

La physique des particules et le concept de matière

• La matière

Avant d'évoquer l'histoire des découvertes expérimentales successives et des principales théories qui ont mené à l'élaboration du modèle standard de la physique des particules, nous allons rapidement parler du sens attribué généralement au mot *matière*.

On trouve, de nos jours, les définitions suivantes pour ce substantif dans les dictionnaires :

- Littré : *Tout ce qui se touche et a corps et forme.*

Littré ajoute :

La matière, suivant la définition dans l'école d'Aristote et dans la scolastique, est une simple capacité pouvant recevoir toutes les formes, c'est-à-dire toutes les qualités; elle n'a pas même l'étendue ou l'impenétrabilité, qui sont des formes, et que le philosophe croyait pouvoir s'en détacher et s'y joindre.

- Petit Larousse : *Substance, réalité constitutive des corps, douée de propriétés physiques.*
- Hachette : *Substance composée d'atomes et possédant une masse. États solide, liquide, gazeux, ionisé, de la matière.*

Il est d'usage d'attribuer à Leucippe, qui vécut aux VI^e et V^e siècles avant J.-C., la doctrine de l'atomisme, qui affirmait que le monde est illimité et consiste en vide et en plein, ce dernier se divisant lui-même en atomes. Cette doctrine fut ensuite développée par Démocrite, un élève de Leucippe qui soutenait que les quatre éléments, la terre, l'eau, l'air et le feu sont tous des composés de certains atomes incorruptibles et inaltérables.

De fait, nous ne connaissons ces thèses que par l'ouvrage intitulé *Vies, doctrines et sentences des philosophes illustres* dû à Diogène Laërce¹ qui vécut au III^e siècle avant J.-C.

Jean Perrin, dans son ouvrage *Les Atomes*², écrivait d'ailleurs :

Il y a vingt siècles peut-être, sur les bords de la mer divine, où le chant des aèdes venait à peine de s'éteindre, quelques philosophes enseignaient déjà que la matière changeante est faite de grains indestructibles en mouvement incessant, atomes que le hasard ou le destin auraient groupés au cours des âges selon des formes ou les corps qui nous sont familiers. Mais nous ne savons presque rien de ces premières théories.

Mais la matière peut mieux être scientifiquement définie comme ce qui est sensible au phénomène de la gravitation et possède une inertie, si bien que nous n'aborderons les conceptions relatives à la matière qu'à partir de celle de Descartes qui est la première basée sur des réflexions rationnelles.

1.1. La matière selon Descartes, Leibniz et Newton

Le concept de matière a été affiné de nombreuses fois, historiquement, en fonction de l'avancement des connaissances scientifiques. Nous évoquerons tout d'abord les débuts des considérations rationnelles relatives à ce concept puis passerons immédiatement aux liens entre la matière et l'énergie.

1. Diogenes Laertius, *Vitæ et sententiæ philosophorum*; trad. Ambrosius Traversarius; éd. Benedictus Brognolus. Venezia Nicolaus Jenson 14 août 1475.

2. Paris, F. Alcan, 1913.

• **Descartes**

Le concept de matière est devenu rationnel, à défaut d'être exact, à partir de la théorie de la constitution de la matière de Descartes qui l'a dégagée des considérations plus ou moins mystiques antérieures.

Voici comment T. V. Charpentier¹ rapportait le concept de Descartes :

La matière doit être une. La diversité, les changements qui se produisent en elle ne doivent tenir qu'aux modifications du principe unique qui la constitue. Le principe de la matière, sa qualité première et essentielle est ce sans quoi la matière ne peut être conçue, c'est l'étendue, Mais l'étendue pure se confond avec l'espace, il n'y a donc pas deux espaces, l'un vide de matière, l'autre plein de matière; tout est plein.

Les parties de l'étendue étant parfaitement homogènes, on ne voit pas comment, dans un tel monde, le changement et même la diversité sont possibles. Mais il faut remarquer d'abord que l'étendue peut prendre toute espèce de figures; que les parties de l'étendue peuvent avoir les unes par rapport aux autres une infinité de situations; qu'enfin des corps réduits à l'étendue sont mobiles, La diversité des corps et leurs changements s'expliquent par des différences de figures et par le mouvement. Mais comment le mouvement est-il possible dans le plein? L'étendue est divisible à l'infini, et ses parties sont parfaitement mobiles; le mouvement circulaire se conçoit dans le plein. Tout corps en mouvement est comme une portion de roue qui tourne autour de son essieu.

L'étendue est mobile, mais le mouvement ne lui est pas essentiel. Dieu n'a donc pas seulement créé l'étendue, il a communiqué à cette étendue une certaine quantité de mouvement. Cette quantité demeure toujours la même. Tous les phénomènes de la nature se réduisent à des changements de mouvements. Les lois de la nature ne sont que les lois de la transformation et de la communication des mouvements.

