

2. 4. - LA MATIERE

2. 4. 1.

Il n'y a pas de matière ! Nous le verrons, il est tentant de prononcer une telle assertion dès lors qu'on examine le concept de matière d'un peu près. Cependant, dire qu'il n'y a pas de matière ne signifie pas qu'il n'y a rien hors de nous ; encore moins que tout est fait d'esprit. Cela souligne que ce que nous pensons extérieur à nous n'est pas à ce point distinct de nos représentations, de nos investigations, que nous puissions croire observer le monde sous sa réalité première, dans sa pure matière.

Certes, nous pouvons être tentés de croire que nous percerons un jour le secret de la matière et que nous verrons ainsi le monde en soi. Mais nous pouvons également considérer le chemin d'ores et déjà parcouru à cet égard, pour reconnaître que, sur la matière, nous en savons déjà beaucoup et l'essentiel sans doute : que nos investigations ne la créent certes pas de toutes pièces mais qu'elles ne nous font pas davantage découvrir une réalité première totalement indépendante des manières dont nous la questionnons.

Si l'on s'en convainc, il y a deux solutions : 1) dire que la vraie matière nous demeure et doit peut-être nous demeurer cachée ; 2) admettre que l'idée de matière est à même de susciter des illusions.

Nous avons commenté ailleurs la première solution, en soulignant quelle contradiction il y a à parler d'une réalité cachée (voir 2. 1.). Ne reste donc que la seconde solution.

*

L'idée de matière est incontournable. Qu'on le veuille ou non, il est impossible de penser sans elle. Une fois posés les principes d'une investigation objective et organisée des phénomènes, en effet, l'idée de matière

accompagne inévitablement le développement de la pensée scientifique, dont elle traduit le réductionnisme, c'est-à-dire la volonté de réduire les phénomènes à leurs déterminants premiers et communs. Sous ce jour, la matière est un concept fécond sans doute, dont nous verrons quelques-unes des incessantes redéfinitions. Et c'est un concept véritablement scientifique.

Philosophiquement, en revanche, l'idée de matière pose davantage de problèmes. Et le matérialisme, pour le dire vite, peut paraître assez inutile, s'il consiste à admettre qu'un jour la science nous donnera la matière : c'est-à-dire ce qui nous forme à l'instar de tout ce qui est, nous explique et ce qui devra également rendre compte du fait que nous soyons si longtemps restés sans le voir ! Ce qui revient à attendre que la science finisse par délivrer un jour une parole, un sens, qui n'aient rien d'humain. Sauf à attendre cela, en effet, il faut bien reconnaître que le programme du matérialisme ne peut finalement être, à l'inverse de ce qu'il vise, que de réduire l'esprit à l'esprit. Puisque l'esprit reste finalement maître de définir ce qu'est la matière.

Cela, un certain nombre de choses nous empêchent néanmoins de le reconnaître et d'abord le fait que la matière est un concept polémique. Car, nous qui nous jugeons si facilement postmodernes, pensons toujours, comme au XVIII^e siècle, que s'en prendre au matérialisme revient indirectement à affirmer l'existence de Dieu, de l'âme, ou de quelque immatérialité qui échapperait au monde. Et, de fait, c'est assez exactement ce que sous-entendent beaucoup de ceux qui s'en prennent au matérialisme ! Mais nous ne sommes pas assez attentifs alors à ce que nous entendons polémiquement par matière - non pas la recherche de ce qui est, comme si ce que nous savons être n'existait pas vraiment mais de ce qui explique ce qui est. Un principe, donc. Et non pas une matière !

Qu'on le veuille ou non, en effet, on entend par matière un principe d'explication et d'investigation plutôt qu'une réalité. Et c'est ainsi, de manière privilégiée, dans la quête de la matière que l'esprit se réduit à ses propres principes. En ce sens, l'histoire de la science de la lumière, à laquelle nous consacrerons d'assez longs développements, est certainement l'une des plus

fascinantes aventures spirituelles de l'humanité. En fait de matière, l'intelligence est sommée de produire sa propre extériorité. Et c'est l'une des plus vives épreuves intellectuelles sans doute que d'affronter l'épaisseur du monde car c'est alors précisément que ni la rêverie, ni la spéculation ne suffisent. C'est face à une matière que le travail est le plus nécessaire et que travailler est ce qu'il y a de plus spirituel.

De sorte que si certains, de nos jours, entendent réduire toute réalité physique à l'information, dont matière et énergie ne seraient que les effets secondaires¹, on peut se demander si une telle approche n'est pas, encore une fois, par trop immatérielle. Si elle n'est pas vouée à buter, elle aussi, sur ce que le monde a de plus matériel : sa fragmentation en réalités discontinues, la distribution discrète de ses éléments, qui se donnent comme irrémédiablement contingents.

Toutes ces idées, succinctement évoquées ici, devraient s'éclaircir à l'issue d'un parcours qui nous conduira à examiner successivement : I) le matérialisme ; II) la conquête de la matière et III) la matière élémentaire.

¹ Voir H. C. von Baeyer *Information: the new language of science*, Harvard University Press, 2004.

I - Le matérialisme

2. 4. 2.

Par "matière" on entend principalement deux choses : 1) ce dont un être est fait (materia en latin : le bois de construction) ; 2) l'ensemble de la réalité physique, extérieure et indépendante de la pensée.

Dans les deux cas, l'idée de matière semble ainsi renvoyer à une donnée extérieure tout à fait concrète, immédiate et première. Pourtant, dans l'histoire de la pensée, la matière est un concept tardif et extrêmement abstrait. Un concept ayant d'abord marqué une déprise du regard par rapport à l'apparente multiplicité des choses et le rattachement de celles-ci à un fonds commun, qu'on conçut d'abord de manière toute idéale et dont on ne reconnut que peu à peu la densité et la consistance. Jusqu'à vouloir qu'il rende compte de tout. C'est là le point de vue du matérialisme ; lequel est un réductionnisme, par rapport aux apparences, qui nous donnent les choses comme existant d'elles-mêmes dans toute leur diversité.

Ce fut sans doute une mutation très importante dans la manière de percevoir le monde qui tourna peu à peu la science vers la matérialité des phénomènes et l'art vers l'épaisseur des choses. Mais au total, en fait de matière, toutes ces démarches nous auront livré un principe de réduction bien plus qu'une réalité extérieure nettement désignée. En fait de matière, nous tenons surtout un concept relatif à l'orientation d'un regard sur le monde et c'est là tout le problème ! On voudrait que tout se ramène à la matière mais cette dernière est une idée qui manque singulièrement d'autonomie par rapport à la réflexion qui la détermine.

Ainsi, pour lui donner une vraie consistance, il faut sans doute souligner surtout que la matière est inséparable d'un effort, d'un travail qui s'affronte au monde et vise sa transformation. La matière est au bout d'une opération de purification plus que de réduction.

Ci-après, nous verrons tout ceci, en posant d'abord l'idée de matière A) entre forme et résistance, avant d'examiner B) le matérialisme, puis C) la matière comme travail.

A) Entre forme et résistance

2. 4. 3.

Un concept tardif.

Jusqu'à Aristote, la matière semble n'avoir pas eu de nom en grec². C'est que les Grecs n'ont pas eu l'idée de Création, note un historien des idées³. Ils ne se demandaient pas de quoi les choses sont nées ni d'où elles tirent leur substance. Pour eux, les choses étaient simplement là, distinctes et premières, avec leurs qualités apparentes.

On sait que les philosophes atomistes seront les premiers à mettre en question cette réalité évidente des choses (voir 2. 1. 11.). Et quant à la question de savoir comment et à partir de quoi le monde s'est informé, elle ne sera explicitement posée que par Platon (voir 1. 11. 3.).

Les formes étaient premières ainsi et se suffisaient à elles-mêmes, sans impliquer une matière préexistante. Les formes pouvaient changer - c'est-à-dire se transmuter les unes dans les autres - mais longtemps les Grecs n'imaginèrent pas une réalité plus fondamentale qui serait demeurée derrière ce changement de formes. D'une façon générale, note notre historien, la pensée grecque se préoccupa moins de déterminer des propriétés générales, communes à tous les corps, que de rattacher étroitement les propriétés les plus évidentes des corps à un *principe* déterminé et premier. Et *c'est bien au titre d'un principe et non d'une réalité concrète, que sera d'abord pensée la matière*. C'est en ce sens, en effet, qu'il faut comprendre la recherche d'un premier principe (*archê*) par les philosophes présocratiques.

L'étoffe des choses est composée d'eau pour Thalès, d'air pour Anaximène, par l'illimité pour Anaximandre. Mais ainsi était moins désignée une "matière", c'est-à-dire une substance permanente au sens où nous l'entendrions, qu'un principe d'identité entre les êtres. Héraclite plaçait le feu au principe de toute chose dans l'univers et de l'univers lui-même. Le feu était pour lui la substance primordiale, la force active qui faisait l'unité de toute chose à travers l'éternel conflit des contraires. En quoi il ne faut pas comprendre que les tous les êtres étaient composés, de différentes façons, de feu mais que, dans le monde,

² Voir M. Mauss *Conceptions qui ont précédé la notion de matière* (1939) in *Œuvres*, 3 volumes, Paris, Minuit, 1974, II, p. 161 et sq.

³ Albert Rivaud *Le problème du devenir et la notion de matière dans la philosophie grecque depuis les origines jusqu'à Théophraste*, Paris, Alcan, 1906

le feu était à la source de tous les changements, de toutes les transformations. En quoi il s'imposait à tous les êtres.

En ceci, le Feu était davantage une qualité, un principe de rassemblement et d'engendrement, qu'une réalité. C'était une essence toute idéelle. Tout comme la Haine et l'Amitié, deux principes qui pour Empédocle réunissaient ou séparaient, en toute chose, les quatre éléments dont tout se compose : l'eau, la terre, le feu et l'air.

Sans l'idée de matière, le monde est sans consistance.

C'est ainsi que pour les Grecs, note notre historien, le monde était réel bien plus par la forme, par l'idée, que par l'épaisseur et la consistance. Leur monde nous aurait semblé tout immatériel. Comme un monde d'images, un monde sans ombres⁴.

Il en allait de même, semble-t-il, dans la pensée bouddhiste indienne. Pour les bouddhistes, en effet, la "matière" (*rupa*) conditionnait plutôt l'aspect, l'apparence des choses. Elle s'apparentait non pas au solide mais au visible, écrit un commentateur. Et cette immatérialité explique en partie, selon lui, la tendance à confondre le monde réel et le monde de l'illusion⁵.

Ce commentateur oppose radicalement cette façon de penser à celle "de l'Occident". Ce qui n'a pourtant guère lieu d'être, nous le voyons avec les Grecs.

Le concept de matière, c'est-à-dire la nécessité de prêter à toute chose réelle une densité concrète, palpable - ceci finissant par être la condition même de la réalité de toute chose - ce concept de matière apparut tardivement. *Il représente l'une des plus importantes mutations dans la façon moderne de percevoir et de comprendre le monde.* Une mutation pourtant rarement signalée et étudiée en tant que telle.

La lente découverte de l'épaisseur des choses.

Lorsque les auteurs anciens nous parlent de l'intervention courante de puissances divines dans le monde, il faut bien comprendre que leurs critères de matérialité n'étaient pas tout à fait les mêmes que les nôtres. Les Anciens n'avaient pas comme nous l'obligation de tenir compte de la matière. Ni donc de se demander notamment comment

⁴ Voir R. Casati *La découverte de l'ombre*, 2000, trad. fr. Paris, A. Michel, 2002, pp. 12-13.

une force immatérielle pouvait trouver à s'exercer. Au XVII^e siècle, encore, l'idée d'une entité dénuée de toute matérialité et intervenant pourtant activement dans le monde n'avait rien d'étrange. La lumière, ainsi, quoique conçue par Kepler comme immatérielle et impondérable, passait selon lui pour agir sur les corps et en subir l'action. Il en ira de même pour les forces magnétiques et l'attraction, traversant les corps sans être arrêtées par aucun (voir ci-après). Au XIX^e siècle, Augustin Cournot pouvait encore se sentir obligé d'observer que les "fluides" auxquels on réduisait à son époque lumière, chaleur, électricité et magnétisme, parce que réputés subtils et impondérables (on les disait "incontenables"), ne pouvaient être considérés comme de véritables substances (*Matérialisme, vitalisme, rationalisme*, 1875, § 4⁶).

De fait, la vision même des choses n'a que très lentement pris en considération leur matière. En art, ainsi, ce souci est tout récent, qui, après la conquête de la *profondeur*, qu'apporta l'invention des règles de la perspective frontale (voir 2. 2. 4.), interrogea l'*épaisseur* des choses. La littérature française, de même, a mis très longtemps à découvrir les objets. Il faut attendre Balzac pour que le roman ne soit plus seulement l'espace de rapports humains mais aussi de matières et d'usages, note Roland Barthes (*Le degré zéro de l'écriture*, 1953⁷). Et il faut attendre Cézanne, pour que la peinture se donne délibérément pour sujet la densité même des êtres.

Art et matière

Cézanne.

En plein impressionnisme, Paul Cézanne se servait des couleurs pour exalter les formes dans ce qu'elles ont de plus volumétrique, plutôt que de les décomposer dans les vibrations de la lumière. Il voulait ainsi, disait-il, "solidifier" l'esthétique atmosphérique de l'impressionnisme.

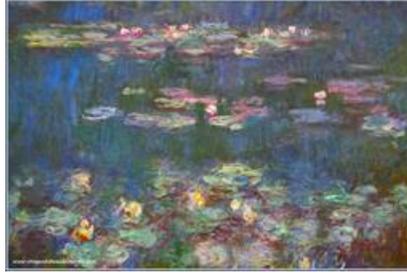
Le regard de Cézanne, qui s'attache à la pesanteur, à la permanence des éléments de la nature, au point de saisir choses et êtres dans une étrange *stupeur*, ce regard était tout nouveau en art. Bien qu'il ne manque pas de précurseurs - on peut notamment songer à John Constable, dont la pâte épaisse et la technique de sous-couches exaltent la densité des êtres, des ciels et de leurs reflets - Cézanne fut le premier à adopter résolument de tels principes.

⁵ Voir A. Bareau *La voix du Bouddha*, Paris, Ed. P. Lebaud, 1996, pp. 58-59.

⁶ Paris, Vrin, 1987.

⁷ Paris, Seuil, 1972.

Les impressionnistes voulaient rendre la manière même dont les objets, liés entre eux par la lumière, sans contours absolus, frappent notre vue. Ainsi des fameux *Nymphéas* (1914) de Claude Monet, purement liquides et chatoyants, comme saisis avant d'être en forme.



Cézanne lui, note Maurice Merleau-Ponty, veut retrouver l'objet derrière l'atmosphère, comme éclairé sourdement de l'intérieur (*Le doute de Cézanne*⁸). Non pas un objet de la sensation mais la matière même en train de se donner forme. C'est que Cézanne peint lentement, a-t-on souligné. Et cela ne le rend guère apte à saisir des harmonies précaires, fugitives. Même ayant renoncé à se servir du couteau et à étaler sa pâte par larges aplats, il continue à sabrer ses tableaux de gros coups de pinceau à travers lesquels les caprices de la lumière jouent malaisément⁹.

Cézanne, écrit Merleau-Ponty, veut atteindre l'ordre spontané des choses par-delà les savoirs humains. Il veut saisir la nature à son origine. Par-là s'explique sans doute le caractère inhumain qu'on a pu trouver à sa peinture. Cézanne disait qu'on doit peindre un visage comme n'importe quel objet. De fait, sa peinture révèle le fonds de nature inhumaine sur lequel l'homme s'installe. Ses paysages sont sans vent, ses eaux sans mouvement, pesantes. Son monde est sans familiarité. En revanche, Cézanne se renseignait très précisément sur la structure géologique des paysages qu'il peignait. Pour lui, comme on l'a noté, il ne pouvait être question de figurer le sol et le ciel avec les mêmes gestes, les mêmes procédés. A la différenciation chromatique des motifs, Cézanne associe une différenciation par la densité, la pesanteur, l'orientation des volumes¹⁰. Sa touche est analytique mais possède une toute nouvelle corporalité.



⁸ in *Sens et non-sens*, Paris, Nagel, 1966.

⁹ Voir L. Brion-Guerry *Cézanne et l'expression de l'espace*, Paris, A. Michel, 1966, p. 63 et sq.

¹⁰ Le peintre David Bomberg (1890-1957), dans la même veine, s'efforcera de recréer la structure réelle des terrains montagneux pour obtenir les effets de masse correspondants. Constant Permeke (1886-1952) développera une approche assez comparable.

On a parlé d'une approche cubiste ou prismatique des formes chez Cézanne, adoptant des perspectives multiples dans un même tableau, faisant éclater les plans de composition en volumes variés, rompant le modelé continu du dessin et organisant un rapport quasi architectural des formes. Chez lui, en effet, l'espace est comme morcelé. Comme si chaque élément polarisait l'air ambiant et formait un système spatial indépendant. Cézanne, note Merleau-Ponty, suit dans une modulation colorée le renflement des objets, pour ne pas sacrifier leur épaisseur en cernant trop nettement leur contour. Il poursuit inlassablement "cette plénitude insurpassable qui est la définition même du réel", qui donne les choses comme inépuisables.

Vraiment ? On n'a pas manqué de noter que le portrait et le nu, notamment, ne peuvent qu'être rebelles à une telle approche¹¹. En fait, la peinture de Cézanne est sans cesse menacée de s'enfermer dans une impasse, exténuant toute représentation dans la brutalité finalement assez indifférente des choses. On peut certes céder au charme d'une telle brutalité ; y déceler la primitivité même du monde. Mais l'illusion est alors d'oublier qu'une telle primitivité est savamment construite et, pour ne pas rebuter l'œil, requiert la complicité d'un regard averti.



Après Cézanne, à travers l'idée que les choses doivent être rendues dans leur épaisseur brute, certains voudront que la peinture renonce à la représentation même. Qu'elle laisse seulement les choses s'exprimer. Cela deviendra une sorte de lieu commun. Les images directement produites par la matière sont plus passionnantes que ce que produit l'esprit humain, déclare Jean Dubuffet (*Bâtons rompus*, posthume 1986, p. 13¹²). Elles sont porteuses de secrets à découvrir. Mais par qui, sinon par l'esprit ? En quoi différent-elles alors de productions de l'esprit ? Le peintre Tal-Coat voudra rendre le "surgissement du monde" dans le regard de l'homme. Comme un moyen pour l'être lui-même d'éprouver sa propre présence.



¹¹ Voir P. Dagen *Cézanne*, Paris, Flammarion, 1995, p. 66 et sq.

¹² Paris, Minuit, 1986.

Néanmoins, face à ces déclarations et face aux œuvres qu'elles justifient, il n'est pas interdit de souhaiter qu'un peu d'art donne aux toiles plus de... matière ; les rendant moins prisonnières d'une formule, moins soumises à l'illustration d'une idée. C'est là tout le problème du matérialisme.

*

Le matérialisme.

Dans l'art contemporain, tout un courant - appelé "matérialisme" - met l'accent sur la présence concrète de certains matériaux dans les œuvres. Une telle démarche trouve en partie son origine dans la définition nouvelle de l'aplat que systématisa Paul Gauguin, après les essais de Manet (*Le fifre*, 1866) ou Degas (*Chevaux de course devant les tribunes*, 1869).

Pure surface de couleur uniforme, l'aplat chez Gauguin donne à la couleur une nouvelle autonomie. Sa valeur spatiale prend le pas sur sa valeur représentative et tend à déborder, à supplanter les contours qui la contiennent (une leçon que Matisse et les Fauves mettront à profit).



Un cran plus loin, à partir des années 30, les empâtements sur papier marouflé de Jean Fautrier, appliqués à la spatule et même à la truelle, pour faire volume, donnèrent eux une évidente priorité non plus à la couleur mais directement à la matière.



Après la guerre, Jean Dubuffet introduira divers matériaux dans ses toiles (sable, plâtre, poussières). Déjà, la technique du collage avait conduit à rassembler de tels éléments pour souligner délibérément l'écart entre l'objet réel et sa représentation picturale. Picasso utilise ainsi de la toile cirée pour rendre le cannage d'une chaise (*Nature-morte à la chaise cannée*, 1912) et Georges Braque se sert de papier-peint dans ses natures mortes – Degas déjà habillait de vrais vêtements une statuette de danseuse.



L'aboutissement logique de cette démarche était d'utiliser des matériaux (bois brûlés, sac de jute, tôle), pour composer entièrement les toiles. Paul Klee peignait sur une toile de sac plâtrée (*Monsieur H. Mel*, 1938). Dans *Sacco* (1953), Alberto Burri recouvre de peinture uniforme de vieux sacs en lambeaux. Et Antoni Tàpies, qui recourt à de semblables procédés, déclare être à la recherche d'une "nouvelle matérialité".



Cependant, les artistes qui, comme par exemple Tara Donovan, Aaron Siskind (en photographie) ou Zoltan Kemény, s'intéressent aux nouvelles matières, synthétiques, composites, qui envahissent nos vies, ne recueillent pas la même attention.



Le fantasme d'un art informel.

Dans la fascination pour la potentialité expressive des matériaux les plus humbles, il y a, a-t-on dit, la recherche d'un réel qui n'aurait pas besoin d'une forme pour s'accomplir¹³. Dans sa matérialité même, alors, la peinture perd toute valeur de signe. Elle ne renvoie plus à un modèle extérieur et n'est plus une image. Elle réduit directement toute forme à sa réalité

¹³ Voir F. Dagognet *Des détritius, des déchets, de l'abject*, Paris, Les empêcheurs de penser en

matérielle, perdant ainsi à la limite toute possibilité de représentation. On parle alors "d'art informel". D'abord appliqué à Fautrier et Dubuffet, le terme en est venu à désigner le tachisme, l'art brut, l'action painting..., courants qui témoignent tous à leur façon de l'importance prise par la matérialité en art. Dans l'exaltation du matériau, contre les contraintes de la forme et des usages, l'art contemporain a caressé le fantasme impossible d'atteindre la matière sans forme, écrit une historienne de cette tendance¹⁴. La question est bien de savoir, en effet, si le matérialisme peut être plus qu'une idée-limite. Ce qui est également une façon de questionner l'autonomie de la matière.

*

Une autonomie réelle de la matière ?

Avec le matérialisme, la matière des choses n'est plus seulement simulée, représentée mais directement présentée. A la limite, le tableau ne renvoie plus qu'à lui-même, à sa propre matière et c'est là comme un aboutissement logique de la démarche picturale. Chez Delacroix, la couche picturale gardait volontiers imprimées les traces de la brosse. Théophile Gautier disait que dans son *Semeur* (1850), Millet avait peint les paysans avec la terre qu'ils labouraient. C'est exactement l'impression que Van Gogh voudra donner dans ses *Mangeurs de pommes de terre* (1885).

Et dans les toiles postérieures à 1950 du peintre italien Ennio Morlotti, les éléments matériels du paysage lombard semblent directement apposés sur la toile, comme autant de sédiment.



Finalement, Arman couvre une toile de tubes de peinture dégoulinants (*Autumn in Connecticut*, 1986). L'acte de peindre est réduit à la matérialité de la peinture.

rond/Synthélabo, 1997, chap. II.

¹⁴ Florence de Mèredieu *Histoire matérielle et immatérielle de l'art moderne*, Paris, Bordas, 1994.



Comment faire plus ? Dans l'exposition des matières, la démarche s'épuise vite dans la surenchère. Des matériaux "innommables" envahissent les toiles (détritus, etc.) ou sont directement exposés (Daniel Spoerri ou Vibha Galhotra, par exemple)¹⁵.



Et les commentaires rendent un son étrange. Comme les œuvres, ils semblent fonctionner à vide. Joseph Beuys place une motte de saindoux sur une chaise (*Chaise avec de la graisse*, 1963).



Cela, nous explique-t-on, "renvoie à l'archaïsme d'une matière sourde, silencieuse, qui occulte le système de la représentation"¹⁶. Certes mais n'importe quel pot de graisse n'y suffit-il pas ? Si l'art se réduit à la matière, quelle autonomie peut-il encore revendiquer par rapport à l'environnement quotidien ? La différence, nous explique-t-on encore, est dans la mise entre parenthèses, dans le regard *délibérément* porté sur le banal, selon la démarche inaugurée par Marcel Duchamp, qui avec ses "ready-made" introduisit les objets de l'industrie au musée, détournant ainsi leur usage et leurs significations (*Roue de bicyclette*, 1913 ; *Sèche-bouteille*, 1914).

Nulle autonomie de la matière n'est ainsi conquise cependant. Les matières n'apparaissent qu'au titre d'une appropriation et restent soumises aux visées de l'œuvre ; au fait de l'artiste. En

¹⁵ Voir L. Vergine *Quand les déchets deviennent art*, Paris, Skira, 2007.

introduisant des débris dans ses collages et dans son grand œuvre, le *Merzbau*, Kurt Schwitters voulait montrer qu'on peut faire de l'art avec tout. "Tout ce qu'un artiste crache, disait-il, c'est de l'art".



C'est sa structure intentionnelle qui fait l'œuvre d'art en effet, explique Arthur Danto ; qui ajoute néanmoins que lorsque l'art devient à ce point conscient de lui-même, l'histoire de l'art ne peut plus continuer, sauf à célébrer indéfiniment le geste libre de l'artiste (*La transfiguration du banal*, 1981¹⁷).

De fait, quoique le discours de l'art moderne n'en finisse pas de célébrer ses ruptures et ses renouvellements par rapports aux codes établis, ce sont toujours les catégories de l'académisme le plus classique qui sont mobilisées (l'œuvre, le discours sur l'œuvre, la performance, la création). Duchamp faisait exposer un urinoir. Mais un visiteur qui tentait un jour de redonner à l'objet sa fonction première fut puni¹⁸. Bien que l'originalité de *Fountain* soit d'être un objet parfaitement banal et trivial, un ready-made (dont l'original a par ailleurs disparu), le conservateur de l'exposition expliquait que « détruire une œuvre aussi essentielle est aussi grave que de briser la *Pietà* de Michel-Ange » ! L'art « éternel » en somme.



L'œuvre ne peut exhiber sa matière que si un geste artistique fait oublier sa matérialité. Sinon, il n'y a tout simplement plus d'art. Jean Dubuffet avouait ainsi avoir renoncé à l'envie

¹⁶ F. de Mèredieu, *op. cit.*, p. 17.

¹⁷ trad. fr. Paris, Seuil, 1989.

¹⁸ Ce visiteur est en fait un récidiviste, l'artiste Pierre Pinoncelli. Après avoir voulu se servir de l'œuvre pour uriner en 1993, il tenta de l'ébrécher à coups de marteau en 2006. Il fut condamné les deux fois à payer d'importants dommages.

d'accrocher au mur des morceaux de sols et de chaussées, réalisant que cela impliquait le renoncement à toute création.

Mais alors, il faut aller plus loin et se demander si la condition implicite de l'art moderne n'est pas essentiellement l'espace de la galerie ou du musée. Il y a art du fait d'être exposé – ce fait sera d'ailleurs contesté au cours des années 70, pour dénoncer un art moderne qui, cultivant les ruptures, ne tient finalement qu'à travers des relais institutionnels les plus convenus et officiels.

Selon Brian O'Doherty, l'œuvre moderne n'est qu'un produit, filtrée par la galerie, proposée aux collectionneurs, commentée dans des magazines financés par les galeries puis charriée vers la machinerie universitaire qui fixe l'histoire et valide la valeur. Finalement, tout ne repose que sur l'argent. C'est un système confortable que les artistes contestent peu (*White Cube. L'espace de la galerie et son idéologie*, 1976 & 1981¹⁹). Mais tout ceci est une autre histoire et, pour en rester à notre propos, les limites de l'art informel ne font en fait que mettre en lumière la difficulté propre à l'idée même de matière qu'Aristote, le premier, souligna. *La matière n'a de sens que dans une mise en perspective et ne peut rien être en soi.*

Ne pouvant aller jusqu'à verser dans l'insignifiance d'une matière indifférenciée, le matérialisme ne peut ainsi que demeurer dans le registre de l'intention et de la proclamation plus que dans celui de la réalisation. Dès lors, l'exhibition pure de matières répond à une démarche toute conceptuelle.

*

2. 4. 4.

Aristote. La matière n'a de sens que par rapport au changement. Elle est cela même qui devient.

Avec Aristote, la matière (*hylè*) apparaît comme l'un des trois principes des choses de la nature : la forme, la matière, la privation (*Physique*, entre 335-332 av. JC, I²⁰). Trois principes qui, encore une fois, rendent compte des transformations qui affectent les choses.

La matière, pour Aristote, n'a ainsi de sens que par rapport au changement. Dans toute transformation qui affecte un être (par exemple : devenir savant), la matière est facteur de continuité entre la privation (être ignorant) et la forme (être savant). Entre les deux, la matière est le troisième terme : cela même qui devient ; qui n'est ni l'être ni le

¹⁹ trad. fr. Paris, Jrp. Ringier, 2009.

²⁰ trad. fr. en 2 volumes, Paris, Les Belles Lettres, 1983.

non-être mais la rencontre des deux²¹. La matière, pour Aristote, est ainsi le principe de ce qui demeure le même en une chose qui devient autre.

L'emploi du mot *hylè* en ce sens était tout à fait nouveau. Chez Homère, *hylè* désigne la forêt.

La matière s'enracine dans la forme.

Mais, logiquement, *la forme précède matière et privation, lesquelles n'ont de réalité que relativement à elle*. Dans le cas de la privation, cela semble assez évident : il n'y a de privation que par rapport à un accomplissement possible. Mais que la matière elle-même ne soit pensable qu'en relation à une forme marque apparemment toute la distance qui sépare la conception aristotélicienne de la matière et la nôtre. La matière, pour Aristote, est essentiellement relative à une forme. Duns Scot, puis Descartes, les premiers, rejettent cette façon de voir. Ils donneront à la matière une "actualité entitative"²². Ils en feront une substance. Pour nous, modernes, depuis lors, toute forme s'enracine nécessairement dans une matière et en surgit. Non le contraire.

En fait, quant au principe, il n'en va pas différemment chez Aristote : toute forme suppose une matière. Seulement, Aristote s'en tient à ce principe, tandis que la pensée moderne tentera, au-delà, d'isoler la matière au titre d'une réalité en soi. *Et toute la question est de savoir si, visant dans la matière une réalité autonome, la pensée moderne a jamais pu atteindre autre chose qu'un principe.*

*

On s'est demandé ce qu'est exactement la forme (*eidos*) : une essence universelle ou, au contraire, un individu ? Mais la forme n'est pas ainsi isolable à l'instar des Idées platoniciennes. Pour Aristote, forme et matière ne sont discernables que pour l'esprit. La matière est un concept qu'impose la compréhension du réel et ne désigne que par exception la substance étendue des corps. Tout de même que la *khora* de Platon (voir 1. 11. 3.) était bien plus réceptacle que matière au sens où nous l'entendons, c'est-à-dire principe plus qu'être. Dans le *Timée*, la *khora* est la "place" entre l'être et le devenir. Le

²¹ Voir A. Jaulin « Le rôle de la matière dans la théorie aristotélicienne du devenir » *Revue de métaphysique et de morale*, n°1, 2003, pp. 23-32.

²² Voir A. de Muralt *Comment dire l'être ?*, Paris, Vrin, 1985.

pur réceptacle de ce qui devient (52b²³). Un pur "ceci", auquel aucune détermination qualitative, souligne Platon, ne doit être attribuée.

Mais Platon, écrit Aristote (192a), n'a pas distingué entre matière et privation. Car la matière est un non-être par accident. Suspendue à la forme, alors que la privation s'oppose à elle, la matière est toute prête d'être, dit Aristote. Elle est en quelque manière substance, tandis que la privation n'est en rien substance. Si Aristote, ainsi, critique la conception platonicienne de la matière, ce n'est pas en renvoyant à quelque concrétude que Platon aurait manquée. Il souligne seulement une distinction logique.

La matière première.

La matière, précise Aristote, n'a ni l'unicité, ni l'espèce d'existence des individus singuliers. En d'autres termes, elle n'est ni un donné perceptif, ni une réalité objective. Elle n'est pas substrat *réel* mais sujet *logique* du changement. Elle ne se laisse donc définir que par distinction de la forme et uniquement par cette distinction²⁴. Car elle n'est rien en elle-même et n'est connaissable que par analogie. Rien ne peut être sans une forme.

La matière ainsi est un *principe de réduction* appliqué aux choses : du lit nous remontons au bois, du bois à ce qui le constitue, etc. Mais, pour autant que nous atteignons alors à quelque substance, celle-ci a toujours une forme. Nous n'avons jamais affaire qu'à des "matières secondes" déjà informées, comme l'airain ou le marbre dont on fait les statues. La matière - la matière "première" - est, au bout de cette régression, comme un concept limite qui peut seulement être pensé et non pas être perçu. "La matière première n'existe pas par elle-même dans la nature, n'étant pas un étant en acte mais seulement en puissance. Aussi est-elle plutôt concrétée que créée", écrira Thomas d'Aquin (*Somme théologique*, 1266-1274, I, Question 7, art. 2²⁵).

La scolastique distinguait :

- la matière totalement indéterminée (*materia prima*) : le marbre par exemple ;
- la matière déjà préparée en vue d'une forme donnée (*materia designata*) : tel bloc de marbre ;
- la quantité de matière (*materia signata*), comme principe d'individuation²⁶.

Une matière incorporelle.

²³ *Œuvres complètes II*, trad. fr. en 2 volumes, Paris, Pléiade Gallimard, 1950.

²⁴ Voir particulièrement A. Jaulin *Eidos & Ousia. De l'unité théorique de la Métaphysique d'Aristote*, Paris, Garnier, 2015.

²⁵ trad. fr. en 4 volumes, Paris, Cerf, 1981-1984.

²⁶ Voir J. L. Gracia *Individuation in Scholasticism*, State University of New York Press, 1994.

La matière, pour Aristote, n'est pas sensible. *Elle est même incorporelle.* Elle n'est pas non plus intelligible en elle-même puisque, pour la rendre telle, il faut lui appliquer des concepts propres à notre jugement (réduction, distinction de la forme). La matière n'est accessible qu'à la réflexion. Elle est imaginée et imaginaire²⁷.

De ce point de vue, la matière, selon Aristote, est cause "matérielle" : ce de quoi une chose est faite, qui explique en partie pourquoi une chose est telle qu'elle est. A ce titre, elle semble bien exercer une causalité efficace, quoiqu'aveugle. Celle du devenir instable. Elle explique notamment le hasard. Aristote retrouve ainsi cette nécessité posée par l'informe, déjà présente dans la *khora* de Platon et qui est avant tout une résistance opposée à la forme, qu'elle empêche d'atteindre sa perfection - occasionnant même parfois des accidents (les monstres ainsi, voir 3. 1. 17.). Finalement, *la spécification la plus propre et la plus concrète de la matière, s'il faut en donner une, est la résistance.*

Ce terme, emprunté à la mécanique, est surtout étudié à ce titre en 3. 3. 7.

Cette matière, cependant, est toujours relative pour Aristote. Autre est la forme, autre la matière (194b). La matière ne peut-elle donc être pensée au-delà de chaque être particulier, comme puissance pure, ingénérable et incorruptible ? Comme une réserve de puissance d'être ? Aristote n'ira pas jusque-là. Il conçoit toujours la matière en rapport à une chose particulière en devenir. Chaque être changeant a ainsi, selon lui, une matière spéciale qui lui est attachée. La matière, comme pure puissance *universelle*, reste pour lui indifférenciée, à la limite du non-être. Inconnaissable en soi, elle n'est rien sans les diverses formes particulières qui lui donnent corps.

Certes, si nous considérons que les divers éléments peuvent se transmuter les uns dans les autres (l'eau en air, par exemple), le sujet permanent de ces changements est une matière qu'Aristote nomme "première" (*Métaphysique*, VII, chap. IV²⁸ ; voir aussi ci-après). Mais, comme le rappellera Thomas d'Aquin, "même en tant que puissance, la matière première n'est pas infinie absolument parlant mais dans un certain ordre ; car sa potentialité ne s'étend qu'aux formes d'existence prévues par la nature" (*op. cit.*). Le fait des formes est premier.

²⁷ Voir M. Lodetti *La matière imaginaire*, Paris, Peyronnet, 1959, p. 104.

²⁸ trad. fr. en 2 volumes, Paris, Vrin, 1986.

C'est proprement à l'encontre d'un tel point de vue que se définira le matérialisme.

* *

B) Le matérialisme

2. 4. 5.

Est matérialiste une doctrine qui affirme que tout est matière, c'est-à-dire qu'en regard de celle-ci, il n'existe aucune autre réalité spirituelle ou idéale indépendante. Pour le matérialisme, les phénomènes intellectuels ou spirituels n'ont ainsi qu'une réalité seconde et dérivée.

Au XVI^e siècle, on appelait "matérialistes" les grossistes en "matières", c'est-à-dire en essences et en sels, qui fournissaient les apothicaires. On ne parlera de "matérialisme", pour désigner la philosophie de ceux qui affirment le primat de la matière, qu'à partir de la seconde moitié du XVII^e siècle. Le mot apparaît en anglais en 1668. Leibniz l'emploie le premier en français en 1702. Il sera d'abord appliqué aux atomistes grecs.

Des courants de pensée forts nombreux et divers se laissent ranger à l'école du matérialisme. A l'époque où le mot prit son sens moderne, il s'enracina de manière privilégiée dans deux doctrines distinctes et même, sur bien des points, opposées, quoiqu'on les confondît alors souvent : l'atomisme et le cartésianisme.

Influence de l'atomisme.

La réduction de toute chose, de toute forme, à une matière infinie et à ses combinaisons eut en effet d'abord pour modèle l'atomisme ancien (voir 2. 1. 11.), celui d'Epicure et de Lucrèce surtout, que l'on redécouvrit particulièrement à travers l'œuvre de Gassendi²⁹.

Epicure, après Démocrite, pensait toute forme comme issue d'arrangements d'atomes. La forme ainsi, contrairement à ce qu'enseignait Aristote, n'était pas un principe extérieur et dominateur par rapport à la matière. Elle était, en dernier ressort, une propriété

²⁹ Voir O. Bloch *La philosophie de Gassendi. Nominalisme, matérialisme et métaphysique*, La Haye, Martinus Nijhoff, 1971, 2^e partie, chap. 8.

de la matière elle-même, un effet du mouvement de ses parties - Epicure la logeait dans les atomes eux-mêmes (voir 2. 1. 11.).

Influence du cartésianisme.

Le second courant qui eut une importante influence sur le matérialisme naissant fut le cartésianisme. Certes, Descartes n'était en rien un matérialiste - même si les cartésiens furent souvent nommés les "nouveaux épicuriens". Mais Descartes avait accordé à la matière - ou plutôt à l'étendue - une existence propre et l'avait rendue susceptible d'un mode d'explication universel : le mécanisme. Il expliquait par la figure et le mouvement toutes les propriétés physiques des corps et n'hésitait pas à étendre cette interprétation mécaniste aux organes vivants (voir 3. 3. I. 2.). On a dit que Descartes était idéaliste en théorie et matérialiste dans la pratique. Il "désenchanta" la matière, en tous cas, lui ôtant toute qualité occulte au profit de ses seules propriétés *quantifiables* (étendue, masse, mouvement).

