



La Matière

UNE RÉALITÉ MULTIPLE ET SINGULIÈRE

Bois, métal, eau... la matière nous apparaît sous de multiples formes : des formes si diverses qu'on parle de « matières », au pluriel. On a effectivement longtemps cru que la matière était plurielle et que chaque corps résultait d'un arrangement de différents types de matière, de différentes substances, tels les « quatre éléments » (eau, terre, feu et air).

L'élucidation de la structure de l'atome au ^{xx} siècle, retrouvant certaines intuitions de l'Antiquité, a redonné à la matière son unité conceptuelle. Chaque élément chimique correspond à une combinaison différente des trois particules atomiques élémentaires : proton, neutron, électron. Si, à l'échelle humaine, la matière inorganique (non vivante) apparaît souvent comme inerte, elle est animée de mouvements aléatoires à l'échelle atomique : l'agitation thermique. Connue sous ses différents états, solide, gazeux ou liquide, révélée par ses propriétés physiques telles que la conductivité, la matière livre progressivement tous ses secrets – de l'échelle des particules élémentaires à celle de l'homme... et au-delà.

LES CONCEPTIONS DE LA MATIÈRE

Jusqu'au début du ^{xx} siècle, la plus petite division de la matière était l'atome (correspondant à un élément chimique) ou la molécule (groupe d'atomes liés entre eux). Aujourd'hui, avec la physique moderne, l'atome n'est plus la particule élémentaire de la matière, il est lui-même formé d'autres corpuscules : les protons, les neutrons et les électrons et, à plus petite échelle, les quarks.

D'EMPÉDOCLE À EINSTEIN

L'hypothèse de l'existence des atomes se révèle très ancienne. Toutefois, la question du fractionnement infini de la matière est très complexe et n'a été éclaircie que peu à peu.

La matière dans l'Antiquité

La première vision de la matière est celle du philosophe grec **Empédocle** (vers 492-432 av. J.-C.). Pour lui, toute chose est composée de quatre éléments : la terre, le feu, l'eau et l'air. Ces éléments sont mus par des forces puissantes, celle de l'Amour qui unit et celle de la Haine qui sépare.

La notion d'atome a été inventée par un autre Grec, Leucippe de Millet, en 420 avant J.-C. Ce terme vient du grec *atosmos* qui signifie « insécable ». Démocrite d'Abdère (vers 460-370 av. J.-C.), disciple de Leucippe, est allé plus loin : pour lui la matière est constituée d'atomes sans cesse en mouvement. Ces atomes, qui baignent dans un espace vide et ont une infinité de formes, sont pleins et éternels, et ne peuvent être partagés en entités plus petites. Cette vision antique de la matière était également en vigueur en Inde à la même époque.

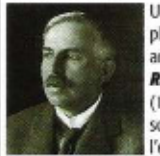
DE LA CLASSIFICATION PÉRIODIQUE À LA THÉORIE QUANTIQUE



Ce n'est qu'en 1869 que le chimiste russe **Dmitri Ivanovitch Mendeleïev** (1834-1907)

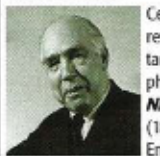
constate que les éléments chimiques connus peuvent être classés d'après leurs propriétés chimiques. Dans le tableau qu'il construit pour les ranger, il regroupe les atomes en familles et prend le soin de laisser des cases vides pour les éléments encore inconnus.

En 1897, Joseph John Thompson (1856-1940), physicien anglais, découvre un composant de l'atome, l'électron, petite particule chargée d'électricité. Il propose le premier modèle de l'atome quelques années plus tard, en 1904. Ce modèle appelé depuis « pudding de Thompson » décrit l'atome comme une sphère pleine d'une substance chargée positivement et fourrée d'électrons, particules chargées négativement, à la manière d'un cake aux raisins.



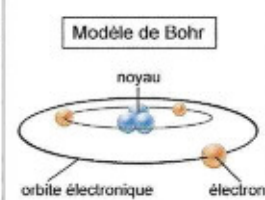
Un autre physicien anglais, **Ernest Rutherford** (1871-1937), soupçonne l'existence dans

l'atome d'un composant lourd et électriquement chargé : le noyau. Il élabore un nouveau modèle de l'atome en 1912.