Toutes ces lois d'ailleurs se déduisent d'un même principe, le principe de l'immutabilité divine: Dieu est immuable; ce qu'il a une fois établi se conserve nécessairement. Dieu a mis dans le monde une certaine *quantité de mouvement*. Les changements qui s'accomplissent doivent être tels que la quantité de mouvement se conserve toujours dans le monde.

1. *Descartes, Principes de la Philosophie*, Hachette, 1904.

Voici le texte de Descartes inclus dans *Les Météores* en 1637 :

Je suppose premièrement que l'eau, la terre, l'air et tous les autres tels corps qui nous environnent sont composés de plusieurs petites parties de diverses figures et grosseurs, qui ne sont jamais si bien arrangées ni si justement jointes ensemble, qu'il ne reste plusieurs intervalles autour d'elles; et que ces intervalles ne sont pas vides, mais remplis de cette matière fort subtile, par l'entremise de laquelle j'ai dit ci-dessus que se communiquait l'action de la lumière. Puis en particulier, je suppose que les petites parties, dont l'eau est composée, sont longues, unies et glissantes, ainsi que de petites anguilles, qui, quoiqu'elles se joignent et s'entrelacent, ne se nouent ni ne s'accrochent jamais pour cela en telle façon qu'elles ne puissent aisément être séparées; et, au contraire, que presque toutes celles tant de la terre que même de l'air et de la plupart des autres corps ont des figures fort irrégulières et inégales, en sorte qu'elles ne peuvent être si peu entrelacées qu'elles ne s'accrochent et se lient les unes aux autres, ainsi que font les diverses branches des arbrisseaux, qui croissent ensemble dans une haie. Et lorsqu'elles se lient en cette sorte, elles composent des corps durs, comme de la terre, du bois, ou autres semblables; au lieu que, si elles sont simplement posées l'une sur l'autre, sans être que fort peu ou point du tout entrelacées, et qu'elles soient avec cela si petites, qu'elles puissent être mues et séparées par l'agitation de la matière subtile qui les environne, elles doivent occuper beaucoup d'espace, et composer des corps liquides fort rares et fort légers, comme des huiles ou de l'air.

De plus il faut penser que la matière subtile qui remplit les intervalles qui sont entre les parties de ces corps est de telle nature qu'elle ne cesse jamais de se mouvoir çà et là grandement vite, non point toutefois exactement de même vitesse en tous lieux et en tous temps, mais qu'elle se meut communément un peu plus vite vers la superficie de la terre, qu'elle ne fait au haut de l'air où sont les nues, et plus vite vers les lieux proches de l'équateur que vers les pôles, et au même lieu plus vite l'été que l'hiver et le jour que la nuit. Dont la raison est évidente, en supposant que la lumière n'est autre chose qu'un certain mouvement ou une action, dont les corps lumineux poussent cette matière subtile de tous côtés autour d'eux en ligne droite, ainsi qu'il a été dit en la Dioptrique. Car il suit de là que les rayons du soleil, tant droits que réfléchis, la doivent agiter davantage le jour que la nuit, et l'été que l'hiver, et sous l'équateur que sous les pôles, et contre la terre que vers les nues. Puis il faut aussi penser que cette matière subtile est composée de diverses parties, *qui*, bien qu'elles soient toutes très petites, le sont toutefois beaucoup moins les unes que les autres, et que les plus grosses, ou pour mieux parler, les moins petites, ont toujours le plus de force, ainsi le généralement tous les grands corps en ont plus que les moindres

quand ils sont autant ébranlés. Ce qui fait que, moins cette matière est subtile, c'est-à-dire composée de parties moins petites, plus elle peut agiter les parties des autres corps. Et ceci fait aussi qu'elle est ordinairement le moins subtile aux lieux et aux temps où elle est le plus agitée, comme vers la superficie de la terre que vers les nues, et sous l'équateur que sous les pôles, et en été qu'en hiver, et de jour que de nuit. Dont la raison est que les plus grosses de ces Parties, ayant le plus de force, peuvent le mieux aller vers les lieux où, l'agitation étant plus grande, il leur est plus aisé de continuer leur mouvement. Toutefois, il y en a toujours quantité de fort petites qui se coulent parmi ces plus grosses. Et il est à remarquer que tous les corps terrestres ont bien des pores, par où ces plus petites peuvent passer, mais qu'il y en a plusieurs qui les ont si étroits, ou tellement disposés qu'ils ne reçoivent point les plus grosses; et que ce sont ordinairement ceux-ci qui se sentent les plus froids quand on les touche, ou seulement quand on s'en approche. Comme, d'autant que les marbres et les métaux se sentent plus froids que le bois, on doit penser que leurs pores ne reçoivent pas si facilement les parties subtiles de cette matière, et que les pores de la glace les reçoivent encore moins facilement que ceux des marbres ou des métaux, d'autant qu'elle est encore plus froide.