Pourtant, Descartes est dualiste : l'étendue et la pensée sont pour lui deux réalités irréductibles l'une à l'autre. C'est précisément ce qui l'éloigne du réductionnisme. Il n'a pas dit en d'autres termes que la matière peut penser, lui reprocheront les matérialistes, comme le baron d'Holbach (*Le Système de la Nature*, 1770, I, chap. VII³⁰).

C'est qu'à partir des principes cartésiens, il était tentant d'étendre l'explication mécaniste à l'âme elle-même. De faire de celle-ci un simple mode du corps. C'est ce que très vite soutint le cartésien Regius (Henricus De Roy) dans ses *Fundamenta physices* (Fondements de la Physique, 1646³¹), suscitant le désaveu public de Descartes.

Regius étend le mécanisme à l'âme, qu'il ne considère plus comme une substance autonome mais comme le simple pouvoir ou principe matériel par lequel l'homme peut penser. S'il maintient encore une distinction de nature entre l'âme et le corps, écrit-il, c'est en vertu de la seule autorité de la Révélation... Simple formule de convenance, bien entendu, car si la pensée n'est au cerveau que ce que la bile est au foie et l'urine au rein, il est absurde d'admettre une âme indépendante qui se servirait du cervelet comme d'un

³⁰ Paris, Corpus Fayard, 1991.

³¹ Amstelodami, apud A. Elzevirium, 1646.

instrument, souligne Karl Christoph Vogt (*Lettres physiologiques*, 1844³²). En 1845, le médecin Jean-André Rochoux offrit un prix de 10 000 francs à quiconque trouverait un fait de l'ordre moral qui ne puisse s'expliquer que par l'intervention de l'esprit.

Dans ses *Rêves d'un visionnaire* (1766³³), Kant cite cette plaisante formule : quand un vent hypocondriaque se déchaîne dans les intestins, tout dépend de la direction qu'il prend : s'il descend, il produit un pet, et s'il monte, c'est une apparition ou une inspiration sainte.

Ainsi, si l'influence de l'épicurisme sur le matérialisme fut décisive, celle de Descartes fut tardive et se borna surtout à fournir une méthode. En fait, les principaux thèmes du matérialisme se mettent en place avant lui, à travers le courant libertin.

Le libertinage

Différents sens du terme.

En latin, *libertinus* désignait les esclaves affranchis et au Moyen Age, particulièrement, les esclaves sarrasins convertis au christianisme. Dans sa traduction du *Nouveau Testament* (1525), Lefèvre d'Étaples détourne le sens du mot et s'en sert pour désigner une secte juive qui refusait l'enseignement du Christ. C'est en ce sens que Calvin, à son tour, stigmatisera les anabaptistes comme "libertins spirituels".

En 1525, une secte de "libertins" fut créée par le tailleur picard Quintin. Ses membres affirmaient ne pas être concernés par les lois de Moïse, ayant été régénérés par la venue du Christ. On parlera dès lors de "libertinisme" puis, dès le début du XVII^e siècle, de "libertinage", pour désigner les esprits forts qui s'affranchissent des croyances et des pratiques religieuses³⁴. Au XVIII^e siècle, le terme prendra son sens actuel, désignant ceux dont les mœurs sont dissolues et affranchies des préjugés. Ce qui n'était pas totalement trahir le sens du libertinage.

C'est que ces libertins du XVIII^e siècle ne reconnaissaient aucune valeur transcendante s'imposant aux hommes. Les lois morales ou religieuses n'étaient pour eux qu'autant de masques de l'autorité politique et de ses intérêts partisans. Dès lors, l'accomplissement de sa nature devenait l'unique but que chacun devait réaliser pour son propre compte afin d'atteindre le bonheur. Et, la liberté tenant ainsi particulièrement à l'accomplissement de soi-même

³² trad. fr. Paris, Reinwald, 1875.

³³ *Œuvres philosophiques I*, trad. fr. en 3 volumes, Paris, Pléiade Gallimard, 1980.

³⁴ Sur le courant libertin, voir particulièrement A. Adam *Les libertins au XVII^e siècle*, Paris, Buchet/Chastel, 1964 & l'introduction de J. Prévot in *Libertins du XVII^e siècle*, 2 volumes, Paris, Pléiade Gallimard, 1998.

comme corps à travers la jouissance³⁵, la recherche du plaisir sera le grand mot d'ordre libertin au XVIII^e siècle³⁶. Qui explique ses débordements érotiques, notamment sadiens, sans que, par ailleurs, le courant du libertinage érudit ne tarisse³⁷.

Le libertinage frondeur des nobles.

Avant l'apparition du libertinage, on ne parlait pratiquement jamais d'athéisme, tant celui-ci demeurait exceptionnel et même difficilement énonçable (voir 1. 14. 20.). C'est que les guerres de religion n'avaient pas encore eu lieu. Ce sont elles qui expliquent sans doute en grande partie le fait que l'incroyance se développa à partir du dernier quart du XVI^e siècle. Au début du siècle suivant, le libertinage, venu assez largement d'Italie³⁸, avait ainsi gagné une bonne partie de la noblesse parisienne, laquelle avait pour chef de file le poète Théophile de Viau. Le Père Garasse, qui s'acharna à faire condamner Théophile, a particulièrement bien décrit - pour le décrier - l'état d'esprit de ces libertins (*La doctrine curieuse des beaux esprits de ce temps ou prétendus tels*, 1622³⁹).

Sous la régence de Marie de Médicis, une timide réaction du pouvoir royal eut lieu. Mais, en même temps, le frère carmélite, théologien hérétique et astrologue Giulio Vanini (1585-1619) se pavanait à la Cour (il finira brûlé par l'Inquisition toulousaine). Avec Louis XIII, la censure fut plus sérieuse. Théophile de Viau fut arrêté et banni (1623). La mécréance raffinée, dès lors, ne s'afficha plus que dans d'étroites coteries autour de Gaston d'Orléans et du prince de Condé. Elle retrouva quelque vigueur pendant la Fronde.

Jusqu'à quel point le libertinage se répandit-il effectivement ? Selon un auteur, le Père Garasse n'aurait pas seulement décrit le type du libertin. Il l'aurait en large partie inventé ; donnant notamment à Théophile de Viau son statut de libertin exemplaire⁴⁰. Le rôle de Garasse fut ainsi peut-être "bien plus déterminant pour l'irruption du libertin dans les textes, que les progrès du rationalisme critique à la même date. Si les deux phénomènes interfèrent, ils ne se superposent pas" (p. 405). C'est que le libertin était utile aux autorités religieuses. Il servait de repoussoir au discours apologétique : face à lui, le vrai catholique était "l'honnête homme" par excellence ; maître de ses passions et raisonnable. En combattant les libertins, l'Eglise se faisait la championne de la raison naturelle. Elle avait donc besoin d'eux et contribua largement à en définir le type.

³⁵ Voir l'intéressant article d'A-M. Rieu *La stratégie du sage libertin* in F. Moureau et A-M. Rieu (Eds) *Eros philosophe. Discours libertins des Lumières*, Paris, H. Champion, 1984.

³⁶ Voir quelques illustrations in J. Queneau & J-Y. Patte *La France au temps des libertins*, Paris, Ed. du Chêne/Hachette, 2001.

³⁷ Voir O. Bloch (Ed.) *Le matérialisme du XVIII^e siècle et la littérature clandestine*, Paris, Vrin, 1982.

³⁸ Voir J-R. Charbonnel *La pensée italienne au XVI^e siècle et le Courant libertin*, 1919, Paris, Champion, 1969.

³⁹ Paris, Chappelet, 1623.

⁴⁰ Voir L. Godard de Donville *Le libertin des origines à 1665 : un produit des apologètes*, Paris, Biblio 17-

*

Le libertinage érudit.

Cependant, à côté du libertinage nobiliaire, provocateur et frondeur - dont le *Dom Juan* de Molière (1665⁴¹) fournit un bon exemple - se développa bientôt un mouvement d'idées plus profond de libres penseurs qu'on a nommé le "libertinage érudit"⁴². Ses membres étaient souvent des bourgeois, des professeurs de collège et même des gens d'Eglise.

Ce libertinage savant ne peut guère être qualifié sans précaution de matérialiste, ni même d'athée – et l'usage destructeur que Dom Juan fait de la raison, a-t-on noté, n'était pas le sien. En fait, il était plutôt déiste. Les guerres de religion, en effet, précipitèrent la recherche, par-delà les confessions qui divisent les hommes, d'un Etre suprême susceptible de les unir (voir I. 14. 27.). En regard, toutes les religions positives passèrent bientôt pour ne représenter qu'autant de superstitions. Mais les libertins reconnaissaient volontiers que la société ne peut se passer d'elles. Gabriel Naudé, ainsi, justifia la Saint-Barthélemy au nom de la raison d'Etat (*Considérations politiques sur les coups d'Etat*, 1639⁴³).

Alors que l'époque invoquait le droit naturel des peuples contre les tyrans, les libertins étaient plutôt partisans du pouvoir autoritaire, qu'ils servaient d'ailleurs souvent directement (La Mothe le Vayer travaillait pour Richelieu ; Naudé pour Mazarin). Le libertinage érudit était plus hautain que frondeur. Sans doute parce qu'il n'estimait pas assez les hommes pour prendre des risques pour leur affranchissement et braver ouvertement les préjugés. Il n'était guère humaniste. L'ouvrage qui sera comme la somme du libertinage érudit, l'anonyme *Theophrastus redivivus* (1659⁴⁴) - qui ne circula qu'en manuscrit - affiche ainsi sa méfiance tant vis-à-vis du peuple que des femmes – posant que l'usage des prostitués vaut mieux que le mariage (VI^e traité, IV, p. 361)

*

Au total, s'il n'était pas franchement matérialiste, nous allons le voir, le libertinage érudit était bien, en revanche, incontestablement critique et réductionniste. Il entendait soumettre à une libre critique les idées communément reçues. Les libertins se disaient "déniaisés" ou "illuminés", c'est-à-dire éclairés. C'est ainsi qu'ils ne croyaient pas en l'immortalité de l'âme et réduisaient toute réalité à la Nature, suprême puissance, principe vivant passant perpétuellement d'une forme à une autre (ce qu'on nommait "métempsychose").

Papers on French Seventeenth Century Literature, 1989.

⁴¹ Paris, Hachette, 1976.

⁴² Voir R. Pintard *Le libertinage érudit*, Paris, Boivin & Cie, 1943 ; ainsi que F. Charles-Daubert *Le "libertinage érudit" : problèmes de définition* in (collectif) *Libertinage et philosophie au XVII^e siècle*, Publications de l'Université de Saint-Etienne, 1996.

⁴³ Paris, Le Promeneur, 2003.

Revinrent ainsi les thèmes de l'Alchimie, laquelle, à sa manière, était déjà une explication réductionniste des métamorphoses de la nature. Tous les corps selon cette doctrine, en effet, étaient formés par une même matière fondamentale. De sorte que pour obtenir un corps déterminé, l'or notamment, il fallait, selon les Alchimistes, prendre des corps analogues qui en différaient seulement par quelque qualité et en éliminer ce qui les particularisait pour retrouver en eux la matière première, le mercure des philosophes⁴⁵.

L'homme n'était plus pour les libertins comme un empire dans un empire. Il était soumis aux mêmes lois que les autres animaux, comme l'affirmait Vanini dans ses *Dialogues sur les arcanes admirables de la Nature* (1616⁴⁶). La distance de l'homme à la bête est moins importante que celle de l'homme à l'homme, ce qui signifie que certains hommes doivent être comptés parmi les animaux, affirme le *Theophrastus redivivus* (VI^o Traité, II).

Un bon exemple de cette doctrine est fourni par l'ouvrage de Cyrano de Bergerac *L'Autre Monde ou les Etats et Empires de la Lune* (1657⁴⁷). Y sont présentés, à côté de l'atomisme de Gassendi (voir l'exposé du second des professeurs d'académie de la seconde partie), nombre des thèmes du naturalisme italien de la Renaissance (voir particulièrement le séjour à la cour dans la seconde partie quand, décrété singe, le voyageur est accouplé à un Espagnol).

Le naturalisme libertin.

Ces idées venaient d'Italie. De ce que l'on nomme le "naturalisme padouan", que Vanini fit connaître en France⁴⁸. Dans le *Theophrastus redivivus*, les noms de Pomponazzi, de Jérôme Cardan, de Campanella ne cessent d'être cités, à côté de celui de Lucrèce. Se présentant comme la réécriture d'un ouvrage perdu de Théophraste sur l'*Histoire des dieux*, le *Theophrastus redivivus* affirme la nécessité de suivre la seule raison. L'existence de Dieu, ainsi, indémontrable en elle-même, n'est acceptable, est-il écrit, que si l'on entend sous cette notion le soleil, source de vie, qui régit avec les autres corps célestes les destinées individuelles. Contre l'idée de Création, l'ouvrage fait valoir l'éternité du monde et son incessant renouvellement ; "l'infinie vicissitude des choses matérielles". Parce que la mort met fin à tout, il n'y a pas lieu de la craindre. A celui qui a compris les lois de la nature, tout devient facile, puisque tout coure à la même fin.

C'était là une idée, d'origine stoïcienne, qu'on retrouve un peu partout dans le sillage libertin à partir de Théophile de Viau. Toutefois, cette nature, fonds inépuisable de toute chose, n'était pas directement désignée comme matière. D'où la difficulté à classer parmi les matérialistes,

⁴⁴ *Les libertins du XVII^e siècle II*, Paris, Pléiade Gallimard, 2004.

⁴⁵ Voir M. Berthelot *Les origines de l'Alchimie*, Paris, Steinheil, 1884, chap. II.

⁴⁶ *Œuvres philosophiques*, trad. fr. Paris, C. Gosselin, 1842.

⁴⁷ Paris, Gallimard, 2004. La critique moderne a pu restituer à ce texte toutes ses audaces, que les premières éditions avaient gommées.

⁴⁸ Voir E. Namer *La vie et l'œuvre de J. C. Vanini*, 1980.

comme le signale un commentateur, un Giordano Bruno, dont le *De la cause, du principe et de l'Un* (1584⁴⁹) offre pourtant une doctrine parfaitement réductionniste⁵⁰.

Giordano Bruno.

Seule est constante la matière où les formes prennent naissance et où elles s'abîment, écrit Bruno (Troisième Dialogue). Mais cette matière est un "être divin". Elle est "nature toute entière en substance". Le mot est lancé. Le discours de Bruno est un discours de l'Un, infini, immobile, acte absolu et Etre qui n'a rien en dehors de lui, attendu qu'il est Tout (voir particulièrement le cinquième Dialogue). Il ne peut être sujet aux mutations, ni admettre un contraire ou quelque chose de différent de lui. En lui, tout concorde.

L'infini est assurément un, écrit Bruno, qui retrouve les idées de Nicolas de Cues quant à l'unité des contraire à l'infini (voir 2. 3. 16.). De sorte qu'on ne se rapproche pas plus de cet être infini en étant soleil ou lune, qu'homme ou fourmi. Dans l'infini, il n'y a pas de différence entre ces choses. "Tout aspect, tout visage et tout le reste sont vains et comme nuls. Tout ce qui est en dehors de l'Un est nul".

L'univers infini comprend tout. Il n'assume donc pas un être après l'autre et ne comporte aucun changement. Il est tout ce qu'il peut être. En lui, *l'acte n'est pas différent de la puissance. Là est l'axiome clé du réductionnisme*, lequel dépasse, on le voit, tout matérialisme proprement dit. Il caractérise par exemple la doctrine de Spinoza, pour laquelle isoler la matière comme réalité première n'aurait guère de sens, puisque tout est Dieu !

Chez Bruno, comme chez Spinoza, il y a une unique réalité qui est tout et qui, surtout, est tout ce qu'elle peut être. Nécessairement. Il n'y a donc non pas réduction des phénomènes à une même Matière mais leur rattachement à un principe d'actualisation. Une telle doctrine est qualifiée d'athée dans la mesure où elle ne laisse aucune place à un Dieu créateur dont la volonté régit le monde en choisissant entre ses possibles. Ultérieurement, le matérialisme pourra cependant s'approprier cette approche.

Si l'Etre est tout ce qu'il peut être, il est sans privation, sans choix. Toute idée de création intentionnelle et même de hiérarchie ontologique est biffée. Ainsi, si le matérialisme est avant tout un réductionnisme, c'est moins parce qu'il explique le supérieur par l'inférieur, comme disait Auguste Comte, que parce qu'il explique le monde uniquement par lui-même, comme disait Friedrich Engels.

*

2. 4. 6.

⁴⁹ in *Œuvres complètes*, trad. fr. en 3 volumes, Paris, Les Belles Lettres, 1994-1996.

⁵⁰ O. Bloch *Le matérialisme*, Paris, QSJ PUF, 1985.

Le monde se suffit à lui-même.

Le matérialisme trouvera pleinement sa mesure - retrouvant par là même le sens profond de la démarche épicurienne - à s'affirmer avant tout comme une critique qui, libérée des vains prestiges, en appelle à la conscience lucide et rationnelle vis-à-vis de toute chose⁵¹. En ce sens, son cheval de bataille sera la réduction de toute idée de Création, ainsi que de toute spiritualité, à la matière éternelle. Et il est assez clair, dès lors, que le matérialisme ne pouvait qu'être polémique par rapport aux dogmes religieux (au XVIII^e siècle, "matérialiste" sera synonyme "d'athée") et à la morale qui en est tirée. Les matérialistes, "pourceaux d'Epicure" (selon une formule d'Horace), étaient réputés immoraux.

Le fait est que si tout se réduit à ce que produit la matière, il n'y a plus de différence *ontologique* entre bien et mal et toute la morale doit être repensée à partir de catégories proprement humaines, voire culturelles. Si tout est matière, plus rien ne divise le monde entre le Bien et le Mal. Les distinctions que l'homme introduit à cet égard ne sont relatives qu'à sa propre utilité. En les dénonçant comme de simples conventions, le matérialisme veut expliquer le monde à partir des seuls principes *naturels*, ou plutôt physiques, qui l'animent. Il tente de se satisfaire du monde réel, qui est l'unique réalité.

Néanmoins, il n'y a guère de concept plus large - ni plus vague souvent - que celui de « matière » dans le matérialisme. Ce qui est logique dès lors que ce dernier est réductionniste (on peut également le qualifier de "moniste"). Car si tout est réduit à une seule réalité nommée "matière", celle-ci doit, dès lors qu'elle rend compte de tout, être élargie jusqu'à pouvoir embrasser tout et notamment son apparemment autre, l'esprit.

La matière capable de penser.

Nulle surprise, donc, si, dans les matérialismes, la matière se spiritualise parfois, comme au XVIII^e siècle. Si tout est matière, la pensée doit être ramenée à elle, qui devient dès lors capable de penser, sans qu'on sache expliquer cette propriété. Car *la matière, dans le matérialisme, est un principe de réduction bien plus que d'explication*. Avant d'être invoquée au titre d'un principe déterministe, elle est posée, de manière absolue, par une véritable profession de foi métaphysique tenant que tout se réduit à elle.

On trouve particulièrement cette approche chez Félix Le Dantec et sa théorie de la « conscience épiphénomène » (*L'athéisme*, 1906⁵²). Le Dantec réduit toute pensée à la chimie ordinaire des constituants du corps. Il lui faut donc admettre, reconnaît-il, que les éléments des substances brutes ont leur conscience élémentaire. Mais peu importe cette difficulté, car la visée est avant tout réductionniste. "J'ai cru... être durable et puissant, écrit Le Dantec ; j'ai cru que j'introduisais dans le monde des commencements absolus ; j'ai cru que j'étais en dehors du monde et au-dessus, écrit-il (...) Je ne trouve plus en moi qu'un misérable transformateur d'énergie, transformateur caduc qui se transforme lui-même sans cesse. Adieu l'immutabilité, adieu l'individualité, la personnalité, le mérite, la gloire" (p. 283).

La matière vitale.

Si elle explique seule la vie, de même, la matière devra être traversée par un "principe vital" avec de nombreux auteurs du XIX^e siècle, comme Xavier Bichat (voir 3. 1.) ou Jakob Moleschott (*La circulation de la vie*, 1852⁵³). Elle deviendra même transformiste, en un sens qui n'est pas sans évoquer Bruno mais qui se réclame surtout de Darwin, avec Ludwig Büchner (*Force et matière*, 1855⁵⁴).

Les idées de Moleschott et surtout de Büchner eurent, en leur temps, un fort retentissement : *Force et matière* fut traduit en quinze langues et connut vingt-et-une rééditions en Allemagne. Ces idées furent vivement critiquées par Marx et Engels⁵⁵.

*

La matière comme principe de réduction du supérieur à l'inférieur. Le réductionnisme.

Au total, les différentes écoles matérialistes sont fort diverses. Toutes ont en commun, néanmoins, d'identifier la matière à une réalité créatrice, active, *dramatique*⁵⁶. Et finalement, dans le matérialisme moderne comme dans la philosophie antique, la matière est convoquée plus à titre de principe que de réalité. Elle ne compte pas tant en elle-même, en effet, que comme facteur postulé de réduction. Comme une causalité générale à

⁵¹ Voir O. Bloch *Ibid.*

⁵² Paris, Flammarion, 1906.

⁵³ trad. fr. Paris, Baillières, 1866.

⁵⁴ trad. fr. Paris, Reinwald, 1876.

⁵⁵ Voir A. Negri *Recherches sur le matérialisme*, trad. fr. Paris, Méridiens Klincksieck, 1989.

⁵⁶ Voir B. Saint-Sernin « Images de la matière et matérialisme » *Etudes*, juin 1986, p. 818.

laquelle tout doit pouvoir être ramené⁵⁷. "Un vrai philosophe, écrit en ce sens Auguste Comte, reconnaît autant le matérialisme dans la tendance du vulgaire des mathématiciens actuels à absorber la géométrie ou la mécanique par le calcul, que dans l'usurpation plus prononcée de la physique par l'ensemble de la mathématique, ou de la chimie par la physique, surtout de la biologie par la chimie, et enfin dans la disposition constante des plus éminents biologistes à concevoir la science sociale comme un simple corollaire ou appendice de la leur... Tous les savants proprement dits sont donc aujourd'hui plus ou moins matérialistes" (*Système de politique positive ou Traité de sociologie instituant la Religion de l'Humanité*, 1851, I, p. 51⁵⁸).

Le matérialisme, pour Comte, est une usurpation mais inévitable, qui repose sur la dépendance nécessaire des phénomènes les moins généraux envers les plus généraux. Dépendance suivant laquelle chaque science conditionne l'évolution de la suivante, dont les inductions spéciales ne pourraient autrement acquérir une suffisante rationalité. Le matérialisme, soutient Comte, tient à un vice radical : l'abus de la logique déductive, qui réduit le supérieur à l'inférieur.

De nos jours encore, ainsi, le matérialisme peut vouloir être "émérgentiste", supposant qu'on peut observer la matière à différents niveaux d'intégration et expliquer ses caractéristiques à un niveau d'intégration donné par l'émergence de propriétés nouvelles, lesquelles sont néanmoins dues à l'activité qui règne aux niveaux inférieurs⁵⁹. Cette notion d'émergence, ainsi mobilisée, est présentée ailleurs (voir 3. 2. 35.).

Le matérialisme, écrit un auteur, tient avant tout au refus de la substantification, soit au refus de faire de l'objet un sujet permanent d'attribution pour ne considérer, à travers lui, qu'un processus de répétition⁶⁰. En d'autres termes, rien n'existe que des formes temporaires. Tout n'est qu'un aspect d'une unique matière. Tout se ramène à elle et rien ne tient de soi. Toute substance est produite et la notion de sujet conscient, notamment, sera ainsi ramenée à une simple illusion projetée par des systèmes linguistiques, moraux ou religieux.

⁵⁷ Voir les diverses contributions réunies in *Le réductionnisme en question*, Colloque de l'Institut interdisciplinaire d'études épistémologiques, Paris, Vrin, 1987.

⁵⁸ 4 volumes, Paris, Librairie scientifique-industrielle L. Mathias, 1928.

⁵⁹ Voir J. Dubessy, G. Lecointre & M. Silberstein *Les matérialismes (et leurs détracteurs)*, Paris, Syllepse, 2004.

⁶⁰ Voir P. Raymond *Le passage au matérialisme*, Paris, Maspéro, 1973, Conclusions.

Au bout de cette visée réductionniste, tout procès physique ou spirituel, tout ce qui survient dans la nature devra être pensé sans sujet ni objet, sans rien de singulier qui devienne et demeure en soi. Peut en ce sens être qualifiée à assez bon droit de "matérialiste" toute explication de l'esprit et de la conscience par autre chose que lui-même, le ramenant à un processus sous-jacent mais extérieur par rapport à sa propre auto-perception : processus économique (Marx), sexuel (Freud) ou évolutionniste (Darwin). Mais, dès lors, le matérialisme semble renfermer une contradiction.

*

La contradiction du matérialisme. Lénine.

Vers la fin du siècle dernier, le matérialisme semblait une doctrine scientifiquement dépassée, que beaucoup étaient tentés de délaissier (voir ci-après). Cela suscita, de la part de Lénine, un rappel à la saine orthodoxie. La matière, écrit-il en substance dans *Matérialisme et empiriocriticisme* (1908⁶¹), est une catégorie philosophique servant à désigner la réalité objective qui est donnée à l'homme dans ses sensations tout en existant indépendamment de lui. Un tel concept ne peut vieillir, ni être dépassé, puisqu'il désigne la réalité première et unique.

A ne pas rater : l'index des noms cités, rédigé par l'éditeur français (1948), petit bijou de dogmatisme militant et imbécile. Extraits : "Ferdinand Brunetière : critique réactionnaire français" ; "en philosophie sociale et en éthique, Oskar Ewald est un vulgaire individualiste petit-bourgeois", etc.

Lénine s'en prend tout au long de ce texte aux positivistes Ernst Mach, Richard Avenarius⁶² et à leurs adeptes - ceux surtout qui tentaient de réformer le marxisme, comme Aleksandr Bogdanov et son empiriomonisme⁶³. Les arguments de l'école positiviste ou "empiriocriticiste", juge Lénine, ne diffèrent en rien de ceux de l'idéalisme le plus classique, celui de Berkeley notamment (voir 2. 1. 19.). Ils reproduisent donc les mêmes erreurs.

⁶¹ trad. fr. Paris, Ed. sociales, 1948.

⁶² On trouve de nos jours bien peu de choses sur cet auteur. Voir F. Van Cauwelaert « L'empirio-criticisme de Richard Avenarius » *Revue néo-scholastique* n° 53, 1907, pp. 50-64.

⁶³ En français, voir A. A. Bogdanov *La science, l'art et la classe ouvrière*, trad. de textes, Paris, Maspéro, 1977.

Avec toute cette étonnante ferveur dont nombre d'intellectuels français ont témoigné vis-à-vis du marxisme dans les années 50-70, un commentateur distingué dans ce texte de Lénine, "d'une simplicité insolente pour les professionnels du jargon idéaliste ou crypto-idéaliste [...] tous les éléments d'un matérialisme philosophique hautement élaboré"⁶⁴. En fait, on trouve chez Lénine - exposée d'une manière plate et naïve qui la donne mieux à sentir - la contradiction inhérente au matérialisme. Lequel fait indissolublement de la matière à la fois la réalité première, dont la conscience n'est qu'un aspect particulier et en même temps le principe de l'objectivité du savoir par-delà la subjectivité des formes de la conscience. *La question est alors de savoir comment peut être posée, au-delà de la conscience, comme réalité, ce qui repose entièrement sur un principe que seule peut définir l'activité consciente et qui n'a de sens que par rapport à elle.* Le principal défaut de tout matérialisme, notait pourtant Marx, est de faire de la matière un objet extérieur saisi par une intuition et de ne pas la saisir comme activité humaine, comme pratique objective (*Thèses du Feuerbach*, 1845⁶⁵). Mais l'on peut se demander si une telle remarque n'annule pas le principe même du matérialisme.

En d'autres termes, le matérialisme pose l'unité de la matière et de l'esprit. Cela signifie certes que l'esprit est matière. Mais si le matérialisme est vrai, aussi bien, à travers les individus qui le professent la matière se connaît et saisit sa propre vérité. Autant dire que le matérialisme invite à reconnaître que la matière est aussi esprit ! Puisque si l'esprit, selon le matérialisme, n'est qu'un effet que produit la matière, il faut bien reconnaître que celle-ci a pour attribut de penser. Dès lors, comment peut-on « réduire » l'esprit à la matière ? Celle-ci paraît éminemment spirituelle et la vraie question porte, comme nous l'avons précédemment vu, sur la nécessité ou la finalité du monde et non sur sa matérialité.

Finalement, comme le disait Aristote, la matière n'a pas de réalité en soi. Elle n'a que la généralité d'un principe. La "matière" est une généralité. Ou plutôt un principe de généralisation et par là de réduction. Ainsi repose-t-elle entièrement sur une démarche conceptuelle et ne saurait trouver nul référent concret immédiat, car le concret renvoie au particulier. Seule la pensée saisit dans le monde le général – en l'occurrence la « matière »

⁶⁴ Voir L. Sève *Une introduction à la philosophie marxiste*, Paris, Ed. sociales, 1980, p. 348.

⁶⁵ in K. Marx & F. Engels *L'idéologie allemande I*, trad. fr. Paris, Editions sociales, 1974.

du matérialisme, cette réalité première et unique, comme disait Lénine - et l'écueil toujours possible du matérialisme est ainsi de prendre son propre appareillage critique pour la réalité. Son risque est toujours d'être, au sens le plus fort, *trop général*. Et, finalement, on peut se demander quel est le réel intérêt du matérialisme.

*

Quel enjeu est porté par le matérialisme ?

Un principe commun aux différents matérialismes est de poser que *tout* phénomène tire sa réalité 1) de quelque chose qui est plus élémentaire que lui, au sens où il entre dans sa composition et 2) de causes qui peuvent sans exception être rattachées à celles qui, de manière générale, gouvernent l'ensemble des phénomènes physiques. A ce double titre, tout phénomène peut *par principe* être réduit selon le point de vue matérialiste - qu'une explication scientifique précise soit ou non disponible pour en rendre compte.

Sans doute ce radicalisme commode est-il pour beaucoup dans le succès du matérialisme - lequel ne peut manquer de tenter le philosophe débutant, notait Bergson (*La pensée et le mouvant*, 1924, II⁶⁶). De nos jours, de fait, beaucoup croient toujours étonner ou provoquer en développant un tel point de vue matérialiste, qui repose pourtant sur un principe excessivement pauvre ! Car que dit-il ? Que dit-on au juste lorsqu'on affirme que la pensée se réduit au fonctionnement du cerveau ? Qu'il n'y a pas de pensée ? C'est insoutenable. Que nous sommes déterminés à penser, quoique nous puissions croire le faire librement ? Quelque chose d'autre - notre cerveau, la société elle-même ou le langage, etc. - pense à notre place dès lors et nous n'avons rien réduit ! Si le matérialisme revient à affirmer que la matière, de par sa propre activité, s'est rendue capable de se penser elle-même, il n'explique rien du tout et n'est guère cohérent avec ses propres intentions réductionnistes.

Veut-on encore soutenir que tout se fait mécaniquement, de sorte qu'il n'y a ni âme ni finalité dans le fait de l'esprit ? Mais le mécanisme n'annule pas la finalité, au contraire (voir 3. 3.). Et il n'annule pas davantage l'âme, si l'on conçoit que celle-ci n'est pas de l'ordre des phénomènes physiques.

En fait, le matérialisme n'est pertinent qu'en regard de la croyance à l'existence de réalités qui, dans l'ordre des phénomènes, échapperaient à l'ordre physique commun. Comme s'il existait dans notre cerveau quelque cavité qui ne serait pas faite de matière. Il combat les miracles, la magie et l'idée que certaines choses dans le monde sont directement dirigées par Dieu - c'est là proprement la thèse du mécanisme, comme doctrine (voir 3. 3.). Au total, le matérialisme s'acharne à ruiner l'idée selon laquelle il existerait certaines forces d'ordre extra-physique capables de jouer sur le détail du monde et de suspendre ainsi le cours général de ce dernier. Dans la mesure où une telle idée - que Descartes, sans doute le premier, s'attacha particulièrement à combattre (voir 3. 3. 4.) - n'est plus guère scientifiquement défendue, on pourrait croire que le matérialisme est une doctrine devenue largement désuète. Mais il n'en est rien. De nos jours, le matérialisme définit sans doute la pensée la plus commune. La pensée tout court même, dès lors que l'on ne se rallie pas à une religion particulière. Car pas beaucoup plus qu'au XVIII^e siècle nous ne savons dépasser la dichotomie : Dieu ou la matière. C'est pourquoi le matérialisme est couramment identifié à la démarche scientifique.

Science et matérialisme.

Pourtant, rien n'assure que le matérialisme progresse du même pas que la science. Même s'il s'approprie bruyamment ses résultats. Même s'il en est directement issu. Car le matérialisme fournit généralement un type d'explication *global* ou de principe, quand le réductionnisme proprement scientifique suit une logique de décomposition et de *spécialisation*.

La matière, selon la démarche scientifique, est principe d'investigation et non pas, *immédiatement*, principe d'explication, comme dans le matérialisme. D'un point de vue scientifique, il y a autant de matières que de sciences et même, à la limite, de théories scientifiques. Or cela ne relève pas seulement d'oppositions de doctrines. C'est plutôt, comme le notait Gaston Bachelard, que la science provoque et suscite le réel. Elle ne le contemple pas mais marche du même pas que lui. La science, ainsi, n'est pas matérialiste car elle n'a pas l'obligation de tout ramener à la matière. Elle ne connaît d'ailleurs même pas celle-ci mais des matières, au gré d'un réductionnisme local et provisoire. *On ne*

⁶⁶ in *Œuvres*, Paris, PUF, 1959, p. 1277.

remarque pas assez que la question de la matière n'est guère un outil de l'investigation scientifique.

Au sens scientifique, la matière n'est pas tant une réalité qu'un programme. Elle reste toujours à découvrir. Elle est ce qui fait de la réflexion un véritable travail - une praxis, pour employer la terminologie marxiste - qui affronte le monde et ne se contente pas de le rêver⁶⁷.

* *

C) La matière comme travail.

2. 4. 7.

La matière comme résistance. Le travail à la rencontre de la matière.

Si l'on s'efforce de penser la matière avant tout comme résistance, souligne Gaston Bachelard, la véritable conscience que l'on peut prendre d'elle, tout à fait différente de la conscience d'une chose ou de la conscience d'une forme, suppose l'effort du *travail* (*Le matérialisme rationnel*, 1953⁶⁸). Une philosophie de la matière doit donc s'efforcer de dégager les traits caractéristiques de la "conscience opiniâtre". Et c'est à ce titre que Bachelard étudie, dans la science contemporaine et tout particulièrement dans la chimie, la constitution d'un "rationalisme matérialiste".

L'expérience de la matière, en effet, telle que la connaît le travail scientifique, commande une rationalité sans cesse rectifiée, précisée et condamne tout rationalisme vide, issu de la seule réflexion, posant la matière comme son autre - comme si l'esprit était tout immatériel. Dès l'abord, la matière est en fait investie de nombreuses images et rêveries, qui sont autant d'expressions narcissiques de notre courage, que Bachelard analyse notamment dans *La terre et les rêveries de la volonté* (1947⁶⁹). D'emblée, la matière est notre miroir énergétique, dont les images tonifient notre volonté et focalisent nos puissances en les illuminant de joies imaginaires. En entaillant la branche en sifflet, l'enfant réalise la déloyauté humaine ainsi et il en dévoile un caractère souvent caché, sa valeur d'agressivité heureuse, sadique, active (p. 41). En quoi le matérialisme est profond

⁶⁷ Voir J. Moutaux « La définition du matérialisme et la question du travail » *Revue philosophique* n°1/1981, pp. 87-113.

⁶⁸ Paris, PUF, 1990.

⁶⁹ Paris, Corti, 1947.

– de sorte que nombre d’usages techniques se soutiennent au moins autant de symboles que de recettes utilitaires : on ne trempe pas seulement le fer parce que cela accroît son élasticité et sa dureté. Dans les attributs de la matière travaillée, dans le dur et le mou, dans le bois qu’on entaille et dans la pierre que l’on fore, l’esprit découvre immédiatement le monde et l’investit aussi bien.

La philosophie traditionnelle, écrit François Dagognet, affuble généralement la matière des qualités les plus pauvres (inertie, platitude, etc.). Le matérialisme, ainsi, est souvent sans matière ou sa matière est toute métaphorique. On dirait qu’il vit coupé du monde, de ses changements et de ses productions. On n’a su faire généralement de la matière que le non-moi. On a vu en elle l’extériorité même, parce qu’on l’a cherchée, de manière subjective, par rapport à l’ego. Mais il conviendrait plutôt, écrit F. Dagognet, de comprendre la matière comme le double et non comme la négation du moi (*Rematérialiser*, 1985, p. 167⁷⁰).

La matière marxiste est *praxis*, ainsi, issue du travail humain.

Le matérialisme dialectique.

Le matérialisme de Karl Marx est spéculatif et dialectique - Marx et Engels prenant d’abord le terme “matérialisme” en mauvaise part, refusant de se reconnaître en lui, qui qualifiait alors le mécanisme du XVIII^e siècle ou le scientisme plat d’auteurs comme Karl Vogt.

Loin d’être un simple donné positif, ignorant les visées humaines, la matière est pour Marx le monde tel que l’homme le transforme et l’homme tel que l’état du monde le forme. La matière ne s’arrête pas à la forme de l’objectivité que renvoie l’objet mais transcende celle-ci en direction de sa dimension d’effectivité concrète, écrit un commentateur⁷¹. La matière est inséparable de l’historicité. A travers elle, l’homme découvre le produit de son travail comme destin. La matière n’a pas seulement une histoire, elle est l’histoire même. Le marxisme est un matérialisme d’abord historique. Mais il se veut science, aussi bien, mettant au jour les lois du développement historique par rapport auquel toute conscience menace toujours de n’être que partielle. Comme si

⁷⁰ Paris, Vrin, 1985.

⁷¹ Voir A. Manville « Métaphysique et histoire. Marx versus Feuerbach : Ontologie du sensible et

l'homme lui-même n'était qu'un effet historique. C'est là toute la difficulté du marxisme, qui ne peut être envisagée ici.

*

La forme fait surgir la matière.

Le matérialisme ordonné, écrit Bachelard, est essentiellement une réorganisation du monde, issue d'une science qui ne découvre pas tant qu'elle ne construit. Il n'est à aucun titre la description d'un monde en ordre. La matière, dès lors, est une œuvre et sa résistance caractérise davantage l'effort de sa production que son opposition à l'esprit. Non pas que l'esprit "crée" la matière. Mais la matière n'a de sens que dans un rapport. Elle n'est concrète que pour autant qu'elle est informée. Forme et matière ne peuvent être saisies indépendamment l'une de l'autre.

