

LA HOUILLE BLANCHE

Revue générale des Forces Hydro-Electriques
et de leurs applications

*La Houille noire a fait l'Industrie moderne ;
la Houille blanche la transformera.*

7^e Année. — Mars 1908. — N^o 3.

Réflexions sur une Théorie Moderne

Discours prononcé par M. BECQUEREL, de l'Académie des Sciences,
à la séance publique des cinq Académies, du 25 octobre 1907.

Les physiciens et les chimistes s'occupent beaucoup, en ce moment, d'une nouvelle théorie de la matière. Des faits inattendus, des vues hardies, ont troublé certaines idées généralement admises sur la constitution des corps. On a opposé la science d'aujourd'hui à la science d'hier.

Il m'a semblé intéressant de rechercher si une telle opposition n'est pas plutôt apparente que réelle, et de comparer la théorie expérimentale moderne à celles qui, au cours des siècles, sont nées de l'observation, progressivement plus exacte, des phénomènes naturels.

I

Vous savez que l'on conçoit aujourd'hui la matière comme composée de parties élémentaires invisibles, d'atomes dont les groupements ont été appelés des molécules. L'unité de la constante de la gravitation et les relations trouvées par les chimistes entre les atomes des divers corps font penser qu'on est en présence de l'inégale condensation d'une matière unique et universelle.

On imagine, en outre, les molécules animées d'un mouvement d'agitation perpétuel, donnant lieu à des chocs d'autant plus fréquents que la température est plus élevée. Les principes de la mécanique appliqués à cette conception rendent compte des propriétés essentielles des gaz.

Une expérience d'électricité nous conduit beaucoup plus loin. Lorsqu'on fait éclater des étincelles dans les ballons de verre où l'on a raréfié la matière gazeuse au point qu'il en reste à peine quelques traces, la décharge forme un faisceau rectiligne, capable de traverser des lames métalliques minces, de rendre lumineux le verre, et de s'infléchir quand on approche soit un aimant, soit un corps électrisé.

On a démontré que ce faisceau était constitué par de petits corpuscules transportant des charges d'électricité négative.

Dans les mêmes ballons, on trouve encore des rayons qui transportent de l'électricité positive, puis d'autres entièrement différents ; ces derniers sont les rayons X.

On observa ensuite que les atomes de certains métaux émettent spontanément les trois espèces de rayons.

L'étude de cette mitraille électrisée fit naître une balistique spéciale, et l'on calcula les vitesses, les masses et les charges électriques des projectiles.

Pour les rayons qui transportent de l'électricité positive, les projectiles sont les molécules mêmes des gaz, animés d'une vitesse d'environ 20.000 kilomètres par seconde.

Il n'en est pas de même pour le flux de corpuscules électrisés négativement : leur vitesse, beaucoup plus grande encore, variable d'ailleurs, s'approche de la vitesse de la lumière, et leur masse est environ deux mille fois plus petite que la masse de l'atome d'hydrogène, le plus léger des atomes connus.

Quant à la charge électrique, sa valeur numérique a toujours été trouvée la même, quel que soit son signe, et quel que soit le phénomène moléculaire qui effectue un transport d'électricité ; cette constante physique a été appelée l'atome d'électricité.

Nous voici donc en présence d'un degré de division de la matière, inconnu jusque-là.

Un problème bien inattendu s'est alors posé : tandis que dans toutes les questions de la mécanique ordinaire la masse est une grandeur constante pour un même corps, il s'est trouvé que la masse, calculée pour les petits corpuscules, était d'autant plus grande qu'ils étaient animés d'une plus grande vitesse ; et, non seulement on a vu dans cette variation l'effet des phénomènes connus de l'électro-magnétisme, mais on a été jusqu'à penser que toute l'inertie de la matière était une conséquence du mouvement des charges électriques qu'elle devait contenir.

Toute matière renfermerait donc des atomes d'électricité en mouvement, des électrons.

Je ne puis m'étendre ici sur les méthodes élégantes qui, dans un centimètre cube d'un gaz à la pression et à la température ordinaires, ont permis de compter environ 30 milliards de milliards de molécules. Le volume de chaque atome pourrait lui-même contenir un milliard de milliards d'électrons, mais sa masse en indique seulement quelques milliers ; imaginez un essaim de moucherons gravitant dans le vaisseau d'une cathédrale.