Ce modèle est revu un an plus tard par le physicien danois **Niels Bohr** (1885-1962). Entre 1924 et

1930 naît la physique quantique sous l'impulsion de nombreux physiciens, notamment Niels Bohr, Albert Einstein, Louis de Broglie, etc. Cette nouvelle théorie permet de décrire les phénomènes qui ont lieu à l'échelle atomique et subatomique.



Si, pour Rutherford, l'atome est déjà conçu comme un soleil autour duquel les électrons gravitent comme des planètes, le **modèle de représentation atomique de Bohr** inclut un principe de quantification qui énonce que les orbites des électrons autour du noyau sont préférentiellement stables. Le saut d'un électron d'une orbite stable vers une autre provoque l'émission ou l'absorption de lumière.

En outre, Rutherford comprend que le noyau lui-même est divisible, composé de ce que l'on appellera plus tard les nucléons : les protons et les neutrons. L'existence des neutrons sera confirmée en 1932 par l'un de ses élèves, James Chadwick (1891-1974).

LA PHYSIQUE DE LA MATIÈRE

MATIÈRE ET LUMIÈRE

Jusqu'au ^{xx} siècle, selon la théorie atomique alors admise, la matière était considérée comme constituée de corpuscules, tandis que la lumière était une onde. La physique moderne a réuni les notions d'onde et de corpuscule pour décrire les particules atomiques élémentaires qu'elle a découvertes en grand nombre.

ÉNERGIE, MATIÈRE ET VIDE

Selon Albert Einstein (1879-1955), la masse (donc la matière) est la forme « figée » de l'énergie. La masse peut être convertie en énergie, et réciproquement, selon la célèbre équation :

$$E = m \cdot c^2$$

- E représente l'énergie et s'exprime en Joules
 - m correspond à la masse en kg
 - c est une constante, la vitesse (ou célérité) de la lumière, égale à 300 000 km/s.
- Par exemple, les électrons contenus dans un kilogramme de matière pourraient dégager une énergie de 50 milliards de Joules, soit l'énergie libérée par une grosse centrale nucléaire.

ONDE OU PARTICULE ?

À l'échelle macroscopique (c'est-à-dire à l'échelle de ce qui est visible à l'œil nu), la matière relève de deux concepts opposés.

• Le concept « corpusculaire », selon lequel la matière serait discontinue et constituée d'atomes que l'on peut compter et individualiser.

• Le concept « ondulatoire », notamment approprié à des phénomènes tels que la propagation du son ou des rides à la surface de l'eau, dans lesquels la matière semble continue.

Les réflexions sur la nature de la lumière, dont certaines propriétés sont expliquées par une description corpusculaire tandis que d'autres relèvent d'une description ondulatoire ont conduit à la formulation de la théorie quantique, qui concilie les approches corpusculaire et ondulatoire. Les électrons se comportent ainsi, dans certaines conditions, comme des ondes, mais on peut toujours les compter : ils ne sont alors ni des ondes ni des particules.

LES OBJETS QUANTIQUES

La physique quantique a donné naissance à des catégories nouvelles de particules. À l'échelle atomique, deux particules peuvent être rigoureusement identiques. Cependant, chaque particule est caractérisée par un certain nombre de propriétés physiques. Deux particules identiques peuvent-elles avoir au même moment les mêmes propriétés ?

C'est cette question qui a conduit au classement des particules dans deux catégories :

- les bosons, capables de coexister dans le même état physique ;
 - les fermions, qui ne peuvent coexister au même endroit avec les mêmes propriétés.
- Les photons, particules constitutives de la lumière, appartiennent à la classe des bosons. Dans un rayon laser, tous les photons sont dans le même état. Les électrons, quant à eux, sont des fermions. Ainsi, à la dualité onde-corpuscule s'ajoute l'existence de deux classes d'objets quantiques aux comportements opposés.