Cependant, là où Aristote liait la matière, comme substrat, à une forme se suffisant en quelque sorte à elle-même, Bachelard rapporte cette forme elle-même à l'opiniâtreté d'une pensée. *Il n'y a de forme que celle d'une matière, laquelle est le corrélat d'une action qui la découvre dans sa concrétude, c'est-à-dire dans sa résistance.* La résistance, en effet, ne se révèle pleinement que liée aux catégories d'une pensée laborieuse. Elle désigne l'état intermédiaire entre une visée et son succès. La matière, pour Bachelard, se rencontre avant tout dans le travail, c'est-à-dire dans la création. Ce n'est donc pas, telle une réalité extérieure et inerte, un pur principe de négation ou de limitation (conception qui assimilerait vite la matière au mal).

L'analyse chimique.

Et Bachelard de présenter l'incroyable usinage nécessaire à la production d'une substance pure dans la chimie contemporaine. Ce qu'atteint la chimie, c'est la matière véritablement première, souligne Bachelard ; c'est-à-dire une substance sans individualité, sans hasard dans sa formation. Et cette pureté matérielle est inséparable d'un acte de création.

Longtemps, ne s'entendant guère à définir la notion de "corps pur", l'analyse chimique fut gênée, c'est-à-dire ne sut exactement jusqu'à quel niveau de décomposition elle devait se prolonger. En 1832, Justus Liebig prit le point de fusion d'un corps comme critère de pureté et fut largement suivi.

L'analyse chimique, écrit un auteur, c'est-à-dire l'ensemble des opérations par lesquelles est déterminé le nombre de substances présentes dans un échantillon et ce en quoi elles consistent, l'analyse chimique transforme la matière en information⁷². C'est ainsi la technologie moderne qui a mis à jour la matière, écrit Bachelard, prenant l'exemple de la pharmacologie (un médicament, aujourd'hui, écrit-il, "réalise sans accident son essence"). François Dagognet l'illustre, lui, en prenant le cas du textile (*op. cit.*, chap. III). Un autre exemple frappant est fourni par l'industrie du parfum. La chimie a offert au parfumeur une véritable palette, en effet, fournissant l'exemple d'une "matière rationnelle", au sens de Bachelard, c'est-à-dire pure et autorisant d'inépuisables possibilités de création. *La matière est le fruit d'une œuvre de réorganisation et non uniquement de purification et cela signifie qu'elle ne s'atteint jamais qu'à travers une forme et non au-delà d'elle.*

La chimie du parfum.

L'histoire du parfum aura connu deux avancées technologiques majeures : la distillation des essences (huiles essentielles) et la synthèse chimique des fragrances (estérification)⁷³.

Au Moyen Age, les Arabes inventèrent (ou réinventèrent : ces techniques semblent avoir déjà été connues dans la vallée de l'Indus il y a 5 000 ans) le serpentín et l'alambic, qui permettaient la distillation des plantes et la conservation de leurs essences dans l'alcool. Alexandre de Humboldt a marqué quelle rupture représentait une telle invention par rapport à la science grecque attachée à la contemplation de la nature. Pour la première fois, on constatait l'hétérogénéité de la forme et du fonds des substances. On mettait à jour des principes "essentiels" qu'aucun mouvement ne manifestait à l'état naturel (*Cosmos. Essai d'une description physique du monde*, 1845, II, p. 268⁷⁴).

Les parfumeurs pensaient capturer l'essence, c'est-à-dire l'âme même des plantes. Toutefois, entre le parfum d'une fleur vivante et l'essence qu'on pouvait en extraire, la perte était considérable. Pendant l'extraction, en effet, se produisaient des artefacts, sous l'effet de la

⁷² Voir P. Laszlo *L'analyse chimique comme dématérialisation* in F. Monnoyeur (dir) *Qu'est-ce que la matière ?*, Paris, Le Livre de poche, 2000.

⁷³ Voir E. Roudnitska *Le parfum*, Paris, QSJ PUF, 1980.

⁷⁴ trad. fr. en 3 volumes, Paris, Gide & Baudry, 1848-1852.

chaleur ou des solvants utilisés, qui venaient s'ajouter aux produits de dégradation formés pendant l'agonie de la fleur et au cours de son traitement.

Ces inconvénients ne pourront être évités qu'avec l'apparition de la chimie des corps odorants au XIX^e siècle - le premier parfum composé par voie de synthèse chimique fut semble-t-il le *Trèfle incarnat* de Piver (1896), à base de salicylate d'amyle - rendant possible la réalisation de produits de synthèse purs et autorisant par là-même à isoler et à recombinaer les corps composant les essences naturelles.

On sait par exemple de nos jours synthétiser plusieurs centaines de constituants de « l'absolue jasmin ». Parmi ceux-ci il est donc possible de ne retenir que ceux qui présentent le plus d'intérêt, en éliminant certains terpènes (carbures) olfactivement inertes qui affaiblissent l'essence et abaissent son pouvoir diffusant. Une senteur est ainsi réduite à une molécule-clé caractéristique : l'arôme du clou de girofle, par exemple, repose entièrement sur la molécule d'eugénol et celui de l'anis sur la molécule d'anéthole ; laquelle est souvent obtenue par synthèse, pour réduire les coûts, à partir d'essence de térébenthine. L'acétate de vétivéryle, de même, se substitue avantageusement à l'essence de vétiver (une herbe tropicale) largement employée dans les parfums masculins⁷⁵.

Pourtant, face à l'apparition de parfums ainsi constitués, comme le fameux *N° 5* créé par Coco Chanel et Ernest Beaux en 1921, inaugurant l'emploi massif des aldéhydes gras en parfumerie, on parla de "parfums synthétiques"⁷⁶. Comme si les esters n'étaient qu'autant d'ersatz. Comme si tous les produits naturels n'étaient pas autant de "produits chimiques", se laissant ramener aux mêmes substances. Le *N°5* fut plutôt le premier parfum abstrait, ne sentant rien d'autre que lui-même.

Nous manquons d'un terme commun pour désigner les produits que l'homme sait créer à partir de la nature mais qui n'existent pas à l'état naturel. Avant qu'on ne "découvre" le chloroforme en 1831, par exemple, il n'y en avait jamais eu sur Terre la moindre goutte, car la nature n'en produit pas. Un auteur a proposé de parler de "surnature" à propos de ce genre de créations matérielles⁷⁷.

Un autre auteur parle de "mixtes" à propos des matériaux composites désormais produits, chacun pour résoudre un problème précis, en conjuguant des qualités que les matériaux naturels opposent en général (mince et incassable, léger et résistant,

⁷⁵ Voir A. Gullino *Odeurs et saveurs*, Paris, Dominos Flammarion, 1997, p. 38 et sq.

⁷⁶ Le *N° 5* emploie le méthyl monylacétaldéhyde, qui venait à l'époque d'être synthétisé. Les aldéhydes les plus connus en parfumerie, ainsi que dans les aromatisants pour l'alimentation, sont la vanilline et le citral (arôme de citron).

⁷⁷ Voir J. Duclaux *L'homme devant l'univers*, Paris, Flammarion, 1949, p. 272 et sq.

imperméable et aéré, etc.)⁷⁸. Un nouvel âge des matériaux se dessine ainsi : ingénieux, intelligents, hybridés avec des systèmes informatiques, effaçant les barrières entre l'inerte et le vivant, comme les matériaux rendus « auto-cicatrisants » au moyen de réactifs contenus dans des capsules ou des capillaires⁷⁹. Un nouveau type de catalyseurs, les métallocènes, devenus courants à partir des années 2000, permettent de concevoir de nouveaux plastiques, des polymères nano-structurés « intelligents », capables par exemple de répondre à un stimulus extérieur.

La pureté est une œuvre.

Lavoisier, note Bachelard, montre que la respiration est une combustion (voir 3. 1. 14.). C'est donc un feu sans flamme. C'est là une réduction brutale de la phénoménalité de la flamme - comme signe éminent et manifeste de combustion - à un phénomène sans portée essentielle. Un matérialisme conséquent, conclut Bachelard, doit rompre avec le mythe de la diversité première des choses, pour conquérir l'essentielle homogénéité de la matière.

Mais il doit tout aussi bien rompre avec l'idée que le simple est premier. Dans le règne de la matière, écrit Bachelard, la pureté n'est jamais proprement une donnée. Elle ne peut être constatée. La pureté est une œuvre et l'homme est, vis-à-vis de la matière, l'agent purificateur - la matière est l'œuvre de l'intelligence laborieuse. A l'oublier - à oublier le caractère éminemment relationnel et donc conceptuel de la matière - tout réductionnisme matérialiste s'expose à des confusions. La matière est au bout d'un processus de purification minutieux et raisonné et non de réduction. Rien ne l'illustre mieux que l'histoire de la lumière.

*

* *

⁷⁸ Voir B. Bensaude-Vincent *Eloge du mixte. Matériaux nouveaux et philosophie ancienne*, Paris, Hachette, 1998.

⁷⁹ Voir B. Bensaude-Vincent *Se libérer de la matière ? Fantômes autour des nouvelles technologies*, Paris, Inra Ed., 2004.

II - La conquête de la matière

2. 4. 8.

La matière, tel que nous entendons couramment ce terme, c'est-à-dire la décomposition des objets immédiats en éléments plus élémentaires et communs, la matière n'a commencé à être physiquement sondée qu'à l'âge classique et ne le fut jamais sans d'importants débats, qu'illustre particulièrement l'histoire de la science de la lumière.

Cette histoire fut hésitante. Elle pourra, ci-après, paraître longue et ardue. Mais, par rapport à ce qui fut sans doute l'une des plus fascinantes aventures spirituelles de l'humanité, rien n'est trop long et chaque pas compte. Aussi, au lecteur pressé, nous ne pouvons que recommander de lire vite s'il s'impatiente mais de lire. Ne serait-ce que pour appréhender à grands traits par quels détours la lumière est, lentement, devenue matière. Comment elle fut, lentement, très lentement, détachée des choses vues, pour ne finalement plus représenter une réalité en soi.

*

Par ailleurs, ce que nous allons retracer ci-après – et la manière surtout dont nous allons le faire - n'entre guère dans les principaux schémas d'explication de l'histoire des sciences et il convient de nous y attarder un instant.

Ici, les savants ne semblent guère avoir principalement procédé par induction, par conjectures et réfutations, ni par programmes de recherche. Ici, il serait assez artificiel de parler de “paradigmes” et de “révolutions” pour rendre compte de la succession des théories (voir 2. 7.). En fait, très tôt, à l'époque moderne, un débat s'installa entre deux grandes options : onde ou corpuscules ? Le choix entre l'une et l'autre, en l'occurrence, reposait sur des

principes débordant largement les seuls phénomènes lumineux : l'acceptation ou le rejet du vide, ainsi, entre Newton et Descartes. Et quant au succès de l'une ou l'autre théorie, il dépendit largement de ses applications pratiques, des réponses apportées aux questions technologiques du temps⁸⁰. En regard de tels attendus, les faits purent être gênants - dès lors qu'ils infirmaient les prédictions - mais, en eux-mêmes, ils ne suffirent pas à provoquer l'abandon d'une théorie. Au total, l'histoire de la lumière invite ainsi à reconsidérer certaines idées très communes concernant l'avancée des sciences.

Le relativisme historique, en premier lieu, qui voudrait qu'au gré des découvertes, les esprits aient au fil du temps radicalement changé, n'ayant plus affaire aux mêmes réalités. Certes, la science de Descartes était bien différente de la nôtre. Mais le point de vue de Descartes sur la lumière n'est pas foncièrement coupé de nos conceptions, au contraire. C'est que de son époque à la nôtre, les débats sont intervenus dans une sphère de réflexion assez étroite. Dans le domaine des idées, des révolutions conceptuelles vraiment importantes n'ont pas lieu tous les jours, ni tous les cinquante ans !

Autre idée trop vite reçue : le caractère crucial de l'expérience. Selon cette idée très commune, la science serait une discipline qui n'avance que prudemment fondée sur des faits. Mais à travers ce que nous allons examiner à présent, nous verrons plutôt que chaque théorie avance ses faits et les explique beaucoup plus que ceux-ci ne la valident. De sorte qu'il n'y a tout simplement pas d'épreuve des faits ; au sens où ces derniers, indépendants des théories, attendraient de les départager. Il n'y a pas de théorie sans faits. Il y a seulement, quelque fois, des faits qui attendent leur théorie.

Autre idée commune enfin, celle selon laquelle la science avance au gré de découvertes. Les théories, plutôt, prennent souvent prétexte de quelques découvertes mais elles avancent de leur propre mouvement, suivant un principe de cohérence qui les amène facilement à déborder leur premier objet pour s'étendre aussi loin qu'elles le peuvent. Et, en ce sens, une théorie est

⁸⁰ Pour la science newtonienne, voir B. Hesse *The social and economic roots of Newton's Principia* in N. I. Bukharin & al. *Science at the crossroads*, London, Cass, 1971.

d'abord fondée sur le rejet de ce qui lui semble inacceptable - jusqu'à pouvoir s'accommoder de nombreux à-peu-près et incohérences, en revanche, pour tout ce qu'elle accepte. L'Ether en offre l'un des plus saisissants exemples historiques : une sorte de champ mécanique, à la fois dense et comme immatériel, ce qui est assez contradictoire mais dont on ne put se passer pendant des siècles, tant ne pas le poser paraissait plus absurde encore.

Ces points trouveront de nombreuses illustrations ci-après, à travers trois thèmes A) la lumière, B) les couleurs et C) la fin de l'Ether.

A) La lumière

2. 4. 9.

Il a fallu des siècles pour que la lumière soit pensée comme matière. L'Antiquité toute entière n'a pas rencontré cette idée.

Le latin avait deux mots pour la lumière, aucun des deux ne recouvrant exactement le sens du terme que nous employons. *Lux* était la lumière visible, la source d'illumination et *lumen* la vision actuelle de l'objet, son reflet. *Lux* était la cause - la lumière des corps lumineux - et *lumen* l'effet - la lumière des corps transparents et réfléchissants.

La difficulté de distinguer une chose de son image.

L'optique de l'Antiquité fut une analytique du regard, écrit Gérard Simon et pour elle, la vision était toujours un contact immédiat avec les choses (*Le regard, l'être et l'apparence dans l'optique de l'Antiquité*, 1988⁸¹). Ce qu'un ancien voyait dans un miroir, écrit G. Simon, c'était *la chose elle-même* déplacée en un lieu où elle n'était pas et comme elle n'était pas. Ce n'était pas son simple reflet. On ne concevait pas, en effet, une matière intermédiaire entre la chose vue et la vision ; soit une *matière*, comme la "lumière", qui aurait propagé le reflet des choses.

Spontanément, nous pensons encore largement de même : nous ne distinguons pas une chose de son image. Pourquoi en effet sommes-nous donc fascinés par le fait que, dans le ciel, nous voyons des astres tels qu'ils étaient il y a des milliards d'années et dont la lumière a mis tout ce temps pour nous parvenir, sinon parce que nous croyons alors voir ces astres eux-mêmes, comme sauvés du temps ? Si nous pensions réellement la lumière comme une simple matière se propageant, nous n'aurions certainement pas l'impression de remonter le temps. Il n'y aurait là rien de plus impressionnant que de constater que tel message qui m'a été adressé par mail il y a quelques minutes ne s'affiche que maintenant sur mon écran ; sachant que je n'ai pas l'impression, le lisant, qu'il est en train d'être écrit sous mes yeux. Tout de même voyons-nous volontiers une photo comme un miroir. Dès lors que nous ne la jugeons pas truquée, nous ne concevons pas facilement, en effet, qu'une image photographique puisse changer significativement un être à travers le reflet qu'elle en donne. Le visage sur le cliché jugeons-nous spontanément est bien celui de la

⁸¹ Paris, Seuil, 1988. Du même auteur, voir *Archéologie de la vision*, Paris, Seuil, 2003. Voir également R. Courtray (Dir) *Regard et représentation dans l'Antiquité Pallas* n° 92, 2013.

personne telle qu'elle existe et non telle qu'un éclairage l'a sculptée et en ce sens déformée.

Spontanément, l'image colle à son objet. Elle émane de lui et conserve quelque chose de sa matérialité, loin d'être inscrite sous une matérialité propre. Et une telle attitude se comprend facilement : qu'est-ce qu'une chose si les caractères que livre son image ne sont pas elle ? *A quoi ressemble l'être au-delà de son apparence ? C'est cela que l'étude de la lumière et de la vision amène à considérer, dans un affrontement direct avec des matières.*

L'optique antique, note G. Simon, était fondée sur le principe généralement admis que seul le semblable peut agir sur le semblable. L'image n'est donc pas reflet, elle est l'objet lui-même. De ce point de vue, les deux principales théories de la vision, énoncées dès l'Antiquité et qui s'affronteront pratiquement jusqu'au XVII^e siècle, étaient strictement équivalentes.

Deux théories de la vision qui s'affronteront pratiquement jusqu'au XVII^e siècle.

Pour les atomistes, la vision correspondait à un "quelque chose" de l'objet qui pénétrait directement dans l'œil. Pour d'autres, comme Euclide ou les Pythagoriciens, c'était au contraire une sorte d'émanation de l'œil, un rayon de vue, qui allait directement "palper" les choses - Empédocle comparait l'œil à une lanterne. Ainsi, selon les deux points de vue, le reflet était *de* l'objet ou *du* regard.

*

L'atomisme antique. Les simulacres.

Selon Démocrite, différents corpuscules émanaient des objets, que l'air poussait et qui pénétraient directement dans nos sens. Le *lumen*, ainsi, était comme l'écorce des choses. Il était, comme elles, indéfectible et ne pouvait être décomposé en éléments plus élémentaires. Les simulacres appartenait tellement aux objets, que l'on ne pouvait expliquer facilement comment les simulacres de corps immenses, comme une montagne, pouvaient se loger dans le trou minuscule de la pupille.

Le simulacre, souligne G. Simon, n'avait donc rien d'une image, au sens où nous entendons ce terme. C'était une "apparition quasi matérielle". Et Epicure allait encore plus loin. Les simulacres, selon lui, pénétraient, à travers les yeux, jusque dans notre esprit (Descartes signale dans sa *Dioptrique* qu'il s'agissait là encore d'une opinion communément reçue à son époque). Les images des rêves ainsi étaient dues à des simulacres très petits, capables de traverser les pores du corps jusqu'au cerveau et si fragiles que l'agglutination et la dissociation les menaçaient. D'où ces monstres qui hantent nos nuits... Directement causée par les objets extérieurs, l'imagination était conçue comme une forme de la vision.

Cette notion de simulacre aura une étonnante longévité. Félix Nadar (1820-1910), l'un des pionniers de la photographie, soutenait que chaque corps dans la nature se trouve composé d'une série de spectres foliacés en pellicules infinitésimales superposées (un peu comme des pelures d'oignon), que fixent les photographies. Ce caractère spectral de l'image photographique fit que le spiritisme du XIX^e siècle s'y intéressa de fort près.

*

La théorie de l'émanation.

A cette théorie atomiste s'opposait celle d'à peu près tous les autres auteurs anciens qui ont traité de la lumière. Théorie qui affirmait cette fois que l'œil possède un feu intérieur qui touche les objets, comme un rayon, une sorte de tentacule ignée se posant directement sur eux. Un peu comme nous affirmons sentir un regard intense se poser sur notre nuque. Les chats, disait-on ainsi, ont un feu oculaire plus intense que le nôtre qui leur permet *de voir - c'est-à-dire, selon une telle théorie, d'éclairer* - la nuit.

Dans sa *Dioptrique* (1637), Descartes attribue encore à l'œil du chat un pouvoir lumineux propre.

La vision fut ainsi très souvent décrite par les Anciens comme s'opérant hors de l'œil, soit *sur* l'objet vu lui-même, soit en un lieu intermédiaire - l'élément igné de la pupille se mêlant alors dans l'air au feu qui y est répandu et rencontrant le simulacre de l'objet, lui-même conçu comme contenant un élément igné dont l'irruption dans l'œil pouvait provoquer une douleur (l'éblouissement). Les deux théories pouvaient donc se

conjuguer. Pour Démocrite, ainsi, il semble que les simulacres ne faisaient que rencontrer certains effluves issus de l'œil. On retrouve cette théorie chez Platon (*Timée*, 45c⁸²).

Aristote rejetait néanmoins l'idée que la vue s'étend comme un rayon hors du corps pour aller voir les objets, comme si elle était de même nature que la lumière (*Des sens*, 438a⁸³). Entre l'objet et la vision, il concevait l'intervention d'un milieu pénétrant tous les corps, le diaphane, qui n'était pas visible par soi. Demeurant pure puissance, le diaphane était l'obscurité. Sous l'action du feu ou de quelque chose de ce genre, il devenait pure lumière, c'est-à-dire transparence et les corps l'actualisaient, c'est-à-dire lui donnaient leurs couleurs (*De l'âme*, II, 7⁸⁴).

Le réalisme ignore la matière. L'idée de cette dernière naît d'une distinction entre réalité objective et point de vue subjectif.

Au total, l'optique de l'Antiquité s'en est généralement tenue au réalisme naïf qui attribue à l'objet en soi ses qualités mêmes les plus apparentes : en l'occurrence, ce qui est vu de lui. On peut concevoir ainsi que les couleurs ne pouvaient guère être mises au compte des effets d'une lumière dont le concept n'était pas apparu. Pour les atomistes, la couleur n'était qu'un effet mais référé à l'objet et logée en lui, comme toute ses autres qualités sensibles (voir ci-après). De fait, jusqu'à Descartes, nous le verrons, les couleurs furent le plus souvent directement attribuées aux choses à titre de qualités propres, c'est-à-dire comme leur appartenant même en l'absence d'éclairage - une chose est rouge ou verte en elle-même et non pour l'œil qui en reçoit le reflet sous certaines conditions d'exposition à la lumière.

On rangeait les couleurs parmi les "sensibles par soi". Et les autres données perceptives visuelles (forme, distance) n'étaient pas non plus conçues comme dépendant d'un acte de vision mais référées à la nature propre des choses. L'œil lui-même était donc conçu comme un organe passif. Une pure surface impressionnable dont, significativement, le plus grand anatomiste de l'Antiquité, Galien, logeait toute la sensibilité dans le cristallin.

Que la connaissance se donne pour tâche de saisir ce qui est en soi, au-delà des apparences immédiates - ce qui définit l'attitude réaliste (voir 2. 1.) - ne suffit pas, en d'autres termes, à faire jouer un rôle au concept de matière. *Celui-ci, en effet, est un principe référé non pas à la réalité du monde mais à la subjectivité du savoir et pour*

⁸² *Œuvres complètes*, trad. fr. en 2 volumes, Paris, Pléiade Gallimard, 1950.

⁸³ trad. fr. Paris, Les Belles Lettres, 1953.

souligner celle-ci. La lumière, ainsi, ne deviendra matière et ne sera étudiée comme telle, que comme intermédiaire entre l'objet et la vue, dès lors qu'une frontière, qu'une possible différence, aura été tracée entre eux.

Or c'est le contraire plutôt qui soutint l'optique de l'Antiquité, note G. Simon. Une psychologie sans notion de sujet ou, plus exactement, sans séparation entre le sujet et l'objet. La perception, pour elle, était connaissance. Le regard touchait directement les choses. C'était une palpation à distance et non l'interprétation d'une réalité. Chaque sens, dès lors, était conçu comme indépendant, puisqu'il appréhendait des réalités différentes. De l'intérieur des corps émanent les particules odorantes et de la surface des choses les "simulacres" (*eidola*), qui pénètrent dans l'œil, affirme Epicure.

Ainsi, la vision eut beau être géométrisée avec Euclide (*L'Optique et la Catoptrique*, III^e siècle av. JC⁸⁵) et Claude Ptolémée (*L'Optique*, II^e siècle ap. JC⁸⁶) et les notions de rayon, de propagation rectiligne, de réflexion et de réfraction être isolées et étudiées expérimentalement, tout comme les propriétés des lentilles et des miroirs sphériques ou les phénomènes de dispersion par le prisme, l'optique n'en devint pas pour autant une science de la lumière.

La loi de réflexion (égalité de l'angle d'incidence et de l'angle de réflexion) sera définie par Philippe d'Oronte, un disciple de Platon, en 350 av. JC. Archimède s'intéressera, lui, particulièrement à la réfraction. Selon la légende, il fit fabriquer des miroirs ardents pour enflammer la flotte romaine qui menaçait Syracuse. Une légende ? Au Moyen Age, de tels miroirs concaves étaient nommés "miroirs crémateurs". Et l'Antiquité eut encore recours aux lentilles convexes : les vestales romaines, ainsi, pour rallumer leur feu sacré avec une flamme pure, directement issue du soleil.

Comme l'objet, l'image doit être une. Un frein pour le développement de l'optique.

Certes, dans cette démarche, reconnaît G. Simon, était en germe la détection du hiatus entre la variation de l'aspect perceptif des choses et la constance de leur identité réelle. On concevait qu'un écart puisse exister entre l'être et son apparence. Mais cet écart ne pouvait véritablement être mesuré, du fait que le rayon, conçu comme émanant de l'œil,

⁸⁴ trad. fr. Paris, Vrin, 1988.

⁸⁵ trad. fr. Paris, Desclée de Brouwer, 1938.

passait pour capter l'image toute entière de l'objet. De sorte que la convergence de plusieurs rayons engendrait un véritable imbroglio conceptuel. Il était notamment impossible, dans le cas de miroirs concaves, de penser l'aberration de sphéricité. Il n'était guère plus envisageable d'en aborder l'étude. Comment admettre que l'image soit déformée si l'objet source ne l'est pas ? La première erreur, écrit un historien de la lumière, erreur qui retarda le développement de l'optique, fut de considérer que la vision d'un objet était isolable en soi et se suffisait à elle-même (Vasco Ronchi *Histoire de la lumière*, 1956⁸⁷).

Kepler. Le stigmatisme.

C'est ainsi que l'optique moderne ne commence véritablement qu'avec Kepler (*Paralipomènes à Vitellion*, 1604⁸⁸). L'homme voyant, a-t-on écrit, disparaît avec Kepler de l'optique qui, de science de la vision, devient une physique de la lumière. La notion centrale de cette révolution fut celle de *stigmatisme* (du grec *stigma* : point), qui posait qu'à chaque point de l'objet correspond un point de son image. Dès lors, il devenait possible de décomposer analytiquement l'image et d'expliquer nombre d'effets déformants.

Ainsi, note Kepler, si au lieu de points ce sont des tâches qui impressionnent la rétine, celles-ci se chevauchent et l'image est floue. L'image perdit ainsi sa vie immédiate et propre. Elle perdit son unicité. C'était là la première démarche d'une pensée matérialiste - réductionniste.

L'idée qu'un objet se décompose en un ensemble d'éléments dont chacun a sa figure punctiforme le long d'un rayon avait déjà été émise par le savant cairote Ibn-al-Haithan (965-1039), connu en Occident sous le nom d'Alhazen. La traduction latine de sa *Perspective* fut éditée en 1572 en une somme dite *Opticae Thesaurus*⁸⁹, qui la couplait à l'œuvre d'un moine polonais du XIII^e siècle Vitellion (Witello). Il s'agissait là, avant Kepler, du traité de référence en matière d'optique. Alhazen avait réorganisé celle-ci, posant notamment que les rayons lumineux entrent dans l'œil et non l'inverse⁹⁰.

⁸⁶ trad. fr. Leiden, E.J. Brill, 1989.

⁸⁷ trad. fr. Paris, A. Colin, 1956.

⁸⁸ trad. fr. Paris, Vrin, 1980.

⁸⁹ trad. anglaise *The Optics of Ibn Al-Haythan*, 2 volumes, London, Warburg Institute, 1989.

⁹⁰ Voir D. C. Lindberg *Theories of Vision from Al-Kindi to Kepler*, University of Chicago Press, 1976. Voir également H. Belting *La science arabe et l'art de la Renaissance*, Paris, Les Presses du réel, 2010, ainsi que M. Imbert *La fin du regard éclairant*, Paris, Vrin, 2020.

Dès lors, Descartes put, après Kepler, poser les bases de l'optique moderne (*La Dioptrique*, 1637⁹¹).

L'ouvrage fut sans doute rédigé avant cette date. Descartes le publie à la suite du *Discours de la méthode* au titre d'une illustration.

*

Descartes. La première théorie moderne de la lumière.

Descartes prévient d'emblée qu'il ne parlera ici que de la façon dont les rayons lumineux entrent dans l'œil et comment ils peuvent être détournés par les divers corps qu'ils rencontrent. Et quant à la lumière, écrit-il, "il n'est pas besoin que j'entreprenne de dire au vrai qu'elle est sa nature". Cette déclaration ne doit pas tromper (et trop d'historiens de la lumière la prennent pour argent comptant). Dans la *Dioptrique*, Descartes dit bien tout ce qu'il y a à dire sur la lumière. Mais il ne tente pas d'en donner une définition au sens scolastique. *C'est que la lumière pour lui n'est pas une substance mais un effet. Elle n'est pas une nature.* La *Dioptrique* formule une théorie réductionniste de la lumière.

En ceci, l'audace de Descartes était forte et explique ses précautions. Traditionnellement, la lumière était assimilée à un agent divin.

Descartes prend l'exemple d'un bâton qu'on utiliserait pour se guider la nuit, c'est-à-dire pour palper et distinguer les divers objets que l'on rencontre. La lumière, écrit Descartes, n'est rien d'autre, selon cette image, qu'un certain mouvement ou action dans les corps lumineux, qui passe jusque dans nos yeux par l'entremise de l'air et des autres corps transparents. La lumière est un ébranlement de l'espace, une vibration, de sorte que même s'il n'en a pas le mot, Descartes déclare que la lumière est une *onde*.

Le terme, au XVII^e siècle, désignait encore uniquement le flot, la vague. L'analogie entre la propagation des vagues et celle de la lumière sera formulée pour la première fois par le Père Francesco Grimaldi (*Physico-mathesis de lumine*, 1665⁹²). Au même moment, cette analogie devenait courante pour le son.

La lumière n'est pas une substance mais l'effet d'une vibration.

⁹¹ *Œuvres philosophiques*, 3 volumes, Paris, Garnier, 1988.

La lumière, selon Descartes, n'est pas une substance qui se déplace mais une vibration qui chemine comme une vague à la surface de l'eau. De sorte qu'un corps lumineux comme le soleil étend ainsi ses rayons en un instant jusqu'à nous. Christian Huygens prendra l'exemple d'une boule de billard qui en frappe plusieurs autres alignées et se joutant : le choc est communiqué instantanément à la dernière des boules. La transmission de l'effet est instantanée puisque, comme l'indique l'image du bâton, l'effet se réduit entièrement à cette transmission. La lumière ne consiste pas en la durée de quelque mouvement, écrira Descartes dans ses *Principes de la philosophie* (1644, III, § 63). Elle n'est que l'effet d'un choc.

Descartes donne à la lumière une vitesse infinie.

On a fait grief à Descartes d'avoir donné à la lumière une vitesse infinie, c'est-à-dire une propagation instantanée. Mais, compte tenu de sa conception de l'effet lumineux, que nous venons d'exposer, c'est lui reprocher d'être conséquent avec lui-même ! De plus, Descartes pensait s'appuyer sur l'expérience. Lorsque la lune est éclipsée par la Terre, note-t-il, le soleil, la lune et la Terre sont alignés sur une même droite. Si la lumière nous était transmise avec un délai, on ne devrait voir l'éclipse qu'après la conjonction des trois astres (c'est-à-dire voir leur conjonction avant l'éclipse), ce qu'on n'observe pas. Descartes, ainsi, ne se prononce pas tant sur le caractère infini de la transmission de la lumière qu'il note que son effet est comme instantané. Mais il admet également que la lumière peut être ralentie en traversant certains milieux⁹³.

Vers 1630, Galilée voulut calculer la vitesse de la lumière mais, sur une distance beaucoup trop courte, il ne mesura rien. A travers l'observation des satellites de Jupiter, la vitesse de la lumière sera mesurée par Olaus Römer en 1665 (*Démonstration touchant le mouvement de la lumière*⁹⁴) et estimée à 215 000 km/s⁹⁵. Mais ce n'est qu'en 1849 que Léon Foucault montrera expérimentalement que la vitesse de la lumière varie avec la nature des corps dans lesquels a lieu sa propagation. L'indice de réfraction (rapport de la vitesse de la lumière dans le vide et de sa vitesse dans un milieu transparent donné) est élevé pour le diamant, bien plus faible pour l'eau (où la vitesse de la lumière est ralentie d'un quart) et très faible à travers un effet d'origine quantique que l'on nomme la transparence électromagnétique induite (observée pour

⁹² Bononiae, ex typ. haeredis V. Benetii, 1665.

⁹³ Voir *La propagation de la lumière sans transport de matière de Descartes à Huygens*, 1978 in P. Costabel *Démarches originales de Descartes savant*, Paris, Vrin, 1982.

⁹⁴ *Journal des Scavans*, 7 décembre 1766.

la première fois en 1990), qui rend un certain milieu (condensat de Bose-Einstein) incapable d'absorber la lumière d'une fréquence déterminée. Cela se traduit par un nuage de gaz transparent où l'impulsion lumineuse progresse très lentement.

Par rayons lumineux, il faut entendre, selon Descartes, l'incidence d'un ébranlement et non le transport d'une substance. Il n'y a donc pas de mouvement de la lumière. Celle-ci est une pression et n'est rien de plus matériel et surtout pas quelque forme, tel un simulacre, qui se transporterait.

Les "espèces intentionnelles".

A la fin du Moyen Age, en effet, on était revenu à la théorie des simulacres. Suivant Aristote, Thomas d'Aquin, pourtant, avait posé pour principe qu'il ne peut y avoir d'identité de nature entre le sujet connaissant et l'objet connu. Dans la vue, ainsi, l'objet ne vient pas à nous selon son être réel (*esse reale*), soulignait Thomas mais seulement selon son être intentionnel (*esse intentionale*). Par ailleurs, pour Thomas, toute connaissance requiert l'intermédiaire du corps pour être attribuable non à l'âme seule mais à l'homme. Les *phantasmata* fournissent ainsi une matière sur laquelle s'exerce la connaissance mais ils ne sont proprement ni matériels (ils ne sont pas les choses dont ils émanent), ni intelligibles en eux-mêmes (l'intellect les rend intelligibles).

Toutefois cette distinction psychologique entre sujet et objet dans la perception - dont nous avons dit qu'elle manquait à l'optique de l'Antiquité - était sans doute un peu trop subtile pour se maintenir. De fait, les "espèces intentionnelles" redevinrent vite des entités matérielles singulières véhiculant une qualité spirituelle, tout comme les *eidola* ou simulacres d'Epicure. C'est à ce titre que Descartes se moque d'elles. C'est qu'Alhazen, nous l'avons dit, avait établi que l'œil perçoit sous l'action d'un agent extérieur et non par sa propre activité. C'était inciter à retrouver les doctrines des atomistes. Les rayons lumineux, admettait-on ainsi, guidaient les simulacres jusqu'à l'œil, tout en en réduisant les dimensions des objets⁹⁶.

D'où l'intérêt privilégié de Descartes pour la réfraction (comme le titre de l'ouvrage l'indique⁹⁷), qu'il compare au rebondissement d'une balle élastique et dont, le premier, il

⁹⁵ Elle est en réalité, comme chacun sait, d'environ 300 000 km/s.

⁹⁶ Sur tout ceci, voir E. Gilson *Etudes sur le rôle de la pensée médiévale dans la formation du système cartésien*, 1930, Paris, Vrin, 1984, p. 17 et sq.

⁹⁷ Un dioptre désigne la surface de séparation de deux milieux d'indices de réfraction différents.

énonce correctement la loi : quels que soient les angles d'incidence et de réfraction à travers une surface plane, le rapport de leurs sinus est toujours égal à une constante n (qui est aussi l'indice du nouveau milieu traversé) : $\sin i / \sin r = n^{98}$.

La loi de la réfraction avait déjà été énoncée mais de manière purement empirique par Isaac Voss (1618-1689) et, semble-t-il, par Thomas Harriot dès 1602. Elle avait déjà été également trouvée - mais non publiée - par Snellius (Willebrod Snell) en 1621. Certains, ainsi, ont accusé Descartes de plagiat. En fait, l'exposition que, dans la *Dioptrique*, Descartes donne de la loi est assez étrange et l'on peut admettre qu'il la possédait bien avant 1637. La loi, de toute manière, pourrait avoir une paternité beaucoup plus lointaine que le XVII^e siècle. Ibn Sahl l'aurait énoncée dans un traité *Sur les instruments ardents* vers 984.

De là, Descartes attribue des indices de réfraction particuliers aux différents milieux transparents. Il établit que des couleurs différentes correspondent à des angles de réfraction différents. A ce titre, il étudie correctement l'arc-en-ciel (lequel avait déjà, en ce sens, fait l'objet des recherches de Marc-Antoine de Dominis *De Radiis visus in vitris perspectivis et iride tractatus*, 1611⁹⁹).

Avant De Dominis, note Voltaire, l'arc-en-ciel paraissait être un mystère inexplicable (*Lettres philosophiques*, 1734, XVI^e lettre¹⁰⁰). Il est à noter qu'Aristote, déjà, ne voyait dans l'arc-en-ciel que le résultat de la réflexion de la lumière dans un nuage¹⁰¹. Tandis qu'au XIII^e siècle, Dietrich de Freiberg expliquait son apparition par la trajectoire des rayons du soleil à travers les gouttes de pluie.

A l'origine de la lumière, il y a donc ce qui resplendit, qui est de la nature du feu et qui est composé de très petites particules animées d'un mouvement très rapide qui tournoient quand elles rencontrent une surface, suscitant, par un effet de choc et selon la force de ce tournoiement, c'est-à-dire selon la nature des corps qu'elles rencontrent, les différentes couleurs. Le corps resplendissant, toutefois, ne fait qu'exercer une pression sur les parties les plus subtiles de la matière qui occupent l'espace. Il ne disperse pas dans l'espace sa propre matière. Dans ses *Principes* (1644), Descartes écrit ainsi que le soleil ne contribue en rien à la lumière qui émane de lui. Au point que "si le corps du soleil était un

⁹⁸ Voir M. Authier *La réfraction et "l'oubli" cartésien* in M. Serres (Dir.) *Eléments d'histoire des sciences*, 1989, Paris, Larousse-Bordas, 1997.

⁹⁹ Venetiis, apud T. Baglionum, 1611. Voir C. B. Boyer *The Rainbow from Myth to Mathematics*, New York, T. Yoseloff, 1959.

¹⁰⁰ Paris, Garnier, 1967.

¹⁰¹ Voir B. Maitte *Histoire de l'arc-en-ciel*, Paris, Seuil, 2005 & M. Blay *Les figures de l'arc-en-ciel*, Paris, Belin, 2005.

espace vide, nous ne laisserions pas de le voir avec la même lumière que nous pensons venir de lui ; excepté seulement qu'elle serait moins forte" (§ 64).

