuscules lumineux dont la masse est pratiquement nulle, et dont l'existence se manifeste dans les propriétés électromagnétiques.

Aux recherches, d'ordre purement scientifique, qui nous font pénétrer dans les arcanes de la matière, sont venues s'en ajouter d'autres qui — suivant leur mode d'emploi — peuvent soit améliorer le sort des humains, en leur procurant de nouvelles sources d'énergie et en diminuant leurs maux, soit introduire des moyens de destruction d'une violence exceptionnelle dans des conflits mondiaux; rappelons brièvement ces dernières recherches.

En 1934, M. et M^{me} Frédéric Joliot, reprenaient, avec une variante, l'expérience fameuse de Rutherford en bombardant une feuille d'aluminium au moyen d'hélium (rayons alpha) émis par le polonium; tout en s'attachant à ce que l'aluminium fût transmué, ils constatèrent, après une interruption du bombardement, que l'aluminium continuait à lancer des positrons.

Ils passèrent à l'étude du phénomène, et reconnurent que l'aluminium irradié se transmuait en phosphore; *la radioactivité artificielle faisait son apparition dans le monde*.

En l'espace de neuf années, on a su créer près de 200 radioéléments, et fabriquer du radiophosphore, du radiosodium, du radiobrome, du radioiode, dont l'activité et l'assimilation par l'organisme sont identiques à celles des corps radioactifs et qui offrent de plus l'immense avantage d'être moins dangereux au point de vue de leur utilisation.

Les chercheurs étaient naturellement conduits, après les expériences précitées, à persévérer dans la voie de la destruction des noyaux d'atomes au moyen d'hélium; il leur fallait pour cela substituer aux hélium projetés par le radium ou le polonium des projectiles de plus en plus rapides.

La radioactivité artificielle est provoquée actuellement par des protons très rapides, par des *deutons* (noyaux constitués par des protons et des neutrons), *et surtout par des neutrons*.

Les techniques employées à cet effet résident soit dans l'accumulation de charges sur des condensateurs séparés que l'on réunit au moment voulu, soit dans l'emploi de l'instrument dû au physicien américain Lawrence et dénommé cyclotron, qui constitue le matériel le plus puissant d'artillerie atomique.

Des progrès considérables ont été apportés depuis 1934 à la technique de Joliot-Curie, d'une part par le professeur Fermi et ses collaborateurs, d'autre part par Cockroft et Lawrence.

A la fin de 1938, beaucoup de savants cherchaient à créer les homologues supérieurs de l'uranium, atomes à 93, 94..., électrons. C'est au cours de ces recherches difficiles que le physicien allemand Hahn découvrit un phénomène inattendu, qui réside en ce que — sous l'action des neutrons — l'uranium fait explosion, non pas à sa manière habituelle en émettant une seule particule, mais cette fois-ci en se scindant brusquement en deux noyaux plus légers, comme le lanthane, le baryum ou d'autres encore.

Ce phénomène auquel on a donné le nom de *fission*, fut aussitôt étudié de tous côtés; Joliot, qui en précisa le mécanisme, observa que ce mécanisme produisait de nouveaux neutrons, capables à leur tour d'amorcer de nouvelles *fissions*.

Et c'est ainsi que l'on vit débiter l'*utilisation de l'énergie atomique*.

Alors que dans les désintégrations spontanées, le terme ultime est le plomb, dans la désintégration artificielle forcée on aboutit au platine et au cérium en passant par les terres rares; il y a lieu de signaler que dans ce dernier cas, l'opération entraîne l'émission d'une grande partie de l'énergie atomique possédée par l'atome désintégré, dont l'utilisation aura pour conséquence des modifications profondes dans la vie économique.

En effet, si l'énergie libérée par l'explosion d'un seul noyau d'uranium n'est que de $\frac{8,7}{10^{21}}$ kilowatts-heure, et est à peine susceptible d'élever de un degré la température de un cent milliardième de gramme d'eau, il ne faut pas oublier que 1 gramme d'uranium contient un nombre d'atomes égal à trois mille milliards de milliards (3×10^{21}), dont l'explosion fournira une énergie de 26.000 kilowatts-heure, équivalente à celle résultant de la combustion de 2.500 kilos de charbon.

