

IV

QU'EST-CE QUE L'ÉLECTRICITÉ?

(The Reader, 19 novembre 1864).

L'électricité n'est pas une substance, mais un mode du mouvement. — Elle a pour condition une différence dans la structure moléculaire, ou dans l'état moléculaire, de deux corps. — Toute molécule a un état vibratoire propre, tenant à sa constitution chimique. — Elle conserve sa période propre d'oscillation à toute température, même à l'état solide. Objection tirée des spectres continus donnés par les corps solides. Réponse.

Electricité par contact. — Juxtaposition de deux métaux différents c'est-à-dire de deux groupes de molécules animées de mouvements vibratoires différents; — comparaison avec les battements acoustiques; — production d'une onde différentielle; — elle crée deux ondes égales, de sens contraire, synchroniques, et qui partent du point de contact; — le pouvoir conducteur; — retour et neutralisation des deux ondes; — impossibilité de produire un courant.

Electricité thermique. — Renforcement des vibrations, et par suite des ondes différentielles, par la chaleur; — naissance d'un courant; — pile de Nobili. — Objection: électricité thermique produite par un seul métal. Réponse: les deux pièces du même métal ont besoin d'être dans des états moléculaires différents.

Résumé des probabilités en faveur de l'hypothèse proposée.

POST-SCRIPTUM. — De l'application de l'hypothèse aux autres formes de l'électricité. — Un indice: pouvoir des molécules complexes d'absorber la chaleur; la plus grande partie de cette chaleur est absorbée par les éléments de la molécule. Chaque molécule a ainsi, outre son oscillation d'ensemble, diverses oscillations intestines plus rapides. — Influence des molécules composées entre elles. — Accumulation du mouvement autour des points où le trouble naît.

Electricité statique. — Complexité moléculaire des corps où elle se produit; — effet du frottement sur les oscillations des molécules et de leurs éléments; — pourquoi cette électricité reste à la surface; — pourquoi les deux électricités se produisent simultanément. — De l'induction. — De l'électricité voltaïque.

2^e POST-SCRIPTUM. — Un éclaircissement: pourquoi les vagues électriques s'accablent mutuellement, au rebours des vagues ordinaires. — Mise en forme des arguments en faveur de l'hypothèse.

(TR.)

Parmi les physiciens qui font autorité, on n'en trouverait pas beaucoup, pas un peut-être, qui ait dans ces dernières années employé cette expression : le fluide électrique, en un sens autre que conventionnel. Quand ils distinguent entre les deux espèces d'électricité, positive et négative, ou vitrée et résineuse, ils se servent des idées appelées par ces mots uniquement comme de symboles commodes, et ne voient pas là de véritables entités distinctes. Aujourd'hui que la chaleur et la lumière sont reconnues pour des modes du mouvement, chacun admet que les manifestations analogues de la force doivent être des modes du mouvement.

Quel est ce mode particulier du mouvement auquel est due l'électricité? Voilà maintenant la question. C'est quelque sorte de vibration moléculaire, distincte de celle que produisent les corps lumineux : ce point, je pense, est admis de quiconque n'aborde pas le présent sujet sans connaître les récentes découvertes des savants. Outre ces oscillations simples d'où résultent la chaleur et la lumière, ne pouvons-nous soup-

çonner qu'il se forme en de certains cas des oscillations composées? Voyons si les conditions dans lesquelles l'électricité se forme ne sont pas celles mêmes où peuvent s'engendrer des oscillations composées; si en outre les phénomènes d'électricité ne sont pas de nature à pouvoir être l'effet de certaines oscillations; si enfin ils ne sont pas surtout de nature à résulter d'oscillations composées.

L'antécédent constant de toute production d'électricité est le contact direct ou non entre substances hétérogènes, hétérogènes soit par leurs structures moléculaires, soit par leurs états moléculaires. Si donc l'électricité est un certain mode de mouvement moléculaire, si partout où elle apparaît il a dû y avoir contact entre des substances faites de molécules dissemblables, ou de molécules qui se trouvent dans des états dissemblables, nous ne pouvons éviter cette conclusion, que l'électricité résulte de quelque action réciproque de molécules animées de mouvements différents. Quelle peut bien être cette action réciproque?