Bien entendu, la prolongation d'un influx lumineux suppose que le monde soit plein, des astres jusqu'à l'œil (et réciproquement, car Descartes admet encore dans certains cas une lumière propre de l'œil, comme chez les chats, qui voient la nuit). Or tel est bien l'espace de Descartes, qui ne connaît pas de vide (voir ci-après). La lumière se réduit à un choc et ce qui bouge, de proche en proche, ce sont les petites parties subtiles de la matière qui occupent tout l'espace. Ainsi s'explique que l'effet lumineux puisse traverser les corps transparents. C'est qu'il est "une matière fort subtile qui se trouve en tous les corps transparents et dont les couleurs sont une petite partie" (*Dioptrique*, 5^o Discours).

L'univers de Descartes est plein et poreux. Il l'illustre par l'exemple d'une cuve pleine de raisins foulés, percée de deux trous, comme nos deux yeux, dans le fond et où le vin se fraye un chemin, de manière plus ou moins détournée selon la résistance des grappes.

*

Explication cartésienne de la vision.

Sa théorie "percussive" de la vision, il était logique que Descartes la prolonge jusqu'à expliquer la vision elle-même. L'ébranlement lumineux, selon lui, joue directement sur le nerf optique et ainsi, par l'intermédiaire de la glande pinéale, agit directement sur notre âme (voir 3. 3. 15.). *La vision est, dans le cerveau, l'interprétation d'une vibration.*

C'est d'ailleurs un principe cartésien que la reconnaissance d'une figure relève pleinement d'un acte de connaissance, de déchiffrement et non de ressemblance.

Il n'y a donc pas d'autres yeux dans le cerveau pour voir ce qui passe par nos yeux. Descartes entreprend de le montrer à partir de l'exemple de la chambre noire.

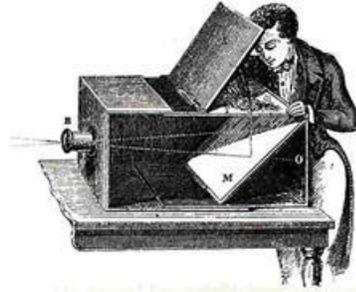
La chambre noire

De la chambre obscure à l'appareil photographique. Son utilisation par les peintres.

L'intérêt pour le phénomène de la chambre noire se perd dans la nuit des temps. Le physicien chinois Mo Ti (ou Mo Tseu, 479-381 av. JC) la décrivait déjà comme "la chambre close du

trésor" et s'efforçait d'expliquer l'inversion de l'image d'un objet passant par un trou d'épingle dans une enceinte obscure. Au Moyen Age, Roger Bacon (1210-1294) se servit de la chambre noire pour observer une éclipse de soleil. Alhazen notera que l'image est d'autant plus nette que l'ouverture est plus petite.

Au début, la *camera obscura* était une simple pièce d'habitation que l'on plongeait dans la nuit et à un mur de laquelle on avait percé un minuscule trou. Sur le mur écran faisant face au mur percé apparaissait alors une image inversée du dehors. La chambre noire fit l'objet d'une célèbre description de Giovanni della Porta (*La magie naturelle*, 1558¹⁰²). En 1550, Jérôme Cardan eut l'idée de placer dans le trou une lentille biconvexe. On y ajouta un diaphragme en 1568 et un miroir redresseur en 1573. Sa principale utilité fut dès lors pour le dessin. Des modèles portatifs se répandirent ainsi vers le milieu du XVII^e siècle (l'abbé Jean-Antoine Nollet les décrit longuement dans ses *Leçons de physique expérimentale*, 1743¹⁰³, après Willem Jacob's Gravesande *Usage de la chambre obscure pour le dessein*, 1711¹⁰⁴).



Parmi les peintres, l'un de leurs plus célèbres utilisateurs fut Vermeer, qui ne s'en servait d'ailleurs pas seulement pour dessiner des croquis mais bien pour peindre véritablement d'après nature, ce qui était inaccoutumé à l'époque (quoique Pieter Saenredam l'ait fait avant lui). D'où sans doute l'importance qu'acquiert la pure impression lumineuse comme sujet pictographique avec lui (comme dans la célèbre *Vue de Delft*, 1658-1666, voir 2. 1. 6.). Vermeer excelle à rendre, d'une manière toute nouvelle et crue, la lumière incidente du jour¹⁰⁵.

Les chambres noires connaîtront encore diverses améliorations (ménisque de Wollaston, 1812 ; objectifs à grande ouverture pour le portrait). Et, dès 1801, Johann Wilhem Ritter eut l'idée de recueillir l'image enfermée dans la chambre sur du chlorure d'argent. Cette tentative fut sans grand succès. Mais le principe de l'appareil photographique venait d'être défini. En 1760, dans sa fiction *Giphantie*¹⁰⁶, Charles-François Tiphaigne de la Roche avait déjà imaginé qu'une toile au fond de la chambre pourrait retenir les images. On imaginait alors que cette

¹⁰² trad. fr. Rouvray, Ed. du Prieuré, 1993.

¹⁰³ 6 volumes, Paris, Les frères Guérin, 1743-1748.

¹⁰⁴ in *Essai de perspective*, La Haye, Vve A. Troyel, 1711.

¹⁰⁵ Voir particulièrement *La laitière* au Rijksmuseum d'Amsterdam. Signalons que certains contestent l'emploi de la chambre obscure par Vermeer.

¹⁰⁶ Paris, Hachette, 1972.

image avait une existence en soi, plutôt qu'elle n'était qu'un simple effet de lumière et c'est ce que les premières photographies parurent confirmer, notamment pour Louis Daguerre.

*

Le rapprochement tardif avec l'œil.

Léonard de Vinci fut le premier, semble-t-il, à comparer la chambre noire à un œil. Mais il fallut attendre Kepler pour que soit clairement formulée l'analogie : orifice = pupille, diaphragme = iris, objectif convergent (lentille) = cristallin, écran = rétine et qu'on en déduise la formation d'une image réelle et inversée sur la rétine. Démarche que Descartes reprend dans la *Dioptrique* (5^o Discours) : il propose simplement de placer un œil d'homme ou de bœuf dans l'orifice de la chambre.

Ce qui est étonnant, rétrospectivement, c'est qu'il ait fallu attendre si longtemps pour avancer une telle comparaison et en déduire des enseignements quant à la nature de la lumière et de la vision. Si Alhazen, par exemple, observe bien que les images de plusieurs chandelles se disposent sur l'écran de la chambre sur des lignes qui se croisent dans l'ouverture, il n'en tire aucun enseignement géométrique, souligne Vasco Ronchi (*Histoire de la lumière*, 1956). Cette indifférence n'a d'égale que celle que les savants accordèrent longtemps aux lentilles de verres.

L'invention des lunettes et du télescope.

L'origine des lentilles pour lunettes, est inconnue. Mais le florentin Salvino degli Armati en fabriquait dès 1299 et il semble qu'elles soient apparues entre 1280 et 1285. Or, il faudra pratiquement attendre le XV^o siècle pour que le monde cultivé s'y intéresse¹⁰⁷. Il faudra trois siècles pour qu'on place un verre de lunette devant un autre et qu'on trouve le principe du télescope.

La première lunette à oculaire divergent est construite en 1590. Galilée en utilise une semblable pour observer les phénomènes célestes dès 1610 mais se heurte à la suspicion de la plupart des savants de son temps. Kepler se range parmi eux un temps, avant de remarquer que l'usage du diaphragme, en restreignant les faisceaux lumineux aux seuls rayons centraux, confirme la correspondance biunivoque entre point-image et point-objet.

C'est que l'on ne pouvait accueillir qu'avec la plus grande méfiance ces artifices lumineux qui n'avaient pas leur place en regard de la lumière vraie et corporelle. C'est qu'on n'avait pas encore eu, comme Descartes, l'idée de réduire toute lumière à ses rayons.

*

¹⁰⁷ Voir P. Hamou *La mutation du visible*, Paris, Presses universitaires du Septentrion, 1999.

La lumière réduite à un mouvement.

La lumière n'est pas une matière pour Descartes, au sens où elle n'est en rien une substance corporelle particulière. Pourtant, Descartes présente la première théorie matérialiste de la lumière, car il réduit celle-ci à n'être qu'un mouvement parmi d'autres. "Les philosophes ont attribué beaucoup de chose à la matière mais non le mouvement qui est ce que je désire le plus expressément y comprendre", écrivait-il déjà dans *Le monde ou Traité de la lumière* (1633, publié en 1644, chap. VII).

Avec Descartes, la matière ou plutôt l'étendue, est devenue un facteur de rassemblement, d'homogénéisation et de réduction (voir ci-après). L'engrenage des différentes matières subtiles les unes dans les autres se réalise par des procédés tourbillonnaires et produit tous les phénomènes physiques, dont la lumière. De sorte qu'on serait bien en peine de définir autrement la nature de celle-ci. "Toute la difficulté vient de ce qu'ils [les philosophes] veulent distinguer la matière de la propriété qu'elle a d'occuper de l'espace", commente Descartes. Or c'est pourtant là "sa vraie forme et son essence" (*Ibid.*, VI).

De fait, après Descartes, les orientations de l'optique ne tiendront essentiellement plus qu'à la façon dont on concevra la *propagation* des phénomènes lumineux. En ce sens, apparaissent en germe dans la *Dioptrique*, tant la théorie de l'Ether que les débats sur la nature ondulatoire ou corpusculaire de la lumière. Dans la seconde moitié du XVII^e siècle, ces notions se mettent en place avec le Père Francesco Grimaldi, Robert Hooke, Robert Boyle et Christian Huygens.

Pour tous ceux auxquels les connaissances de base de l'optique scientifique feraient défaut ou auraient été oubliées, nous recommandons P. Léna & A. Blanchard *Lumières. Une introduction aux phénomènes optiques*, (1990¹⁰⁸).

*

2. 4. 10.

Premières formulations du débat entre nature corpusculaire ou ondulatoire de la lumière.

¹⁰⁸ Paris, InterEditions, 1990.

Francesco Grimaldi, le premier, posa clairement la question de savoir si la lumière est une entité matérielle particulière ou une perturbation ondulatoire (*Physico-mathesis de Lumine, coloribus et iride, op. cit.* 1665). Il y répondit sans ambages : la lumière est parfaitement comparable au son. Elle est produite par l'agitation rythmique d'une substance. Elle est si peu matérielle que le soleil n'est en rien diminué par son émission.

Même réponse chez Robert Hooke, pour lequel la lumière correspond à l'ébranlement d'un milieu, qui se propage par pulsations uniformes (*Micrographia : or some Physiological Descriptions of Minute Bodies made by Magnifying Glasses, 1665*¹⁰⁹). A la source de la lumière sont les vibrations des particules qui composent la matière et, dans l'Ether, selon Hooke, ces vibrations sont perpendiculaires à la direction de leur propagation.

Curieuse remarque, inspirée par le phénomène de la polarisation dont l'étude préoccupait alors le monde scientifique depuis la découverte du phénomène de double réfraction par le spath d'Islande par Erasme Bartholin (*Experimenta crystalli Islandici disdiacastici, 1669*¹¹⁰). Fresnel reprendra cette théorie des vibrations transversales (voir ci-après).

Robert Boyle, en revanche, donne à la lumière une nature corporelle (*Experimenta et Considerationes de coloribus, 1664*¹¹¹). Il affirme qu'elle est composée de particules matérielles (Boyle est, au XVII^e siècle, l'un des grands défenseurs de l'atomisme, voir 2. 1. 13.) et qu'elle est pondérable.

Boyle en veut pour preuve que les métaux augmentent de poids quand ils sont soumis à l'action du feu. Jean-Jacques Dortous de Mairan contestera ces expériences, tout en soutenant qu'aucune expérience directe ne peut prouver que la nature de la lumière est corporelle, puisque nous ne saurions voir ce qui rend visible (*Dissertation sur la Lumière, 1719*¹¹²). Plus généralement, Lavoisier montrera que la lumière n'est pas pondérable et ne peut donc relever de la science chimique¹¹³.

Huygens. Le modèle ondulatoire.

¹⁰⁹ London, J. Martyn & J. Allestry, 1665.

¹¹⁰ trad. anglaise *Experiments in birefringent icelandic crystal*, Copenhagen, Danish National Library of Science & Medecine, 1991.

¹¹¹ Lindaviae, impensis T. & J. C. Hechten, 1692.

¹¹² Nous n'avons pu consulter cette référence.

¹¹³ Voir H. Metzger *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, 1930, Paris, Blanchard, 1974, p. 68 et sq.

C'est avec Christian Huygens que le modèle ondulatoire trouve, avant Fresnel, son premier achèvement (*Traité de la lumière*, 1678, publié en 1691¹¹⁴). Huygens, surtout, s'attache à définir l'*Ether*, c'est-à-dire la surface d'onde universellement répandue et susceptible de propager à l'infini les vibrations lumineuses.

L'Ether, ou comment peut s'imposer une idée impensable.

L'Ether fut une notion tout aussi indispensable pour la physique classique que contradictoire et même impensable - deux caractères, néanmoins, qui n'ont jamais interdit à une pensée d'être admise de tous !

Parce qu'une force ou un effet vibratoire ne peuvent se propager dans le vide, il faut penser un milieu, l'Ether, véritable gelée vibratoire, qui doit être partout, c'est-à-dire occuper tant l'espace interstellaire qu'investir jusqu'aux plus fins interstices de chaque corps. L'Ether, ainsi, est forcément d'une nature extrêmement subtile, élastique. Mais, en même temps, puisqu'il véhicule les vibrations lumineuses, il faut lui accorder une grande densité. L'Ether, quelque contradiction qu'il puisse y avoir, est donc d'une nature tout à la fois dense et immatérielle. A partir de 1740, il se confondit avec le "feu" de Boerhaave, une substance impondérable pénétrant les corps.

Encore cette contradiction est-elle sans doute rétrospective. Nous l'avons souligné d'emblée, pour un esprit du XVII^e siècle, l'idée d'un milieu tout à la fois actif et impalpable n'avait rien d'étrange. De fait, nous ne verrons que bien plus tard éclater au plein jour ce caractère contradictoire de l'Ether.

Huygens compose l'Ether de deux milieux de particules très dures. Newton en fera le support des rayons lumineux, comme des forces magnétiques et électriques, ainsi que de la gravitation.

Newton ne publie ses recherches, menées de 1666 à 1670, qu'en partie dans les *Philosophical Transactions* (1672-1675), puis beaucoup plus tardivement - par crainte d'entrer en lice sur ces matières, écrit-il - dans son *Optique* (1704). Alors même que, morts, Hooke et Huygens ne pouvaient formuler d'objections, précise un historien¹¹⁵.

Newton. Le modèle corpusculaire.

¹¹⁴ trad. fr. Paris, Dunod, 1992.

¹¹⁵ Voir B. Maitte *La lumière*, Paris, Points Seuil, 1981.

Newton, comme Boyle, attribue à la lumière une nature corpusculaire. Il en veut lui-aussi pour preuve cette observation que la lumière chauffe les corps, qui l'absorbent différemment. Cela ne peut s'expliquer, selon Newton, que par le mouvement de corpuscules lumineux perdant une partie de leur mouvement dans le choc et le dissipant en chaleur. Et Newton d'aller jusqu'à se demander à quelles conditions la lumière pourrait se transformer en corps (*Optique*, Question 30¹¹⁶).

En 1934, il fut théoriquement établi qu'une collision entre deux photons pouvait donner naissance à une paire d'électron-positron. Ce phénomène a pu être expérimentalement vérifié en 1997 par une équipe américaine, permettant d'observer pour la première fois de la lumière se transformer en matière.

Le problème des lames minces.

Newton établit que la vitesse de la lumière dans un milieu est proportionnelle à l'indice de réfraction et que la dispersion est proportionnelle à cette réfraction. En même temps, il maintient l'idée de l'Ether, non plus comme un milieu dense qui, par ses ondulations, engendre la lumière comme un effet mais comme un fluide particulier que les atomes de lumière doivent pouvoir traverser (*Optique*, Question 28). De toutes les théories de la lumière, celle de Newton n'était certainement pas la plus facile à admettre. Et sans doute ne se serait-elle pas aussi largement imposée sans le prestige de celui qui avait découvert l'attraction universelle. Mais même encore, elle suscita, nous le verrons, de nombreuses critiques.

Les corpuscules lumineux ébranlent l'Ether en fonction de leur masse, créant une onde qui précède le rayon. Les vibrations ainsi créées s'accordent à la propagation (réfraction) ou s'y opposent (réflexion). Mais il est un cas particulier qui, dès lors, pose problème. C'est ce qu'au Deuxième livre de l'*Optique*, Newton décrit à travers les expériences sur les "lames minces" et qui concerne le comportement de la lumière lorsque celle-ci passe entre deux fines surfaces transparentes. Alors se produit une réflexion - qui est le plus souvent une irisation - sur la première surface, comme sur une goutte d'huile à la surface de l'eau. Or, comment la lumière peut-elle à la fois traverser le verre et être réfléchi ? Comment une même cause peut-elle produire deux effets ?

¹¹⁶ trad. fr. Paris, C. Bourgois, 1989.

Le degré de cette réflexion partielle dépend de plus, de manière incompréhensible, de la taille des lames. La variation de leur épaisseur, en effet, fait croître la réflexion jusqu'à un certain seuil où celle-ci s'annule et décroît et ainsi de suite. La réflexion partielle est une fonction cyclique de la taille des lames, ce qui interdit de considérer que le phénomène tient à la grosseur des pores du verre que la lumière doit traverser. Il s'agit donc bien d'une propriété de la lumière elle-même. Newton l'expliquait en soutenant que la lumière n'est pas réfléchiée par la première lame de verre mais par la seconde. En frappant la première, elle excite une sorte d'onde qui se propage en même temps qu'elle et la prédispose à être plus ou moins réfléchiée par la seconde. La lumière manifeste ainsi des "accès" de plus ou moins grande réflexion selon l'épaisseur du verre. Et en introduisant ainsi des éléments périodiques dans sa conception granulaire, Newton préfigurait, selon Louis de Broglie, la synthèse qui devait être réalisée deux siècles plus tard par la mécanique ondulatoire (*Matière et lumière*, 1937, p. 163¹¹⁷). Il reste que cette solution était quelque peu rapportée... De plus, elle ne pouvait suffire, dès lors qu'un phénomène de réflexion partielle peut se produire à la surface d'un seul milieu, comme l'eau.

Cela a fait dire qu'il est inexplicable qu'une théorie aussi décousue, pleine de contradictions et renfermant de graves lacunes, ait été considérée comme une grande conquête scientifique (V. Ronchi *op. cit.*). Mais il convient de souligner que l'électrodynamique moderne ne sait pas davantage expliquer ce phénomène ! Elle sait seulement estimer la probabilité qu'a la lumière d'être réfléchiée par une lame de verre donnée, comme le montre de façon plaisante Richard Feynman (*Lumière et matière. Une étrange histoire*, 1985¹¹⁸). Du temps de Newton, note Feynman, les difficultés inhérentes à une théorie n'étaient que mentionnées. On glissait rapidement. Les contradictions théoriques n'étaient pas encore devenues le moteur même de l'investigation scientifique (note pp. 40-41). Le fait est que l'optique newtonienne allait dominer pendant tout le XVIII^e siècle, laissant en héritage une conception corpusculaire de la lumière que peu de choses, finalement, justifiaient.

Au XVIII^e siècle, la théorie newtonienne s'imposa mais ne fit pas, cependant, l'unanimité. Leonhard Euler, notamment, s'éloignera des conceptions newtoniennes et se ralliera à la théorie de "l'Ether vibrant".

¹¹⁷ Paris, A. Michel, 1937.

¹¹⁸ trad. fr. Paris, Points Sciences InterEditions, 1987.

Newton montrait (*Optique*, prop. III, expériences 7 & 8) qu'il est impossible de supprimer l'aberration chromatique, c'est-à-dire de réfracter la lumière sans la disperser (ce qui le conduisit à définir un modèle de télescope fondé sur un principe de réflexion et non de réfraction). Euler le contesta en 1747, démontrant que la réfraction et la réfringence ne sont pas proportionnelles l'une à l'autre (Newton les pensait telles car elles s'expliquaient, selon lui, par le même processus attractif des particules lumineuses par le milieu réfringent). Dès 1733, l'utilisation des verres *flint* (un cristal contenant une certaine proportion de plomb) et *crown* avait permis de monter des systèmes exempts d'irisation. Ils passèrent néanmoins inaperçus, tant le prestige de la science newtonienne était important. Il fallut attendre 1758 pour que John Dollond (qui rejetait pourtant la démonstration d'Euler) réalise la première lunette achromatique¹¹⁹.

La lumière est une substance, soutient Newton, même s'il est difficile de préciser laquelle. Le maître-mot de ses études en matière d'optique est le phénomène de la dispersion, tel qu'il se produit lorsque la lumière traverse un prisme. C'est là une modification de la lumière que l'on jugeait jusqu'alors accidentelle, c'est-à-dire reçue du verre que traversait le rayon. On pensait que le prisme ajoutait des couleurs à la lumière qui le traverse. A travers le prisme, note plutôt Newton, la lumière blanche est décomposée en un spectre de couleurs, indécomposables par un autre prisme. Il en déduit que les sept couleurs fondamentales existent en soi. Qu'elles préexistent dans le faisceau de lumière et correspondent à sept types de corpuscules de masse différente. Les différents corps absorbent les rayons colorés, sauf certains qu'ils réfléchissent et, ainsi, paraissent eux-mêmes colorés. Cet effet tient à l'épaisseur de leurs pores.

Hooke expliquait la coloration des rayons par l'amplitude des vibrations de l'Ether. Ceci, note Newton, relève d'une théorie ondulatoire qui réduit la lumière à un effet, une qualité. Mais, une fois admis que les couleurs appartiennent à la lumière, demande-t-il, comment parler de la qualité d'une qualité ? Les couleurs, comme la lumière, sont-elles substantielles, en d'autres termes, ou ne sont-elles que de simples apparences ? Ce fut là l'enjeu de différentes théories des couleurs.

* *

B) La couleur

¹¹⁹ Voir M. Daumas *Les instruments scientifiques au XVII^e et XVIII^e siècle*, Paris, PUF, 1953, p. 203 et sq.

2. 4. 11.

Les objets absorbent certaines longueurs d'onde de la lumière et réfléchissent les autres. Leurs couleurs en résultent, dépendant néanmoins des caractéristiques de notre dispositif de perception visuelle et notamment des cellules en cônes de la rétine qui sont des photorécepteurs.

La plupart des reptiles et les oiseaux ont quatre types de cônes. Les mammifères n'en ont que deux (on pense qu'étant nocturnes au début de leur évolution, quatre cônes ne leur étaient guère utiles) mais certains primates, dont les grands singes et les hommes, ont récupéré un troisième cône. Notre perception des couleurs n'est pas particulièrement développée, ainsi. Les oiseaux voient peut-être des couleurs que nous ne pouvons pas envisager.

Pourrions-nous voir de nouvelles couleurs ? Certains chercheurs le soutiennent¹²⁰.

Ces éléments devaient être rappelés avant de considérer la longue histoire de l'explication des couleurs.

La couleur : un effet provoqué par la nature même des choses.

Très tôt, comme le souligne un historien des couleurs, les Grecs regardèrent avec soupçon les apparences colorées¹²¹. Celles-ci n'étaient que de pures illusions pour les Pythagoriciens. Les Epicuriens parlaient de l'achromatisme des atomes (voir notamment Lucrèce *De la nature*, I^o siècle av. JC, II, v. 735¹²²). Hobbes dira encore que les couleurs ne sont pas dans les objets puisque nous pouvons les voir dans le miroir (*Léviathan*, 1671, I, I¹²³). C'est ainsi que, recherchant un principe à la fois d'explication et d'annulation des apparences, *les Grecs réduisirent la couleur à un effet mais à un effet provoqué par la nature même des choses et non par la lumière*. Ils conçurent néanmoins les effets colorés selon l'analogie des rapports numériques propres aux sons. Les apparences colorées, ainsi, perdirent en partie leur autonomie extérieure pour être réduites au jeu de rapports harmoniques.

¹²⁰ Voir V. Billock & B. Tsou « La perception des couleurs interdites » *Pour la science* n° 395, septembre 2010, pp. 58-63.

¹²¹ Voir M. Brusatin *Histoire des couleurs*, 1983, trad. fr. Paris, Flammarion, 1986, p. 31.

¹²² trad. fr. Paris, Garnier Flammarion, 1964.

Cette analogie aura une fort longue postérité. On la retrouve encore chez Newton, qui compare les sept couleurs du prisme à la gamme, ainsi qu'au sept jours de la Création et, plus tard encore, chez le Père Louis-Bertrand Castel (*L'Optique des couleurs*, 1740¹²⁴), l'inventeur d'un clavecin oculaire (1725).

Conçu pour les sourds (!), des nuances de couleurs figuraient les notes de musique sur le clavier de ce clavecin. L'idée séduisit Diderot (voir son article "Clavecin" de l'*Encyclopédie*¹²⁵). Ce clavecin, en l'occurrence, ne verra jamais le jour mais l'invention du Père Castel sera reprise par d'autres (Kastner et son Pyrophone, 1873 ; Rimington et son Luce, 1910 ; Wilfred et le Clavilux, 1921, etc.). Le peintre Giuseppe Arcimboldo (1527-1593) avait déjà proposé une méthode colorimétrique de transcription musicale, selon laquelle une mélodie pouvait être représentée par des petites taches de couleur sur le papier.

Du côté des musiciens, Nicolaï Rimski-Korsakov et Alexandre Scriabine proposeront tous deux des équivalents colorés aux notes de la gamme, avec beaucoup de différences : si ré est violet chez les deux, ut est blanc pour le premier et rouge pour le second. Ceci est une illustration, parmi d'autres, qu'il n'existe guère de couleurs universelles possédant les mêmes significations aux différentes époques et dans les diverses régions du monde, à l'exception du rouge pour le sang et du vert pour la nature, tandis que le pourpre est une couleur récurrente pour les dieux et les rois¹²⁶. Au-delà, les appréciations subjectives des couleurs sont bien entendu innombrables. Kandinsky prête au vert une valeur morale proche de celle du gris. Le vert est pour lui la couleur de la bourgeoisie. Un vert pur lui paraît semblable à une grosse vache ! (*Du spirituel dans l'art, et dans la peinture en particulier*, 1912, p. 151¹²⁷).

La désignation même des teintes peut assez fortement varier selon les peuples et les langues, d'abord parce que les noms de couleurs furent souvent tirés des techniques de teinture et de coloriage. Les Grecs usaient d'un même mot pour désigner un vert jaune et un rouge. *Chloros*, vert, pouvait s'appliquer au miel. En latin, *purpureus* se disait de l'arc-en-ciel et de la neige. D'après certains auteurs, néanmoins, les catégories de couleurs obéissent à la même arborescence dans pratiquement toutes les langues : la distinction entre rouge et bleu est plus fondamentale que celle entre vert et bleu, etc.¹²⁸.

Longévité de l'explication aristotélicienne des couleurs.

Néanmoins, jusqu'à Newton, l'explication des couleurs qui prévalut généralement fut celle d'Aristote (*Des Couleurs*¹²⁹), selon laquelle les couleurs tiennent au mélange, en

¹²³ trad. fr. Paris, Sirey, 1971.

¹²⁴ Paris, Briasson, 1740.

¹²⁵ reprint en 35 volumes, Stuttgart-Bad Cannstatt, F. Frommann Verlag, 1986.

¹²⁶ Sur l'histoire culturelle des couleurs, voir J. Cage *Couleur et culture*, trad. fr. Paris, Thames & Hudson, 2008 & M. Pastoureau *Noir*, Paris, Seuil, 2008.

¹²⁷ trad. fr. Paris, Denoël, 1989.

¹²⁸ Voir B. Berlin & P. Kay *Basic color terms: their universality and evolution*, 1969, Berkeley, University of California Press, 1991.

¹²⁹ Ce texte, qui est sans doute de Théophraste et non d'Aristote lui-même, ne fut publié qu'en 1497 (*De*

des proportions variables, de la lumière claire et de l'ombre, laquelle a son propre effet coloré : le bleu. La lumière la moins altérée par l'ombre, la plus proche de la lumière pure, est le jaune.

Selon l'enseignement d'Aristote, les couleurs tenaient à la réflexion ou à la réfraction que les différents corps font subir à la lumière. Ce fut là l'idée communément partagée au Moyen Age. On la trouve notamment exposée par Dietrich de Freiberg (*De Coloribus & De Iride et Radialibus Impressionibus*, fin XIII^e siècle¹³⁰). En ceci, la couleur représentait un phénomène objectif, car en elle l'élément obscur (le *skieron*) passait pour être un principe en soi, logé au cœur des choses. Athanase Kircher en faisait une couleur "plus ténue" que les autres (*Ars magna lucis et umbrae*, 1646, chap. "Chromocritica"¹³¹).

Fort longtemps, ainsi, les couleurs furent classées selon deux pôles de clarté/obscurité allant du blanc au noir en passant par le jaune, le rouge et le bleu. C'est là un mode d'exposition des couleurs que présente encore *l'Opticarum libri sex* (1613¹³²) de François d'Aguilon. Un traité qui fit autorité en son temps, inspirant notamment Rubens.

Par ailleurs, on concevait que certaines couleurs pouvaient naître de la rencontre d'autres plus primitives. Jaune et rouge donnent l'orange ; rouge et bleu le violet et jaune et bleu, enfin, le vert. Encore ces mélanges furent-ils tardifs. Le Moyen Age ne percevait pas le vert comme situé entre le jaune et le bleu - couleurs qui selon la classification aristotélicienne s'opposaient. Avant le XVII^e siècle, aucune recette ne dit que pour faire du vert, il faut mélanger du jaune et du bleu ! Par rapport à la lumière pure, les couleurs fondamentales étaient déterminées au gré de notations toutes psychologiques : une lumière "chaude", comme le rouge, passait pour être plus dense que le violet, plus "froid". Le blanc et le noir n'étaient pas considérés eux comme des couleurs mais, chacun à leur façon, comme leur absence. Comme luminosité ou obscurité pures, entre lesquelles toutes les couleurs se répartissaient. *La teinte des couleurs*, en d'autres termes, *n'était pas pensée en elle-même mais comme fonction de leur clarté*. Point que confirme en général

coloribus libellus Aristotelis, Parisiis, apud Vascosanum, 1549). Il semble que son auteur reprenait les idées d'Anaximène.

¹³⁰ Nous n'avons pu consulter cette référence.

¹³¹ Amstelodami, apud J. Janssoni, 1646.

¹³² Antverpiae, apud J. Moreti, 1613.

l'évolution sémantique des termes de couleurs dans les langues indo-européennes. "Yellow" signifiait d'abord "briller". Il deviendra peu à peu une teinte, le jaune¹³³.

Ce point fut remarqué par Hugo Magnus dans son *Histoire de l'évolution du sens des couleurs* (1878¹³⁴), qui en concluait que le système visuel de nos ancêtres était rudimentaire ! Ce point de vue avait été développé par William Gladstone, étudiant les couleurs chez Homère (avant de devenir premier ministre) et Lazarus Geiger (1867), constatant que ni la Bible, ni les textes de l'Inde védique, ni Homère ne mentionnent le ciel bleu.

Enfin, les couleurs s'obtenant par mélange ou contraste avec leur autre, l'obscur, une telle conception invitait à considérer la lumière comme un principe divin, dont la rencontre avec le monde faisait jaillir des effets colorés.

*

La couleur, effet de la lumière divine lancée à travers la matière.

C'était là une très vieille idée, en effet, que l'on trouve notamment chez les Stoïciens : la couleur est une lumière qui se fait matière et une matière qui se fait lumière. De là, l'idée médiévale que la lumière est un produit céleste qui, lancé à travers la matière, en révèle les couleurs. Dans *La lumière ou de l'inchoation des formes* (1225-1228¹³⁵), Robert Grosseteste écrit que la lumière assure la propagation des formes, conférant ainsi directement à la matière sa tridimensionnalité. Pour Robert Grosseteste, la lumière était ainsi l'énergie radicale, originelle ; la forme première de toutes les substances. Cela suivait la *Genèse*, qui attribue à la lumière, dans l'ordre de la Création, une antériorité sur le soleil. La lumière, ainsi, est douée d'une existence propre (le *fiat lux*), indépendante de la source qui l'émet. Au même moment, l'art gothique élevait ses cathédrales comme autant de réceptacles de cette lumière pure filtrée par les vitraux (voir 1. 2. 6.).

Une difficulté.

¹³³ Voir R. W. Casson *Color Shift: Evolution of English Color Terms from Brightness to Hue* in C. L. Hardin & L. Maffi (ed) *Color Categories in Thought and Language*, Cambridge University Press, 1997.

¹³⁴ Paris, Reinwald, 1878.

¹³⁵ trad. fr. in D. Ottaviani *La philosophie de la lumière chez Dante*, Paris, H. Champion, 2004.

Longtemps, la dispersion prismatique sembla admirablement confirmer cette théorie, révélant les couleurs fondamentales, jusqu'à ce que Galeazzo Mariscoti (*De Iride*, 1617¹³⁶), fasse remarquer que le jaune est le rayon médian du spectre et non le plus proche du sommet, contrairement à ce que la théorie aristotélicienne inviterait à croire puisque, selon elle, le jaune correspond à la lumière la moins altérée. En fait, puisqu'il est médian dans le spectre, le jaune traverse une quantité de verre plus grande que le rouge et devrait donc acquérir davantage d'obscurité que lui. Selon Mariscoti, ce n'est donc pas la traversée du prisme qui, par obscurcissement, produit la coloration mais c'est la réfraction subie par les rayons (si les rayons traversent normalement le prisme, aucune coloration ne peut être observée, note-t-il). On retrouvera de telles idées chez Descartes, Grimaldi et Hooke. Néanmoins, dans la mesure où l'on concevait encore les couleurs comme autant d'altérations d'une lumière supposée pure, rien n'annonçait la théorie newtonienne.

Michel Blay s'est attaché à retracer la genèse de cette théorie ; montrant que la démarche newtonienne fut bien plus théorique qu'expérimentale, malgré ce que tente de faire accroire l'exposé que Newton donne de ses propres découvertes dans son *Optique (La conceptualisation newtonienne des phénomènes de la couleur, 1983*¹³⁷).

*

Avec Newton, les couleurs ne sont plus qu'un effet de la lumière elle-même.

La première proposition du premier livre de l'*Optique* de Newton pose que : "les rayons de lumière qui diffèrent en couleur diffèrent aussi en réfrangibilité" et cette réfrangibilité est un attribut de la lumière elle-même. Elle tient aux différents types de corpuscules qui composent cette dernière (voir ci-dessus).

"La lumière du soleil est composée de rayons différemment réfrangibles", dit la deuxième proposition. Newton ne fait donc pas de la couleur l'effet de la réfraction mais le contraire. A chaque couleur appartient un degré de réfrangibilité (Grimaldi déjà avait noté que chaque couleur est liée à un angle de réfraction particulier).

Les couleurs sont le propre de la lumière elle-même. Blanche, celle-ci les rassemble d'ailleurs toutes (c'est l'expérience d'un disque sur lequel sont peintes les sept

¹³⁶ Romae, J. Mascardi, 1617.

couleurs du spectre et qui, tournant suffisamment rapidement, donne à l'œil une impression de couleur blanche).

Les couleurs tiennent à la manière dont les rayons lumineux sont réfractés dans l'Ether.

La théorie newtonienne permettait de mathématiser les phénomènes colorés et d'élaborer une échelle objective des couleurs, selon l'indice de réfraction associé à chacune. Les rayons colorés ne sont donc pas colorés en eux-mêmes mais possèdent, dans leur composition, certaines dispositions à exciter la sensation de telle et telle couleur. C'est ainsi que, selon Newton, les couleurs atteignent l'œil, à travers l'Ether, en produisant des vibrations de longueurs différentes selon leur masse corpusculaire. Après lui, Euler désignera ainsi chaque couleur comme "une suite de vibrations isochrones". Aux plus courtes de ces vibrations correspond l'indigo et aux plus longues le rouge.

La lumière n'est plus pure et les couleurs n'appartiennent plus aux choses.

Avec la théorie newtonienne des couleurs, la lumière est ainsi devenue un phénomène composé, complexe, contre trois évidences jusque-là admises : 1) que la lumière est pure et que les couleurs sont un mixte né d'une modification de la lumière incidente dans le sens d'une atténuation ou d'un obscurcissement ; 2) que les couleurs appartiennent aux choses et non à la lumière ; 3) qu'elles existent telles qu'on les voit.

A partir de là, on voudra *construire* les couleurs à travers différents atlas, comme celui d'Eugène Chevreul (1786-1889), classant sur un cercle concentrique 35 000 échantillons de textile de la manufacture des Gobelins¹³⁸.

*

La théorie des couleurs est, dans l'optique de Newton, la partie qui soulèvera - un siècle plus tard - le plus d'objections. Car l'on voudra à nouveau attribuer directement les couleurs aux corps. En France, Jean-Paul Marat dira ainsi que ceux-ci, selon lui, dévient d'une façon particulière les rayons lumineux selon la loi de l'attraction corrigée d'un certain coefficient d'affinité propre. Marat nomme l'étude de cette déviation de lumière par

¹³⁷ Paris, Vrin, 1983.

¹³⁸ Voir G. Roque *Art et science de la couleur. Chevreul et les peintres, de Delacroix à l'abstraction*, Nîmes, J. Chambon, 1997.

la surface des corps la "péridioptrique" (*Découvertes sur la lumière*, 1780¹³⁹ ; *Notions élémentaires d'optique*, 1784¹⁴⁰).

NB : il s'agit bien de l'homme politique. De formation, Marat était médecin. Il traduit en français l'*Optique* de Newton en 1787.

Mais c'est surtout chez les romantiques allemands que la théorie de Newton fera l'unanimité contre elle. Suite notamment aux critiques que Goethe formula à son encontre (*Contributions à l'optique*, 1791 ; *La théorie des couleurs*, 1810¹⁴¹). Et alors que Herder remit en l'honneur l'idée que la lumière est l'aspect vivant de la divinité.

*

Les romantiques contre Newton. Goethe.

Contre Newton, pour lequel la lumière est composée et la couleur est simple, puisqu'elle résulte d'une décomposition, Goethe réaffirme que la lumière blanche est pure et que la couleur naît d'une composition dynamique avec l'ombre, particulièrement à travers les milieux troubles.

Goethe retrouve ainsi les idées de Kircher, du Père Castel, de Giovanni Rizzetti (*De luminis affectionibus*, 1727¹⁴²) - il retrouve les idées d'Aristote en un mot - et il ne cessera de redire, contre Newton, que le mélange de toutes les couleurs ne peut donner que du gris. Toute couleur, selon lui, est en effet plus sombre que la pleine lumière car elle contient son *skieron*. La réunion de toutes les couleurs ne peut donc donner du blanc pur¹⁴³.

La couleur, selon Goethe, tient à la rencontre d'un milieu clair et d'une limite obscure. Les choses sont en elles-mêmes colorées - cela tient à leur *skieron* propre. La lumière révèle leurs couleurs, comme l'esprit lancé à travers la matière. C'est là le

¹³⁹ Paris, Jombert, 1780.