Et nous ne pouvons mieux faire, pour donner à ces anticipations leur véritable sens, que de répéter ce que disait au début d'août 1945 M. Maurice de Broglie, dont les beaux travaux sur la structure atomique sont universellement connus : « Nos savants n'ont pas été très surpris d'apprendre, le 6 août 1945, qu'une bombe atomique avait été jetée sur le Japon. Ils savaient depuis 1938 que l'utilisation de l'énergie atomique était entrée dans le domaine des possibilités prochaines. Mais, le secret avait été si bien gardé qu'un petit nombre d'entre eux soupçonnaient que sa réalisation fût déjà un fait accompli.

C'est un grand événement pour le destin du monde qui vient de se produire, plus important peut-être que l'écrasement de l'Allemagne, événement qui, en augmentant immensément la puissance de l'homme augmentera terriblement aussi sa responsabilité dans l'usage qu'il en fera. On a pu dire, sans exagération, qu'il s'agit là d'un progrès comparable à la conquête du feu par nos ancêtres de la préhistoire.

Cet exposé serait incomplet si nous laissions dans l'ombre une question qui est du domaine de la philosophie des Sciences et qui a préoccupé les esprits depuis trois siècles. Il semble que l'on a oublié la lumière, ce messenger qui nous met en relation immédiate avec ce qui nous entoure, et nous fait connaî-

tre l'univers; on a cru savoir plusieurs fois dans l'histoire des Sciences en scruter la nature, et, chaque fois, la certitude a fait place au doute. Au cours de trois siècles, la théorie des ondes et la théorie de l'émission se sont affrontées; alors que la première a été poussée fort loin dans ses conséquences, l'autre plus sommaire assimilait un rayon de lumière à la trajectoire de projectiles extrêmement ténus lancés par le corps lumineux.

Comme chacune de ces théories faisait apparaître une part de vérité, de grands esprits, physiciens et philosophes, pensaient qu'il serait possible de réaliser une synthèse, englobant la balistique des corpuscules et les phénomènes vibratoires.

En 1825, à la suite des admirables études de Fresnel, la complexité de la lumière blanche était expliquée, ainsi que le phénomène de la polarisation; la découverte des ondes électromagnétiques en 1888, puis celle des rayons X achevèrent de révéler l'immense domaine des radiations.

A la théorie ondulatoire, l'esprit humain qui exigeait un support à ses pensées, attachait l'éther — élément mystérieux — dont on chercha à manifester l'influence.

A la suite de Fresnel, Maxwelle vers 1860, tenta de construire un éther dont les propriétés expliquaient à la fois la propagation de la lumière et les actions électromagnétiques; s'ils ne put trouver aucun milieu ressemblant aux milieux élastiques connus permettant de rendre compte de cet ensemble complexe, par contre, il découvrit la théorie électromagnétique de la lumière, et affirma l'existence d'ondes électriques, et l'identité de l'onde électromagnétique et de la lumière.

Ce n'est que vingt-huit ans plus tard, à la suite des expériences de Hertz, que l'on se rendit compte de la puissance des idées de Maxwelle. L'atomique envahissait progressivement la physique; après la matière, l'électricité se résolvait en atomes. Un corps électrisé contenait un certain nombre d'atomes d'électricité très petits, mais séparables et dénombrables; à son tour, la lumière apparaissait comme séparable en grains, en atomes de lumière.

Pour expliquer numériquement les faits relatifs à l'émission de la lumière par les corps solides chauffés, émission qui se relie à l'agitation rapide des charges électriques que contient tout corps, le savant physicien Planck fut obligé d'introduire l'hypothèse que l'émission se fait par petits paquets indivisibles, par *quanta déterminés*.

Quant à l'effet photoélectrique, consistant en atomes d'électricité lancés par les atomes de la matière soumis à un rayonnement, Einstein comprit *qu'il n'y a pas effet continu d'une onde, mais phénomène de choc* entre la matière et un projectile qui serait la lumière; les lois régissant ce phénomène ne peuvent être décrites que grâce à l'introduction du quantum de lumière.

Et c'est ainsi qu'apparut le photon ou atome de lumière; si le mot photon était nouveau, l'idée de la lumière due à des projectiles était fort ancienne puisqu'elle appartenait au génial Newton.

Jusqu'ici, nous avons introduit les négatons, les protons et les photons chers aux physiciens s'occupant des atomes, en nous attachant presque exclusivement à faire apparaître leurs masses et à rester dans le monde inframicroscopique; il est toutefois utile de rappeler qu'au cours des recherches sur les atomes

l'on se trouvait en présence, d'une part, de la physique de la matière et du discontinu ayant comme bases l'hypothèse atomique et la dynamique du point matériel, et d'autre part, d'une physique du rayonnement ayant pour fondement la notion de propagation des ondes que faisait intervenir l'idée de continuité.