Il y a une quarantaine d'années, le génie de Maxwell reconnut que l'électricité et la lumière se propagent avec la même vitesse, et par l'intermédiaire du même milieu, les vibrations lumineuses accompagnant des variations périodiques de la force électrique.

On se demanda si l'on ne pourrait pas rendre compte des phénomènes de l'émission et de l'absorption de la lumière en les attribuant aux mouvements des électrons que l'on supposait enfermés dans les molécules des corps. Une puissante influence magnétique devait alors modifier ces phénomènes, et ce ne fut pas une des moindres conquêtes de l'expérimentation moderne que de montrer la réalité des phénomènes prévus.

L'électron est donc un élément universel de la matière.

On imagine aujourd'hui que les intervalles entre les molécules des métaux sont remplis par des électrons, et on attribue à ces derniers le mécanisme de la conduction de l'électricité et de la chaleur. Toujours est-il qu'en chauffant un métal dans le vide, il en sort des électrons négatifs.

Enfin j'ai signalé plus haut la propriété que présentent certains corps d'émettre spontanément les rayons dont nous venons de parler. Cette propriété, la radioactivité, paraît avoir pour cause première une désagrégation extrêmement lente de la matière. On n'a pas encore décidé si, dans la cause comme dans les effets, il s'agit seulement de modifications d'ordre chimique dans des groupements d'atomes, ou, au contraire, de transformations dans les atomes eux-mêmes.

Si ce dernier point de vue était établi, on devrait en conclure qu'au lieu de supposer les atomes éternellement stables, ceux-ci peuvent subir des modifications, mais la lenteur de la transmutation, ou la rareté des conditions favorables, nous donnerait l'illusion de la stabilité.

II

La théorie présente nous laisse encore bien loin de ce « dernier degré de la sagesse » qui, selon Descartes, consiste dans la connaissance des « premières causes et des vrais principes dont on peut déduire les raisons de tout ce qu'on est capable de savoir » ; mais elle nous y conduit par un chemin où l'humanité semble s'être engagée depuis les temps les plus reculés.

Il y a vingt-cinq siècles, les vieux Ioniens considéraient la substance première des choses comme un fluide. Thalès voyait l'origine de tout dans l'élément humide animé. Pour Anaximandre le mouvement circulaire engendre et détruit toutes choses. Anaximène « attribue nettement au mouvement éternel, suivant les degrés de compression et de dilatation qu'il produit, la constitution des différents corps, leur séparation et leurs transformations réciproques » (1) ; il affirme l'unité de la matière dont le principe est « un air indéterminé » susceptible de sensation, d'intelligence et de volonté : un air pensant, d'après Diogène d'Apollonie. Héraclite, en appelant le principe universel de l'être un « feu toujours vivant qui s'allume et s'éteint suivant un rythme », eut peut-être l'intuition de la périodicité des mouvements intérieurs de la matière, et déjà Pythagore avait placé au-dessus de l'air « l'éther, matière céleste, libre de toute matière sensible. »

Anaxagore, dont la conception semble avoir été faussée par Aristote (2), imaginait que dans toute partie de la matière, indéfiniment divisible, se concentraient toutes ses qualités.

Empédocle, le dieu d'Agrigente, enseigna que tout est combinaison ou séparation ; les éléments primordiaux sont au nombre de quatre ; la terre, l'air, l'eau et le feu ; rien ne se perd, rien ne se crée, des particules infiniment petites se détachent d'un corps pour pénétrer dans les pores d'un autre. L'amour et la haine, l'attraction des semblables, les actions mécaniques nées des tourbillons, régissent ces phénomènes ; l'action à distance entre les corps s'explique par des émanations de particules d'une matière divisible à l'infini, qui pénètre tous les corps ; de semblables effluves sont la raison des propriétés de l'aimant.

A la même époque, plus de cinq cents ans avant notre ère, Leucippe et Démocrite avaient formulé la conception d'atomes indivisibles, éternels, qui se meuvent dans le vide infini ; la pesanteur est le résultat des lois du mouvement qui est éternel. Il n'y a pas de force sans matière, ni de matière sans force, diront plus tard les stoïciens.