¹⁴⁰ Paris, Didot jeune, 1784.

¹⁴¹ in *Le traité des couleurs*, trad. fr. Paris, Triades, 1973.

¹⁴² Tarvisii, ex. typis E. Bergami, 1727.

¹⁴³ Voir M. Elie *Lumières, couleurs et nature. L'Optique et la physique de Goethe et de la Naturphilosophie*, Paris, Vrin, 1993, p. 176. Un ouvrage de référence sur ces questions. Voir également D. L. Sepper *Goethe*

phénomène primordial (*Urphänomen*), qui permet de confondre la perception subjective des couleurs et leur réalité objective, c'est-à-dire de considérer que l'œil a une prise directe sur la nature. Ce point de vue sera maintenu, à travers le romantisme, chez certains peintres qui, comme Vassili Kandinsky, attribueront à chaque couleur une vie propre qui la rend active (jaune), passive (bleu), etc. (on dit également que Kandinsky aurait été influencé par la théorie schopenhauerienne des couleurs). Nous sommes ici très proches des visions médiévales. Et Goethe y ajoute une critique de la science expérimentale, incapable selon lui de percevoir les secrets de la nature. Lesquels sont pourtant des mystères au grand jour, pour qui sait les percevoir de manière esthétique, affirme-t-il.

Selon Goethe, ce qui est déterminant pour la couleur, ce sont les bords qui la terminent, exactement comme l'œil, face à une couleur, produit sa teinte complémentaire. Le fond de la théorie de Goethe, ainsi, est aristotélicien, agrémenté de notations originales empruntées à la technique des peintres, à l'observation de la nature, ainsi qu'à de fort approximatives expériences.

Dans son *Esquisse d'une théorie des couleurs* (1956¹⁴⁴), Paul Klee explique encore qu'entre deux couleurs complémentaires se trouve le gris.

Dans la *Théorie des couleurs*, l'assurance et, pour tout dire, la fatuité de Goethe sont un trait de l'époque romantique. Il parlera plusieurs fois de sa théorie des couleurs comme de son œuvre principale ; celle à laquelle il aura consacré le plus de temps. Mais Goethe, souligne un commentateur, "s'est laissé entraîner par le désir beaucoup trop naturel de paraître un homme universel"¹⁴⁵. Ses affirmations ne se fondent scientifiquement que sur des expériences souvent malheureuses. Celle-ci, particulièrement, qui devait décider ses efforts : voulant vérifier la conception newtonienne, Goethe se mit à regarder un mur blanc à travers un prisme, pour constater que le mur paraissait toujours blanc, sauf en une partie plus sombre où se montrait une coloration plus ou moins distincte. Goethe, "d'instinct", en conclut que la théorie newtonienne est fautive : la couleur ne relève pas d'une décomposition ; ignorant ou ne voulant pas savoir qu'un mur blanc est vu blanc à travers un prisme parce que chaque point du mur fournissant un spectre, ceux-ci

contra Newton, Cambridge University Press, 1988.

¹⁴⁴ in *Théorie de l'art moderne*, trad. fr. Paris, Denoël, 1985.

¹⁴⁵ Voir E. Faivre *Œuvres scientifiques de Goethe analysées et appréciées*, Paris, Hachette, 1862, p. 181.

se recouvrent, donnant une image blanche, sauf sur les bords où ils ne se recouvrent pas entièrement.

Dans l'*Encyclopédie des sciences philosophiques* (1818, Philosophie de la nature, 2^o Section, § 320¹⁴⁶), Hegel reprend cette expérience. Il n'a pas de mots assez forts pour critiquer la théorie newtonienne et pour louer celle de Goethe. Il traite de "galimatias métaphysique" les découvertes de Malus sur la polarisation (voir ci-après), de sorte que l'expression fait défaut pour qualifier ses propres développements sur la nature des couleurs ; qui ne comptent pas parmi ce que Hegel a écrit de mieux.

Identification de la lumière à l'esprit.

Goethe fait de la lumière un principe d'égale dignité à l'esprit. Pour lui, la lumière est incolore par essence et elle rencontre son autre obscur dans la nature. De cette rencontre naissent les couleurs. Goethe retrouve certaines idées de Plotin sur la nature "avide de voir" ; sur l'œil semblable au soleil¹⁴⁷. Il retrouve également le sens de l'assimilation de la lumière, par la philosophie de la Renaissance, au principe de mouvement et de vie qui anime les vivants, ainsi qu'à un principe de connaissance dans les substances connaissantes. L'œil doit ainsi son existence même à la lumière. Dans la lumière, la vue rejoint le principe de l'être. De sorte que c'est bien improprement que l'on qualifie couramment la démarche goethéenne de "phénoménologique". Goethe, précisément, étudie l'esprit à travers la couleur et non l'inverse. La dernière partie de la *Théorie* porte sur les effets moraux et expressifs des couleurs (elle aura une influence notable sur les théoriciens du Bauhaus¹⁴⁸).

Et c'est tout aussi improprement qu'on situe généralement dans la continuité directe de la *Théorie des couleurs* un texte de Schopenhauer *Sur la vue et les couleurs* (1816¹⁴⁹). Certes, c'est Goethe lui-même qui invita Schopenhauer à étudier sa théorie - ce dernier paraissant en avoir attendu une publicité que Goethe, finalement, lui refusa. Il faut dire que les conclusions de Schopenhauer étaient tout autres que les siennes. Schopenhauer, en effet, en arrive à une théorie purement physiologique des couleurs. Et l'on rapporte qu'expliquant à Goethe que le monde sensible est notre représentation - que la lumière, en

¹⁴⁶ trad. fr. Paris, Vrin, 1970.

¹⁴⁷ Voir F. Heinemann « La phénoménologie de la nature chez Goethe » *Revue philosophique* CXIX n° 1&2, 1935.

¹⁴⁸ Voir M. Brusatin *op. cit.*, p. 73.

¹⁴⁹ in *Textes sur la vue et les couleurs*, trad. fr. Paris, Vrin, 1986.

d'autres termes, ne serait pas si nous ne la voyions pas - Goethe le fixa de ses gros yeux jupitériens et dit : "non, *vous* ne seriez pas, si la lumière ne *vous* voyait pas".

*

Schopenhauer.

Schopenhauer se réclame de Kant ("nous ne connaissons pas les choses telles qu'elles peuvent être en elles-mêmes mais seulement à titre de phénomènes", écrit-il) et de Buffon. Lequel défendait l'optique de Newton, tout en s'intéressant aux couleurs "accidentelles" créées par le seul organe visuel (*Observations sur les couleurs accidentelles et sur les ombres colorées*, 1743¹⁵⁰).

Le nerf auditif, écrit Schopenhauer, pourrait tout aussi bien voir que le nerf optique entendre dès lors qu'on intervertirait l'emplacement de leurs appareils externes respectifs. Car dans tous les cas, la modification que les sens reçoivent d'une telle impression n'est pas encore une intuition mais seulement la matière que l'entendement transforme en intuition.

Les premiers daguerréotypes fournirent à Schopenhauer le modèle d'une lumière "incolore" et lui furent une preuve de la nature subjective des couleurs, lesquelles, selon lui, n'appartiennent aux objets que de façon secondaire et médiate. Clarté, obscurité et couleurs ne sont ainsi, pour Schopenhauer, que diverses modalités de l'activité rétinienne. Laquelle est selon lui toujours "polarisée" (sauf dans le cas du blanc et du noir qui, selon lui, ne sont pas à proprement parler des couleurs). Ce qui signifie que, dans la perception d'une couleur, une partie de la rétine est active et l'autre, inactive, apporte ce pôle obscur, le *skérion*, qui faisait, selon Goethe, les couleurs mais que celui-ci prenait pour une donnée objective, appartenant aux choses - ce que Schopenhauer, d'ailleurs, n'évite pas totalement.

Ce qui, selon lui, provoque l'activité colorante de la rétine c'est la turbidité des milieux que la lumière traverse : une lumière obscurcie excite le jaune dans l'œil ; une obscurité éclairée le bleu, etc. Les couleurs ne sont donc pas créées comme chez Grimaldi mais provoquées par la réfraction de la lumière. Ainsi, la cause de la clarté colorée véhicule également son complément obscur.

L'optique physiologique.

Ainsi, Newton et Goethe ont, chacun à leur façon, objectivé ce qui est subjectif, souligne Schopenhauer. Ils ont tous les deux cherché dans la lumière ce qu'il fallait chercher dans l'œil. Schopenhauer fonde l'optique physiologique¹⁵¹. Plus tard, il accusera Hermann von Helmholtz de l'avoir plagié dans son *Optique physiologique* (1856¹⁵²).

Helmholtz, pourtant, reprend non pas la théorie schopenhauerienne de l'activité rétinienne mais celle de Thomas Young (1773-1829), lequel avait remarqué qu'une même couleur peut être perçue par l'œil recevant des faisceaux lumineux de composition très diverse. Il en conclura que la couleur n'est pas une entité physique que l'on peut mesurer en soi. Qu'elle ne relève pas seulement, en d'autres termes, de la nature du rayon lumineux et de son effet sur l'œil mais également de la structure de la rétine. Ses expériences conduisirent ainsi Young à émettre l'idée qu'il existe trois espèces de récepteurs dans la rétine. Le physiologiste Ewald Hering suggéra que la vision des couleurs repose sur une opposition perceptive entre d'une part le rouge et le vert, ainsi qu'entre le jaune et le bleu d'autre part. La perception du rouge en un point, ainsi, empêche celle du vert et réciproquement, *idem* pour le jaune et le bleu. Nous pouvons donc percevoir un vert-bleu (le turquoise ou le cyan) mais non un rouge verdâtre ou un vert rougeâtre.

La couleur ne relève définitivement plus simplement de la lumière mais de sa perception. Il n'est donc même pas exact de parler de vision des couleurs. Il faudrait parler de vision colorante, car c'est le processus visuel qui engendre la couleur. Tout au plus convient-il de distinguer les couleurs que Gaston Bachelard nomme "intelligibles", celles auxquelles, comme le découvrit Newton, est associée une bande spectrale particulière (et qui n'ont pas leur place dans l'approche trop unilatérale de Schopenhauer), des couleurs "sensibles", dont l'organisation relève de la structure de l'œil (*Le rationalisme appliqué*, 1949, pp. 113-118¹⁵³).

*

¹⁵⁰ in *Un autre Buffon*, Paris, Hermann, 1977.

¹⁵¹ Voir M. Elie *op. cit.* (Annexe : Goethe, Schopenhauer et l'optique physiologique).

¹⁵² trad. fr. Paris, Gabay, 1989.

¹⁵³ Paris, PUF, 1986.

Wittgenstein. La couleur n'est pas sensible.

Toutefois, l'approche physiologique accorde encore une objectivité extérieure aux couleurs sensibles, que Ludwig Wittgenstein s'attachera à leur ôter tout à fait (*Remarques sur les couleurs*, 1950¹⁵⁴).

Pour l'œil, il n'y a, souligne Wittgenstein, nul critère objectif de ce qu'est une couleur particulière ; rien notamment pour savoir si les autres la perçoivent de la même manière. Il n'y a "aucun critère reconnu de ce qui est une couleur, si ce n'est que c'est une de nos couleurs", écrit Wittgenstein. C'est que seul un jeu de langage décide a priori de nos couleurs. S'il est difficile de parler de "l'ardeur" d'un brun ou d'un gris, tout de même que dans le drapeau tricolore, le blanc ne peut pas être plus sombre que les deux autres couleurs, cela est commandé par le "langage" des couleurs, par leur syntaxe et non par leur perception.

Chacun peut bien viser des choses différentes sous le même nom de couleur. Cela, souligne Wittgenstein, altère pourtant à peine notre compréhension mutuelle des couleurs. Car celles-ci ne sont pas des choses possédant des propriétés déterminées et c'est pourquoi on ne peut se représenter ni même imaginer des couleurs que nous ne connaîtrions pas. Que l'on ne puisse se représenter un gris incandescent ou un vert rougeâtre, en effet, ne relève ni de la physique ni de la psychologie des couleurs mais des possibilités offertes par un jeu de langage ; entre le vert et le rouge est un vide "géométrique", syntaxique et non pas physique.

Une grammaire du chatolement.

Wittgenstein entend montrer que les couleurs se fondent sur une grammaire du chatolement et non sur un référent sensible, comme si les couleurs étaient trouvées dans le monde. Nous rencontrons seulement des effets de lumières qu'un jeu de langage organise en couleurs. Ce jeu définit la place du rouge mais quant à ce rouge lui-même *il n'y a guère de sens à demander si nous voyons tous le même car, de fait, nous ne voyons pas le rouge.*

Bernhard Bolzano soutenait déjà que les couleurs relèvent de concepts déterminant a priori les rapports entre nos sensations, sans être déduits de ces dernières. Le rouge ainsi, selon Bolzano, est le concept d'une loi selon laquelle notre perception subit l'action de

certaines objets. Le "rouge" ne fait donc pas l'objet d'une intuition. Un élément intuitif est seulement susceptible de se ranger sous le concept de "rouge"¹⁵⁵.

"Que notre langue soit réglée, cela contraint notre vie", écrit Wittgenstein. Toute représentation n'a lieu que par rapport à un système approprié et l'élément déterminant est l'existence ou non d'un tel système¹⁵⁶. Une tribu de Nouvelle-Guinée ne distinguera tout simplement pas le vert et le bleu, qu'elle nommera du même mot. C'est le jeu de langage, avec ses termes de couleur, qui détermine la "nature" des couleurs en déterminant notre concept de la couleur et non l'inverse : sur une photographie en noir et blanc, je vois un homme aux cheveux sombres et un enfant aux cheveux blonds... Différentes sensations lumineuses, en d'autres termes, sont interprétées et réparties selon des catégories dont la segmentation et la logique sont propres à un langage particulier.

De fait, notre perception des couleurs se fonde sur une addition trichromatique ; c'est-à-dire sur la combinaison de trois couleurs primaires, *dont le choix peut être tout à fait arbitraire*. Toute couleur peut être représentée comme un point dans un espace à trois dimensions lui associant trois variables ; lesquelles sont, par exemple, pour le réglage d'un écran TV, la luminance (brillance ou intensité lumineuse), la chrominance (sensation colorée dominante) et la saturation (pureté spectrale).

C'est ainsi qu'un diagramme de chromaticité a pu être adopté internationalement en 1931, qui associe deux variables (la chrominance et la saturation).

Les couleurs sont des effets de lumière dont la perception est organisée d'abord par notre langage. Mais alors qu'est-ce que la lumière ? Reprenons à présent l'histoire de sa découverte.

* *

C) La fin de l'Ether

2. 4. 12.

¹⁵⁴ trad. fr. Mauvezin, Trans-Europ-Repress, 1984.

¹⁵⁵ Voir J. Laz *Bolzano critique de Kant*, Paris, Vrin, 1993, p. 160.

¹⁵⁶ Voir J. Bouveresse *Le mythe de l'intériorité. Expérience, signification et langage privé chez Wittgenstein*, Paris, Minuit, 1987, p. 259 et sq.

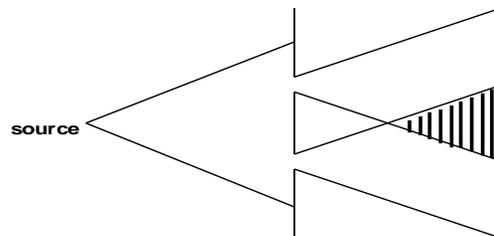
Au début du XIX^e siècle, les deux conceptions corpusculaire et ondulatoire de la lumière s'affrontaient. Mais l'une et l'autre postulaient l'existence d'un Ether, sorte de fluide vibratoire pénétrant tout. La lumière, quelle que soit sa nature s'y propageait, concevait-on, facilement. Beaucoup plus vite que le son en tout cas, car la densité de l'Ether était beaucoup plus faible que celle de l'air et son élasticité beaucoup plus forte.

La théorie corpusculaire apportait toutes sortes de difficultés. Elle rendait notamment nécessaire l'existence de pores dans les milieux transparents, pour laisser passer la lumière - Newton calculait ainsi que le verre doit comprendre soixante-trois fois plus de vide que de parties solides. Les corps sont si poreux, pour Newton, qu'on n'est point assuré qu'il y ait un pouce cubique de matière solide dans l'univers ! écrivait Voltaire, pourtant newtonien convaincu (*Lettres philosophiques*, 1734, XVI^e lettre). De plus, dans l'Ether qui les véhiculait, les mouvements des particules risquaient de se contrarier.

La théorie corpusculaire, néanmoins, permettait de rendre compte du fait de la propagation de la lumière en ligne droite dans un milieu d'indice constant. Quand les ondes, elles, ont tendance à s'épanouir en se propageant. Ce qui représentait la principale difficulté du modèle ondulatoire.

Faveur de la théorie ondulatoire au XIX^e siècle. L'expérience des fentes de Young.

Au XIX^e siècle, plusieurs expériences tranchèrent le débat en faveur de la théorie ondulatoire. En 1801, Thomas Young réalisa la fameuse expérience dite "des fentes de Young" :



Un faisceau lumineux passe par deux fentes très fines et proches. Il se divise alors en deux faisceaux qui sont en forme de cônes divergents en raison de la diffraction produite par la finesse des trous. Mais, dans une zone commune, un phénomène d'interférence se produit : des bandes rectilignes, alternativement claires et noires, apparaissent. Elles disparaissent si l'une des deux fentes est bouchée.

Grimaldi, déjà, avait observé un phénomène analogue : *de la lumière ajoutée à de la lumière peut produire de l'obscurité*. Ce que Young expliqua en faisant intervenir la notion de longueur d'onde, c'est-à-dire de périodicité dans le comportement de la lumière : si une interférence se produit, c'est-à-dire si les ondes se contrarient, la lumière est annulée.

La granularité laser ou "*speckle*" est une autre illustration de l'addition paradoxale de la lumière : si on éclaire une surface diffusante, comme une feuille de papier blanc, par un faisceau laser, on observe une granulation à la surface du papier. Mais l'illustration sans doute la plus spectaculaire du phénomène d'interférence est l'holographie.

Les conceptions de Young heurtaient par trop la théorie newtonienne et la communauté scientifique se déchaîna contre lui¹⁵⁷. Augustin Fresnel, néanmoins, retrouva bientôt ses conclusions.

Fresnel.

Fresnel réalisa un effort de synthèse sans précédent en optique et, vers 1820, expliqua tous les phénomènes lumineux par le principe selon lequel la lumière est une vibration générale de l'Ether produite par les oscillations régulières des molécules d'une source¹⁵⁸. La nature vibratoire de la lumière se réduisait déjà pour Huygens à la propagation d'un front d'onde. Fresnel y ajouta la notion de périodicité.

Fresnel parvint à convaincre la communauté scientifique avec la réalisation de l'expérience dite "expérience de Fizeau" (Hippolyte Fizeau, 1819-1896), comparant la vitesse de la lumière dans l'air et dans l'eau (1851). Les théories corpusculaires prévoyaient une accélération de cette vitesse à l'entrée d'un milieu plus réfringent. Les théories ondulatoires prévoyaient un ralentissement, ce qui fut démontré.

Dans le modèle newtonien, en effet, les corpuscules lumineux subissent, lors de leur arrivée sur une surface de séparation réfringente, une accélération due à la force d'attraction des atomes du corps réfringent. L'accélération est d'autant plus forte que le milieu est dense et la vitesse de la lumière doit donc augmenter en passant de l'air à l'eau. Cette conclusion était radicalement opposée à celle de Descartes, pour lequel le passage à un milieu plus dense ne pouvait que ralentir la transmission de l'influx lumineux.

¹⁵⁷ Voir J. Worrall *Tomas Young and the "refutation" of newtonian Optics: a case-study in the interaction of philosophy of science and history of science* in C. Howson (ed) *Method and appraisal in the physical sciences*, Cambridge University Press, 1976.

Le modèle ondulatoire devient général en physique.

Dès lors, le modèle ondulatoire devint le principal instrument du réductionnisme en physique. On tenta de ramener tout phénomène aux ondes ; la chaleur, ainsi, identifiée à l'époque au "calorique", c'est-à-dire à un fluide capable de se loger dans les interstices des solides (voir 2. 2. 24.). Macedonio Melloni, surnommé "le Newton de la chaleur", en rapprochait la nature de celle de la lumière et du son. Il parlait des "rayons" du calorique et tentait de les capturer à travers la mise au point de prismes et de lentilles *ad hoc* (*La Thermochrôse ou la Coloration calorique*, 1850¹⁵⁹).

*

L'Ether, encore et toujours...

L'Ether de Fresnel avait perdu les propriétés mécaniques que Newton lui avait conférées. Il n'offrait plus de résistance.

Ce qui n'empêchait pas Fresnel - qui soulignait que l'élasticité de l'Ether est la même en tous sens - de prêter à celui-ci une rigidité plus élevée que celle des milieux les plus résistants et même théoriquement infinie. C'est que les phénomènes de polarisation, mis en évidence par Etienne-Louis Malus (*Théorie de la double réfraction de la lumière dans les substances cristallines*, 1810¹⁶⁰) demeuraient rebelles aux explications de Fresnel, qui était obligé de reprendre à leur propos la théorie des vibrations transversales de Hooke¹⁶¹.

Ce qui demeurait de l'Ether de Newton était l'idée qu'il supportait tant les phénomènes lumineux que ceux de l'électricité et du magnétisme. Avec Michael Faraday (1791-1867), de substance vibrante, l'Ether devint ainsi particulièrement le support de "milieux diélectriques", capables d'être modifiés et polarisés sous l'action de sources extérieures et de réagir à leur tour sur l'interaction des charges. L'Ether tendit à devenir le support de *champs*, c'est-à-dire de l'action spécifique qui prend naissance entre charges électriques.

¹⁵⁸ Voir J & V. Rosmorduc & F. Dutour *Les révolutions de l'optique et l'œuvre de Fresnel*, Paris, Vuibert-Adapt, 2004.

¹⁵⁹ Naples, Impr. J. Baron, 1850.

¹⁶⁰ Paris, Garnery, 1810.

¹⁶¹ Voir J. Rosmorduc « Le débat sur la transversalité des vibrations lumineuses au début du XIX^e siècle » *Fundamenta Scientiae* n° 56, 1976.

La notion de champ

L'idée de champ : l'espace n'est pas indifférent aux choses qui l'occupent.

En physique, un champ est une région de l'espace qui contient une puissance d'action. C'est-à-dire un périmètre où l'introduction d'un corps induit un mouvement, révélant que cet espace n'était pas inerte. Analogie à un fluide qui remplirait l'espace, la valeur du champ est mesurable en chacun de ses points. L'idée de champ, en d'autres termes, remet en cause l'idée selon laquelle l'espace serait indifférent aux choses. Dans un champ, les propriétés deviennent premières par rapport à leurs substrats, les interactions par rapport à leurs supports.

Le monde newtonien, nous l'avons dit, était essentiellement composé de vide. La matière s'y entendait d'un nombre infini de particules (selon le modèle atomiste de Boyle, voir 2. 1. 13.), séparées les unes des autres et transportées dans l'espace infini et homogène. L'attraction, ainsi, ne pouvait être qu'une action à distance entre les corps. Quoique cette idée, nous le verrons, soit difficilement compréhensible, elle jetait un pont entre la discontinuité de la matière et la continuité de l'espace¹⁶².

Oersted, Faraday et Maxwell.

Dans la physique newtonienne, toute force agissait en ligne droite. Mais ceci rendait difficilement compte de certains phénomènes. En 1820, Christian Oersted observa qu'une aiguille aimantée placée dans le même plan qu'un fil disposé en cercle, au centre du cercle, subit une rotation lorsque l'on fait passer un courant électrique dans le fil. Il y avait là un phénomène de champ, rebelle aux forces newtoniennes¹⁶³. On tenta, néanmoins, de manière improbable, d'expliquer cette rotation par l'action de deux forces agissant dans des directions opposées sur les extrémités de l'aiguille. Mais d'où pouvaient être issues ces deux forces ?

Michael Faraday proposa alors un nouveau modèle, où un réseau de lignes de force courbes reliait les corps entre eux. L'espace était ainsi modifié localement tout autour d'un objet, définissant un champ caractérisé en chaque point par la tangente à la ligne de force qui passe en ce point (c'est selon cette tangente que s'aligne l'aiguille aimantée placée en ce point).

La physique du champ donne une description différentielle de l'espace. Les valeurs d'une grandeur physique donnée y dépendent des valeurs en un point immédiatement voisin. On ne parlera donc plus d'action à distance. L'interaction entre deux corps ne naît pas brutalement quand ils sont mis en présence l'un de l'autre. Elle préexiste potentiellement dans tout l'espace qui environne chaque corps, dont le second, dit "corps d'épreuve", révèle la force. Faraday réintroduisit ainsi la continuité dans la matière et fit de la force - jusque-là principe immatériel,

¹⁶² Voir A. Koyré *Etudes newtoniennes*, Paris, Gallimard, 1968, pp. 34-35.

¹⁶³ Voir E. Bauer *L'électromagnétisme hier et aujourd'hui*, Paris, A. Michel, 1949, p. 70 et sq.

impondérable - un effet quantifiable. Après lui, James Clerk Maxwell élaborera les équations de champ, permettant de définir mathématiquement sa structure et de prévoir la propagation de ses effets de proche en proche. Il réduira la lumière à un champ électromagnétique, susceptible ainsi d'exercer une force sur des particules ou des courants électriques.

*

Ontologie du champ.

Particules et champs se rattachent à deux ontologies distinctes, note Jean Largeault (*Espace et matière*, 1982¹⁶⁴). Celle des atomes localisés et celle du continu, susceptible de changement d'états et qui ne fournit pas de base à une localisation d'individus. Deux objets n'occupent jamais la même région au même moment. Des champs différents, en revanche, peuvent se superposer et remplir le même domaine. Ils s'apparentent à des attributs plutôt qu'à des substances. Mais c'est au fond que la notion de substance ne peut guère être réalisée pour des corpuscules élémentaires, note Louis de Broglie. Une entité totalement indépendante ne subirait aucune action et ne pourrait en exercer aucune. Dès lors, s'il faut penser des interactions physiques, force est d'aboutir à un compromis entre individualité et continuité : ainsi, dans la physique classique, la notion d'énergie potentielle d'interaction entre particules (*Individualité et interaction dans le monde physique*, 1927¹⁶⁵).

L'ontologie atomiste, poursuit J. Largeault, correspond à notre langue, qui découpe la nature en choses et propriétés et à notre logique ensembliste (où un modèle se définit comme un ensemble d'individus muni de relations). Le point de vue du plein nous est moins familier. Longtemps, ainsi, l'idée de champ fut comprise en termes purement mécaniques à l'aide de l'Ether, peut-on noter¹⁶⁶.

Maxwell. La lumière ramenée à l'électro-magnétisme.

Avec James Clerk Maxwell, l'Ether possédera une énergie, des tensions, des quantités de mouvement qui peuvent s'exprimer en fonctions des champs électriques et magnétiques qui l'occupent. Et dans la mesure où un champ rassemble des forces dont la donnée permet de connaître en chaque point non seulement ce qui se produit mais aussi l'action qui pourrait s'y produire, l'Ether sera conçu comme un réceptacle d'énergie

¹⁶⁴ *Archives de philosophie* 45, 1982, pp. 411-424.

¹⁶⁵ *Revue de Métaphysique et de Morale* T. XLIX n°2, 1927.

¹⁶⁶ Voir A. Einstein & L. Infeld *L'évolution des idées en physique*, 1936, trad. fr. Paris, Champs Flammarion, 1983, p. 141 et sq.

susceptible de l'emmagasiner sous forme *potentielle* (*Traité d'électricité et de magnétisme*, 1887. Voir en particulier II, §§ 856-866¹⁶⁷).

Maxwell pose que le mouvement d'une charge produit un champ électrique et un champ magnétique perpendiculaires l'un à l'autre et à la direction de propagation. Le rapport entre une unité électromagnétique de courant et les unités électrostatiques est égal à la vitesse de la lumière (ce qui avait été vérifié en 1855). *Maxwell en conclut l'identité des vibrations lumineuses et électromagnétiques, dont un même milieu permet la propagation.* La confirmation en sera donnée par Heinrich Hertz, développant un dispositif lui permettant de générer des ondes électromagnétiques dont il mesura qu'elles se propageaient à la même vitesse que la lumière.

Maxwell semble avoir encore voulu unifier l'électromagnétisme et la gravitation à travers l'éther.

La lumière n'est plus un phénomène en soi.

Ainsi, la lumière avait-elle été suffisamment réduite pour perdre toute spécificité. De fait, il n'y a rien de défini en soi qu'on puisse nommer "lumière". Le monde physique est parcouru de radiations, dont certaines seulement, quand elles rencontrent l'œil, provoquent la formation de fantômes colorés et lumineux. La lumière ne renvoie qu'à la sensation, dans une bande étroite d'ondes comprises entre 0,4 et 0,7 μ ¹⁶⁸.

Et parce qu'un objet n'est jamais visible aux yeux d'un observateur que parce qu'il diffuse la lumière incidente, il est tout à fait imaginable que l'on puisse recouvrir cet objet d'une cape spéciale le rendant invisible – l'homme invisible pourrait bien être rendu possible. Une méthode d'invisibilité est notamment celle qui permet aux bombardiers furtifs de se dérober aux radars : l'avion est revêtu d'un matériau spécial qui absorbe les ondes radio et il est très plat, de façon à réfléchir le moins possible les ondes dans la direction du radar (sauf si ce dernier est situé à son aplomb). Ainsi la signature radar du F22 *Raptor* américain équivaldrait à celui d'une libellule. Plus récemment, ont été conçues des structures artificielles dotées de propriétés électromagnétiques inhabituelles ou « métamatériaux » qui sont des capes d'invisibilité aux micro-ondes.

¹⁶⁷ trad. fr. Paris, Gabay, 1989.

¹⁶⁸ NB : la longueur d'onde de la lumière (exprimée en unités de longueur) change avec le milieu traversé, alors que sa fréquence (exprimée en Hz) est invariable et caractérise bien sa couleur intrinsèque.

En 1895, Wilhelm Röntgen découvrit les rayons X. Une lumière invisible ! A partir de là, l'histoire de la lumière se confond entièrement avec celle de la matière. Mais il restait l'Ether...

*

L'Ether, suite et fin. L'un des plus étonnants concepts de l'histoire des idées.

Nous n'avons cessé de rencontrer ce milieu de propagation des rayons lumineux, qui servait également à rendre compte de l'attraction et d'autres phénomènes encore. L'Ether est sans doute l'un des plus fascinants concepts de toute l'histoire de la pensée. On y a cru pendant des siècles et pourtant, nous l'avons souligné, c'était une notion parfaitement contradictoire, ayant pour rôle tout à la fois de transporter les vibrations lumineuses, ce qui supposait une densité très grande, tout en étant impalpable et ne gênant en rien les corps qui, comme les planètes, se déplaçaient en lui et dont il occupait les moindres interstices.

On résolvait parfois cette contradiction en supposant l'Ether fait de différents milieux. Mais cela ne pouvait que renforcer son aspect non seulement contradictoire mais même impensable – surtout dès lors que, n'affectant pas les interactions se diffusant à travers lui, l'Ether ne correspondait pas au concept de champ (voir ci-dessus). L'Ether, qui couvrait et investissait chaque corps, était conçu comme le support immatériel d'actions matérielles. C'est ainsi qu'à la fin du XIX^e siècle, l'Ether finira très logiquement par ne plus pouvoir être assimilé qu'à une quatrième dimension (voir 2. 2. 10.).

Pourtant, ce caractère inconcevable de l'Ether n'eut d'égal que la difficulté à en abandonner l'idée.

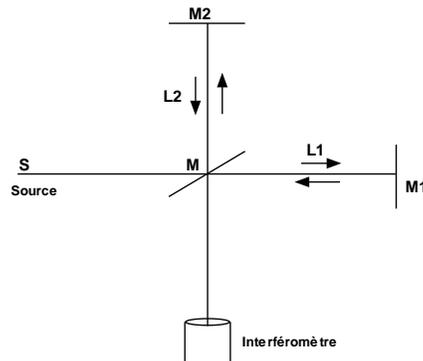
Les expériences de Fizeau, nous l'avons vu, avaient montré que la lumière, lorsqu'elle se propage dans un courant d'eau de même sens qu'elle va un peu plus vite que dans l'eau immobile ; phénomène très analogue à celui qui se manifeste lorsque des ondes sonores sont portées par le vent. Or la lumière, concevait-on, se propageait à une certaine vitesse par rapport à l'Ether et la Terre, elle-même, se déplaçait dans l'Ether à la vitesse de 30 km/s.

L'Ether lui-même devait posséder une certaine vitesse, du fait de son entraînement par la matière en mouvement (effet de "vent d'Ether") ; quoique toutes les expériences qui furent réalisées pour le démontrer - les premières remontaient à François Arago (1786-1853) - furent négatives.

Donc, la vitesse de la lumière mesurée dans la direction du mouvement de la Terre (lorsque nous nous déplaçons en direction de la source de lumière), cette vitesse devait, selon la loi classique d'addition des vitesses, être plus élevée que la vitesse de la lumière perpendiculaire à ce mouvement. C'est ce que les expériences d'Albert Michelson (1881), puis d'A. Michelson et Edward Morley tentèrent de vérifier¹⁶⁹. Ils trouvèrent pourtant des valeurs exactement identiques.

L'expérience de Michelson & Morley.

Le principe des expériences de Michelson & Morley est d'étudier la propagation d'un rayon lumineux scindé (divisé ci-dessous en M par une lame semi-réfléchissante) en deux sous-faisceaux qui parcourent des chemins perpendiculaires avant de se rejoindre et d'interférer dans un même détecteur, permettant de mesurer ainsi une éventuelle différence entre la vitesse de la lumière dans deux directions différentes :



Le premier rayon parcourt le bras L1 de l'appareil orienté suivant la direction du mouvement de la Terre par rapport à l'Ether. Le second rayon se meut suivant le bras L2 perpendiculairement au premier. Une différence de temps de parcours serait détectée par un déplacement des franges d'interférence en M1 et M2.

Michelson et Morley ont refait plusieurs fois leur expérience ; sous terre ; sur une colline. Elle fut encore améliorée par Kennedy (1926), Illingworth (1927), Piccard et Stahel (1928), Joos (1930). On la fit à 1 800 m d'altitude au Mont Wilson (1921 & 1925), puis dans un ballon à 2 500 m (1926). Des variantes en furent imaginées par Trouton et

¹⁶⁹ in *American Journal of Science*, 1887

Noble (1903), Trouton et Rankine (1908), Chase (1927), Tomaschek (1927). Puis on la fit avec des ondes courtes radio (pour la dernière fois en 1958). En vain !

Était-ce la fin de cet étrange milieu existant partout sans affecter les corps ? Nullement. Pour sauver les phénomènes, Hendrik Lorentz admit qu'un effet de contraction des longueurs dans le sens du mouvement de la Terre expliquait les résultats des expériences (1903). Solution quelque peu rapportée mais heureuse. Pour Lorentz, tout corps subissait un raccourcissement dans le sens de son déplacement proportionnel à $v\sqrt{1-v^2/c^2}$; soit le facteur qu'il introduisit dans sa fameuse transformation et qui sera comme la cellule-mère de la Relativité einsteinienne.

C'est Henri Poincaré qui, le premier, interpréta l'expérience de Michelson et Morley comme signifiant l'absence de tout repère absolu ; forgeant le terme de relativité et en déterminant les premiers fondements (*La science et l'hypothèse*, 1902, chap. VI¹⁷⁰). L'histoire des sciences, en effet, ne reconnaît plus Einstein comme seul père de la Relativité¹⁷¹.

Dans le même ouvrage, Poincaré écrivait qu'il importe peu que l'Ether existe réellement ou non, car tout se passe comme s'il existait et c'est une hypothèse commode pour expliquer les phénomènes. De là, ajoutait-il, le jour où l'explication pourra se passer de lui, il sera rejeté comme inutile (chap. XII).

L'effet de contraction, cependant, devait pouvoir être mesuré. Or, une fois encore, les expériences furent toutes négatives (Rayleigh, 1902 ; Brace, 1904 ; Trouton et Rankin, 1908 ; Wood, Tomlinson et Essen, 1937). Alors, on imagina que si la présence de vent d'Ether était voilée par le phénomène de la contraction, celui-ci, à son tour, devait être dissimulé par un autre phénomène : la variation de la masse avec la vitesse. *L'Ether, décidément, était irremplaçable ! C'est que vis-à-vis d'une matière pensée comme discontinue, il avait pour fonction d'assurer la continuité de ses effets dans l'espace ; le vide ne pouvant véhiculer l'interaction des corps. Certes, l'Ether était difficilement concevable mais plus encore l'action à distance des corps qu'il aurait fallu penser sans lui.* Là, en effet, était le nœud du problème. La matière renvoyait à une réalité corpusculaire, c'est-à-dire ponctuelle, dense et isolée, distincte des forces dont elle était le

¹⁷⁰ Paris, Champs Flammarion, 1968.

support. Nous l'avons dit, la première définition de la réalité est l'atome, le grain (voir 2. 1.).

C'est pourquoi l'apparition du concept de champ ne changea presque rien à l'idée d'Ether. Maxwell fit simplement de l'Ether le support de l'énergie émanant des corps. L'idée de substance matérielle, ainsi, était maintenue. A la source de l'énergie était une masse ponctuelle vibrante ; toute matière pouvant être définie par une fréquence. Etre, dans la physique de la fin du XIX^e siècle, c'était vibrer. *Mais ce rythme diffusé de proche en proche par l'Ether n'était pas la matière ; seulement l'effet de l'existence d'entités corpusculaires.* Tant que la réalité renvoyait à l'existence de grains de matière, il fallait l'Ether pour rendre possible leur interaction. L'Ether était difficilement compréhensible mais son absence aurait créé une réalité plus impensable encore. Posé comme un axiome, l'Ether n'était guère susceptible de réfutation. Certes, que toutes les expériences menées pour en cerner la réalité fussent négatives était fâcheux mais ne suffisait pas à en précipiter l'abandon. Car que poser d'autre ?

Il arriva simplement qu'un jour l'Ether parut assez inutile. Alors, on apprit très vite à se passer de lui. C'est que la conception même de la matière avait changé. Force et matière avaient été identifiées.

*

* *

¹⁷¹ Voir E. T. Whittaker *A History of the Theories of Aether and Electricity* (1951, New York, Dover Publ., 1989) ou J-P. Auffray *Einstein et Poincaré. Sur les traces de la relativité*, Paris, Le Pommier, 1999.

III - La matière élémentaire

2. 4. 13.

Au bout du réductionnisme scientifique, les phénomènes particuliers, comme les couleurs, la lumière même, sont ramenés à des réalités beaucoup plus générales. La matière est le principe même de cette réduction au général. Elle est un principe d'élémentarité et sa définition scientifique la plus commune la donne comme ce qui se conserve en deçà de toute transformation.