Car je suppose ici que, pour le froid et le chaud, il n'est pas besoin de concevoir autre chose sinon que les petites parties des corps que nous touchons étant agitées plus ou moins fort que de coutume, soit par les petites parties de cette matière subtile, soit par telle autre cause que ce puisse être, agitent aussi plus ou moins les petits filets de ceux de nos nerfs qui sont les organes de l'attouchement; et que, lorsqu'elles les agitent plus fort que de coutume, cela cause en nous le sentiment de la chaleur, au lieu que lorsqu'elles les agitent moins fort, cela cause le sentiment de la froideur. Et il est bien aisé à comprendre, qu'encore que cette matière subtile ne sépare pas les parties des corps durs, qui sont comme des branches entrelacées, en même façon qu'elle fait celles de l'eau et de tous les autres corps qui sont liquides, elle ne laisse pas de les agiter et faire trembler plus ou moins, selon que son mouvement est plus ou moins fort, et que ses parties sont plus ou moins grosses; ainsi que le vent peut agiter toutes les branches des arbrisseaux dont une palissade est composée sans les ôter pour cela de leurs places.

Au reste, il faut penser qu'il y a telle proportion entre la force de cette matière subtile et la résistance des parties des autres corps, que lorsqu'elle est autant agitée, et qu'elle n'est pas plus subtile qu'elle a coutume d'être en ces quartiers contre la terre, elle a la force d'agiter et de faire mouvoir séparément l'une de l'autre et même de plier la plupart des petites parties de l'eau entre lesquelles elle se glisse, et ainsi de la rendre liquide; mais que, lorsqu'elle n'est pas plus

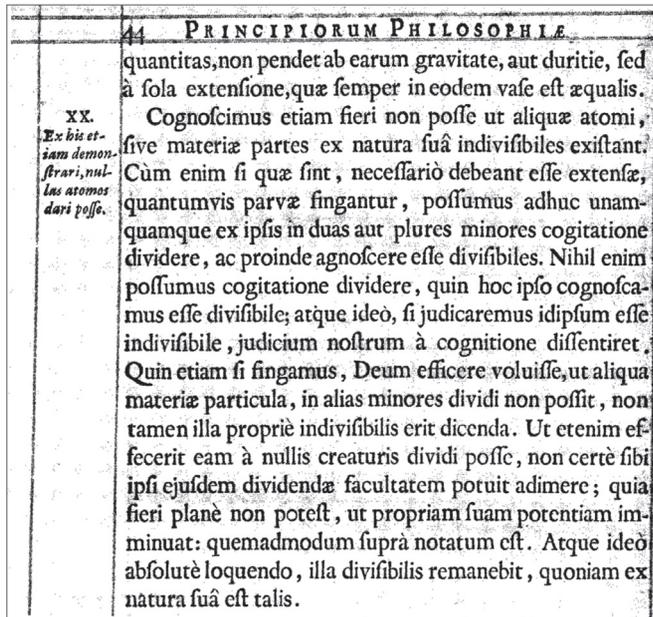
agitée, ni moins subtile, qu'elle a coutume d'être en ces quartiers au haut de l'air, ou qu'elle y est quelquefois en hiver contre la terre, elle n'a point assez de force pour les plier et agiter en cette façon, ce qui est cause qu'elles s'arrêtent confusément jointes et posées l'une sur l'autre, et ainsi qu'elles composent un corps dur, à savoir de la glace. En sorte que vous pouvez imaginer même différence entre de l'eau et de la glace, que vous feriez entre un tas de petites anguilles, soit vives soit mortes, flottantes dans un bateau de pêcheur tout plein de trous par lesquels passe l'eau d'une rivière qui les agite, et un tas des mêmes anguilles, toutes sèches et raides de froid sur le rivage. Et pour ce que l'eau ne se gèle jamais, que la matière qui est entre ses parties ne soit plus subtile qu'à l'ordinaire, de là vient que les pores de la glace qui se forment pour lors, ne s'accommodant qu'à la grosseur des parties de cette matière plus subtile, se disposent en telle sorte qu'ils ne peuvent recevoir celle qui l'est moins, et ainsi que la glace est toujours grandement froide, nonobstant qu'on la garde jusques à l'été, et même qu'elle retient alors sa dureté, sans s'amollir peu à peu comme la cire, à cause que la chaleur ne pénètre au-dedans qu'à mesure que le dessus devient liquide.