LA MATIÈRE DE L'UNIVERS

La matière serait apparue peu après le **Big-Bang**, par lequel l'Univers aurait été engendré. Cette théorie du **Big-Bang** explique bien l'expansion de l'Univers depuis sa naissance, l'existence d'un rayonnement homogène se propageant dans tout l'espace (le « fond diffus cosmologique »), ainsi que le fait que la matière semble uniformément répartie dans l'Univers, si on l'envisage à grande échelle. Il apparaît désormais que vide occupe aussi une place importante dans l'Univers. Loin de représenter le néant (l'absence de matière), c'est un milieu doté de propriétés

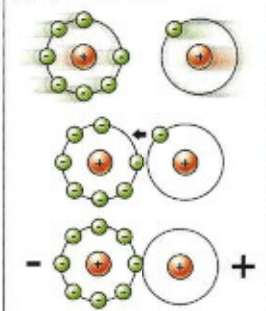
physiques particulières. Il serait capable d'engendrer des particules (phénomènes de « fluctuations quantiques ») et de propager des ondes à la vitesse de la lumière (300 000 km/s). Le vide contiendrait en outre une énergie incroyable, représentant 73 % de l'énergie présente dans l'Univers. Enfin, la nature physique du vide expliquerait l'éloignement des galaxies les unes par rapport aux autres. Quoi qu'il en soit, la densité de matière que l'on peut observer et estimer est beaucoup plus faible que celle que prévoit la théorie quantique. On pense même que près des neuf dixièmes de la masse réelle de l'Univers échapperait à notre observation. Quelle est donc cette « matière sombre » indétectable par nos instruments astronomiques ?

ASPECT CHIMIQUE DE LA MATIÈRE

LES LIAISONS DES ATOMES ET LEUR ORGANISATION

Les atomes sont formés d'un noyau central, constitué de neutrons (particules neutres) et de protons (particules chargées positivement), entouré par des électrons (chargés négativement) : l'atome est donc globalement neutre. S'il perd ou gagne un électron, il se charge électriquement et devient un ion. Un ion positif s'appelle cation, un ion négatif est un anion.

Si on monte d'un cran dans le niveau d'organisation de la matière, on constate que les atomes se regroupent en molécules. La cohésion de ces dernières est assurée par trois grands types de liaisons : les liaisons ioniques, covalentes, et métalliques. D'autres types de liaisons plus fragiles se rencontrent dans les liquides et dans certaines molécules organiques, mais leur importance proprement physique est moindre.



• Lorsque un ou plusieurs électrons d'un atome sont cédés à l'autre atome pour former une molécule, on parle de liaison ionique. Ce type de liaison est rencontré dans le sel de table ou chlorure de sodium (NaCl).

La matière en chiffres

Nombre d'éléments chimiques :
266 dont 92 existant naturellement sur Terre.

Nombre de molécules connues :
20 millions.

Diamètre moyen d'un atome :
0,1 nanomètre (nm)

soit 10^{-10} m (0,1 millionième de millimètre).

1 million d'atomes tiendraient dans l'épaisseur d'un cheveu.

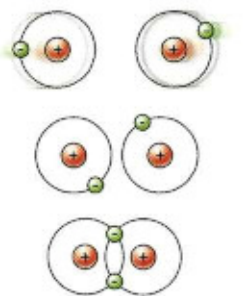
Nombre total d'atomes dans l'Univers :
estimé à 10^{80}

tassés, ils occuperaient une sphère de **1 milliard de km de diamètre** (6 fois la distance Terre-Soleil).

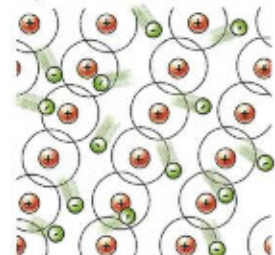
Poids d'un atome :
Environ 10^{-27} kg
Le poids d'un atome est à peine supérieur à celui de son noyau.

Le plus petit : L'hydrogène
1 proton
1 électron.