Grâce à la conception de Planck sur les quanta de lumière, les savants Louis de Broglie et Schrödinger ont pu réaliser la fusion de la physique de la matière et de la physique du rayonnement, en intégrant l'émission dans l'ondulation même, et cela, au moyen de la théorie de la mécanique ondulatoire. Si l'on songe en effet que la science moderne aboutissait à l'atomisation de la matière, à l'atomisation de l'électricité, à l'atomisation de la lumière (ramenée à des décharges lumineuse ou photons) et que l'on continuait à traiter la lumière comme un rayonnement d'ondes électromagnétiques, il y avait là une confusion que tente de supprimer la mécanique ondulatoire, en montrant que les théories de l'émission et de l'ondulation ne sont opposées qu'en apparence.

Et, pour rester dans le domaine de notre sujet, nous devons signaler que le succès de la mécanique statistique a habitué les physiciens à considérer certaines lois de la nature comme ayant une origine statistique; leur attention a été attirée sur l'importance des lois de probabilité, et sur le fait que, dans un grand nombre de phénomènes, les lois observables sont des lois de moyennes.

Alors que les principes « Matière et Lumière » qui étaient considérés naguère en antinomie, commencent à paraître comme des aspects d'une seule et même réalité, la mécanique ondulatoire — comme le dit si justement l'astronome James Jeans — « s'est montrée capable de pénétrer dans les arcanes de la nature, beaucoup plus avant que les autres systèmes, si bien que ceux-ci semblent déjà passer quelque peu à l'arrière plan ».

Et Jeans ajoute que le fait essentiel est simplement que toutes les représentations que la science fournit aujourd'hui de la nature, celles du moins qui paraissent susceptibles de s'accorder avec les faits d'observation, sont des représentations mathématiques.

Nous savons aujourd'hui que notre univers, jusqu'aux astres les plus lointains, est composé des mêmes éléments que notre planète, que notre chimie n'est pas une science purement terrestre, mais une science universelle, que les progrès de la physique au cours de ces cinquante dernières années ont marché de pair avec ceux de l'astronomie, que physique et astronomie, qui sont en réalité deux sciences extrêmement liées, le seront de plus en plus dans l'avenir.

On peut donner une image des progrès accomplis, en rappelant que l'on pouvait, en 1900, représenter au moyen d'une carte plane de 1 mètre carré de surface l'espace s'étendant depuis notre soleil jusqu'aux étoiles dont les distances nous étaient connues, alors qu'en conservant la même échelle pour l'univers connu vers 1940, on devrait recourir à une carte d'une superficie égale à celle de notre Terre.

Le mouvement des astres constituant notre Univers, la connaissance de leurs masses, leur formation, puis leur évolution, suscitent notre curiosité et notre attention; si nous ne pouvons songer à traiter ces différentes questions, toutefois il en est une qu'il est nécessaire d'examiner dans ses grandes lignes,

c'est celle qui correspond aux masses de ces astres, aux distances qui les séparent de notre Terre, puisqu'elle fait apparaître des nombres extrêmement grands, alors que la matière de ces astres est formée exclusivement d'atomes.

Les astronomes disposent actuellement, pour explorer le ciel, d'une gamme d'instruments allant de l'œil humain jusqu'au télescope du mont Wilson (aux États-Unis) le plus puissant qui soit aujourd'hui en service, mais qui sera dépassé bientôt par celui qui fonctionnera au mont Palomar en Californie.

La puissance, ou plus exactement la pénétration comparative des appareils s'évalue pratiquement d'après le diamètre de l'objectif ou ouverture. Alors l'ouverture de l'œil est de 5 mm. (millimètres) environ, celle du télescope du mont Wilson est de 2 mètres 50 (2 m. 50), et celle du télescope du mont Palomar sera de 5 mètres.

Si la distribution des étoiles dans l'espace était uniforme, on devrait pouvoir compter dans les différents instruments des nombres d'étoiles qui croîtraient comme le cube de l'ouverture; il n'en est pas tout à fait ainsi.

En effet, l'œil découvre sur le ciel entier — dans les conditions les plus favorables — 6.000 étoiles environ, et le télescope du mont Wilson n'en atteint qu'un demi-milliard en vision directe.

Grâce à la photographie, on a pu faire apparaître sur des clichés — et cela à la suite de longues poses — des étoiles que l'œil ne distinguerait jamais avec le même télescope.