Avant de chercher la réponse à cette question, il convient d'écarter une objection qu'on peut élever; on peut nous refuser notre supposition, que des molécules différentes, quel que soit leur état de liaison entre elles, sont animées de mouvements différents. On admet d'ordinaire que dans l'état gazeux les éléments de chaque substance ont une vitesse de vibration à eux propre, et différente de celles qui appartiennent aux éléments de toute autre substance. Le professeur Tyndall a fait voir en outre qu'une fois condensés à l'état liquide, les éléments de n'importe quel genre gardent encore une vitesse de vibration

synchronique avec celle de leur état de diffusion gazeuse. Mais on prétend qu'une fois rassemblés en masses solides les éléments de différentes espèces ne conservent plus leurs vitesses propres de vibration. On admet que chaque espèce peut prendre tous les états vibratoires, parce que toutes les substances solides, quelles qu'elles soient, produisent des ondes d'éther de toutes longueurs; preuve : toutes donnent un spectre continu. Pourtant j'ose croire que cette conclusion n'est pas légitime. Elle est, je pense pouvoir le prouver, en désaccord avec les lois les plus hautes de la mécanique; et les faits peuvent, à mon avis, s'expliquer sans elle. Pour commencer par l'argument *a priori*, elle est en contradiction avec le principe de la persistance de la force. Toute différence dans l'état vibratoire de deux sortes de molécules, A et B, considérées à l'état gazeux, est l'indice d'une différence dans les caractères de ces molécules. Que ce soit une différence d'inertie, de volume ou de forme, il n'importe ici; en tout cas, il s'agit d'une dissemblance dans les actions et réactions exercées de part et d'autre par les molécules sur le milieu qui les met en mouvement. Quant à dire que les molécules A et B, placées dans deux conditions identiques, ont des états vibratoires différents, sans qu'il y ait aucune force différentielle dans l'une, c'est admettre un effet sans cause, c'est nier la persistance de la force. Or, s'il y a entre elles quelque force différentielle, grâce à quoi elles réagissent différemment sur les forces incidentes, et acquièrent des états vibratoires différents, alors cette force différentielle doit persister, dans tous leurs états d'agrégation, à produire son effet différentiel.

Dire qu'une fois les molécules de l'espèce A et celles de l'espèce B agglomérées de part et d'autre sous forme de solides, il n'y a plus de distinction entre leurs états vibratoires, c'est dire que la force différentielle ne produit plus aucun effet, c'est nier la persistance de la force. Maintenant, si nous arrivons à considérer la question *a posteriori*, on nous demandera comment deux solides, dissemblables quant à la nature de leurs molécules, peuvent une fois chauffés donner l'un et l'autre des spectres visiblement identiques et qui enveloppent également des ondes éthérées de toutes longueurs. Pour répondre, examinons en quoi les actions mutuelles des molécules entre elles sont affectées par leur état d'agrégation. Si toutes les particules élémentaires étaient dans les mêmes conditions, si toutes subissaient de leurs voisines les mêmes actions et au même degré, alors il n'y aurait pas de raison pour qu'elles eussent des temps de vibration différents. Mais les conditions où elles se trouvent diffèrent de deux façons, l'une contingente, l'autre nécessaire. D'abord la solidification, même entièrement achevée, ne peut guère manquer d'avoir créé dans les différents points de la masse des tensions différentes : ici, la cristallisation est plus complète; là, le froid s'est produit plus rapidement. En second lieu, les particules superficielles, la couche située au-dessous, et celles qui suivent immédiatement, jusqu'à une certaine profondeur, sont soumises à des actions coercitives fort différentes de celles qui ont prise sur les parties intérieures : car celles-ci sont exposées aux influences de toutes les particules environnantes, et les parties extérieures ne subissent ces influences que par une de leurs faces. Or, comme

les périodes d'oscillation doivent dépendre pour une part et de la valeur et de la distribution des tensions, les états vibratoires des molécules de la surface doivent différer de celui des molécules immédiatement inférieures, et davantage encore de celui des molécules plus profondes. Par suite, les molécules de la surface ne communiqueront pas seulement au milieu ambiant un état vibratoire correspondant au leur, elles lui transmettront en outre les ondulations, un peu différentes, des molécules sous-jacentes, dont elles auront reçu l'effet, plus les ondulations encore un peu plus différentes des parties plus intérieures, et ainsi de suite. Elles produiront, outre des vagues semblables aux leurs, des vagues un peu dissemblables, de plus dissemblables encore, enfin des vagues de divers ordres et très-différentes des leurs. Elles donneront des ondes variées, les unes plus courtes que les leurs propres et représentant les *différences* entre les diverses vibrations par elles transmises, les autres plus longues et répondant aux *coïncidences* périodiques de ces vibrations. On arrive ainsi à comprendre comment des molécules de deux sortes différentes, dont les états vibratoires propres sont fort dissemblables, peuvent, une fois ramassées en deux masses solides, produire les unes et les autres des spectres continus, comme si elles étaient agitées des mêmes mouvements.