Par ailleurs, il faut souligner que Descartes, bien qu'ayant eu la première approche rationnelle du concept de matière dégagée des considérations plus ou moins mystiques antérieures, niait explicitement l'existence des atomes. Son affirmation occupe le paragraphe 20 de la seconde partie des *Principia Philosophiae*¹ de 1644, reproduit ci-contre.

Voici la traduction de ce paragraphe donnée dans l'édition française de 1647 :

Il est aussi très-aisé de connaître qu'il ne peut y avoir des atomes, ou des parties de corps qui soient indivisibles. D'autant que, si petites qu'on suppose ces parties, néanmoins, parce qu'il faut qu'elles soient étendues, nous concevons qu'il n'y en a pas une d'entr'elles qui ne puisse être encore divisée en deux ou plus grand nombre d'autres plus petites, d'où il suit qu'elle est divisible. Car, de ce que nous *connaissons clairement et distinctement* qu'une chose peut être divisée, nous devons *juger* qu'elle est divisible, parce que, si nous en jugions autrement, le jugement que nous ferions de cette chose serait contraire à la connaissance que nous en avons. Et quand même nous supposerions que Dieu eut réduit quelque partie de la matière à une petitesse si extrême, qu'elle ne pût être

1. Amsterdam, Louis Elzevir, 1644.



divisée en d'autres plus petites, nous ne pourrions conclure pour cela qu'elle serait indivisible, parce que, quand Dieu aurait rendu cette partie si petite qu'il ne serait pas au pouvoir d'aucune créature de la diviser, il n'a pu se priver soi-même du pouvoir qu'il avait de la diviser, à cause qu'il n'est pas possible qu'il diminue sa toute-puissance, comme il a été déjà remarqué. C'est pourquoi... nous dirons que *la plus petite partie étendue qui puisse être au monde*, peut toujours être divisée, parce qu'elle est telle de sa nature.

• Les Monades de Leibniz

La théorie de la substance, chez Leibniz, est exposée dans son ouvrage intitulé *La Monadologie*.

Cette œuvre, écrite en français en 1714 fut publiée dans cette même langue seulement en 1840. L'auteur y donne une vue d'ensemble de son système. Composée de 90 paragraphes, elle est un exposé de ses thèses fondamentales. Le titre n'est pas de Leibniz mais a été introduit en 1720 par Heinrich Köhler dans sa traduction allemande de l'ouvrage encore inédit publiée dans les *Acta Eruditorum*. La première

édition en livre de la Monadologie est sa traduction latine intitulée *Leibnitii Principia Philosophiae more geometrico demonstrata*¹.

Le mot *monade*, signifie, étymologiquement, *unité*. On peut noter que le concept de *monade* a été influencé par la philosophie de Pierre Gassendi (1592-1655).

Pour Leibniz, tout l'univers est constitué de *monades* qui sont des substances simples, sans parties, qui ont chacune une unité et sont toutes différentes.

Les monades sont en nombre infini, ne peuvent qu'être créées ou annihilées et subissent un changement permanent. Pour Leibniz, Dieu a créé les monades de telle sorte qu'elles forment un tout en dépendant les unes des autres et il les a créées par fulguration, chacune ayant une vue singulière de l'univers. La totalité des points de vue des monades est, évidemment, collectée par Dieu.

La force et la pensée intimes des monades sont d'origine divine. L'harmonie est dès l'origine dans l'esprit de Dieu, elle est donc préétablie et précède selon Leibniz, les monades². Quant à l'univers, il n'existe que par les monades.

Voici, par exemple, comment Paulian commentait le concept de *Monade* dans son *Dictionnaire de physique*³:

Les Monades sont, selon M. Leibniz, des corps simples, immuables, indissolubles, solides, individuels, ayant toujours la même figure et la même masse. [...]. [Leibniz] croyait qu'il y a partout des *monades* qui sont les vies, les âmes, les esprits qui peuvent dire *moi*, que ces monades, selon le lieu où elles sont, reçoivent des impressions de tout l'Univers, mais confusément à cause de leur multitude; que ce sont des miroirs sur lesquels tout l'Univers rayonne, selon qu'ils lui sont exposés; qu'une *monade* est d'autant plus parfaite, qu'elle a des perceptions plus distinctes; que les *monades* qui sont des âmes humaines, ne sont pas seulement des miroirs des créatures, mais des miroirs et des images de Dieu même.

1. Francofurti et Lipsiae, Petri Conradi Monath, 1728.

2. Cf. M. Fichant. *Science et métaphysique chez Descartes et Leibniz*, PUF, 1998.

3. Édition de 1781, tome IV, p. 111.