Le plus gros : L'unhexium
116 protons
173 neutrons
116 électrons.



• La liaison covalente relie les électrons isolés de chaque atome pour former des paires d'électrons fortement liées.



• Dans la liaison métallique, les noyaux des atomes se rangent en un réseau régulier. Les électrons des couches supérieures des atomes se trouvent libres de se déplacer entre les mailles du réseau : c'est pour cette raison que la plupart des métaux sont d'excellents conducteurs.

LES PRINCIPAUX ÉTATS DE LA MATIÈRE

Les solides

Les solides correspondent à un état dit « ordonné » de la matière. Les atomes s'arrangent en une structure organisée difficilement déformable, possédant donc une forme qui lui est propre. À des températures très basses, c'est-à-dire au voisinage du zéro absolu (à -273°C), tous les corps se trouvent à l'état solide. Les atomes tendent vers une immobilité parfaite. Quand la température augmente, les atomes sont soumis à une agitation thermique croissante et ils vibrent. Les vibrations des atomes dans un solide ne correspondent à aucun mouvement discernable à l'échelle humaine mais donnent lieu à des déplacements désordonnés à l'échelle microscopique. Il existe des solides dits « amorphes », sortes de liquides figés, dans lesquels les atomes sont disposés au hasard. Ils représentent un état intermédiaire entre les états solide et liquide.



Le cristal est le principal état de la matière inorganique solide. La répétition régulière d'un motif atomique selon les trois directions de l'espace est caractéristique d'un édifice cristallin. Le cristal présente une structure géométrique parfois décelable à l'œil nu. Ainsi, la symétrie hexagonale de l'arrangement des molécules d'eau dans les cristaux de neige se constate d'un simple coup d'œil. Les cristaux liquides sont pour leur part constitués de molécules dont le degré d'organisation est intermédiaire entre les états solide et liquide.

Les liquides

On regroupe le liquide et le gaz sous le terme fluide. L'état fluide se caractérise simplement à l'échelle du visible : il a la propriété de changer de forme et de s'écouler librement sous l'influence de forces très faibles : on dit que les fluides n'offrent pas de résistance au cisaillement. Le fluide correspond à un état désordonné à toutes les échelles : l'agitation des atomes provoque un changement perpétuel de leurs positions.

Dans un liquide, les éléments constitutifs, atomes, ions ou molécules, ont la possibilité de se mouvoir, même s'ils restent faiblement liés les uns aux autres.

Un liquide est apte à s'écouler : cette capacité des molécules à glisser les unes sur les autres est caractéristique de l'état liquide. Quant à la résistance à l'écoulement, propre à chaque liquide, elle est appelée « viscosité ». Une autre propriété des liquides s'appelle la « tension superficielle ». Ce phénomène se traduit par le fait qu'ils tendent à minimiser leur surface libre.



Ainsi, si l'on dépose de l'eau sur une surface de verre propre, celle-ci aura tendance à s'étendre en une couche mince. En revanche, si le verre est un peu gras, l'eau demeurera sous forme de gouttes, dont la forme, proche de celle d'une sphère, engendre une surface de contact minimale.

Les gaz



Dans un gaz (au sein duquel on opère ici des décharges électriques), les molécules sont parfaitement libres de se déplacer dans tout le volume disponible. Elles se meuvent souvent de manière erratique, à des vitesses de l'ordre de quelques milliers de kilomètres-heure. L'état gazeux se caractérise au moyen de trois paramètres : la pression, le volume et la température.

La pression représente la force exercée par l'ensemble des molécules en mouvement par unité de surface ; elle se traduit, par exemple, par la force exercée sur une paroi d'un récipient contenant le gaz. À volume égal, elle augmente avec la température. Le volume est l'espace occupé par le gaz. Un gaz se dilate toujours pour occuper tout l'espace disponible, jusqu'à ce que des parois l'arrêtent : à température constante, la pression s'abaisse lors de la dilatation. Si au contraire l'espace se restreint (sous l'action d'un piston par exemple), les molécules de gaz se rapprochent : à température constante, la pression augmente quand le volume diminue. La température mesure l'agitation des molécules du gaz. Elle est proportionnelle à la pression, à volume constant (plus les molécules s'agitent, plus la force qu'elles exercent sur les parois augmente) ainsi qu'au volume, à pression constante (plus les molécules s'agitent, plus elles tendent à occuper d'espace).