De la raréfaction des étoiles, l'on conclut que nous ne vivons pas dans un champ stellaire uniforme et indéfini. On pourrait attribuer l'appauvrissement constaté à l'intervention d'un milieu absorbant qui garnirait l'espace entre les étoiles; cet appauvrissement est purement apparent dans cette hypothèse.

Le milieu cosmique existe en effet; il voile et atténue les astres lointains. Dans notre univers stellaire, l'espace n'est pas d'une clarté parfaite; les études faites sur la distribution des étoiles montrent que nous appartenons à un amas d'étoiles isolé dans l'espace gigantesque, mais borné, qui se révèle à nos yeux sous l'apparence de la voie lactée.

Laissant de côté les belles légendes auxquelles a donné naissance ce merveilleux anneau lumineux, rappelons que le philosophe Démocrite annonçait dès le ^v^e siècle avant notre ère, la nature véritable de la voie lactée qui est une accumulation d'étoiles trop petites et trop lointaines pour être distinguées une à une; la preuve en fut donnée en 1609 par Galilée.

Ce n'est que grâce aux travaux de Wright, Lambert et William Herschel au ^{xviii}^e siècle que l'on put se faire une idée juste de la voie lactée; il fallait imaginer qu'au sein du vide étaient groupées des milliards d'étoiles en un amas ayant la force d'un disque — puis placer le soleil au voisinage du centre de cet amas — et l'on se rendait ainsi compte que la voie lactée est un effet de perspective.

En vue de distinguer les apparences de la réalité, les astronomes ont conservé le nom de Voie lactée à la bande blanchâtre qui sillonne le ciel, et ont donné le nom de Galaxie à l'amas d'étoiles dont la Voie lactée est l'image infidèle.

William Herschel eut le premier l'idée d'appliquer la statistique à l'étude de la galaxie; ses sondages au télescope dans les différentes directions du plan galactique et le long d'un grand cercle perpendiculaire, lui permirent de recenser

les étoiles par grandeur dans 3.400 petites régions choisies dans les deux zones d'exploration. Ses jauges, justement célèbres, furent complétées par 1.800 autres dans l'hémisphère sud par son fils John Herschel.

Herschel estimait qu'il y avait dans le ciel 20 millions d'étoiles accessibles à ses regards, s'échelonnant de la 1^{re} à la 16^e grandeur; d'après ses jauges, la Galaxie aurait eu pour diamètre 850 fois la distance moyenne des étoiles de première grandeur, et une épaisseur de 140 fois cette même distance moyenne.

On peut préciser ces sondages en définissant l'unité de distance utilisée aujourd'hui en astronomie stellaire, c'est l'année-lumière ou la distance que parcourt, en un an, dans le vide, un rayon de lumière; comme la vitesse de la lumière est de 300.000 kilomètres par seconde, l'année-lumière représente environ $0,95 \times 10^{13}$ kilomètres. En réalité, cette unité est très petite à l'échelle du monde sidéral, car avec les objets les plus lointains que l'on connaît actuellement, on atteint le demi-milliard d'années-lumière, soit environ ($0,5 \times 10^{23}$) kilomètres.

La portée des sondages de W. Herschel qui ne dépassa pas pratiquement 6.000 années-lumière, doit être attribuée à l'insuffisance de ses instruments ainsi qu'à la non-homogénéité de la Voie lactée, mais surtout à l'extrême variété des éclats stellaires.

Si les étoiles étaient à très peu près équivalentes, en ce qui concerne leur puissance lumineuse intrinsèque, la distance serait le facteur prépondérant de leur éclat apparent; on a pensé longtemps qu'il en était ainsi. Aujourd'hui, l'on sait que le soleil est une étoile d'éclat moyen, et qu'il existe des étoiles *naines* 10.000 fois moins lumineuses que lui, et des géantes 10.000 fois plus brillantes. En définitive, l'éclat absolu peut varier de une unité à 100 millions.

La dispersion des éclats rend vains tous les recensements bruts; si les statistiques actuelles ont un rendement efficace, cela tient à ce qu'elles sont effectuées sur des étoiles sélectionnées, et que l'on procède tout d'abord à un triage des étoiles identiques entre elles avant d'étudier leur distribution dans l'espace.

Les hommes, après avoir placé la Terre au centre du système solaire, puis, trompés par les apparences, attribuèrent au soleil une position voisine du centre dans l'agglomération qu'il habite; ce n'est que depuis 1916 que nous avons appris que ces apparences étaient trompeuses, et que le soleil et avec lui toutes les étoiles visibles à l'œil nu, peuplent une région plutôt marginale de la Galaxie.