Longtemps, la matière fut ainsi identifiée à la masse. Puis ce fut l'énergie, dont on posa pour principe la conservation totale. Puis l'une et l'autre furent identifiées. L'élémentarité fut alors pensée comme reposant sur des forces - où plutôt des interactions - définissant des champs, au sein desquels la matière "solide" représente comme autant de grains d'intensité.

A ce stade, nous avons sondé la matière jusqu'à une dimension de 10^{-18} mètre. Nous avons trouvé des entités discrètes - et à ce jour irréductibles - en nombre sans doute plus élevé que prévu mais limité (les quarks up et down, l'électron, les neutrinos). Trois des quatre interactions fondamentales ont été unifiées, tandis que la gravitation est toujours irréductible. Elle traduit une élémentarité irrémédiable : celle liée aux masses singulières des corps physiques, c'est-à-dire finalement leur fractionnement en entités discrètes.

Dans sa discontinuité, notre monde paraît toujours contingent. Il n'est pas ce monde plein qu'anime des vibrations, que pensait Descartes. Ses masses lui donnent une configuration exclusive, ainsi qu'une évolution, un destin.

Nous examinerons tout ceci à travers trois thèmes : A) masse et énergie ; B) l'attraction universelle et C) un monde d'interactions.

A) Masse et énergie

Une métaphysique de la constance.

L'idée de "réalité" renvoie à une métaphysique de la *substance* (voir 2. 1. 19.). En regard, le concept de matière relève d'une métaphysique de la *constance*. Est matière ce qui, dans le monde, se maintient identique à travers tous les changements. Au Moyen Age, c'était la Quantité, conçue comme une réalité en soi, une Substance, qui se maintenait derrière les changements. Thomas d'Aquin rendait ainsi compte du miracle de la transsubstantiation (voir 3. 3. 8.). On en vint donc à parler de "quantité de matière" dès la fin du XIII^e siècle et l'on commença à lui donner une dimension véritablement quantitative en admettant que la matière pouvait changer en quantité - ainsi dans les phénomènes de condensation ou de raréfaction.

Parmi les phénomènes qui invitaient à se pencher sur la conservation d'effets physiques, il y avait les "conversions" : d'un phénomène chimique en électrique, avec la pile de Volta (1800), ou de la chaleur en mouvement dans les machines en vapeur. Et, avant cela, il y avait eu le phlogistique au XVIII^e siècle.

Le phlogistique

Georg-Ernst Stahl fut le premier à parler d'une substance, le phlogistique, contenue dans tout ce qui brûle et que rendent les corps en brûlant (du grec *phlogiston* : brûlé). On concevait que lorsque l'air était saturé de phlogistique, la combustion cessait, ce qui expliquait qu'une bougie allumée enfermée dans un récipient clos finissait par s'éteindre. Isolant l'oxygène, Joseph Priestley nommera ce gaz "air déphlogistiqué", pour souligner que s'il entretient si bien la combustion, c'est sans doute parce qu'il contient moins de phlogistique que l'air atmosphérique.

Cette notion s'imposa dans la chimie française du XVIII^e¹⁷², malgré quelques objections, comme celles de Buffon. Lavoisier jugeait faible le pouvoir explicatif du phlogistique, se ramenant à assurer que les corps combustibles le contiennent parce qu'ils brûlent et qu'ils brûlent parce qu'ils le contiennent. En 1772, en opérant des combustions dans des vases clos, Lavoisier montre que la combustion du soufre, du phosphore et du mercure s'accompagne d'un gain de poids et non d'une perte, comme attendu s'ils perdaient du phlogistique, et que ce gain de poids correspond exactement à la diminution du poids de l'air contenu dans le

¹⁷² Voir R. Rappaport « Rouelle, Stahl: the Phlogistic Revolution in France » *Chymia* 7, 1961, pp. 73-102.

réceptif. Pour sauver la théorie, néanmoins, Friedrich Gren, professeur à Halle, proposera une théorie expliquant que le phlogistique a un poids négatif avant sa libération par combustion...

Lavoisier lui-même ne niera proprement l'existence du phlogistique qu'en 1785. Schelling en défend encore la notion dans *De l'âme du Monde* (1798, p. 46¹⁷³) car, explique-t-il, un corps ne peut se comporter de manière absolument passive lors de la combustion. Il doit y avoir une action réciproque, une force de répulsion, à l'égard de la chaleur.

Finalement, Lavoisier substituera au phlogistique le calorique, qui lui ressemblait beaucoup¹⁷⁴.

Pour la physique classique, la permanence de la matière était celle de la masse (voir ci-après). A la fin du XIX^e siècle, apparut l'idée que ce qui se conserve est plutôt l'énergie¹⁷⁵.

Origine du terme "énergie".

L'emploi du mot "énergie" en ce sens date de cette époque. A l'origine, Aristote avait créé le terme *energeia* ("en action", "en travail"), dans sa *Rhétorique*, pour caractériser la vigueur d'un discours. Aristote emploie également *energeia* (force en action) par opposition à *dynamis* (force en puissance¹⁷⁶) dans sa *Métaphysique*. L'*energeia* est alors la détermination de la matière par la forme. Mais c'est le premier sens qui se transmettra en latin (*energia*), puis en français au XVII^e siècle. On parlait alors de "l'énergie" de la Bible ou du Christ. Au-delà de son sens rhétorique, le terme en était venu en effet à caractériser la manifestation du principe divin. Au XVIII^e siècle, le mot se vulgarisera¹⁷⁷. Sade l'emploie beaucoup et Rousseau lui donne une tournure psychologique, parlant de l'énergie des sentiments.

Il semble que Jean Bernoulli ait été le premier à employer le terme en physique, dans une lettre à Varignon du 26 janvier 1717. En 1802, Thomas Young emploie pour la première fois le mot "energy" pour désigner la force vive (*Lectures on natural and experimental philosophy*¹⁷⁸). Vers la moitié du XIX^e siècle, l'énergie sera ainsi la capacité de travail des

¹⁷³ trad. fr. Paris, Ed. rue d'Ulm, 2007.

¹⁷⁴ Voir R. Locqueneux *Sur la nature du feu aux siècles classiques*, Paris, L'Harmattan, 2014.

¹⁷⁵ Deux brèves et remarquables études peuvent particulièrement servir de guide pour appréhender la conception moderne de l'énergie : R. d'Haëne « La notion scientifique de l'énergie, son origine et ses limites » *Revue de métaphysique et de morale* n°1, 1967, pp. 35-67 et F. Balibar *Einstein 1905. De l'Ether aux quanta*, Paris, PUF, 1992.

¹⁷⁶ Voir D. Lefebvre *Dynamis. Sens et genèse de la notion aristotélicienne de puissance*, Paris, Vrin, 2018.

¹⁷⁷ Voir M. Delon *L'idée d'énergie au tournant des Lumières 1770-1820*, Paris, PUF, 1988.

¹⁷⁸ Nous n'avons pu consulter cette référence.

forces dont la nature est l'immense réservoir. C'est en ce sens qu'Helmholtz l'introduit dans la traduction française de son *Mémoire sur la conservation de la force* (1869).

La conservation de l'énergie. Le premier principe de la thermodynamique.

La notion scientifique de l'énergie est apparue en liaison avec une idée de conservation et c'est Leibniz, peut-être, qui en sera l'initiateur¹⁷⁹. Sachant que d'autres découvreurs peuvent lui être trouvés, comme Joule ou Faraday¹⁸⁰.

*

Ce qui deviendra, à partir de la moitié du XIX^e siècle, le principe de conservation de l'énergie - le premier principe de la thermodynamique - n'a jamais véritablement été formulé en tant que tel. Ses principaux promoteurs, Robert Von Mayer et Hermann Von Helmholtz, parlèrent en effet plutôt d'une conservation de la "force". L'élément décisif, à cet égard, fut la découverte, par Sadi Carnot de ce qui allait devenir le second principe de la thermodynamique : la dégradation de l'énergie (voir 2. 2. 23.). Carnot posait l'*équivalence* entre deux formes d'activité aussi différentes que le travail mécanique et la chaleur. Il y avait là l'idée que tout processus physique est la transformation d'une forme d'énergie en une autre ; la somme totale d'énergie restant constante.

L'énergie cinétique, dès lors, définie par le produit de la masse inertielle et de la vitesse (mv selon Descartes ; mv^2 , selon Leibniz, voir 3. 3. I. 1.), l'énergie cinétique pouvait n'être qu'un cas particulier de l'énergie ; toute forme d'énergie possédant son équivalent mécanique. De là, Robert Von Mayer donnera une première évaluation numérique de cette équivalence, en corrélant arrêt d'un mouvement mécanique et accroissement de la température ambiante : en perdant de la vitesse, un corps dégage de la chaleur (*Bermerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur* Remarques sur les forces de la nature inanimée, 1842¹⁸¹).

¹⁷⁹ Voir D. Mahnke *Le concept scientifique de l'individualité universelle selon Leibniz*, 1924 in *Philosophie* n° 39, septembre 1993, pp. 7-26.

¹⁸⁰ Voir Y. Elkana « The conservation of energy: a case of simultaneous discovery? » *Archives internationales d'Histoire des sciences*, 23, 1970.

¹⁸¹ *Annalen der Chemie*, Heidelberg, 1842.

Mayer passe, en ce sens, pour avoir découvert le principe de la conservation de l'énergie mais, de fait, il ne parla ni d'énergie ni de conservation. Ce qu'il voulait mesurer, c'était la force active dans la nature, dont il posait en principe l'indestructibilité. Cette force était encore pour lui, comme dans la physique classique, un principe impondérable. Helmholtz en fit une action quantifiable (*Mémoire sur la conservation de la force*, 1847¹⁸²).

Par opposition à la "force vive", ou force mécanique en action, Helmholtz définit mathématiquement la *Spannkraft*, ou "force de tension", qui sera traduite en français par "énergie potentielle". Quand on monte un poids, on lui donne de l'énergie potentielle, celle de la pesanteur, qu'on libère en le laissant tomber. Le concept n'était pas inconnu. Leibniz parlait déjà à ce propos de "force morte" et Lazare Carnot de "force vive virtuelle" (*Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement*, 1803¹⁸³). Helmholtz le quantifia et posa que *la somme des forces vives et des forces de tension est toujours constante*. Mais pour Helmholtz, comme pour Mayer, seule la force était constante, dont l'énergie n'était que la manifestation.

Sur l'énergie potentielle, voir 3. 3. I.

Au tournant du XX^e siècle, l'énergie remplace la matière.

Dès lors, puisque ce qui se maintenait véritablement dans le monde était seulement une énergie mesurable, on crut qu'il fallait renoncer au concept de matière¹⁸⁴. Cela, nous l'avons vu, effraya Lénine. Une véritable crise de la physique s'ouvrit de fait au tournant du XX^e siècle et c'était la "réalité" elle-même qui était en crise puisque, à travers la matière, c'était le modèle corpusculaire qui était remis en question.

Les raisons qui poussèrent le physicien Ludwig Boltzmann au suicide ne furent pas étrangères à cette crise. Son œuvre scientifique - et notamment la liaison qu'il établit entre thermodynamique et comportement atomistique de la matière (voir 2. 2. 24.) - peut être lue comme une défense du modèle corpusculaire.

*

¹⁸² trad. fr. Paris, Masson, 1869. Voir B. Pourprix & J. Lubet *L'aube de la physique de l'énergie : Helmholtz, rénovateur de la dynamique*, Paris, Vuibert, 2004.

¹⁸³ Paris, Déterville, 1803.

¹⁸⁴ Voir H. Poincaré *La fin de la matière* in *La science et l'hypothèse*, 1902 (Paris, Flammarion, 1968).

L'énergétisme.

Vers 1895, Wilhelm Ostwald proclamait la faillite définitive du matérialisme, remplacé par "l'énergétisme". Pour lui, le concept d'énergie représentait le seul point de départ possible dans l'investigation de la nature (*L'énergie*, 1910¹⁸⁵). Rejetant à la fois l'atomisme et le mécanisme, il affirmait que toute la physique n'est que la description du comportement de l'énergie (un point de vue qu'en France partagera Pierre Duhem), ou plutôt d'énergies diverses qui se transmutent les unes dans les autres.

Ostwald ramène tout à l'énergie ; mêmes les fonctions de la vie psychique et sociale. Il va jusqu'à parler, en morale, d'un "impératif énergétique". L'énergétisme, ainsi, débouche sur une vision fortement idéologisée de l'histoire et des sociétés ; dans laquelle certains devineront une volonté pangermaniste¹⁸⁶.

On redécouvrit alors l'œuvre du philosophe serbe Rudjer Bosovich, lequel avait déjà pensé une dynamique fort éloignée du mécanisme en concevant les atomes comme de purs centres de force (*Theoria philosophiae naturalis*, Théorie de la philosophie naturelle ramenée à la loi unique des forces existant dans la nature, 1758¹⁸⁷). La philosophie naturelle de Bosovich, beaucoup trop ignorée de nos jours, est plus qu'intéressante. Il s'agit de la première théorie physique relativiste¹⁸⁸.

La très étonnante physique relativiste de Bosovich.

Newton défendait un modèle corpusculaire de particules matérielles homogènes, réduisant la force à un coefficient du mouvement (voir ci-après) et toute transmission de mouvement à l'action réciproque et positive des particules. La réalité première, ainsi, était granulaire et les forces de la nature se ramenaient à l'animation de ces corpuscules. Bosovich renverse ce modèle et lui en substitue un autre, où les forces sont fonction des situations relatives - des distances - entre des atomes ramenés à de simples points géométriques. Si l'on conçoit, en effet, les corpuscules comme matériels, souligne Bosovich, ils ne peuvent échanger leurs vitesses sans enfreindre soit la loi de continuité,

¹⁸⁵ trad. fr. Paris, Alcan, 1912.

¹⁸⁶ Voir V. Delbos *Une théorie allemande de la culture. W. Ostwald et sa philosophie*, Paris, Bloud & Gay, 1916.

¹⁸⁷ Venetiis, 1763. A notre connaissance, il n'en existe pas de traduction française mais anglaise (*A theory of natural philosophy*, Cambridge Mass., MIT Press, 1966) et serbo-croate (Zagreb, Liber, 1974).

¹⁸⁸ Voir D. Nedelkovitch *La philosophie naturelle et relativiste de R. J. Bosovich*, Paris, Ed. de la vie universitaire, 1922.

soit celle de l'impénétrabilité. Il faut donc les supposer immatériels : ils ne peuvent se toucher. Ils sont entièrement déterminés par le jeu des forces attractive et répulsive.

Sur cette force répulsive, voir ci-après.

Ainsi, la masse (la quantité de matière) et l'inertie des corpuscules, pour Boscovich, sont purement relatives et ne leur appartiennent pas en propre. La matière n'est qu'un point d'accroche de forces, en fonction des distances qui lient ce point à tous les autres dans l'univers. La cohésion d'un atome n'est qu'un moment spécial du devenir de la force, de l'arrangement particulier du monde à un instant selon ses mouvements. La force est définie par la relation de distance des corpuscules et ceux-ci ne sont qu'autant de repères du mouvement. *Tout se réduit à des vitesses relatives. La matière n'est qu'une force stable. Elle recouvre tous les creux que créent les forces dans l'espace.*

Les corps possèdent peut-être une force inhérente, une inertie dépendant d'un libre décret de Dieu, comme le supposait Newton. Mais la connaissance de cette force nous échappera toujours, écrit Boscovich. Les atomes sont de pures limites. Ils ne peuvent être en repos absolu. Ils ne sont même pas véritablement ponctuels. Leur cohésion n'est qu'un état-limite défini par l'attraction et la répulsion qui lient toutes choses dans l'univers. L'espace et le temps, ainsi, sont purement relatifs et il n'y a pas besoin d'Ether¹⁸⁹. Une force, en effet, selon ce modèle, n'a pas besoin d'un support pour se propager puisqu'elle est définie par l'espace. Les forces sont l'espace et le temps. Elles n'ont dès lors plus besoin, à la limite, de points d'application.

C'est là ce que négligent les critiques qui reprochent à Boscovich de ne plus pouvoir situer de forces dans l'espace, dès lors que pour lui le concept de force est indépendant de celui de masse¹⁹⁰.

Entre Descartes et Einstein, ainsi, la philosophie relativiste de Boscovich réduit toute matière à la géométrie. La gravité, la cohésion physique et même l'affinité chimique (voir 2. 1. 13.) ne sont pour lui qu'autant d'expressions différentes d'un même fait de distribution spatiale. Et Boscovich de souligner que sa philosophie naturelle, à la différence de celle de Newton, n'a besoin que d'une seule loi et non de trois principes pour

¹⁸⁹ Voir L. Bloch *La philosophie de Newton*, Paris, Alcan, 1908, p. 639 et sq.

¹⁹⁰ Voir A. Hannequin *Essai critique sur l'hypothèse des atomes dans la science contemporaine*, Paris, Alcan, 1899, p. 107 et sq.

rendre compte de ces trois aspects. *Boscovich pense ainsi le mouvement en lui-même et non comme le déplacement d'un corps matériel. Au contraire : ce sont les corps qui sont issus du mouvement, dont l'origine première peut être référée à Dieu ou bien est Dieu lui-même.*

Ces idées, étonnamment originales en leur temps, seront directement à l'origine, semble-t-il, d'un matérialisme religieux, défendu notamment par Joseph Priestley, lequel fera scandale en soutenant que Dieu a quelque chose de corporel. Priestley devra aller terminer sa carrière aux Amériques. C'est que, pour Boscovich, tout l'univers n'est que l'effet d'un mouvement, auquel il est facile de poser Dieu comme premier moteur ou qui peut même être identifié à Dieu.

Mais la physique de Boscovich, surtout, avait plus d'un siècle d'avance. Annonçant les démarches, tant de Helmholtz, pour lequel tout le problème des sciences physiques est de ramener les phénomènes naturels à des forces invariables, attractive et répulsive, dont l'intensité dépend de la distance entre les centres d'action, que des énergétistes Mach ou Ostwald, pour lesquels les phénomènes mécaniques sont des abstractions.

Pour Ostwald, c'est par un abus de langage que l'on interprète la conservation de la masse comme une conservation de matière. La masse n'est que la "capacité" de l'énergie cinétique et il n'y pas de matière ! Ce n'est là qu'un mot vide. Et Ernst Mach, quant à lui, de se rallier à l'immatérialisme de Berkeley (*La mécanique*, 1883¹⁹¹. Sur cet immatérialisme, voir 2. 1. 19.).

*

2. 4. 15.

Le retour de la discontinuité. Le rayonnement du corps noir.

L'énergétisme, c'était le triomphe du continu, selon le modèle du champ, contre la discontinuité représentée par la matière corpusculaire. La matière solide n'était plus ainsi qu'un champ dont la localisation est poussée à l'extrême et une particule une sorte de concentré de champ - ainsi expliquera-t-on l'électron, dès sa découverte au début du XX^e

siècle. Pourtant, dès 1900, observant le comportement du rayonnement du corps noir, Max Planck réintroduisit la discontinuité dans la phénoménalité du champ. Le rayonnement monochromatique, en effet, se comporte, par rapport à la loi de la chaleur, comme s'il "sautait" d'un quantum d'énergie à un autre (voir 2. 3. 13.). Cela invitait à penser l'énergie lumineuse sur le mode localisé et discontinu propre à la matière, comme le fit Einstein, qui développa cette idée pour expliquer l'effet photo-électrique, lequel demeurait rebelle au modèle ondulatoire de Maxwell.

Einstein. L'effet photo-électrique.

L'effet photo-électrique suit une interaction entre la lumière et la matière : l'irradiation d'un métal par un faisceau lumineux génère l'apparition d'un courant électrique (par émission d'électrons). Mais cet effet est conditionné par un seuil de fréquence. L'énergie (la vitesse) des électrons expulsés ne dépend pas en effet de l'intensité du rayonnement mais de l'écart de sa fréquence par rapport à une certaine limite dépendant de la nature de la substance irradiée (on sait notamment que la lumière rouge est incapable de produire un tel effet) ; ce qu'il est difficile d'expliquer dans un modèle ondulatoire.

Einstein supposa que cette fréquence de la lumière est transmise par quanta d'énergie $E = h\nu$ (ν = la fréquence et h la constante de Planck, voir). En quoi Einstein ne réintroduisait pas une particule en tant que telle mais une discontinuité énergétique.

Naissance de la mécanique quantique.

L'énergie lumineuse, postulait Einstein, n'est pas continûment répartie dans l'onde mais est comme transportée sous forme de petits grains. Cette théorie corpusculaire de la lumière parut rétrograde ; bien qu'elle rendit parfaitement compte de l'effet photo-électrique (c'est d'ailleurs au titre de ce travail qu'Einstein reçut le prix Nobel). En fait, cette théorie était d'une extraordinaire nouveauté. *Pour la première fois, une particule était associée à une énergie et, réciproquement, une énergie était pensée comme discontinue.* Louis de Broglie fut l'un des premiers à en comprendre les implications. Il émit l'hypothèse qu'à toute particule une onde peut être associée, dont la longueur varie à l'inverse de la masse et de la vitesse, avec une constante de proportionnalité h (1923). Tandis que, dès 1913, Niels Bohr avait repris l'hypothèse des quanta pour élaborer son

¹⁹¹ trad. fr. Paris, Gabay, 1987.

modèle atomique. Dès 1925, ainsi, des quanta d'énergie définirent les particules et celles-ci correspondirent dès lors aux états stationnaires d'une onde. Un électron peut donc être décrit par une fonction d'onde. Cette approche sera généralisée par Erwin Schrödinger. La mécanique quantique était née.

L'onde dite "de De Broglie", associée à un faisceau d'électrons la longueur $\lambda = h/p$ (p = le moment ou l'impulsion) et la fréquence $\nu = E_c/h$ (E_c = énergie cinétique). Cette fonction d'onde est une amplitude de probabilité. Pour un phénomène pouvant se produire par plusieurs voies, l'amplitude de probabilité totale sera la somme des diverses amplitudes et la probabilité sera le module carré de l'amplitude totale. De là, l'équation de Schrödinger décrit l'évolution dans le temps de la fonction d'onde de façon déterministe : connaissant l'amplitude de probabilité en t et le potentiel dans lequel est placé le système, on déduit l'amplitude de probabilité en un instant t_1 en résolvant l'équation. Celle-ci est gouvernée par l'opérateur associé à l'énergie totale du système, le hamiltonien H .

Le génie d'Einstein fut également de comprendre qu'il y avait là la possibilité d'identifier la masse et l'énergie. Car, préparée par l'énergétisme, cette idée agitait les esprits. Avec la découverte de l'électron, diverses expériences dans les tubes cathodiques montraient que la masse peut varier avec la vitesse. De sorte qu'on en vint à concevoir que la masse est comme l'énergie interne des corps - une mesure de leur résistance, selon Ernst Mach - et qu'elle peut, comme l'énergie, s'échanger dans les interactions.

Mais, pour mieux le comprendre, il nous faut revenir un moment sur les conceptions classiques de la masse et de l'attraction.

*

La découverte de la masse.

Pour la physique classique, nous l'avons dit, la masse définissait la matière d'un corps¹⁹². Sa réalité même. De sorte qu'on la concevait naturellement invariable. Lavoisier fit ainsi de la loi de conservation de la masse (le fameux "rien ne se perd rien ne se crée, tout se transforme", 1785) le pilier de tout son système chimique. La masse est la quantité de matière et Newton pose qu'elle est le produit de la densité d'un corps par son volume.

¹⁹² Voir M. Jammer *Concepts of mass in classical and modern physics*, New York, Harper & Row, 1964.

La notion de densité.

C'est là une distinction qui fut tardive. Pour Descartes, la quantité de matière est égale au volume rempli. Mais le monde de Descartes est plein. Celui de Newton est rempli de vides ; de pores. Toutes les matières, ainsi, ne sont pas également denses. Les parties solides de tous les corps ont la même densité mais les corps ne sont pas également pleins¹⁹³.

Par ailleurs, rappelons que si la masse exprime la quantité de matière, le poids, lui, est la mesure d'une force, celle de la pesanteur exercée sur un corps proportionnellement à sa masse. Le poids est variable. La masse est constante. Une telle distinction n'aurait guère eu de sens pour un Galilée, qui ne concevait pas la gravité comme une force extérieure aux corps.

Définition classique de la masse.

Dans la physique classique, la masse se manifeste de deux manières :

1) elle est le facteur proportionnel entre la force appliquée à un corps et l'accélération qui en résulte. $F = ma$, pose la deuxième loi de Newton. Plus la masse m est grande, plus la force F doit également être importante pour lui communiquer une accélération a . *La masse ainsi est matière au sens de la résistance d'un corps à une force.* C'est la masse "inerte" ou "pesante".

2) La masse conditionne *l'attraction* de deux corps ; lesquels exercent l'un sur l'autre une force proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. *La masse est ainsi directement force.*

Rappelons toutefois que l'accélération G , que la pesanteur communique aux corps, est indépendante de leur masse. G est une constante universelle. Deux corps lancés de la même hauteur tombent à la même vitesse quel que soit leur poids. C'est ce que Galilée, déjà, avait démontré, selon la légende, en lançant des corps de masse différente - des billes de fer et de bois - du haut de la Tour de Pise. Soulignons néanmoins, car l'incertitude est fréquente sur ce point, que cet effet ne se constate vraiment que dans le vide (i.e. : dans un milieu où ne joue sur les corps aucun phénomène de frottement), sans quoi il serait impossible d'utiliser un parachute ! De fait, un correspondant écrivit de Pise à Galilée le 13 mars 1641 qu'il était monté sur la tour et en avait fait tomber deux boules de même diamètre, l'une en bois et l'autre en plomb et que la seconde était tombée beaucoup plus vite... Les variations de vitesse entre mobiles de poids différent n'ont pas pour cause ces poids mais dépendent de facteurs extérieurs et notamment de la résistance du milieu.

¹⁹³ Voir H. Metzger *Newton, Stahl, Boerhave et la doctrine chimique*, 1930, Paris, Blanchard, 1974, p. 20 et sq.

Celle-ci supprimée, ils tomberaient avec le même degré de vitesse, précisait Galilée dans ses *Discours concernant deux sciences nouvelles* (1638, Première journée, p. 62¹⁹⁴).

En dernière analyse, la masse est, dans l'un et l'autre cas, un chiffre issu d'un rapport. *Newton la considérait comme ponctuelle ; concentrée en son milieu pour un corps sphérique. De sorte qu'à l'extrême, la masse se réduit à un point. C'est alors l'atome immatériel de Boscovich, comme nous l'avons vu.*

L'effet de marée.

La question était de savoir comment un corps sphérique, comme la Terre, peut exercer la même attraction sur une pomme ou sur la Lune, malgré la différence de leurs distances respectives. Newton élève donc cette distance au carré et considère que l'attraction est ponctuelle, comme si toute la masse de la Terre était condensée en son centre.

Pour lui, néanmoins, seules les attractions corpusculaires étaient réelles ; leurs résultantes étant de pures forces "mathématiques". Ainsi, ce n'est pas la Terre, pour Newton, qui attire la Lune mais chacune des particules de la Terre qui attire chacune des particules de la Lune. L'attraction variant avec la distance, elle est plus forte à l'avant de l'objet sur lequel elle s'exerce qu'à l'arrière, de sorte qu'elle déforme les corps. C'est "l'effet de marée".

Dans la physique classique, la matière était donc définie par une densité et une résistance *ponctuelles*, tandis que la force était impondérable. Immatérielle, elle n'agissait pas directement mais avait besoin pour cela d'un milieu, comme l'Ether. D'où les difficultés qu'apporta l'attraction newtonienne.

* *

B) L'attraction universelle

2. 4. 16.

Découverte de la loi d'attraction universelle.

¹⁹⁴ trad. fr. Paris, Colin, 1970.

Chacun sait que Newton, dans ses *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* (1687¹⁹⁵), détermina la loi de l'attraction universelle et que cela fut l'une des plus importantes conquêtes scientifiques.

Selon certains commentateurs, la fameuse histoire selon laquelle Newton eut comme une illumination en voyant une pomme tomber à terre ne serait pas une légende.

Il n'était en rien évident, en effet, de comprendre que des phénomènes aussi différents que la chute des corps, la permanence de la Lune dans le ciel ou les marées, n'étaient que les effets d'une même force qui, entre deux corps quelconques, varie en raison directe de leur masse et en raison inverse du carré de leur distance.

Dès 1684, Robert Hooke avait découvert cette loi, remplaçant de manière décisive, dans l'étude d'un corps en mouvement, le concept trompeur de force centrifuge, qu'utilisaient Descartes et Huygens, par l'inertie et la force centripète. De là, Hooke se plaignit amèrement par la suite du succès que recueillait seul Newton. Mais Hooke n'avait fait que suggérer que les planètes sont soumises à une force en inverse carré de la distance dirigée vers le soleil. Encore fallait-il démontrer, comme le fit Newton, que la loi en inverse carré de la distance pour la force centripète correspond à un mouvement orbital vérifiant les lois de Kepler (voir 2. 5. 13.)¹⁹⁶. Soit, comme chacun sait, pour la gravité terrestre : $F = G.Mm/r^2$ (m=masse du corps attiré ; M=masse de la Terre ; r=la distance du corps au centre de la Terre). Il reste que Newton a sans doute dépossédé Hooke d'une grande part de la renommée qui lui revenait¹⁹⁷.

Ce qu'établissait ainsi Newton, était une science générale des rapports entre mouvements et forces. Les mêmes lois s'appliquant à la terre, au ciel, ainsi qu'à chaque objet.

L'attraction que les corps de dimension courante exercent entre eux ne fut néanmoins démontrée que plus tard par Henry Cavendish (1731-1810).

En regard, Aristote ne connaissait pas l'attraction mais seulement la gravité terrestre qui, selon lui, tenait uniquement au fait que les corps lourds ont tendance à occuper les lieux inférieurs. Pour lui, les mouvements naturels des corps, dont ceux suivant la gravité, ne relevaient donc pas d'une poussée mécanique, d'une force mais d'une

¹⁹⁵ trad. fr. Paris, C. Bourgois, 1985.

¹⁹⁶ Voir B. Cohen « Newton et la découverte de la gravitation universelle » *Pour la science* n°43, mai 1981, pp. 101-110.

¹⁹⁷ Voir J-Y. Cariou « Newton était-il un usurpateur ? » *La Recherche*, octobre 2015, n° 504, pp. 76-78.

tendance conforme à leur nature (voir 2. 5. I.). Aristote définissait les corps par leur mouvement, loin de les soumettre à quelque force extérieure à eux.

Newton, lui, mécanisa le cosmos. Il réduisit, après Galilée et Descartes, tout mouvement naturel au mouvement inertiel et parla de "force" pour ce qui fait violence à l'état inertiel d'un corps - ce qui suscite un "mouvement accéléré" - la seule force "naturelle" étant ainsi l'attraction¹⁹⁸.

*

Ambiguïté du concept de force.

Cet effort de clarification fut le plus souvent mal compris. Par ses partisans, comme par ses détracteurs.

Descartes s'était efforcé de chasser les "forces" ; ces principes logés de manière occulte dans les corps, au moyen desquels la scolastique rendait opportunément compte de tous leurs effets ; comme les médecins de Molière invoquaient la "vertu dormitive" de l'opium pour expliquer pourquoi celui-ci fait dormir. Descartes ne put évidemment avoir connaissance des idées de Newton. Il s'opposa en revanche à l'attraction universelle qu'affirmait Gilles de Roberval dans son *Aristarque de Samos* (1644¹⁹⁹), lui reprochant non seulement d'animer la matière mais même de la rendre en quelque sorte assez intelligente pour agir à distance (*A Mersenne*, 20 avril 1646)²⁰⁰.

Dans l'attraction universelle, des cartésiens comme Fontenelle ne virent rien d'autre qu'une nouvelle force occulte. Leibniz, lui, parlera de "miracle" et de retour à la barbarie. Christian Huygens maintiendra la nécessité du contact de particules pour expliquer la gravitation (*Discours sur la cause de la pesanteur*, 1690²⁰¹). L'un des derniers grands cartésiens, Etienne-Simon de Gamaches soulignera que la philosophie naturelle de Newton n'est fondée que sur des principes d'expérience. Or ce que donne l'expérience est toujours limité et les principes qu'on en tire, portés au-delà des faits, conduisent presque toujours à

¹⁹⁸ Voir G. Barthélémy *Newton, mécanicien du cosmos*, Paris, Vrin, 1992.

¹⁹⁹ trad. fr. Paris, Blanchard, 2002.

²⁰⁰ Voir H. Carteron « L'idée de la force mécanique dans le système de Descartes » *Revue philosophique* T. XCIV, 1922, pp. 243-277.

²⁰¹ Leyde, P. Van der Aa, 1690.

l'erreur. Ils obligent à poser des lois primordiales qui sont autant de forces occultes (*Astronomie physique*, 1740²⁰²).

Il faut bien comprendre que Newton introduisait dans la mécanique - cette conquête de la jeune science moderne, méthodique à la façon cartésienne et mathématique - une force, l'attraction, qui jusque-là désignait l'action de l'aimant ; c'est-à-dire un phénomène que l'on expliquait encore couramment par des propriétés vitalistes.

William Gilbert, qui fut le premier à poser que le magnétisme est une force physique et donc mesurable, ne renonça pourtant pas à l'expliquer par des formules vitalistes - au point de finir par voir le magnétisme animer tout (*De magnete*, 1600²⁰³). Après lui, Kepler vit le soleil et les planètes comme de gros aimants et Anathase Kircher expliqua les marées par l'attraction magnétique de la Lune (*Magnes, sive de arte magnetica*, 1643). On prêtait néanmoins encore couramment des propriétés vitales à l'aimant, notamment en médecine - ainsi de Rudolf Goelenius dans son *Tractacus de magnetica curatione vulnerum* (Traité de la guérison magnétique des blessures, 1609)²⁰⁴.

Mauvertuis - le premier et timidement, dans son *Discours sur la figure des astres avec l'exposé des systèmes de Descartes et de Newton* (1732²⁰⁵), quarante-cinq ans après les *Principia* - Buffon et Voltaire imposèrent l'attraction newtonienne en France. Mais au nom d'une meilleure prédiction et intelligence des phénomènes et non pas d'une meilleure compréhension. "Chez les cartésiens, écrit Voltaire, tout se fait par une impulsion qu'on ne comprend guère. Chez Newton c'est par une attraction dont on ne connaît pas mieux la cause" (*Lettres philosophiques*, 1734, XVI^e lettre²⁰⁶).

*

Le retour des forces occultes.

De fait, l'attraction universelle s'imposa au prix d'un malentendu : très vite, elle inclina à supposer à la matière des "affinités" (voir 2. 1. 13.). Les sympathies et antipathies "naturelles" se généralisèrent, ressuscitant, surtout à l'époque romantique, la vieille magie

²⁰² Paris, Jombert, 1740. Cité in J. Ehrard *L'idée de nature en France dans la première moitié du XVIII^e siècle*, Paris, Sevpen, 1963, pp. 94-95.

²⁰³ trad. anglaise, New York, Dover Publ., 1991.

²⁰⁴ Sur tout ceci, voir J. Daujat *Origine et formation de la théorie des phénomènes électriques et magnétiques*, Paris, Hermann, 1945.

²⁰⁵ Paris, Imprimerie royale, 1732.

de la Renaissance. Un ouvrage clé à cet égard furent les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature* (1786²⁰⁷) de Kant.

Kant. La force de répulsion.

L'objet de Kant était de fonder une véritable science de la nature, reposant non pas uniquement sur des observations empiriques mais s'ordonnant selon l'enchaînement de principes fondés a priori. Il s'agissait ainsi notamment de fonder la Dynamique (II^o partie) sur le concept de résistance. Or en quoi consiste celle-ci ? Kant soutient qu'elle repose sur une force répulsive : la résistance opposée par un corps au contact d'un autre est la cause du mouvement de cet autre en sens opposé, en raison inverse du cube de la distance. La matière, ainsi, remplit l'espace par sa force d'extension et non par sa simple existence, soutient Kant. Et cette force d'extension suppose sa contrepartie, l'attraction (5^o théorème). Ce sont là deux forces fondamentales qui ne peuvent être dérivées d'aucune autre réalité première. Sans l'attraction, la matière se dilaterait à l'infini et, sans répulsion, elle serait concentrée en un point. La matière est un jeu d'équilibre, souligne Kant ; dont l'un des effets est l'impenétrabilité.

Newton n'avait pas écarté la possibilité d'une force répulsive. Mais il n'en avait traité qu'en passant et toujours sur le mode hypothétique. De même qu'il avait très peu fait usage du principe d'égalité de l'action et de la réaction posé par sa troisième loi du mouvement, dont Kant s'inspire, lui, largement. C'est que Newton se refusait à faire de l'attraction une propriété directe de la matière. Kant, lui, réduit toute la matière à la polarité de deux forces, qu'il ne considère pas comme un ensemble de relations, comme Bosovich nous l'avons vu, mais qu'il réifie au contraire. Kant ne relativise pas la matière. Il l'anime. Il place des forces à son fondement. Cette démarche aura une grande influence sur la philosophie de la nature romantique (voir 2. 5. 19.).

Compromet-elle les thèses de la *Critique de la raison pure*, dont la seconde édition paraîtra un an après (1787) ? Jules Vuillemin le soutient, assurant que l'une ne se comprend pas sans l'autre (*Physique et métaphysique kantienne*, 1955²⁰⁸).

²⁰⁶ Paris, Garnier, 1967.

²⁰⁷ *Œuvres philosophiques*, trad. fr. en 3 volumes, Paris, Pléiade Gallimard, 1980.

²⁰⁸ Paris, PUF, 1955.

Déisme et vitalisme.

L'attraction fit également très vite l'objet d'enjeux théologiques. Pour les déistes, elle expliquait l'ordre du cosmos et mettait ainsi directement en contact avec la volonté du Créateur. Pour les matérialistes, elle prouvait au contraire que la matière possède, sans qu'il soit nécessaire d'invoquer quelque cause surnaturelle, une mobilité essentielle²⁰⁹. L'attraction, à ce titre, alimenta le vitalisme des Lumières.

Dès 1704, dans ses *Letters to Serena* (ou *Lettres philosophiques sur l'origine des préjugés*²¹⁰), John Toland avait attribué aux atomes une agitation d'ordre vital se manifestant comme attraction. Les newtoniens le réfutèrent. Mais en fait, le flottement commença avec Newton lui-même, admettant que le coefficient d'attraction n'est pas toujours rigoureusement égal au carré de la distance mais au cube de celle-ci à de très petites distances. C'était ouvrir la possibilité que l'attraction varie avec les corps eux-mêmes et soit inscrite en eux comme au titre d'affinités particulières, électives²¹¹.

On a pu souligner que les spéculations alchimiques de Newton ont sans doute joué un rôle assez actif dans sa conception de l'attraction²¹² et que, d'une manière générale, le succès de l'attraction fut beaucoup lié au rejet du mécanisme²¹³.

*

Succès expérimentaux.