Dans une lettre célèbre, Epicure écrit à Hérodote qu'il existe deux sortes de corps, les composés et les éléments de cette composition ; ces derniers sont indivisibles, immuables, et dans un perpétuel mouvement ; ils s'enchaînent pour former des corps ; ils en émanent pour produire les sensations, les odeurs, les saveurs, les sons et les images. Tout ce qui se peut concevoir est corps ou vide. L'univers infini comprend une infinité de mondes, les uns qui ressemblent au nôtre, les autres qui ne lui ressemblent nullement.

Je ne m'attarderai pas à discuter ici la théorie du plein et du vide, à insister sur l'impossibilité d'imaginer le néant, ou d'assigner une limite à la divisibilité de la matière, et j'arrive de suite à cette réplique latine de la philosophie grecque, qui nous a valu l'admirable poème de Lucrèce.

Nous y retrouvons toute la science d'Epicure « ce génie au-dessus de l'humanité », dit le poète. « qui a tout fait dispa-

raître dans sa lumière, comme le soleil, à son lever, éteint toutes les étoiles » (1).

Voici, à côté d'erreurs, des vérités comme l'unité de la matière « dont la masse totale dans l'univers n'a jamais été ni plus rare ni plus dense qu'aujourd'hui », l'inégalité des vitesses de la lumière et du son, la couleur d'un corps naissant du rayon qui le frappe, l'idée de rayons invisibles, et en particulier de ces vers prophétiques :

« Versibus ostendam, corpuscula materiae
Ex infinito summam rerum usque tenere
Undique protelo plagarum continuato. »

« Les corpuscules, éléments de la matière, entretiennent de toute éternité et partout l'ensemble des choses par une suite de chocs non interrompus (2). »

Citons encore ces deux vers :

« Fit quoque, ut hunc veniant in cœlum extrinsecus illi,
Corpora, quæ faciunt nubes nimbosque volantes. »

« Enfin peuvent venir des mondes du dehors pour se joindre à la matière des nuages mobiles, des corpuscules propres à les former (3) » Lucrèce ajoute que ces corpuscules sont innombrables, et qu'il leur faut peu de temps pour franchir des distances indicibles.

Chaque mot de ces citations correspond à chacune des propriétés que nous attribuons aujourd'hui aux corpuscules électrisés.

Traversons maintenant une longue période où la science des prêtres de l'Égypte, puis celle des Arabes, se mêle à la tradition grecque.

Il nous est aussi impossible de transformer les métaux les uns dans les autres, que de changer un bœuf en une chèvre, écrit au huitième siècle l'arabe Geber (Djafar), car si la nature doit, comme on le dit, employer des milliers d'années pour faire les métaux, pouvons-nous prétendre à en faire autant, nous qui vivons rarement au delà de cent ans ? — Les espèces sont immuables et ne peuvent à aucune condition être transformées les unes dans les autres, répond cinq cents ans plus tard, le dominicain Albert le Grand ; mais le plomb, le cuivre, le fer, l'argent, ne sont pas des espèces, c'est une même essence dont les formes vous semblent des espèces.

Encore trois siècles et Descartes développe l'antique théorie d'Empédocle : « On doit concevoir la matière comme divisible à l'infini » ; les éléments constitutifs des corps sont de petits amas devenus ronds par leur frottement mutuel : entre ces « parties rondes », les intervalles sont remplis par la « raclure de ces parties », premier élément qui occupe tout l'espace et pénètre tous les corps. Un mouvement tourbillonnaire général le fait constamment circuler en l'appelant de l'extérieur vers le centre de chaque tourbillon. Il s'agglomère en petits corps triangulaires ou « parties cannelées », « tournées comme la coquille d'un limaçon, les unes aux rebours des autres, de façon à pouvoir circuler en tournant entre les intervalles des sphères du second élément ». Ces intervalles forment dans le fer et l'acier des canaux appropriés, et, d'une double circulation des parties cannelées, résultent les propriétés de l'aimant. Imaginons ce premier élément portant des charges électriques, et nous sommes bien près des électrons et des courants d'Ampère.