Les changements d'état

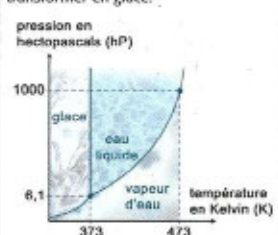
La matière se rencontre dans trois états, solide, liquide ou gazeux, en fonction de la nature des liaisons atomiques et de l'agitation des particules constitutives du corps concerné. À volume égal, la température et la pression sont les deux paramètres qui influent à la fois sur le mouvement des particules et sur les liaisons entre les molécules.



Un changement de température et/ou de pression peut provoquer ainsi un changement d'état du corps : il passe du solide au liquide (fusion) ou du liquide au solide (solidification), du liquide au gaz (vaporisation), du gaz au liquide (liquéfaction), du solide au gaz (sublimation) ou encore du gaz au solide (condensation).



L'eau fournit un bon exemple de changements d'état :
 • en dessous de 0°C , elle est solide, c'est de la **glace** ;
 • à 0°C elle devient liquide ;
 • à 100°C elle se vaporise, c'est un gaz. Les changements d'état de l'eau sont réversibles : la vapeur d'eau libérée à 100°C peut se condenser au contact d'une paroi froide en donnant de l'eau liquide qui peut, à son tour, se transformer en glace.



On définit pour chaque corps, un « diagramme d'état » qui représente les domaines de stabilité des trois états et les limites entre eux. Ce diagramme indique la variation de pression en fonction de la température. Les trois états y coexistent en un seul point appelé « point triple » : le point triple de l'eau est atteint à une température de 273,16 kelvin (soit $0,01^\circ\text{C}$) et une pression de 6,1 hectopascals. Ainsi, la température et la pression du point triple sont caractéristiques d'un corps donné. Partant de ce point, la courbe de fusion définit l'équilibre entre le solide et le liquide. Si cette courbe est illimitée, celle qui sépare les domaines du liquide et du gaz s'arrête au point triple. Au delà de ce point, le liquide et le gaz sont indissociables et forment un état dit « supercritique ». La courbe de sublimation, démarrant elle aussi au point triple, correspond à l'équilibre entre le solide et le gaz.

DES ÉTATS « EXOTIQUES » DE LA MATIÈRE

Le gaz parfait

Le gaz parfait est un modèle théorique, qui n'existe donc pas dans la réalité, élaboré pour modéliser simplement tous les états de la matière pour lesquels les interactions entre les

molécules qui la constituent sont négligeables. Dans ce modèle, les molécules sont donc supposées sans aucune interaction entre elles.

Le plasma

Dans des conditions extrêmes de température, les liaisons atomiques se brisent, les atomes libèrent leurs électrons et la matière se retrouve dans un état ni solide, ni liquide, ni franchement gazeux : le plasma.

Un plasma se définit couramment comme un gaz d'atomes ou de molécules ionisés. Il est composé en général d'un mélange d'ions positifs et d'électrons, mais il existe aussi des plasmas d'ions négatifs. Des plasmas se produisent dans les éclairs d'orages et sont la source de la lumière des tubes au néon. La température d'un plasma peut dépasser plusieurs centaines de millions de degrés. Au delà de 100 millions de degrés cependant, les noyaux des atomes commencent à se dissocier et des fusions nucléaires se préparent dans le plasma.

LA MATIÈRE DES CORPS PURS ET DES MÉLANGES

Tous les objets qui nous entourent sont formés soit d'une seule substance – il s'agit alors de corps purs, simples ou composés – soit d'un mélange de plusieurs substances – on parle alors de mélanges, mélanges de corps simples ou de corps composés.