Le catalogue d'étoiles de Ptolémée, qui est parvenu jusqu'à nous, contient un millier d'étoiles, réparties en six classes, d'après leur éclat apparent; les plus belles, une vingtaine environ, étaient dites de première grandeur, une soixantaine d'autres étaient considérées comme de seconde grandeur et ainsi de suite.

Cet usage, conservé d'ailleurs dans la préparation des catalogues ultérieurs, fournissait une estimation imprécise; aussi a-t-on été amené à codifier la mesure des grandeurs stellaires, en la rendant indépendante de l'observateur; on a eu recours, en l'occurrence, à la loi physiologique des sensations — dite loi Fechner, — et établir que pour les étoiles appartenant respectivement à la :

1^e, 2^e, 3^e, 4^e, 5^e, 6^e,

grandeur, pour lesquelles la sensation visuelle est :

6, 5, 4, 3, 2, 1,

on peut fixer à très peu près la quantité de lumière reçue à :

100, 40, 16, 6,25, 2,5, 1

Le flux lumineux provenant d'un astre de première grandeur est environ 100 fois plus grand que celui d'un astre de 6^e; faisant état de cette constatation approximative, les astronomes ont décidé de donner pour base à la mesure rigoureuse des grandeurs qui porteront le nom de *magnitudes*, la proposition suivante : une différence de cinq magnitudes entre deux étoiles correspond à un rapport 100 entre leurs éclats.

Il est intéressant de signaler qu'il existe des astres d'un éclat supérieur à celui des étoiles de première grandeur, et l'on passe ainsi de la magnitude 1 aux magnitudes 0,—1...; ainsi l'éclat de la planète Vénus varie selon l'époque, de la magnitude — 3,4 à —4,2.

La sensation visuelle des observateurs terrestres, qui est traduite par la magnitude apparente constituant la première information et aussi la donnée immédiate sur un astre, présente un caractère hétérogène dû à la puissance lumineuse vraie de l'étoile et à son éloignement.

Il s'ensuit qu'en vue de comparer les énergies lumineuses des astres, l'on est conduit à les ramener à une distance type de la Terre, et à introduire la magnitude absolue, qui n'est autre que la magnitude apparente qu'aurait l'étoile si elle était ramenée à cette distance-type (32,6 années-lumière).

La statistique de Seares, sur les étoiles de la Galaxie, qui n'est que le prolongement des jauges de Herschel, n'a pu être établie que grâce à l'emploi des télescopes actuels et de la photographie; si les calculs de Seares attribuent à la Galaxie un total de 40 milliards d'astres, des évaluations plus sûres déduites de la rotation galactique font apparaître ce total plutôt comme trop faible. Toutefois, les travaux de Seares mettent en évidence la concentration des astres vers la Voie lactée.

Les astronomes modernes renonçant à déduire les dimensions de la Galaxie, des recensements bruts remédièrent aux inconvénients que présente pour le statisticien l'extrême dispersion des éclats intrinsèques, en sélectionnant des astres de même calibre en vue de jalonner l'Univers, et en recourant à l'analyse spectrale et à la photométrie; en l'occurrence, il fallait — pour pouvoir suivre les étoiles repères — ne considérer que la classe des étoiles géantes au premier rang desquelles il faut placer les Céphéides dont la plus célèbre est l'étoile δ de Céphée.

Sachant que les variations d'éclat de chaque Céphéide ont lieu en un temps rigoureusement constant qui la caractérise, il est ainsi possible de transformer la Céphéide envisagée en une horloge de précision. C'est ainsi que l'on a pu constater que les Céphéides, dont la période est comprise entre 6 et 15 heures, ont un débit lumineux égal à 130 fois celui du soleil, alors que celles ayant une période de 32 jours constituent des astres 10.000 fois plus lumineux que le soleil.

Les résultats d'observations recueillies de 1916 à 1918 par Harlow Shapley, amenèrent les astronomes à modifier les conceptions émises jusqu'alors sur la Galaxie, et mirent en évidence, pour la première fois, l'ordre de grandeur de notre système sidéral.

Quoique les travaux de Shapley aient été revisés à plusieurs reprises, ils conservent néanmoins un grand intérêt, et c'est à eux que l'on doit attribuer l'essor actuel de l'astrophysique.