Descartes dit encore que les grains de la « limure d'acier » s'arrangent suivant les chemins que prennent les parties cannelées autour de chaque aimant et autour de la terre. Tout à l'heure nous remontions à Empédocle, et voici maintenant trois cents ans d'avance l'image que Faraday donnera des lignes de force.

Après Descartes, Leibnitz s'est fait de la matière une idée

(1) P. TANNRY, *Pour l'Histoire de la Science grecque*, p. 154.

(2) P. TANNERY, *loc. cit.*, p. 286.

(1) *De Natura*, livre III, vers 1040-1043. Traduction de M. PATIN.

(2) *De Natura*, livre II, vers 529-531. Traduction de M. PATIN.

(3) *De Natura*, livre VI, vers 483-484. Traduction de M. PATIN.

qui, malgré la forme métaphysique dont elle est revêtue, se ramène encore aux conceptions précédentes. La matière est un atome éternel, inaltérable dans son essence, tout en pouvant subir des modifications de détail. Elle est sans étendue, mais recèle une source d'énergie. C'est un point de réception qui reflète l'univers ; elle est pour ainsi dire l'âme des moindres parties de la matière dont chacune peut être comparée à un « étang plein de poissons ».

Six cents ans avant notre ère Thalès n'attribuait-il pas également au fluide primordial une sorte d'âme, comme une puissance vague d'attraction semblable à l'aimant, Anaxagore admettait une concentration presque immatérielle des qualités de la matière, et dans l'acceptation qui représentait les forces moléculaires, l'εἶς des stoïciens était une tension aérienne, un éther, un souffle animé d'un mouvement circulaire.

Je ne saurais mieux terminer cet exposé qu'en rappelant cette pensée, où Cauchy résume la théorie d'Ampère. « S'il nous était permis d'apercevoir les molécules des différents corps soumis à nos expériences, elles présenteraient à nos regards des espèces de constellations, et en passant de l'infiniment grand à l'infiniment petit, nous retrouverions dans les dernières particules de la matière, comme dans l'immensité des cieux, des centres d'attraction en présence les uns des autres. »

III

Ainsi depuis Thalès jusqu'à Leibnitz, les philosophes ont émis sur la constitution de la matière des vues que la science actuelle est venue confirmer.

Entre leurs assertions et les nôtres il y a toutefois une différence : les premières ne semblent avoir été soumises à aucun contrôle pour justifier des conceptions de l'esprit ou des inductions tirées du spectacle de l'univers, tandis que les secondes, rapprochées d'expériences qu'elles ne contredisent pas, entraînent par ce rapprochement même une sorte de conviction.

La portée que l'on serait tenté d'attribuer à certains énoncés de la science antique est limitée par les erreurs qui les accompagnent ; pour en dégager l'expression de la vérité, il a fallu instituer ces expériences que Bacon assimile aux arxois élevées à l'entrée des chemins fourchus, et qui indiquent les lieux où conduisent les deux routes.

Cependant en dehors de l'intérêt qui s'attache à toutes les pensées de certains hommes, dont les erreurs mêmes reflètent le génie, la plupart des idées rappelées plus haut méritent d'être prises en considération parce qu'elles résultent de méditations profondes sur les phénomènes naturels.

Parfois même on peut se demander si l'on a toujours bien compris le sens des mots « qui varie selon le degré de réflexion » (1) qu'on leur applique.

On trouve dans Lucrèce un passage sur la doctrine d'Ém-pédocle, où l'exposé des transformations réciproques des éléments fait penser aux transformations réversibles des états solide, liquide et gazeux de la matière. D'autre part, il est bien possible qu'Héraclite ait donné le nom de « feu » à ce que nous nommons l'énergie, et, en disant aujourd'hui de la matière qu'elle est de l'énergie condensée, on reproduit peut-être sous une forme moderne la pensée du philosophe antique.

Mais laissons là ces interprétations.

Trois idées principales ressortent des théories anciennes : la conception de l'atome, l'existence des mouvements intérieurs, le rapprochement entre ces mouvements et les propriétés de l'aimant.

Ces idées nous les invoquons encore aujourd'hui.

L'atome fut d'abord une abstraction : les expériences modernes nous imposent cette image qui pour le savant devient une sorte de réalité.