Différentes vérifications expérimentales purent être fournies de la loi d'attraction universelle. On savait notamment depuis 1672 qu'à Cayenne une horloge à balancier est un peu plus lente que la même à Paris. La théorie de Newton pouvait en rendre compte, qui supposait que, tournant rapidement sur son axe, la Terre était aplatie aux pôles (comme on

²⁰⁹ Sur tout ceci, voir H. Metzger *Attraction universelle et religion naturelle chez quelques commentateurs anglais de Newton*, Paris, Hermann, 1938.

²¹⁰ trad. fr. Londres, 1768.

²¹¹ Voir H. Metzger *op. cit.*

²¹² Voir F. Yates *The Rosicrucian Enlightenment*, 1972, Routledge, 1993 & R. Westfall *Newton and the Hermetic Tradition* in A. G. Debus (Ed) *Science, Medicine and Society in the Renaissance*, New York, Science History Publications, 1975. Voir aussi M. White *Isaac Newton, the last sorcerer*, London, Fourth Estate Ltd, 1997.

²¹³ Voir la présentation de F. de Gandt à I. Newton *De la gravitation* (trad. fr. Paris, Tel Gallimard, 1995), réunissant deux textes préparatoires, dont le *De Gravitatione* (1665-1670 ?) où Newton discute la physique de Descartes.

l'avait observé pour Jupiter). De sorte que si la Terre est renflée à l'équateur, il est logique que, plus éloignée du centre du globe qu'à Paris, l'horloge de Cayenne avance moins vite. Subissant une moindre accélération de la pesanteur, sa période est inférieure. En 1735, l'Académie des Sciences organisa deux expéditions en Laponie et au Pérou pour mesurer la longueur d'un degré de méridien. Ces expéditions confirmèrent que la Terre est bien aplatie aux pôles.

L'attraction newtonienne s'imposa ainsi surtout par ses capacités de prédiction. En 1705, Edmond Halley put prédire le retour en 1758 de la comète observée en 1681, qui porta désormais son nom. Au siècle suivant, Urbain Le Verrier calculera précisément la position de la planète Neptune, à partir de perturbations notées de l'orbite d'Uranus, avant même que la planète ne soit effectivement observée (1846).

Le Verrier postulera de même l'existence d'un astéroïde, Vulcain, entre le soleil et Mercure, pour expliquer la précession du périhélie de cette dernière planète. Mais Vulcain ne pourra être observé et c'est Einstein qui expliquera cette anomalie.

Nature exacte de l'attraction ? Comment cette force peut-elle se matérialiser ?

Quant à la nature de la force d'attraction, Newton n'avait fourni aucune autre explication que la détermination mathématique de sa loi. "*Hypothesis non figo*", écrivait-il à ce propos ; "je ne feins pas d'hypothèses". "Car, ajoutait-il, tout ce qui ne se déduit point des phénomènes est une hypothèse et les hypothèses ne doivent pas être reçues dans la philosophie expérimentale" (*Principes*, III, Scholium général. Sur ce point, voir 2. 5. 13.). Les hypothèses ne servent à rien, disait Locke (*Essai philosophique concernant l'entendement humain*, 1689, Livre IV, chap. XII²¹⁴).

On a dit que l'attraction universelle représentait la première théorie vraiment positiviste. Il s'agit tout simplement de l'une des premières lois scientifiques modernes. Ou mieux encore, l'une des grandes étapes dans l'invention de la science moderne.

Car Newton fait précisément le départ entre ce qui relève de la science expérimentale - l'attraction est un fait - et ce qui relève de la métaphysique, soit une force dont, dans les recherches concrètes, on peut se contenter de mesurer les effets sans

²¹⁴ trad. fr. (1700), Paris, LGF/Livre de poche, 2009.

interroger plus loin la nature. C'est pourquoi il se défend d'avoir introduit une qualité occulte. Il n'a fait qu'établir une loi générale de la nature.

Cela, pourtant, ne pouvait suffire car, de fait, Newton invitait comme malgré lui à fonder la science physique sur un principe qui lui était tout à fait étranger et demeurait parfaitement obscur. Au point qu'on pouvait bien supposer, derrière lui, toutes les hypothèses qu'on voulait.

Newton, lui-même, ne se privera d'ailleurs pas d'en faire, en imaginant, bien avant la publication des *Principes*, un Ether gravifique (*Hypothesis Explaining the Properties of Light*, 1675 ; voir aussi la *Lettre à Boyle* du 28 février 1678), ou un pouvoir gravitationnel inhérent à la matière, en dotant les particules de "principes actifs" (*Optique*, 1704, Question 31²¹⁵)²¹⁶. Car *il faut bien un contact pour que l'influence se produise. Il faut bien un agent*, écrit Newton dans une lettre (*A Richard Bentley*, le 25 février 1693). Ajoutant qu'il laisse le soin à ses lecteurs de décider si cet agent est matériel ou immatériel.

Le plus grand malentendu de l'histoire des sciences ?

Au total, l'attraction universelle représente sans doute le plus grand malentendu de l'histoire des sciences. Ses pouvoirs d'unification et de prédiction étaient tels, appuyés sur un outillage mathématique de pointe, à l'époque, qu'elle fut comme l'acte d'affranchissement des sciences exactes vis-à-vis de toute métaphysique. Elle fut à la source du dédain avec lequel celles-là considérèrent désormais celle-ci. Pourtant, *force est de noter que ce que l'attraction réintroduisit pour deux siècles dans la science, c'est précisément la métaphysique que Descartes avait voulu en chasser !*

Cette métaphysique était inévitable, car l'attraction était à peine plus compréhensible que l'Ether. Comment deux corps pouvaient-ils exercer une action - qui plus est instantanée - l'un sur l'autre, sans se connaître ni se toucher ? Force était d'imaginer toutes sortes d'hypothèses pour lever les difficultés apportées par une conception discontinue de la matière. Ces questions ne seront éclaircies, selon une voie que Boscovich, nous l'avons vu, commença le premier à explorer, que par la théorie de la Relativité générale.

²¹⁵ trad. fr. Paris, C. Bourgois, 1989.

²¹⁶ Voir A. Koyré *Etudes newtoniennes*, 1968, p. 36 et sq.

*

2. 4. 17.

La solution einsteinienne.

Savoir si sa nature est continue ou discontinue, c'est-à-dire savoir si elle est masse ou champ, constitue le dilemme fondamental de toute pensée de la matière.

Purement continue, la matière est un champ, sans rien, ni objets vibrants, ni centres d'activité, pour le susciter. Discontinue, la matière se réduit à des points isolés dont l'interaction est difficilement pensable. Si les objets s'attirent, ainsi, selon une force qui dépend de la distance qui les sépare, tout changement de position de l'un d'eux implique que la force qui est exercée sur lui soit immédiatement modifiée à une vitesse infinie. Si la matière est corpusculaire, on ne sait penser les interactions qu'en supposant un milieu - Ether ou champ - qui en assure la transmission.

En 1913, Gustav Mie voudra expliquer toutes les forces de la nature en termes de champs à travers une « théorie du tout magnétique ». Sans l'accepter, Einstein s'intéressera à cette tentative qu'Hermann Weyl prolongera ensuite pour tenter d'unifier électromagnétisme et relativité.

Cette difficulté ne sera véritablement levée que lorsque la théorie de la Relativité générale (1917) d'Einstein liera gravité et espace ; réduisant la première à un effet de courbure du second, en fonction des masses qu'il contient (voir 2. 2. 17.). Dès lors, il ne sera plus nécessaire de parler d'une "force de gravité", pour combler le vide entre les corps : la Terre suit une trajectoire rectiligne dans un espace courbé. La courbure est la gravitation et non son effet. La masse est champ. La continuité est fondée dans l'espace lui-même.

*

Equivalence de la masse inertielle et de la masse gravitationnelle.

Dès la Relativité restreinte (1905), lit-on souvent, Einstein postula l'équivalence entre masse inertielle et masse gravitationnelle. Mais cette formule, reprise un peu partout, peut être source de confusion. Car Newton, lui aussi, postulait l'équivalence de ces deux masses ; selon le principe dit de l'universalité de la chute libre. A suivre la loi de l'attraction, nous l'avons vu, la force de gravité agissant sur un corps est proportionnelle à

sa masse inertielle ; à sa résistance. Pourtant, l'accélération que communique l'attraction est la même pour tous les corps situés à une même distance d'un autre. C'est ce qu'établissait déjà l'expérience que Galilée aurait réalisée du haut de la Tour de Pise.

Différences des points de vue de Newton et d'Einstein concernant la représentation de la matière.

Newton fit de l'équivalence des deux masses un postulat. Avouant qu'il s'agissait là d'un véritable mystère. Einstein, lui, ne postule plus d'équivalence entre deux masses de nature différente. *Il les identifie.*

Dans une région limitée de l'espace, on peut faire correspondre à toute force inertielle un champ de gravitation équivalent à elle et qui crée la même accélération. Les deux forces sont ainsi susceptibles de s'annuler, créant un état d'apesanteur (c'est l'exemple de l'ascenseur en chute libre). La masse gravitationnelle et la masse inertielle sont ainsi, selon le principe de relativité, équivalentes et ne se distinguent qu'en fonction des coordonnées qu'on leur applique. La masse, en d'autres termes, est toujours la même et le mouvement d'un corps, dès lors qu'il est soumis à une force gravitationnelle, ne dépend plus d'elle. C'est la courbure de l'espace autour de lui qui change en fonction des autres masses qui l'entourent.

La différence entre les points de vue newtonien et einsteinien tient essentiellement à la représentation de la matière. En fait de matière, Newton ne pense que des masses ponctuelles et, entre elles, une force qui ne peut être qu'une réalité aussi première que voilée. Une notion métaphysique car échappant par définition - puisqu'elle en est la source - aux lois qui régissent les phénomènes. Einstein, lui, en fait de matière, pose des masses et leurs champs, dont la force, dès lors, n'est plus qu'une dérivée. Cela lui est possible, parce qu'il a transféré le principe de constance, définissant traditionnellement la matière, à une autre réalité physique : l'énergie.

Prévenons une confusion possible, tenant à ce que la physique classique peut parler de l'attraction comme d'une force dérivée : "lorsqu'un point M de masse m éprouve une certaine accélération j déterminée par la présence d'un ou plusieurs points matériels, on dit conventionnellement que M est soumis à une force dérivée égale à mj en grandeur, direction et sens" (P. Appell *Traité de mécanique rationnelle*, 1926, I, p.

95²¹⁷). Cela ne doit néanmoins pas masquer le fait que cette dérivée introduite par le calcul trouve son fondement physique dans une force première, cause du mouvement, qui ne saurait se confondre avec ses manifestations.

*

$$E=mc^2.$$

Chacun connaît la formule $E = mc^2$. Cette identification de la masse et de l'énergie nous ramène à la lumière.

Rappelons que dans la physique de Maxwell, nous avons, d'une part, de la matière - des corpuscules vibrants - et, d'autre part, de l'énergie, soit des champs créés par l'action des corpuscules. Ainsi, tout rayonnement issu de la matière était supposé emprunter son énergie au milieu extérieur ; le champ ayant essentiellement pour fonction, nous l'avons vu, de fournir, c'est-à-dire de stocker, de l'énergie sous forme potentielle. Or, cette séparation de la matière discontinue et de l'énergie continue se heurta bientôt à l'observation du rayonnement émis par un corps noir. Max Planck, nous l'avons dit, montra en effet que l'énergie du rayonnement n'était pas continue mais définie par quanta ; comme si le rayonnement était produit par sauts. C'était introduire une notion corpusculaire dans le champ et, de fait, Einstein put établir que l'interaction électromagnétique est véhiculée par un quantum, porteur d'un niveau d'énergie, que l'on baptisa en 1926 "photon".

Einstein posa également que l'émission de ces photons - donc de tout rayonnement - diminue la masse inerte des corps émetteurs, formulant ainsi une loi de conservation de l'énergie : $E_0 = E_1 + L$ (L étant la quantité d'énergie du rayonnement)²¹⁸. L'énergie, désormais, ne se séparait plus de la masse. Une particule au repos possède une énergie du seul fait de sa masse ("énergie de repos"). La masse représente de l'énergie et l'énergie a une masse. Pour une particule au repos, $E = mc^2$. La masse est de l'énergie par l'adjonction d'un coefficient considérable : c, la vitesse de la lumière, au carré.

L'énormité de c^2 choqua. Cela supposait un stockage immense d'énergie dans des masses infimes. La fission nucléaire allait le prouver...

²¹⁷ 2 volumes, Paris, Gauthier-Villars, 1926.

²¹⁸ Ce qui ne sera prouvé expérimentalement que 25 ans plus tard (Cockcroft & Walton, 1930).

La matière comme intensité d'un champ.

Réciproquement, l'énergie cinétique augmente la masse d'un corps, de sorte qu'il lui est de plus en plus difficile d'augmenter sa vitesse. A c , la vitesse de la lumière, la masse serait infinie. Il faudrait donc, pour atteindre c , une énergie infinie.

Et il y a plus. Quand deux particules se heurtent, l'énergie du choc se transforme en de nouvelles particules. Plus exactement, elle se répartit entre masses (de nouvelles particules) et énergie (ces nouvelles particules sont en mouvement). *Franchir un certain seuil d'énergie dans les collisions permet ainsi de faire apparaître de la masse ; de nouvelles particules. Une propriété, la vitesse, conditionne l'apparition d'un nouvel objet. La masse est le seul élément qui permette de distinguer matière et champ. Encore cette distinction est-elle toute relative : la matière n'est finalement que l'intensité d'un champ*²¹⁹.

Ce processus n'a naturellement lieu que dans les étoiles. Mais on peut le provoquer grâce à des collisionneurs, ou accélérateurs de particules, comme celui du LEP de 27 kms de long dans le Jura et observer ces phénomènes, à la condition qu'ils soient "lents" (qu'ils durent plus de 10^{-13} secondes). On peut ainsi redérouler certaines des étapes de la formation de l'univers jusqu'à 10^{-9} secondes.

Ce qui se conserve, ce n'est donc pas la masse mais l'énergie totale et ce point de vue dynamique rend superflue la conception substantialiste de la matière. *Tout se réduit à des forces ; à des interactions.* On continue à parler des particules élémentaires comme des éléments fondamentaux et discrets de la nature mais ce ne sont en fait que des modes d'oscillation de champs. Allons donc plus loin : les constituants les plus fondamentaux du monde matériel semblent être finalement des entités intelligibles, qui sont des relations ou des propriétés – premières, comme la masse, la charge, le spin et secondes, comme la vitesse ou la position - et que certains nomment des « tropes »²²⁰. Ce sont elles en effet qui définissent les éléments fondamentaux de la matière, particules ou champs, comme faisceaux de différentes propriétés.

Toutefois, l'erreur serait d'ontologiser ces propriétés, de croire qu'elles seules existent et de verser ainsi dans une sorte d'idéalisme absolu. Le constat précédent invite

²¹⁹ Voir A. Einstein & L. Infeld *L'évolution des idées en physique*, 1936, trad. fr. Paris, Champs Flammarion, 1983, p. 228 et sq.

²²⁰ Voir M. Kuhlmann *The ultimate constituents of the material world: in search of an ontology for fundamental physics*, Ontos verlag, 2010.

plutôt à renoncer à l'idée, propre à un réalisme absolu, d'une matière qui serait l'autre de l'esprit.

* *

C) Un monde d'interactions

2. 4. 18.

Les quatre interactions fondamentales.

Toute interaction entre deux corps suppose non seulement un champ qui les relie mais également l'échange d'une particule ; c'est-à-dire d'un quantum d'énergie caractéristique de ce champ que l'on nomme "boson de jauge de l'interaction" ou boson.

Les particules élémentaires sont de deux types :

- les bosons, que nous venons de présenter ;
- les fermions qui, à la différence des bosons, sont des particules de matière "solide", au sens où ils sont impénétrables. Ce sont notamment les particules comme l'électron ou le proton. Tandis, en effet, que les bosons sont superposables (les quatre interactions s'additionnent), deux fermions, au sein d'un même système atomique, ne peuvent partager le même état quantique (principe d'exclusion de Pauli).

La portée d'une interaction est d'autant plus faible que la masse du boson est élevée. L'intensité d'une interaction est caractérisée par une constante de couplage, d'autant plus grande, elle, que la force est plus intense mais toujours inférieure ou égale à $c (=1)$.

Ceci posé, il existe quatre interactions fondamentales :

- 1) *L'interaction forte* rend compte de la cohésion des particules à l'intérieur du noyau atomique. Sa constante de couplage est proche de 1 ; ce qui a fait dire qu'on ne connaît pas, dans la nature, de phénomène qui soit plus pressé d'aboutir que celui-ci. Le boson de l'interaction forte est le gluon, dont on distingue huit types. Sa portée est très courte (environ un fermi). Les gluons interagissent avec les particules qu'ils unifient, selon leur charge de "couleurs" rouge, jaune ou bleu (nommées ainsi parce que l'addition des trois charges est toujours égale à zéro, comme l'addition des trois couleurs primaires donne du blanc). Ils possèdent également une charge d'anticouleur.

Ils peuvent s'assembler, formant ce que l'on nomme des "boules de glue", dont la durée de vie serait inférieure au temps mis par la lumière pour traverser un atome d'hydrogène. On ne sait pas encore si les gluons peuvent se manifester de manière autonome, c'est-à-dire sans quarks.

Les particules sensibles à l'interaction forte sont les hadrons. On en connaît une centaine et l'on distingue parmi eux des bosons, comme les pions, et des fermions, comme les nucléons (protons et neutrons) ; lesquels sont eux-mêmes constitués par l'assemblage de trois quarks et antiquarks correspondants.

Leur nom fut tiré d'un poème de James Joyce par le physicien Murray Gell-Mann.

Il existe six types ou "saveurs" de quarks (up, down, strange, charm, bottom et top) et chaque saveur existe elle-même en trois couleurs (bleue, verte et rouge). Chaque quark porte une charge électrique qui est une fraction de la charge de l'électron ($-1/3$ ou $+2/3$). Seuls les quarks up et down forment les protons et les neutrons. Les autres types de quarks ne sont produits que dans les accélérateurs.

On n'a jamais observé un quark isolé et rien qui paraisse plus élémentaire qu'eux. Les quarks s'associent par deux (pour former les mésons) ou trois (pour former les baryons, protons et neutrons).

Un quark et son antiquark (équivalent d'antimatière) forment un méson. Deux quarks *up* (dont la charge électrique vaut les $2/3$ de la charge élémentaire du proton) plus un quark *down* (charge de moins $1/3$) forment un proton de charge 1, etc. En 2003, on a pu annoncer la découverte de pentaquarks (4 quarks et un antiquark).

2) *L'interaction faible* assure la liaison de l'électron au noyau atomique et rend compte des phénomènes de désintégration atomique, comme la radioactivité. Elle a été découverte par Enrico Fermi. Sa constante de couplage est très faible, ainsi que sa portée (un centième de fermi). C'est donc une interaction de contact très rapproché. Ses particules sont les bosons intermédiaires W^+ , W^- et Z^0 .

La masse élevée de ces bosons peut suggérer que quelque chose agit sur eux, des particules inconnues qu'on a lié à la matière noire (voir 1. 11. 11.). Parmi elles, on a imaginé les WIMP (*weakly interacting massive particles*), qui ne seraient sensibles qu'à l'interaction faible.

Les fermions qui ne sont sensibles qu'à l'interaction faible sont les leptons. Le plus célèbre est l'électron. On en connaît six. Trois d'entre eux sont chargés électriquement (électron, muon, tau) et chacun est associé à un fermion neutre correspondant : les neutrinos. Un lepton n'apparaît ou ne disparaît qu'en présence de son neutrino. L'unification des interactions forte et faible impose d'admettre qu'il existe une paire de quarks pour chaque paire formée d'un lepton et de son neutrino (électron-neutrino de l'électron/quark down et up par exemple).

A la fin des années 20, les désintégrations bêta, l'un des trois types de radioactivité, posaient un problème : lorsqu'un noyau est instable, il se transforme en un autre noyau en émettant un électron. Or l'énergie de cet électron est variable et ne correspond pas forcément à la différence d'énergie entre le noyau originel et le nouveau, ce qui viole la loi de conservation de l'énergie. Wolfgang Pauli émit donc l'hypothèse qu'une autre particule que l'électron est émise qui porte l'énergie manquante. Enrico Fermi baptisa cette particule « neutrino » et expliqua ainsi les désintégrations bêta, posant du même coup les bases de l'interaction faible.

Les neutrinos abondent dans l'univers mais n'interagissent pratiquement pas avec le reste de la matière, qu'ils traversent sans être arrêtés (ce qui les rend particulièrement difficiles à étudier). Ce sont des particules de charge électrique nulle et de même spin²²¹ que l'électron qui sont connus sous trois formes ou « saveurs » : le neutrino de l'électron, du muon et du tau. Ils ne cessent de passer d'une forme à un autre (phénomène dit "d'oscillation quantique de saveur"), ce qui conduit à admettre qu'ils possèdent une masse, inférieure au millionième de la masse de l'électron. On ne connaît que les neutrinos « gauche », dont le spin et la quantité de mouvement sont de sens opposé. On ne sait si des neutrinos « droits » existent.

On ne sait par ailleurs s'ils ont des antiparticules ou s'ils sont, selon une solution suggérée dans les années 30 par Ettore Majorana, leurs propres antiparticules (on a cru le vérifier à travers l'observation d'une double désintégration bêta, avec émission de deux antineutrinos s'étant annihilés, comme si particule et antiparticule ne faisaient qu'une dans leur cas mais cette interprétation a été contestée).

Il y a quelques années, dans le cadre d'une expérience baptisée « Opéra », on crut avoir observé des neutrinos dépassant la vitesse de la lumière. Mais ce résultat fut par la suite infirmé.

3) L'interaction électromagnétique

Sa découverte est issue des travaux d'unification de Maxwell, montrant que le magnétisme est un effet dû au mouvement de charges électriques et réduisant la lumière, nous l'avons vu, à cette interaction. Toute particule chargée y est soumise, en ce sens qu'elle engendre un champ électrique. L'énergie rayonnée par un électron est absorbée par

²²¹Le spin exprime le moment cinétique de rotation (comme si la particule tournait sur elle-même).

le noyau atomique, avec lequel l'électron échange des photons dits "virtuels". L'énergie, ainsi, n'est pas perdue pour l'atome, ce qui explique sa stabilité. L'interaction électromagnétique a une portée infinie. Sa constante de couplage est de $1/137$. Les particules de champs sont les photons. La lumière n'est qu'un cas particulier de cette interaction : lorsque son énergie est de l'ordre d'un électronvolt, le photon est visible par l'œil humain.

Les photons ne se lient pas ensemble. Il n'y a pas d'atomes de lumière. Toutefois, une expérience récente tend à prouver que deux photons peuvent s'attirer, remettant en cause l'idée qu'il ne puisse y avoir d'interactions entre eux.

4) *La gravitation*

Elle est toujours attractive (alors que les autres interactions sont attractives ou répulsives, selon le signe des charges en rapport), cumulative et de portée, elle aussi, infinie. Toute particule y est soumise. Mêmes les photons qui n'ont pourtant pas de masse. L'intensité de la gravitation est faible. Sa constante de couplage est de 10^{-38} . Au niveau des particules, la gravitation peut ainsi être négligée. Elle ne devient importante qu'à l'échelle de la longueur de Planck (10^{-33} cm). Pour expliquer ce fait, on a suggéré que notre univers se déploie dans d'autres dimensions et que nous ne percevons qu'une partie de la gravité.

On présume l'existence d'un boson, le graviton, qui devrait être, comme le photon, de masse nulle puisque sa portée est infinie. Depuis les années 50, on tente donc de détecter les ondes gravitationnelles, prédites par la Relativité générale, véhiculant les gravitons²²². Le 14 septembre 2015, une première onde gravitationnelle a été enregistrée par le détecteur Ligo. Elle avait été émise par un très lointain couples de trous noirs pendant quelques dixièmes de seconde, juste avant que les deux astres ne fusionnent pour n'en faire qu'un. A ce stade, néanmoins, nous n'en savons pas beaucoup plus que Newton quant à la nature de l'attraction.

On estime cependant que l'existence des ondes gravitationnelles est indirectement démontrée par la mesure du ralentissement de la période de pulsars binaires (des couples d'étoiles à neutrons émettant des faisceaux radio périodiques) trahissant une perte d'énergie liée à l'émission d'ondes gravitationnelles ;

²²² Voir D. Blair & G. McNamara *Ripples on a cosmic sea. The search for gravitational waves*, Reading Massachusetts, Addison-Wesley, 1997. La recherche des ondes gravitationnelles a fait concevoir différents

lesquelles, à l'instar des ondes mécaniques ou électromagnétiques, doivent dissiper l'énergie du système qui les produit.

Notre connaissance de l'univers provient presque exclusivement de la lumière, des ondes électromagnétiques. Mais de nombreux objets cosmiques, comme les trous noirs, n'émettent pas de lumière et sont invisibles dans le spectre électromagnétique, sans parler de la mystérieuse « matière noire » qui représenterait 85% de la matière de l'Univers (voir 1. 11. 11.). Si nous pouvions capter les ondes gravitationnelles qui parviennent jusqu'à nous de partout dans l'Univers, notre vision en serait totalement bouleversée – l'espace intergalactique, qui nous paraît vide, deviendrait un paysage.

En l'absence d'une unification des quatre interactions fondamentales, le fait de la masse demeure premier en physique. Notre science n'atteint pas la matière première.

Ces quatre interactions et leurs composantes posent essentiellement deux problèmes portant sur le degré d'éléментарité de la matière, ainsi que sur la possibilité de ramener ces quatre forces à une seule²²³.

La décomposition des fermions semble n'avoir pas de limites : les hadrons se réduisent à des quarks et l'on a déjà trouvé un nom pour les hypothétiques constituants des quarks (les préons) et des leptons (les rishons). Toute masse, si petite qu'on la suppose, à l'air d'être une unité. Mais c'est une illusion. Toute masse est en réalité une multiplicité infinie ; c'est-à-dire qu'elle n'est pas un nombre. Il n'y a donc, comme disait Platon, que des phénomènes inconsistants, entre lesquels est ballottée sans trêve une opinion qui ne sait ni où elle va, ni où se fixer (*Parménide*, 8^o hypothèse, 195c²²⁴).

Notons néanmoins que l'éléментарité de l'électron n'a pas encore été infirmée (cette particule reste ponctuelle, c'est-à-dire stable, dans les accélérateurs les plus puissants). A ce stade, quarks et leptons sont la matière élémentaire, en même temps que quatre “forces” fondamentales. Mais il faut ajouter : la matière élémentaire « que nous connaissons », car, selon les hypothèses cosmologiques, 85% de la matière de l'univers serait une « matière noire » faite de particules inconnues (voir 1. 11. 11.).

A ce stade, la matière connue, ce sont ces douze particules élémentaires, auxquelles s'ajoutent quatre interactions :

détecteurs, comme Virgo, lancé en 2003 près de Pise, ou Ligo aux USA.

²²³ Pour une bonne présentation des enjeux liés à ces deux thèmes, quoique un peu vieillie, voir G. Cohen-Tannoudji & M. Spiro *La matière-espace-temps*, Paris, Folio Gallimard, 1986.

²²⁴ *Œuvres complètes*, trad. fr. en 2 volumes, Paris, Pléiade Gallimard, 1950.

Fermions			
Leptons	Electron	Muon	Tau
	Neutrino de l'électron	Neutrino muon	Neutrino Tau
Quarks	up	charm	top
	down	strange	bottom

Pourquoi cet ordre ? D'où les particules tirent-elles la détermination de leur masse ? Il nous manque encore une théorie unifiant la gravitation et les trois autres interactions. En son absence, *le fait de la masse est toujours premier en physique, au sens où on ne peut le dériver.*

La masse pèse encore énigmatiquement sur le destin de la matière, comme l'illustrent les concepts d'antimatière et de trou noir.

Antimatière et trous noirs

Des molécules identiques mais de charge opposée.

Dès la fin du XIX^e siècle, un certain Arthur Schuster imaginait un monde miroir d'antimatière²²⁵. L'idée, il est vrai, relève d'une imagination facile, inspirée par un pur souci de symétrie. On la rencontre ainsi dans de vieux mythes ; comme cette Anti-terre des Pythagoriciens (voir 2. 5. 12.).

Lorsqu'on découvrit l'électron et sa charge négative en 1897, certains, comme Jean Becquerel, se convinquirent qu'il en existait un de charge positive²²⁶. Dans la physique contemporaine, cependant, le père de l'antimatière est le physicien anglais Paul Dirac. Elaborant en 1927 une équation décrivant le comportement des électrons, celui-ci s'aperçut en effet que les deux solutions de l'équation invitaient à considérer, à côté de l'électron, un autre, de même masse et de même spin mais d'énergie positive²²⁷.

²²⁵ Cité par G. Chardin *L'antimatière*, 1996. Sur l'antimatière, voir aussi M. Gardner *L'univers ambidextre*, 1964, trad. fr. Paris, Seuil, 1985.

²²⁶ Voir H. Kragh « Concept and controversy: Jean Becquerel and the positive electron » *Centaurus* vol. 32, 1989, pp. 203-240.

²²⁷ En simplifiant quelque peu, on peut dire qu'en Relativité, la relation entre l'énergie et l'impulsion (P) d'une particule s'écrit $E^2 = P^2 + M^2$. C'est une équation du second degré qui admet pour solutions $E = \sqrt{P^2 + M^2}$ et $E = -\sqrt{P^2 + M^2}$.

Or, en 1932, Carl Anderson observa effectivement, dans le rayonnement cosmique, une particule ayant même masse et spin que l'électron mais de charge opposée : le positon²²⁸. Lorsque ce dernier rencontre son double positif, une désintégration a lieu et deux photons gamma sont émis. De là, il était tentant de supposer que chaque particule possède son jumeau inversé. En 1955, on observa effectivement un antiproton et un antineutron. Depuis, on a observé les doubles de toutes les particules connues, même les plus instables. En janvier 1995, des atomes d'anti-hydrogène ont même pu être produits.

Le monde en miroir. Les trois symétries fondamentales.

Pourtant, si l'on sait susciter l'apparition de l'antimatière dans les accélérateurs, on ne détecte que très peu d'antiparticules "libres" dans le rayonnement cosmique. Nous savons, en d'autres termes, que l'antimatière existe mais nous ne savons pas déterminer quelle est sa part dans l'univers²²⁹. Peut-être est-elle extrêmement réduite et il faudrait alors expliquer pourquoi, après le Big Bang, seule la matière s'est pratiquement maintenue, brisant une symétrie matière-antimatière qu'on imagine avoir été première lors de la formation de l'univers.

L'observation ne peut nous renseigner quant à l'existence de l'antimatière cependant car, du fait que le photon est sa propre antiparticule, matière et antimatière ont le même spectre lumineux. L'existence d'antimatière pour toutes les particules connues, néanmoins, invite à penser que le monde se redouble comme en un miroir (c'était l'interprétation de Dirac)²³⁰. Or, si cela est vrai, toute théorie physique doit respecter trois symétries fondamentales :

- la symétrie matérielle ou conjugaison de charge (C) : toute réaction entre particules doit avoir sa symétrique si l'on inverse les charges des particules ;
- la symétrie spatiale ou parité (P) : le double en miroir de toute expérience doit exister ;
- la symétrie temporelle (T) : toute expérience physique doit pouvoir se dérouler à l'envers.

Ces trois symétries CPT suggèrent que le monde de l'antimatière est comme une matière qui remonterait le temps ; matière et antimatière s'annulant lorsqu'elles se rencontrent. On a ainsi pu soutenir que le positon est en fait un électron qui remonte le temps (Wheeler & Feynman) - pour Dirac, un positon était - fort belle idée ! - l'absence même d'un électron.

Mais les quatre interactions fondamentales, auxquelles toute matière se réduit, respectent-elles la symétrie CPT ? La réponse est oui à deux importantes exceptions près. Dans le cas de particules comme les kaons neutres, l'interaction faible viole les symétries C et P (expériences de C. S. Wu, 1957). Ce phénomène, qui amène à distinguer une droite et une gauche absolues dans l'univers, puisque les désintégrations ont toujours lieu dans l'un seulement de ces deux

²²⁸ Voir N. R. Hanson *The concept of the positron: a philosophical analysis*, Cambridge University Press, 1963.

²²⁹ Voir H. Alfvén *Worlds-Antiworlds: antimatter in cosmology*, San Francisco, Freeman, 1996.

²³⁰ Voir G. Chardin *L'Antimatière : la matière qui remonte le temps*, Paris, Le Pommier, 2010.

sens, n'est pas bien compris. Pour certains, il serait à la source d'une prédominance de la matière sur l'antimatière dans l'univers.

Mais c'est la gravitation, surtout, qui semble la plus rebelle aux trois symétries ; lesquelles, dans son cas, invitent à imaginer des choses assez inconcevables, comme une masse négative et une force répulsive. La gravitation ne respecte pas le jeu des lois de l'univers. Elle les abolit même à travers cet étrange objet qu'est le trou noir.

*

Une vieille idée.

En 2019, le trou noir a cessé d'être un objet hypothétique. On a pu photographier un trou noir. Sans attendre cette observation, beaucoup s'accordaient à dire qu'il explique plusieurs phénomènes célestes, comme les sources X binaires ou les noyaux actifs des galaxies. On estime qu'un immense trou noir (nommé Sagittarius A*), gros comme 4 millions de soleils, est tapi au cœur de notre galaxie. Ce qu'on tire du comportement d'une étoile S2, qui en serait la plus proche. Un autre trou noir de 100 000 masses solaires seulement pourrait également exister près du centre de la galaxie et pourrait correspondre aux vestiges d'une galaxie naine avalée par la Voie lactée. Sur les 120 000 galaxies répertoriées dans le *Sloan Digital Sky Survey*, 20 000 posséderaient un trou noir supermassif en leur centre.

L'idée du trou noir est simple : si l'on admet que la lumière est de nature corpusculaire, alors elle doit, comme l'indiquait déjà Newton, être soumise à l'attraction (voir ci-dessus). On conçoit de là l'existence d'astres si massifs qu'à leur surface, la vitesse de libération nécessaire pour échapper à leur gravité serait supérieure à la vitesse de la lumière²³¹. Il existerait ainsi des astres que l'on ne pourrait voir, parce qu'ils absorbent toute matière et toute lumière environnante, allant jusqu'à dévorer les étoiles elles-mêmes.

Dès 1750, Thomas Wright imaginait que la galaxie tourne autour d'un centre mystérieux et très dense, comme un soleil noir (*An original theory or New hypothesis of the Universe*²³²). En 1784, le révérend John Michell eut l'idée de mesurer la masse des étoiles en détectant le ralentissement de la lumière autour d'elles, du fait de la gravitation. L'idée ne fit pas fortune, cependant. Outre qu'on ne pouvait, par principe, observer de tels "astres occlus", leur principe ne s'accordait pas avec le modèle ondulatoire de la lumière qui s'imposa au XIX^e siècle (voir ci-dessus). Exposant des idées semblables dans son *Exposition du système du monde* (1796, livre V, chap. VI), Pierre-Simon Laplace supprima le paragraphe dans l'édition de 1835²³³.

²³¹ La vitesse de libération est 11,2 km/s à la surface de la Terre et de 620 km/s à la surface du Soleil.

²³² London, Macdonald & Co, 1971.

²³³ 2 volumes, Paris, Bachelier, 1836.

Plus tard, cependant, Einstein prédisait la possibilité de mirages lumineux gravitationnels. Ce dont Arthur Eddington vérifia la réalité dans le cas du périhélie de Mercure. En 1939, le physicien Robert Oppenheimer décrivit le comportement théorique d'astres "froids" s'effondrant sous leur propre poids. Ces idées n'eurent guère d'écho, néanmoins, jusqu'à ce qu'on découvre, dans les années 60, les pulsars et les quasars, petits objets extrêmement massifs, parmi les plus lointains que nous connaissons, dont l'hypothèse d'un effondrement gravitationnel permettait de comprendre la nature.

En Relativité générale, en effet, on décrit la manière dont la matière courbe l'espace. Lorsque cette courbure est si grande que l'espace semble se refermer sur lui-même et ne rien laisser échapper, on parle, selon une expression forgée par John Wheeler (1967) de "trou noir".

*

La théorie des trous noirs emprunte aux règles de la Relativité générale. Einstein, néanmoins, en refusait l'idée. Il récusait toute idée de singularité suspendant les lois physiques et rejetait ainsi les singularités de Schwarzschild (voir ci-après). En effet, décrit par seulement trois paramètres : sa masse, son moment cinétique et sa charge électrique (on dit qu'un trou noir "n'a pas de chevelure"), un trou noir est une *singularité*, c'est-à-dire un point-limite où toutes les valeurs deviennent infinies et toutes les lois physiques sont suspendues. *C'est une non-place ; un trou que la masse est à même de creuser dans l'espace. Autant dire qu'un trou noir ouvre sur nulle part. A sa surface (purement géométrique), que l'on nomme "l'horizon des événements", nous sommes à la frontière de l'espace-temps. Au bord de l'infini*²³⁴.

D'une certaine façon, la vie d'une étoile est comme une lutte contre sa propre masse. Son destin, en effet, est de s'effondrer sur elle-même et, plus sa masse sera importante, plus elle évoluera vite. La durée de vie du soleil est estimée à douze milliards d'années. Une étoile dix fois plus massive aurait une durée de vie mille fois moindre. A cette échelle de temps, on peut considérer que le phénomène s'est déjà produit depuis le début de l'univers et qu'on peut l'observer. Ainsi, peut-être, ces étoiles à neutron hyper-massives, dont le diamètre n'excède pourtant pas quelques kilomètres, qui tournent sur elles-mêmes en moins d'une seconde, quand le soleil met vingt-cinq jours et dont les couches extérieures s'effondrent à une vitesse de 4 000 km/s sur le cœur, rebondissant en une onde de choc qui souffle l'enveloppe de l'étoile, provoquant une supernova. Pendant plusieurs jours, l'étoile peut alors briller autant qu'une galaxie entière. Elle disperse sa matière dans le vide interstellaire. On considère de même que

²³⁴ Voir P. Davies *The Edge of Infinity. Beyond the Black Hole*, London, Penguin Books, 1981.

les étoiles à neutrons pourraient être les restes de la combustion d'étoiles massives dont les noyaux ont cédé sous leur propre poids²³⁵.

Voyages à travers les trous noirs.

Plus un trou noir est massif, plus sa densité est faible et plus douce doit être la courbure qu'il imprime à l'espace. On calcule qu'à cent millions de masses solaires, cette courbure doit être plus faible que celle provoquée par la Terre. S'ouvre ainsi la possibilité - toute intellectuelle évidemment - d'aller visiter les trous noirs en fonction de leur nature. Car ils sont, en effet, de différents types.

Les trous noirs de Schwarzschild sont sphériques, sans rotation ni charge électrique. Ceux de Kerr tournent sur eux-mêmes mais ne sont pas chargés. Ceux de Reissner-Nordström sont sans rotation et chargés tandis que ceux de Kerr-Newman tournent et sont chargés. Or, l'astronome Roy Kerr a voulu démontré que, dans les trous noirs en rotation, la singularité n'est pas un point géométrique, un nœud d'espace-temps mais un anneau couché dans le plan équatorial qu'il serait possible de traverser. Pour atteindre quoi ? Un autre univers ? D'autres régions de l'espace-temps ? A partir de là, les spéculations sont aussi belles qu'hasardeuses.