Après cette explication préliminaire, revenons maintenant à notre question : Quelle doit être cette influence réciproque des molécules animées de mouvements dissemblables, qui sert, comme on sait, d'antécédent constant à tout trouble électrique? La réponse ne sera pas difficile à trouver, si nous commençons

par le cas le plus simple, celui de l'électrisation par contact. Soit deux morceaux d'un même métal, à la même température; on les applique l'un contre l'autre : pas d'excitation électrique; mais, si les deux morceaux sont de métaux différents, il y a production d'électricité. Ce fait a paru une vraie anomalie, à ce point qu'on l'a mis en doute : il semblait renverser toutes les hypothèses possibles. Eh bien! on peut l'expliquer, dans l'hypothèse où l'électricité résulte des perturbations mutuelles exercées entre mouvements moléculaires dissemblables. En effet, d'un côté, nous avons des métaux homogènes en contact : leurs molécules respectives ont des oscillations synchroniques; chacune exercera sur l'autre et en recevra les actions qu'elle doit, sans qu'il en résulte une oscillation d'un nouvel ordre. De l'autre côté, nous avons deux masses de molécules dont chacune a une période d'oscillation à elle propre; leurs entrechoquements ne s'harmoniseront donc avec la période d'oscillation ni de l'une ni de l'autre : ils engendreront un nouveau rythme différent des deux autres et bien plus lent. Le phénomène qu'on appelle en acoustique les *battements* éclaircira bien celui-ci. Chacun connaît le fait : deux cordes animées de vibrations diverses s'accordent, de temps en temps, pour émettre des vagues aériennes dans la même direction au même instant; puis, leurs vibrations s'écartant de plus en plus de la coïncidence, elles arrivent à émettre dans une même direction des ondes s'intercalant à égale distance les unes entre les autres; enfin, revenant encore une fois à l'état de correspondance, elles émettent de nouveau des ondes coincidentes. Et par suite, quand leurs temps de vibra-

tion différent peu, et qu'il leur faut un moment d'une longueur appréciable pour accomplir leurs périodes alternatives d'accord et de discordance, il en résulte dans le son, pour l'oreille, comme une fluctuation, une série alternante de son plus faible et de son plus fort. En d'autres termes, outre la succession essentielle de vagues, qui est simple et rapide, et qui donne les deux sons eux-mêmes, il y a une succession de vagues composées et lentes, née des conflits et concordances répétés des précédentes. Maintenant, si les deux cordes, au lieu de communiquer leurs vibrations à l'air, se les communiquaient l'une à l'autre, la même succession alternante de pulsations harmoniques et contraires aurait lieu. Plaçons maintenant chacune des deux cordes dans un groupe fait d'autres cordes pareilles, de façon qu'elle communique à ses voisines ses vibrations, normales et anormales; évidemment, dans chacun des groupes de cordes, se propagera l'une de ces vagues composées, qui viendra s'ajouter à leurs rapides oscillations simples. Par cet exemple, on verra clairement, je pense, que si une masse de molécules, douée d'un certain état vibratoire, est mise au contact d'une autre masse de molécules, animée de vibrations différentes, il en doit résulter une alternance de coïncidences et d'oppositions entre leurs mouvements moléculaires; et que par suite les molécules devront tour à tour accroître et diminuer les mouvements les unes des autres. A de certains instants, elles se meuvent dans la même direction; puis, à d'autres instants intermédiaires, elles se meuvent dans des directions opposées; de là des périodes, avec maximum et minimum de déviation dans leurs mouvements propres.

Et ces déviations maxima et minima, se transmettant aux molécules voisines et de celles-ci aux suivantes, donneront enfin des vagues perturbatrices, propagées dans l'intérieur de chacune des deux masses.