Sur les 103 amas globulaires catalogués, 10 font partie des nuages de Magellan, et les 93 autres appartiennent à la Galaxie; ces essaims stellaires de forme à peu près sphérique contiennent chacun quelques centaines de millions d'étoiles. Considérant comme utilisable les documents relatifs à 70 amas globulaires, on a pu — de leur considération — déduire un certain nombre de conclusions du plus haut intérêt :

1^o Ces amas sont distribués à l'intérieur d'une sphère, dont le centre est situé dans la Galaxie;

2^o Le diamètre de la Galaxie est, d'après les mesures les plus récentes, de l'ordre de 80.000 années-lumière.

Arrivons-en aux nébuleuses et rappelons que sous l'appellation de nébuleuse on range aujourd'hui des objets fort divers. Or, les progrès de l'optique nous ont montré que ces objets flous pouvaient être de nature fort différente, et le terme de nébuleuse devrait être réservé aux nébuleuses dites gazeuses.

Les astronomes ont donc été amenés à ranger les nébuleuses en deux catégories principales : les nébuleuses irrésolubles et les nébuleuses résolubles ou agglomérations stellaires.

La catégorie la plus célèbre des nébuleuses est celle des spirales, dont la nature est restée pendant plus d'un demi-siècle une véritable énigme; ce n'est qu'en 1845 que la forme spiralée a été découverte par Lord Rosse, dans la nébuleuse Messier 51 des chiens de chasse.

Actuellement, avec le télescope du Mont Wilson et de longues poses photographiques, Hubble estime à 50 millions et peut être 100 millions le nombre des spirales qui pourraient figurer sur les clichés du monde entier jusqu'à la 21^e grandeur.

La nature des spirales fut dévoilée il y a quarante ans environ par Hubble, qui résolvait en étoiles quelques grandes spirales voisines. Les spirales sont extragalactiques; l'examen des plus grandes montre que leur contenu est formé des mêmes éléments que la Galaxie elle-même : nuées stellaires mêlées à des nuages cosmiques brillants ou obscurs, novae, amas globulaires satellites, supergéantes de tous les types.

Aux spirales moyennes enregistrées jusqu'à ce jour et ayant 21 comme magnitude apparente, on attribue un éloignement de 300 millions d'années-lumière; la lumière qui nous parvient aujourd'hui de ces spirales moyennes est partie de ces lointains univers à une époque qui correspond à l'ère primaire de la formation de la Terre, qui — à la suite de l'enfouissement de végétations extrêmement abondantes — donna naissance à nos gisements houillers.

Quant aux spirales de forte taille qui nous apparaissent de 21^e magnitude, elles sont beaucoup plus lointaines que les moyennes

Les études entreprises simultanément en 1933-1934 par Stobbius au mont

Wilson, et Shapley à Harvard, ont permis de montrer que le diamètre de toutes les spirales est au moins deux fois plus grand que celui révélé par les clichés ordinaires; actuellement, on considère à la suite de la découverte par Hubble des 140 amas globulaires satellites de Messier 31, que la nébuleuse Messier est au moins égale à notre propre Galaxie, à laquelle Stebbius attribue un diamètre apparent de 115.000 années-lumière.

L'Univers est peuplé de spirales, et notre Galaxie est une spirale parmi une centaine de millions d'autres que nous pouvons observer, et dont les tailles s'étendent de 10.000 à 100.000 années-lumière. Quant aux masses des spirales, elles varient comme leurs tailles; alors que la masse de la Galaxie semble voisine de 200 milliards de fois celle du soleil, la masse moyenne d'une spirale est d'après Hubble de 2 milliards de fois celle du soleil.

Si les études prochaines sur la Cosmogonie doivent préciser certains éléments relatifs aux éloignements et aux masses des spirales, on peut toutefois estimer à 10^{10} soleils (ou 10 milliards de Soleils) le contenu substantiel des spirales moyennes.

« Si le silence de ces espaces infinis m'épouvante, disait le génial Pascal, comment ne nous sentons-nous pas écrasés par un Univers, si riche en matière et dont les dimensions nous étonnent et même nous effraient? C'est parce que, à contempler ces mondes multiples, nous éprouvons le plaisir ineffable de saisir et de comprendre plus de choses, et de constater que notre esprit s'élève d'autant plus haut qu'il domine de plus vastes objets. »

Les savants, poursuivant sans trêve leurs recherches et leurs découvertes à travers les siècles, jettent chaque jour des lueurs nouvelles sur la matière et l'existence des mondes; ils nous montrent que la vie mérite d'être vécue puisqu'elle nous procure les seules satisfactions vraiment dignes d'être goûtées par les hommes de tous les temps.

René RISSER.