L'homme a rapproché instinctivement, des propriétés merveilleuses de l'aimant, les diverses causes d'attraction et de répulsion de toute matière, et voici que ce rapprochement nous apparaît de plus en plus conforme au mécanisme que nous découvrons à l'intérieur des corps.

Sans doute, aussi, l'observation de la nature, où tout est mouvement et période, a suggéré l'idée de mouvements semblables dans les éléments primordiaux ; mais n'y a-t-il pas une intuition géniale à placer dans ces mouvements mêmes la source de toute énergie, la cause de tout phénomène sensible, alors que, seule, une connaissance approfondie des principes de la mécanique peut justifier une telle hypothèse.

À côté de ces idées fondamentales, un fait domine tous les autres : l'unité de la pensée humaine à travers les âges, unité qui est une justification de l'unité de la raison, pensée d'un même homme qui, selon la belle fiction de Pascal « représente toute la suite des hommes, pendant le cours de tant de siècles, subsiste toujours et apprend continuellement ».

La vérité est une et l'erreur est multiple, disait un vieux maître.

Or, depuis plus de deux mille ans, chaque fois que l'homme, soit par l'effort de sa seule pensée, soit par les artifices de ses expériences, tente de sonder le mystère des corps qui l'environnent, toujours, au fond de toutes choses, il entrevoit la même image ; n'est-ce pas l'image de cette part de vérité dont il peut espérer la conquête ?

Projet d'Usine Hydro-Électrique sur le Rhône A LA PLAINE (Suisse)

Au début de l'année 1907, la ville de Genève avait ouvert un concours pour la présentation de projets réalisant les meilleures conditions d'utilisation de la force motrice du Rhône aux environs de La Plaine, dans le Canton de Genève, près de la frontière française. Divers documents furent mis, dans ce but, à la disposition des concurrents qui en firent la demande.

Le débit du Rhône à La Plaine varie, d'une manière habituelle, entre 120 m³ en hiver et 600 m³ en été ; cependant, l'on relève quelquefois, en hiver, des minima de 100 m³, et, en été, des maxima de 900 m³, mais ces débits extrêmes ne sont que de courte durée ; ajoutons qu'il a été constaté, d'une manière exceptionnelle, il est vrai, une crue de 1200 m³. Les profils de la pente du fleuve, entre Chèvres et La Plaine, montrent que l'on peut obtenir, avec 120 m³, une chute utile de 11 à 12 m. en basses eaux, suivant l'emplacement choisi pour l'usine génératrice.

L'usine devait être construite pour pouvoir utiliser, de la manière la plus avantageuse, les 120 m³ du minimum d'hiver avec la plus haute chute possible. Pour les grands débits, l'installation devait être dimensionnée pour absorber, d'une manière régulière, 300 m³, limite qui résulte, soit des études antérieures, soit de l'examen des graphiques du débit.

Le projet dont il s'agit avait déjà fait l'objet des préoccupations du Conseil Administratif de la ville de Genève qui, dès l'année 1897, avait présenté à l'Etat une demande de concession prévoyant une usine figurée en A sur le plan ci-joint (fig. 3). Cette demande de concession, et les plans qui l'accompagnaient, furent soumis par l'Etat à l'examen de trois experts (*). A la suite des rapports de ces experts, la ville présenta une nouvelle disposition, représentée en B sur le plan.

L'emplacement de ces deux projets fut déterminé par la présence d'un banc de molasse, affleurant la surface à cet endroit et paraissant tout à fait propre à ancrer les fondations des ouvrages prévus. Par contre, la topographie de cet emplacement extrême aval ne se prête pas très bien à la disposition des ouvrages. De plus, il faut dériver la London sur une assez grande longueur et construire une digue pour une retenue de 13 mètres.

Les terrains situés en amont de La Plaine, entre les falaises de la rive gauche et de la rive droite, présentent des dispositions plus

(*) Ces experts étaient MM. SCHAAD, ingénieur à Lucerne, ZSCHOKKE ingénieur à Aarau, pour la partie hydraulique, et WYSSLING, ingénieur à Wädenswil, pour la partie électrique.

(1) SULLY-PRUDHOMME, préface de la traduction du livre I de Lucrèce.