On a imaginé, en effet, que les trous noirs, puisqu'ils délivrent de l'espace-temps, seraient comme autant de portes sur un univers symétrique, où même la gravitation respecterait les symétries CPT. En d'autres termes, les trous noirs trouveraient, "de l'autre côté", leurs symétriques, où "trous blancs", zones de gravité répulsive et donc de jaillissement gravitationnel. Les deux singularités seraient reliées par un "trou de ver" (*whormhole*).

Certains ont suggéré que c'est à travers de tels trous de ver que nous observons les antiparticules. On peut également imaginer que certains trous noirs ne seraient pas nés d'un effondrement gravitationnel mais existeraient d'eux-mêmes. Ou encore qu'une étoile conservant au cours de son effondrement un moment angulaire supérieur à la valeur critique, un horizon de trou noir ne se formerait pas²³⁶. La singularité, alors, serait "nue" et donc visible. Le physicien Roger Penrose a émis à ce propos l'hypothèse d'un "censeur cosmique" tenant à dire que si une singularité naît de la gravitation, un trou noir se forme obligatoirement autour d'elle afin de la cacher. Une censure cosmique interdit aux singularités de se montrer nues.

On imagine enfin qu'il est peut-être possible de créer des trous noirs de la taille de particules élémentaires dans des accélérateurs...

²³⁵ Voir J-P. Luminet *Les trous noirs*, Paris, Points Seuil, 1992.

²³⁶ On élabore ces modèles en utilisant la métrique relativiste élaborée en 1915 par le mathématicien Karl Schwarzschild, décrivant le champ gravitationnel engendré par une masse sphérique sans rotation dans le vide et la distance critique au centre ou rayon de Schwarzschild ($r = 2GM/c^2$; $M =$ masse de l'astre) à laquelle la vitesse de libération est égale à c (soit 1 cm pour la Terre ; 3 km pour le Soleil). A cette distance, le champ de gravitation devient infini. L'espace-temps s'étire indéfiniment. Il n'y a donc ni d'au-delà, ni d'après.

*

De la masse comme destin.

La masse introduit-elle ainsi comme des trous dans le tissu de l'univers ? Certains physiciens refusent l'idée de singularité, arguant qu'à partir d'une certaine valeur de la courbure d'espace-temps, la Relativité ne s'applique plus. Si l'on accepte l'idée de trou noir, en revanche, le destin de la matière est de se dissiper sous sa propre masse. Rien ne se crée mais tout se perd ; à mille lieux d'une conception de la matière comme donnée éternellement.

Dès le XIX^e siècle, on identifia une catégorie d'étoiles très denses mais de faible rayonnement, les naines blanches. En 1930, le physicien Subrahmanyan Chandrasekhar calcula la limite au-delà de laquelle une naine blanche doit s'effondrer sous sa propre gravité. Il montra, plus précisément, que dans la mesure où les naines blanches sont électriquement neutres, un équilibre se produit entre les électrons et les protons. Lesquels, étant 2 000 fois plus massifs, engendrent l'essentiel de la compression gravitationnelle. L'équilibre restreint ainsi le nombre des protons mais cela, dans une certaine limite équivalente à 1,4 fois la masse du soleil. Tout ce qui est 1,4 fois plus massif que le soleil semble donc voué à s'effondrer. Cette conclusion choqua Eddington, qui critiqua publiquement les travaux de Chandrasekhar.

C'est par effondrement gravitationnel que les étoiles se sont formées. Celles-ci se consomment en cendres - le soleil cède ainsi sous forme de photons et de neutrinos cinq millions de tonnes de matière par seconde. Les étoiles s'écroulent ensuite sous leur propre poids. Disparaissent-elles totalement ? Avec les objets finalement attirés dans le trou noirs ? Le physicien Stephen Hawking l'a soutenu (1974), concernant les objets ayant franchi "l'horizon des événements" qui délimite l'intérieur et l'extérieur d'un trou noir²³⁷. Cela, cependant, violerait alors le principe quantique de réversibilité, selon lequel on peut toujours reconstituer l'état initial d'une particule qui a interagi avec d'autres à partir du produit de ses interactions. L'information portée par une particule, en d'autres termes, est toujours conservée.

Par ailleurs, Stephen Hawking a montré que selon les lois quantiques, un trou noir émet un rayonnement. On parle « d'évaporation des trous noirs » (mais on n'a encore jamais pu l'observer²³⁸). Or un corps qui rayonne possède des propriétés thermodynamiques. On peut alors parler d'entropie (voir 2. 2. 23.) des trous noirs, laquelle serait proportionnelle à la masse du trou noir et celle-ci non pas au volume de ce dernier – volume qui n'existerait pas en fait

²³⁷ Voir les articles de S. Hawking, R. Penrose, etc. in « Les trous noirs » *Pour la science*, Dossier hors-série, juillet 1997.

²³⁸ Il n'est évidemment pas possible de créer un trou noir en laboratoire ! Mais les équations qui décrivent les trous noirs et celles qui gouvernent les ondes acoustiques dans un fluide sont similaires ; en d'autres termes, la propagation d'un son dans un fluide présente des points communs avec celle de la lumière près d'un trou noir. On parle de « trou noir acoustique ». Or, en 2014, il a pu être vérifié qu'un trou noir acoustique émet un rayonnement de Hawking, c'est-à-dire des ondes acoustiques près de l'horizon.

puisque les objets glissant dans le trou noir y disparaissent totalement – mais à son horizon des événements, à sa surface.

De là, au début des années 90, Leonard Susskind et Gerard 't Hooft ont émis l'hypothèse d'un « principe holographique » selon lequel l'horizon d'un trou noir contient la totalité de l'information incluse à l'intérieur de celui-ci. En généralisant ce principe à toute la matière, on considère que toute information contenue dans un volume d'espace peut être décrite en ne prenant en compte que ce qui intervient que sur les bords de ce volume – comme si la troisième dimension n'existait pas – exactement comme on voit en trois dimensions avec un hologramme alors que toute l'information est codée sur un film en deux dimensions.

Ainsi, décidant du destin de l'univers, la matière finirait par s'effondrer sous sa propre masse et par disparaître totalement dès lors, à travers l'émission d'un rayonnement thermique. Le destin de l'univers serait d'être finalement réduit à une image²³⁹. *La réalité ultime ne serait pas la matière mais l'information.*

Dès que les phénomènes de rayonnement furent découverts et notamment la radioactivité, certains auteurs parlèrent d'une évolution de la matière. Celle-ci, réservoir de forces, de chaleur et d'attraction, d'abord nuage informe, s'organisant sous formes d'atomes et ceux-ci rayonnant toute leur énergie sous forme lumineuse, calorifique, etc., annoncent le retour final à l'Ether primitif ; au "nirvana final" (Gustave Le Bon *L'évolution de la matière*, 1910²⁴⁰). Dans un ouvrage récent, Roger Penrose parle ainsi des renaissances périodiques d'un univers cyclique (*Les cycles du temps*, 2010²⁴¹). A terme, explique-t-il, les galaxies seront englouties dans des trous noirs, lesquels s'évaporeront à leur tour sous la forme de photons, ces particules sans masse qui échappent au temps car elles n'ont pas de fréquence propre. Lorsque la masse de l'univers sera devenue nulle, ce sera la fin du temps et l'univers pourra renaître d'une fluctuation du vide. *La matière n'est pas un principe de stabilité. La masse est un facteur de désordre. Elle introduit le destin dans l'univers. C'est une vision que Kant, le premier, formula en cosmologie (voir I. 11. 9).*

*

Ce que recouvre le concept d'élémentarité.

A travers le concept d'élémentarité, la physique contemporaine interroge la possibilité non pas d'atteindre quelque grain de matière insécable mais de ramener toute

²³⁹ L. Susskind imagine même que notre univers puisse être une sorte de trou noir inversé qui rejette les objets célestes hors de lui au lieu de les attirer. Voir *Le paysage cosmique : notre univers en cachera-t-il des millions d'autres ?* 2005 trad. fr. Paris, R. Laffont, 2007.

²⁴⁰ Paris, Flammarion, 1910.

²⁴¹ trad. fr. Paris, O. Jacob, 2013.

manifestation de la matière à une unique force ; ne faisant plus ainsi de toute particule que l'état excité d'un champ - nœud énergétique ou vibration ponctuelle d'une "corde".

D'un point de vue largement mythologique, on parlera "d'holomouvement", c'est-à-dire d'un flux indéfinissable et inconnu dont tout événement vivant ou inorganique est abstrait, et pour dire que chaque élément de l'univers interagit avec tous les autres et s'intègre avec eux au sein d'un seul organisme²⁴². La force de liaison, « qui fait tout dans l'univers » fournit ainsi la base d'un conte philosophique de Jacques de Bourbon Busset (*L'audace d'aimer*, 1990²⁴³).

Le problème posé est celui de l'unification des quatre interactions. Il n'a pas encore véritablement reçu de réponse. A ce stade, plusieurs « théories du Tout », tentant d'unifier particules et interactions, d'expliquer comment fermions et bosons peuvent interagir, se distinguent en plus de la théorie des cordes : les triangulations dynamiques causales de Renate Loll & Jan Ambjorn (2002), la gravité quantique à boucles de Lee Smolin (grand adversaire de la théorie des cordes) et Abhay Ashtekar pour laquelle l'espace n'est pas continu mais formé de grains élémentaires, la géométrie non commutative d'Alain Connes et la théorie de la supersymétrie, qui postule qu'à chaque particule est associée une superparticule que nous n'avons pas encore détectée, selon une idée d'abord émise par Pierre Fayet à la fin des années 70²⁴⁴.

*

Le boson de Higgs et les théories des cordes.

Les premières théories d'unification tentèrent d'intégrer à la Relativité Générale l'interaction électromagnétique. Einstein y travailla une grande partie de sa vie. Et beaucoup d'essais furent produits en ce domaine dans les années 1920 et 30²⁴⁵. Les physiciens Theodor Kazula et Oskar Klein en conçurent la première formulation (1919), proposant, à cet effet, de prendre en considération une cinquième dimension enroulée sur elle-même en une boucle si petite qu'elle nous est imperceptible.

²⁴² Voir D. Bohm *La plénitude de l'univers*, 1980, trad. fr. Monaco, Ed. du Rocher, 1990.

²⁴³ Paris, Gallimard, 1990.

²⁴⁴ Voir G. Kane *Supersymétrie*, 2000 trad. fr. Paris, Le Pommier, 2003.

²⁴⁵ Voir C. Goldstein & J. Ritter « Einstein et la théorie unitaire : 40 ans de perdus ? » *Pour la science* n° 326, décembre 2004, pp. 126-131.

La Relativité générale ramenait la gravitation à la topologie de l'espace-temps et l'idée était dès lors de rechercher une explication géométrique aux autres forces de la nature. Pour intégrer l'électromagnétisme à la Relativité, on conçut ainsi une cinquième dimension, dont on imagina qu'elle était, depuis les débuts de l'univers, demeurée trop petite, enroulée sur elle-même, pour que nous puissions la détecter.

Déçu par l'accueil que reçurent ses travaux, de la part d'Einstein notamment, T. Kazula abandonna la physique et devint installateur de piscines !

Depuis les années 70, la théorie électrofaible (Steven Weinberg, Abdus Salam & Sheldon Glashow) a réuni les interactions fortes et faibles. Elle prédisait l'existence des bosons W et Z, qui furent effectivement découverts en 1982 et 1983. Elle prédit également l'existence du boson de Higgs, qui demeurait lui inobservé – mais en juillet 2012, au CERN, une nouvelle particule a été observée qui pourrait bien être le boson de Higgs.

Par la suite, une théorie de l'interaction forte, la chromodynamique quantique, réunie avec la théorie électrofaible, a donné un modèle théorique, dit "modèle standard", qui sait décrire de façon unifiée les trois premières interactions. Dans ce modèle, les fermions font la matière et les bosons sont les véhicules des interactions forte, faible et électromagnétique (la gravitation n'est pas prise en compte). Dans ce modèle, il est difficile de rendre compte de la masse des particules – en fait, le modèle ne fonctionne que si les particules n'ont pas de masse. Celle-ci est cependant déterminante : il n'y aurait pas d'atomes et donc de matière si les électrons avaient une masse nulle car ils pourraient s'échapper à la vitesse de la lumière. Comment expliquer par ailleurs que les bosons W et Z ont une masse élevée alors que le photon est de masse nulle ?

En 1964, François Englert et Robert Brout, ainsi que, indépendamment, Peter Higgs, proposèrent une explication selon laquelle la masse des particules est le résultat de son interaction avec un champ présent dans tout l'univers, le champ de Higgs, apparu avec le refroidissement de l'univers ; les particules ayant donc été sans masse à l'origine. Plus l'interaction est intense, plus la masse est élevée et réciproquement, elle peut être nulle comme dans le cas du photon. La particule associée à ce champ est le boson de Higgs, de spin nul (ce qui n'est le cas d'aucune particule élémentaire connue), dont le couplage avec

les autres particules serait à l'origine de leur masse (certains conçoivent l'existence de plusieurs bosons de Higgs).

Il reste que si le modèle standard réunit les trois interactions sous un formalisme commun, il ne les réunit pas au sein d'une seule Superforce. Par ailleurs, la gravitation n'entre pas du tout dans le modèle standard.

Sont donc apparues, nous l'avons déjà noté, des "théories du Tout" ou "Théories M", dont l'enjeu est d'unir les quatre interactions et donc de réconcilier en quelque sorte la Relativité générale et la théorie quantique, tout en rendant compte des interactions entre fermions et bosons. Parmi ces théories, la plus connue est la "théorie des cordes". L'idée de base est que la force qui tient les quarks est similaire à celle d'une corde : elle augmente avec la distance (à mesure que la corde se tend), tandis que les autres forces de la nature décroissent avec la distance. Cette analogie fut établie par le physicien Gabriele Veneziano.

Ce phénomène, qui explique peut-être pourquoi on ne peut observer de quark isolé, a été nommé "liberté asymptotique" par David Gross.

La principale idée sous-tendant le modèle standard est qu'à chaque point de l'espace-temps sont attachés des espaces mathématiques nommés « fibres » correspondant chacun à un type de particule – l'idée fut en fait introduite par Hermann Weyl en 1918. L'ensemble définit un espace fibré ou un « fibré ». Les fibres, néanmoins, n'appartiennent pas à notre espace. Elles sont comme l'espace interne de chaque point de l'espace-temps. Quand des particules entrent en collision, elles peuvent se transformer en d'autres particules mais de façon que la charge totale reste la même : les enroulements de leurs fibres s'ajoutent. Les charges électriques décrivent ainsi la structure géométrique du fibré en déterminant quelles sont les interactions possibles entre particules chargées.

De là, Joël Scherk et John Schwarz (1974) imaginèrent que les différentes variations de la corde correspondent à toutes les différentes particules, y compris le graviton. *Les éléments constitutifs de la matière seraient finalement de minuscules cordes.* Tout comme une corde vibrante peut produire différentes notes, les particules ne seraient pas des objets ponctuels mais des phénomènes linéaires, les manifestations différenciées d'une seule entité, la corde, dans des espaces à dix ou même vingt-six dimensions et qui

pourraient être logées sur des objets de différentes dimensions, les branes. C'est ce que requiert en effet l'unification géométrique de l'ensemble des particules et de leurs effets ; y compris ceux restant encore hypothétiques comme la symétrie - nommée Supersymétrie - des fermions et des bosons, qui associe à chaque particule de spin demi entier (fermion) une particule de spin entier (boson) et réciproquement.

La Supersymétrie tente notamment, dans le cadre du modèle standard de la physique des particules, de rendre compte de la masse particulière que possèdent les différentes particules. A cet effet, elle prédit l'existence de particules nouvelles de masse élevées qui seraient les « superpartenaires » de celles qui existent et qui pourraient constituer la mystérieuse matière noire qui représente 85% de la matière de l'univers et qui ne se manifeste que par ses effets gravitationnels (voir 1. 11. 11.). Les superpartenaires demeurent cependant inobservables et certains remettent en cause l'idée de Supersymétrie.

La théorie des cordes fait l'objet de nombreux développements mais reste, à l'heure actuelle, tout à fait théorique. On fonde néanmoins beaucoup d'espoir sur de nouveaux accélérateurs, qui permettront peut-être d'observer la Supersymétrie. Tandis que d'autres considèrent que cette théorie est par trop spéculative et, invérifiable, ne sert qu'à masquer une impasse théorique²⁴⁶.

Dans l'attente, les théories des cordes produisent une littérature fournie et étrange, extrêmement difficile à suivre pour les non-professionnels. Où les spéculations s'accompagnent de descriptions extrêmement précises. Où tout se mêle et où l'on passe sans transition de l'explication spéculative d'un détail corpusculaire à celle de l'évolution globale de l'univers... Nous ne ferons ainsi que signaler qu'en 2007 le physicien Garrett Lisi a proposé une théorie alternative à la théorie des cordes fondée sur une structure mathématique particulière, le groupe de Lie ; ce qui a apparemment été accueilli avec beaucoup de scepticisme.

*

2. 4. 19.

Le modèle standard - c'est-à-dire le modèle qui nous permet actuellement de rendre compte de la matière - invite à considérer que les trois premières interactions fondamentales n'en font plus qu'une à une énergie de 10^{16} gigaélectronvolts. Qu'à haute énergie, comme à l'origine de l'univers, la masse des bosons est nulle et la portée de leur interaction infinie. Dans notre univers, néanmoins, seul le photon est sans masse. D'où

²⁴⁶ Voir L. Smolin *Rien ne va plus en physique : l'échec de la théorie des cordes*, 2006 trad. fr. Paris, Dunod, 2007 & P. Woit *Même pas fausse ! La physique renvoyée dans ses cordes*, 2006, trad. fr. Paris, Dunod, 2007.

vient la masse des autres particules ? Nous venons de le voir, on a postulé l'existence du boson de Higgs pour l'expliquer. *La masse, ce qui maintient un objet dans un mouvement uniforme tant qu'une force extérieure ne vient pas en perturber le cours, la masse demeure un fait premier.* Celle des particules, ainsi, ne peut être prédite et n'est guère comprise, dans la mesure où les différentes masses ne paraissent pas réparties de façon ordonnée : l'électron est ainsi 350 000 fois plus léger qu'un quark, la particule la plus lourde connue (sa masse correspond à une énergie de 175 gigaélectronvolts).

Ainsi, la voie qu'indique la physique moderne est-elle celle d'une réduction de la matière à des interactions et la réduction de celles-ci à une unique "force" à l'origine du temps et de l'espace eux-mêmes. Les quarks, ainsi, semblent n'avoir aucune structure interne. Ils ont de l'existence sans avoir d'extension. Les séparer permettrait peut-être de dénouer l'espace. La réalité première du monde, dès lors, serait le mouvement. Et c'est une éclatante revanche de Descartes sur Newton : il n'y a pas de vide. Le monde est plein.

Le vide

Visions antiques.

Classiquement, le vide s'oppose à la matière. Mais non pas comme le néant à l'être. Car s'il est un non-être, le vide est cependant réel. On peut lui attribuer des qualités (extension spatiale, éternité). Les Stoïciens, ainsi, faisaient de lui un incorporel, comme le temps. Le vide déterminait selon eux le lieu des corps et représentait notamment la place où le monde s'étend lors de ses embrasements. Mais force était d'admettre, réciproquement, que le vide n'est vide et lieu que par rapport aux corps. Les Stoïciens précisaient donc qu'en aucun cas le vide n'est une sorte d'intervalle préexistant aux corps²⁴⁷.

Fort longtemps, ainsi, le vide fut pensé, à l'image du concept de lieu d'Aristote (voir 2. 2. 13.), comme une abstraction, une limite²⁴⁸. Le vide est l'espace qui renferme un corps et non pas un espace où les corps seraient logés, précisera encore Giordano Bruno. De sorte que plein et vide sont une même chose²⁴⁹.

Au Moyen Age, les autorités religieuses soutiennent le vide.

²⁴⁷ Voir V. Goldschmidt *Le système stoïcien et l'idée de temps*, Paris, Vrin, 1953.

²⁴⁸ Voir M. Paty *Le vide matériel ou la matière crée l'espace* in E. Gunzig & S. Diner (Ed) *Le vide. Univers du tout et du rien*, Bruxelles, Complexe, 1997.

²⁴⁹ Voir P. Duhem *Etudes sur Léonard de Vinci*, 3 volumes, Paris, Hermann, 1906-1913, III, p. 254 et sq.

L'idée d'un vide réel était liée à la tradition atomiste, c'est-à-dire "matérialiste". Pourtant, Etienne Tempier, archevêque de Paris, condamna en 1277 les thèses qui refusaient l'existence du vide et notamment celle qui soutenait que Dieu ne peut déplacer le monde selon un mouvement rectiligne puisque le monde laisserait ainsi un vide derrière lui - possibilité que soutiendra positivement en revanche Nicole Oresme dans une traduction d'Aristote de 1377 (*Le livre du ciel et du monde*²⁵⁰).

Pour l'archevêque, refuser le vide, c'était limiter la toute-puissance de Dieu. L'idée chrétienne de création conduit en effet à considérer un néant concret. De là, à Paris et à Oxford, des universitaires comme Henri de Gand ou Richard de Middleton commencèrent à soutenir la possibilité d'un vide positif²⁵¹.

Dès lors que sa conception de la matière était discontinue, corpusculaire, la mécanique classique ne pouvait que défendre l'idée du vide, notamment pour justifier le mouvement inertiel. En même temps, nous l'avons vu, elle était obligée de postuler un Ether pour penser l'interaction entre les corps. Dès la Renaissance, ainsi, le vide fut introduit dans la physique, pour justifier le mouvement en ligne droite (alors même que l'idée d'inertie n'était pas encore formellement établie, voir).

La première étape fut de montrer que le milieu dans lequel intervient le mouvement, n'est pas, par rapport à lui, moteur, comme le soutenait Aristote mais bien obstacle. Giambattista Benedetti établit ainsi que la vitesse du mouvement est en rapport avec le poids relatif du corps transporté, c'est-à-dire de son poids diminué de la résistance du milieu (*Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, 1585²⁵²). Le vide, dont le principe était ainsi posé, s'imposa au XVII^e siècle à la faveur d'expériences barométriques.

*

Galilée, Torricelli et Pascal.

En 1640, Galilée fut interrogé par le grand-duc de Toscane : pourquoi ses pompes étaient-elles incapables d'amener au niveau du sol de l'eau située treize mètres plus bas ? A l'époque, le fonctionnement des pompes était expliqué par l'adage fameux selon lequel "la nature a horreur du vide". En s'élevant dans le corps de pompe, pensait-on, le piston crée au-dessous de lui un vide que la nature remplit aussitôt d'eau, laquelle s'élève à son tour dans le tuyau de la pompe. Selon ce principe, l'action d'une pompe devait donc être illimitée et, de ce que les pompes aspirantes ne pouvaient élever l'eau plus qu'à une certaine hauteur, Galilée dut constater que la nature n'a horreur du vide que jusqu'à un certain point...

²⁵⁰ Avec une traduction anglaise, University of Wisconsin Press, 1968.

²⁵¹ Voir E. Grant *Représentations du vide au Moyen-Age* in E. Gunzig & S. Diner *op. cit.*, p. 82 et sq.

²⁵² Taurini, apud H. Bevilacqua, 1585.

Son élève, Evangelista Torricelli devait en fournir l'explication. Ce qui fait monter l'eau, c'est le poids de l'air qui s'exerce sur sa surface à l'extérieur du tuyau. Torricelli le montra de la façon suivante : la pression de l'air est susceptible de soutenir une colonne d'eau de dix mètres. Le mercure est 13,6 fois plus dense que l'eau. L'air devait donc pouvoir en soutenir une colonne de 76 cm, ce qui fut vérifié (1644). En même temps, Torricelli observa que cette hauteur variait légèrement d'un jour à l'autre. Il définit ainsi le principe du baromètre²⁵³. Le monde savant admit l'explication. Dès 1659, Robert Boyle fabriquait une pompe à air et défendait le "vacuisme" sur la base de plusieurs expériences, rencontrant l'opposition de Hobbes, mettant en cause l'étanchéité de la pompe à air²⁵⁴. En 1647, déjà, Otto Von Guericke utilisait une sorte de grosse seringue pour aspirer l'air d'un ballon - pompe avec laquelle Boyle présenta bientôt nombre d'expériences montrant que le son ne se propage pas dans le vide, que le feu y meurt, que deux objets de poids différent y tombent à la même vitesse, etc.

Pour autant, on se refusa à croire que l'espace que l'eau n'occupait pas dans le tube de Torricelli était vide. Il devait s'agir, pensait-on, d'une matière subtile, sur la nature de laquelle on épiloguait. Blaise Pascal fit alors refaire l'expérience en haut et en bas du Puy-de-Dôme (1648). Il la fit également lui-même en haut et en bas de la Tour Saint-Jacques à Paris²⁵⁵. Il voulait montrer que la hauteur du mercure est plus faible au sommet qu'au pied de la montagne, parce que la pression de l'air y est moindre²⁵⁶. L'eau, ainsi, s'élève différemment dans les pompes en chaque lieu du monde, en fonction de la densité de l'air. Tous les phénomènes relatifs à l'équilibre des liqueurs, soutint Pascal, reposent sur le principe de la pression d'air contrebalançant celle du liquide. Il n'est dès lors nullement besoin d'invoquer une nature animée, ayant horreur du vide. Il n'est pas même nécessaire de rejeter l'idée du vide.

Pascal publiera deux traités *Sur l'équilibre des liqueurs* et *Sur la pesanteur de la masse de l'air* (1663²⁵⁷). Il projeta également un *Traité du vide*, qu'il n'acheva pas. C'est que Pascal n'a jamais parlé du vide comme d'une réalité positive. Il montre simplement que l'admettre représente l'hypothèse la plus simple et la plus conforme à l'expérience – une démarche radicalement nouvelle en son temps²⁵⁸.

Dès 1647, le Père Noël lui objectait que le "vide" dans le tuyau est un corps, puisqu'il a des actions : il transmet la lumière, retarde le mouvement d'un autre corps et occupe de la place.

²⁵³ L'instrument lui-même sera conçu par Otto de Guericke en 1672. Signalons par ailleurs que, très tôt, les Grecs pesèrent l'air. Mais pour trouver qu'une vessie de porc vide et remplie d'air pèsent le même poids et en déduire que l'air n'est pas pesant ; ignorant, ce qu'Archimède découvrit, que la poussée exercée par l'air ambiant compense exactement le poids de l'air introduit dans la vessie.

²⁵⁴ Voir S. Shapin & S. Schaffer *Léviathan et la pompe à air*, 1985, trad. fr. Paris, La Découverte, 1993.

²⁵⁵ Pascal réalisa en fait toute une série d'expériences. Voir P. Humbert *L'œuvre scientifique de Blaise Pascal*, Paris, A. Michel, 1947, chap. 4 & 5.

²⁵⁶ Dans une lettre du 13 décembre 1647 à Mersenne, Descartes affirme que c'est lui qui a suggéré à Pascal de faire l'expérience en haut et en bas d'une montagne.

²⁵⁷ *Œuvres complètes*, Paris, L'Intégrale Seuil, 1963.

²⁵⁸ Voir J-P. Fanton d'Andon *L'horreur du vide*, Paris, Ed. du CNRS, 1978.

Or, si c'est un corps, on peut supposer qu'il attire à lui l'eau en raison de sa masse (*Première lettre*). Pascal lui répond (*Lettre au Père Noël* - sic - du 29 octobre 1647) que, quant à la lumière, sa nature étant inconnue, il n'y a pas a priori de contradiction à admettre qu'elle peut traverser un espace vide. Et quant au corps supposé occuper le tuyau, il est bien plus difficile d'admettre sa matière invisible et impalpable que l'idée du vide. De plus, s'il attire le vif-argent, celui-ci devrait être d'autant plus haut dans le tuyau que le corps est grand. Or l'expérience montre le contraire.

Trois erreurs intuitives empêchent de comprendre l'action des pompes, note Pascal (*Sur la pesanteur de la masse d'air*) : croire que l'air est léger ; que rien ne pèse dans son propre élément (un seau d'eau dans l'eau par exemple) ; qu'une pompe, en conséquence, peut élever l'eau à n'importe quelle hauteur.

*

Une dispute de mot. Quand la mythologie du progrès scientifique joue à plein !

Pascal apportait l'idée d'un vide ponctuel, *localisé*. Il parlait, en fait de vide, d'air raréfié, et quand ses contradicteurs lui demandaient si le vide qu'il admettait était un pur néant, Pascal répondait qu'il s'agissait d'un milieu intermédiaire entre l'être et le néant. La querelle, ainsi, était avant tout une dispute de mots.

Dans le cas du vide, la mythologie du progrès scientifique aura joué à plein, pour laquelle l'attitude expérimentale d'un Pascal aura triomphé des erreurs d'Aristote et de Descartes. Mais un tel "triomphe" ne fut en fait acquis que sur le vague d'un terme : le vide, par lequel la science moderne n'a jamais entendu qu'un air raréfié - jusqu'à l'espace intergalactique, où l'on compte environ une molécule par m³.

La physique classique, pourtant, posa en principe l'existence du vide en rapport avec les lois du mouvement *et tout en le distinguant à la fois de la matière et de l'espace*. Le vide était pour elle le principe de délimitation des choses et de leurs mouvements. Il était l'inévitable corrélat d'une matière pensée comme discontinue, comme dans le modèle atomistique antique. En définitive, la physique classique était tout aussi obligée de reconnaître l'existence du vide - mais sans pouvoir le qualifier positivement, comme il est clair chez Pascal, car comment qualifier ce qui n'est rien ? - que de le combler d'une matière subtile dès lors qu'il fallait penser l'interaction lumineuse ou gravitationnelle entre les corps.

Tout changea dès lors que la matière redevint continue et que les masses, nous l'avons vu, se prolongèrent en champs. Le vide continua à être pensé par opposition à la matière ponctuelle mais la loi de conservation de l'énergie invitait désormais à l'identifier à un état d'énergie minimal du champ. Les particules, réciproquement, ne représentant qu'un état d'excitation de ce champ. *Le plein, ainsi, est comme la manifestation du vide.*

Une telle attitude n'était pas tout à fait étrangère à la mécanique classique. Il suffit de penser au potentiel newtonien. Celui-ci tient au fait qu'on tente de généraliser la loi de l'attraction pour une distribution quelconque de la matière. D'une force vectorielle (*i.e.* : dépendante du choix d'un système de coordonnées), on tente de dériver une grandeur scalaire (*i.e.* : indépendante du choix du référentiel). Le mathématicien Denis Poisson, ainsi, eut l'idée, dès le début du XIX^e siècle, d'associer à chaque point de l'espace un nombre P nommé "potentiel de la gravitation". En l'absence de toute matière, $\Delta P = 0$; tandis que la matière "excite" ce potentiel dans une mesure $\Delta P = 4\pi G\rho$ (avec ρ = densité de matière et G la constante gravitationnelle).

Le champ est l'être premier. Il représente une sorte de nature latente dont le réel est la manifestation²⁵⁹. Au point de pouvoir envisager la Création elle-même comme une fluctuation du vide (voir I. 11.).

La science semble au total avoir plutôt disqualifié l'idée de vide mais sans vraiment s'en rendre compte...

Beaucoup d'ouvrages sont produits de nos jours pour chanter les paradoxes de ce vide créateur et les rapprocher d'antiques pensées, notamment chinoises. Cela, néanmoins, relève davantage du marketing éditorial que de la vulgarisation scientifique. En fait, le terme de "vide" devrait être abandonné. Un champ, même lorsqu'il n'est pas manifesté, est tout sauf vide : il occupe de l'espace et obéit à des lois. *Ce que la physique moderne, en fait, a précisément rejeté, c'est l'idée d'un espace vide.* C'est la possibilité de pouvoir qualifier l'espace par rien - un espace que ni la lumière ni la gravitation, ni les neutrinos ne traverseraient. En physique, le vide n'est jamais que l'absence de certaines choses définies. Et s'il faut référer cette attitude à quelque ancienne pensée, il suffit de revenir à Aristote et à Descartes.

Aristote et Descartes.

Lorsqu'un vase est plein d'or, disait Descartes, il ne contient pas plus de matière que lorsqu'il est "vide" (*Le Monde*, 1633, chap. 4 ; *Principes*, 1644, II, § 18). Et Descartes de refuser d'invoquer le vide pour expliquer les phénomènes de pression barométriques. Si un tonneau de vin percé en bas ne coule pas tant que le dessus reste clos, c'est qu'un espace n'a pas été créé où l'air puisse circulairement remonter à sa place, explique-t-il (*ibid*). Explication qui paraîtra rétrograde une décennie plus tard face à Torricelli et à Pascal. *Pour Descartes, il n'était néanmoins nullement nécessaire de conclure du mouvement au vide.* Et c'est déjà ce que soutenait Aristote (*Physique*, IV, 6-9). Car ce que l'idée de matière nous oblige à penser, c'est qu'elle est, *en elle-même*, susceptible d'altération et ne change pas seulement sous l'impact d'une force extérieure.

²⁵⁹ Voir M. Cassé *Du vide et de la Création*, Paris, O. Jacob, 1993.

Rien ne peut être mû dans le vide, souligne Aristote, car celui-ci ne comporte aucune différence. Se transporter dans le vide, c'est aller nulle part. Il ne peut y avoir de continuité entre le vide et le plein. Tandis que, dans le plein, les choses peuvent se remplacer mutuellement, comme cela se voit dans les tourbillons des liquides (214b).

Les Pythagoriciens pensaient que le vide est nécessaire pour délimiter les choses et leurs mouvements. Car la matière, pour eux, était granulaire ; liée aux nombres premiers (213b). Aristote, lui, pense essentiellement la matière comme continue. Les contraires, affirme-t-il, le chaud et le froid et les autres contrariétés physiques partagent une même matière en laquelle le mouvement est *changement* ; passage de la puissance à l'acte (217b). Dès lors que la matière est continue, il n'y a pas de vide. L'espace est matière, ou plutôt, en fait d'espace, il n'y a que des lieux.

*

Actualité de la physique de Descartes.

De la physique que Descartes expose dans les *Principes de la philosophie* (1644) - une physique appuyée sur bien peu d'expériences, peu mathématisée et formant dans le détail, a-t-on dit, un véritable roman - la science a peu retenu.

Cette physique, Descartes la possédait bien avant 1644. Il l'avait notamment couchée dans son *Traité du Monde* (1633), dont le procès de Galilée, la même année, lui fit cependant différer la publication à 1664. Ce sont donc les *Principes* qui exposèrent aux yeux de tous le mécanisme cartésien. Popularisée, sous une forme simplifiée, notamment par Jacques Rohault (*Traité de physique*, 1671²⁶⁰), la science cartésienne s'imposa, au moins sur le Continent, jusqu'à Newton. On sait que les femmes savantes de Molière (1672²⁶¹) aimeront, de Descartes, ses tourbillons et ses mondes tombants (Acte III, sc. 2).

Malgré sa réputation, la physique cartésienne est étonnamment moderne. Toute matière s'y réduit à des corpuscules de différentes tailles, qui occupent tout l'espace et tendent toujours à se déplacer en ligne droite (il en résulte des tourbillons, qui expliquent notamment la rotation des astres les uns autour des autres, II, § 33 & III, § 65 et § 149). Voilà tout ! Toute matière est réduite au choc, à la vitesse (§ 157). Les corpuscules les plus agités produisent les effets lumineux (voir ci-dessus). Ils font la matière des astres. Le ciel est occupé par des corpuscules de plus grande masse mais qui restent "transparents" (ils transmettent l'agitation que leur communiquent les corpuscules les plus agités). Les

²⁶⁰ 2 volumes, Paris, Desprez, 1730.

²⁶¹ Paris, Bordas, 1975.

planètes, elles, sont faites de matière obscure, c'est-à-dire de plus en plus lourde et de moins en moins agitée (§ 52). Tout, chez Descartes, se réduit à la situation relative et à la grandeur des parties dont sont faites les choses. Lumière et pesanteur, ainsi, ne sont qu'autant d'effets cinétiques de compression mutuelle des corps. *Ils se ramènent en définitive à l'étendue* et ne sont en aucun cas des propriétés des corps (IV^o partie, § 20 et sq.)²⁶². Chaque tourbillon est limité par ses voisins et peut être emporté dans un plus grand tourbillon qui l'englobe. Le centre d'un tourbillon ne joue aucun rôle actif d'attraction.

Toute matière se ramène à l'étendue.

Puisqu'il n'y a pas de vide, l'étendue est toute la matière. "Je suppose le plein absolu", écrit d'emblée Fontenelle dans sa *Théorie des tourbillons cartésiens* (1682²⁶³). La matière ne peut changer de lieu ou être mue. Elle n'a pas d'autre espace à occuper que celui qu'elle occupe déjà. La matière elle-même se réduit au mouvement qui agite les corpuscules, qui les sépare et les polit (les "raclures" sont les corpuscules "lumineux", les plus agités, qui occupent les interstices et font la matière des astres rayonnants, *Principes*, § 48). Une force, une quantité de mouvement lancée dans un bloc compact de matière. Voilà le monde de Descartes.

Le mouvement est extérieur aux corps ; ce principe fonde le mécanisme. Les corps n'ont pas de qualités propres, comme la solidité ou la liquidité, ni encore moins de "forces occultes". Descartes entreprend de désenchanter le monde. Il est prêt, selon ses principes, à tout expliquer ; même les présages ; les plaies d'un mort qui saignent quand son meurtrier s'approche de lui (§ 187) ; les lampes qu'on a trouvées dans certains tombeaux brûlant depuis des siècles (§ 116), etc.

Dans l'idée qu'un corps puisse en attirer un autre, même dans le cas du magnétisme (IV, 6 171), Descartes ne voit qu'animisme²⁶⁴. Quoique composée de parties, la matière cartésienne est *continue* et c'est pourquoi Descartes se défend d'être proche de Démocrite ou d'Épicure (§ 202). Tout son monde est le destin d'une force, d'une quantité de mouvement lancée dans la matière. Tel est pour lui l'acte créateur de Dieu que de faire naître et d'entretenir à chaque instant la quantité de mouvement dans le Monde. Or, le fait

²⁶² Sur les autres conceptions de l'attraction à l'époque, voir M. Blay *Les raisons de l'infini*, Paris, Gallimard, 1993, p. 66 et sq.

²⁶³ *Œuvres complètes*, 7 volumes, Paris, Corpus Fayard, 1990-1997.

²⁶⁴ *Lettre à Mersenne*, 20 avril 1646.

du mouvement, du changement, et son organisation sous la forme d'un monde est précisément ce que, le premier, Aristote nomma la nature.

Finalement, ce que la physique de Descartes peut encore nous apprendre est philosophique : que l'idée de matière, loin de réduire toutes choses à quelque réalité sous-jacente primordiale, conduit à découvrir le monde comme nature.

*

* *