Voyons maintenant les rapports de ces vagues entre elles. L'action et la réaction étant égales et de sens contraires, quelque action qu'une molécule de la masse A exerce sur une molécule de B, il y sera répondu par un effet équivalent et opposé. Si une molécule de la masse A, en un moment quelconque, se meut de façon à imprimer à une molécule de B un moment additionnel selon une direction déterminée, le moment de A dans cette direction sera diminué d'une quantité égale. Autrement dit, à toute onde de mouvement additionnel propagée à travers les molécules de B, répondra en réaction une onde de mouvement soustrait propagée en sens inverse à travers les molécules de A. Considérons ces deux faits : ils sont pleins de sens. Toute *addition* de mouvement, fournie durant l'une des périodes alternantes par les molécules de A à celles de B, doit se propager à travers les molécules de B *en s'éloignant de A*; et, en même temps, il y aura une *soustraction* de mouvement, aux dépens des molécules de A, qui se propagera à travers A *en s'éloignant de B*. A toute vague de *surcroît* de mouvement envoyée à travers une des masses correspondra une vague de *perte* envoyée à travers l'autre; et ces vagues, l'une *positive*, l'autre *négative*, seront parfaitement synchroniques dans leurs oscillations, et de valeurs parfaitement égales. D'où cette conclusion évidente que si ces vagues, qui partent de la surface de contact pour marcher en sens con-

traire à travers les deux masses, viennent à se retrouver, elles se neutraliseront. L'action et la réaction étant égales et opposées, ces mouvements moléculaires, qu'on pourrait désigner par les signes *plus* et *moins*, s'annuleront en s'ajoutant, et l'équilibre sera rétabli.

Ces vagues perturbatrices, positive et négative, parcourront très-facilement les deux masses de molécules. Les molécules, c'est là une vérité aujourd'hui démontrée, peuvent bien absorber, au profit de leurs propres vibrations, les mouvements rythmiques, les vagues, dont les périodes sont identiques à la leur; mais elles ne peuvent absorber une série de mouvements dont les périodes diffèrent de la leur. Donc ces ondulations différentielles, étant très-longues par rapport à celles des molécules elles-mêmes, traverseront facilement les masses de molécules : celles-ci les *conduiront*. En outre, remarquons-le, si les deux masses de molécules continuent à se toucher, ces ondes positives et négatives, s'éloignant en sens inverse de la surface de contact, et arrivant chacune de son côté à la surface extérieure des deux masses, s'y réfléchiront; revenant alors vers la surface de contact, elles s'y rencontreront et s'y neutraliseront. Donc, si l'on joint les surfaces extérieures des deux masses par un fil, il ne s'y produira pas de courant; car le plus court chemin pour effectuer la neutralisation, c'est celui que suivent les vagues réfléchies à travers les deux masses. Mais, en l'absence de tout courant extérieur, les deux masses ne conserveront pas moins ce que nous appelons des états électriques opposés : ce que montre en effet un électromètre sensible. Ensuite, si on les sépare, les vagues positives et négatives qui

s'y sont propagées l'instant d'avant n'étant point neutralisées, les deux masses révéleront d'une manière plus nette leurs états électriques opposés. Alors, qu'on place entre elles un conducteur, et les vagues positives et négatives restantes s'y neutraliseront : en effet, les vagues *positives* lancées de l'une des masses dans le conducteur, rencontrant les vagues *négatives* venues de l'autre, elles s'annihileront, et le conducteur deviendra pour les vagues de chaque masse une ligne de moindre résistance.

Maintenant arrivons à une classe voisine de faits : ceux de l'électricité thermique. Qu'on vienne à chauffer en leur contact ces deux masses de métal; et d'abord faisons que leurs formes leur permettent de s'échauffer considérablement au contact, sans élévation notable de la température des parties éloignées. Qu'arrivera-t-il? Le professeur Tyndall l'a fait voir pour divers gaz et liquides; toutes choses égales d'ailleurs, quand ils ont reçu certaine dose de ce mouvement insensible des molécules, appelé chaleur, leurs périodes d'oscillation ne sont point altérées : la dimension seule des oscillations s'accroît; les molécules accomplissent dans le même temps une course plus étendue. Comme on l'a déjà vu, nous avons de bonnes raisons de croire qu'il en est de même pour les solides : le changement apparent que subit la période de vibration s'explique, nous avons dit comment. Dès lors, si l'on chauffe les surfaces de contact de deux métaux, le résultat sera le même qu'auparavant, quant à la nature et aux intervalles des vagues différentielles. Toutefois, il y aura du nouveau en ce qui concerne la puissance de ces vagues. Car si, de part et d'autre, elles ont reçu des molécules un renforcement, leurs actions