Les corps purs

Ce sont les constituants des mélanges. Ils sont caractérisés par des constantes physiques telles que leur point d'ébullition ou de fusion. À la différence de celle des mélanges, leur composition reste fixe quel que soit leur état physique. Un corps pur change d'état à température constante.

Selon que les molécules des corps purs sont formées d'un élément chimique ou de plusieurs, on les classe en corps simples et corps composés.

• Les molécules des corps simples ne contiennent qu'un seul type d'élément chimique. Le carbone par exemple, combinable avec de nombreux autres éléments, fournit deux corps simples : le diamant et le graphite, exclusivement composés d'atomes de carbone.

• Les molécules d'un corps composé sont toutes identiques, constituées d'au moins deux éléments chimiques différents. Il existe virtuellement une infinité de corps composés, présents dans la nature ou synthétisés par l'homme.

Les mélanges

Un mélange est l'association de plusieurs corps ne résultant pas d'une réaction chimique. Un corps ou un assemblage de corps qui apparaît homogène est appelé une « phase ».

Un mélange est dit hétérogène lorsqu'il comporte au moins deux phases aux propriétés différentes et homogène lorsque les propriétés sont les mêmes en tout point.

Selon le degré d'intimité des produits, on distingue plusieurs types de mélanges homogènes : les solutions, les alliages métalliques et les émulsions.

• Dans les solutions, le produit mélangé au solvant se scinde au niveau d'une liaison ionique et se regroupe autour des molécules du solvant. C'est ainsi qu'un solide peut se mêler à un liquide.



• Les alliages métalliques (ici du **bronze**, alliage de cuivre et d'étain) sont des mélanges de métaux aux propriétés atomiques voisines, qui leur permettent de s'intégrer dans une même structure métallique. On obtient ainsi des métaux aux propriétés intéressantes de dureté, de malléabilité et de résistance à la corrosion.

• Les émulsions sont à la limite du mélange homogène : il s'agit de deux liquides qui en temps normal ne se mélangent pas et forment deux phases. Sous certaines conditions (agitation, présence d'un catalyseur, etc.), l'une des phases liquides se scinde en minuscules gouttelettes en suspension au sein de l'autre liquide.

Ainsi un mélange peut sembler homogène à l'œil nu alors qu'il ne l'est pas à l'échelle microscopique. La matière n'est d'ailleurs jamais parfaitement homogène puisque les molécules qui la composent sont plus ou moins éloignées les unes des autres dans l'espace : l'homogénéité se révèle être une propriété dépendante de l'échelle d'observation.

LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE LA MATIÈRE

Isolants et conducteurs

Au xv^e siècle, les scientifiques ont mis en évidence une propriété de la matière liée à l'électricité. La distinction entre matériaux électriques et matériaux non électriques s'est traduite par une division entre corps conducteurs d'électricité et corps isolants. Cette propriété dépend de la mobilité des particules qui composent le corps.

• Un matériau comportant des électrons libres sera conducteur d'électricité : les électrons peuvent faire circuler le courant. Une substance conductrice contient donc à toute température un grand nombre d'électrons libres de se déplacer à l'intérieur de l'édifice atomique. Les métaux sont en général de très bon conducteurs, particulièrement le cuivre, l'argent et l'or.

• Un matériau isolant, pauvre en électrons libres, stocke l'énergie électrique localement, accumulant ainsi les charges électriques. Le caoutchouc, l'air ou la céramique sont de très bon isolants.

Dilatation, élasticité et plasticité

Si on chauffe un corps solide ou une quantité fixe de liquide ou de gaz, sa masse ne change pas, mais on peut constater que le volume augmente. C'est ce qu'on appelle la dilatation. L'inverse de la dilatation est la contraction.

L'élasticité est la propriété qui permet à un corps sur lequel on applique par exemple une force d'étirement, de reprendre sa forme et sa longueur initiale dès que la force cesse d'être exercée.

Si le matériau ne reprend pas sa forme initiale mais garde celle qu'il avait lorsque la force lui était appliquée, on parle de plasticité. Enfin, si la force appliquée est trop importante, le corps peut se casser : il y a rupture du matériau.