perturbatrices mutuelles devront aussi en être renforcées. Ces vagues positive et négative de mouvement différentiel, un peu plus énergiques que précédemment, traverseront aussi chaque masse en s'éloignant du point de contact, donc en gagnant les extrémités froides. De là, comme tout à l'heure, elles rebondiront vers les surfaces de contact et tendront cette fois encore à se faire équilibre. Mais dans leur retour elles rencontreront une certaine résistance. C'est un fait bien établi, qu'en élevant la température d'un métal on en affaiblit le pouvoir conducteur. Par suite, si l'on met les extrémités des deux masses en rapport à l'aide de quelque autre masse dont les molécules puissent recevoir aisément ces ondes différentielles, autrement dit, si l'on joint ces deux extrémités par un conducteur, c'est le long de ce conducteur que les vagues positives et négatives, au lieu d'être réfléchies directement vers les surfaces de contact, se rencontreront et se neutraliseront. C'est-à-dire qu'un courant s'établira le long du fil qui joindra les deux extrémités froides des masses métalliques.

Un pas de plus dans la même voie, et nous arrivons à une explication de la pile thermo-électrique. Si l'on soude ensemble un certain nombre de barreaux de métaux différents, par exemple de bismuth et d'antimoine, en les faisant alterner, par couples AB, AB, AB, etc., tant qu'ils restent froids, il n'y a pas trace de courant électrique; si l'on chauffe également tous les points, il n'y a pas trace de courant électrique, si ce n'est dans la mesure même où il s'en produirait un, à froid, aux deux extrémités du système. Mais, si l'on chauffe une jointure sur deux, un courant électrique apparaît dans tout fil qui joint les

deux extrémités du système : ce courant est proportionnel en intensité au nombre des couples. Quelle est la cause de ce fait? Evidemment, tant que tous les joints sont à une même température, les vagues différentielles que chaque joint envoie vers ses deux voisins sont égales et opposées à celles de ces derniers, et nulle perturbation n'est possible. Mais, si l'on chauffe de deux joints l'un, les vagues différentielles positives et négatives lancées par les joints chauds seront supérieures à celles qui partiront des autres. Par suite, si le joint du barreau A avec le barreau B est chauffé, l'autre extrémité de B, soudée avec A₂ et qui n'est pas chauffée, recevra une vague différentielle supérieure en puissance à celle qu'elle envoie. Outre l'onde que ses molécules auraient sans cela dirigée sur celles de A₂, il y a une action qu'elle reçoit de A et qu'elle transmet; et ce surcroît d'élan, se propageant jusqu'à l'autre extrémité de B₂, s'ajoutera à l'élan que les molécules de ce dernier barreau, étant chauffées elles-mêmes, auraient déjà sans cela communiqué à celles de A₂; et ainsi de suite à travers toute la série. Les vagues, s'ajoutant les unes aux autres, deviennent plus énergiques, et le courant que traverse le fil placé entre les deux extrémités de la série, plus intense.

Contre cette théorie de l'électricité thermique, on élèvera peut-être une objection : c'est que, dans certains cas, il se développe des courants thermo-électriques entre des masses de métal de même espèce, et même entre des parties différentes d'une même masse. On ajoutera que, si ces perturbations électriques sont dues aux différences des états vibratoires de molécules en contact, la chaleur ne doit pas produire de telles per-

turbations quand il s'agit de molécules de même espèce, d'autant que la chaleur, on a lieu de le croire, ne change pas les périodes des vibrations moléculaires. Cette objection a l'air grave au premier abord : elle va servir à fortifier notre théorie. Quand les masses de molécules sont homogènes d'ailleurs, une différence de température ne suffit pas à engendrer un courant thermo-électrique. Rapprochez du mercure froid et du mercure chaud : vous n'aurez pas d'excitation électrique. Toutes les fois qu'il y a production d'électricité thermique entre masses d'un même métal, on est sûr que leurs structures moléculaires offrent quelque différence : les unes auront été forgées et les autres non ; les unes recuites, les autres point. Quand le courant s'établit entre des parties différentes d'une même masse, c'est que ces parties sont cristallisées diversement, ou bien qu'après la coulée elles se sont refroidies de façons diverses. Pour mieux dire, on est assuré que les molécules, soit des deux masses, soit des deux parties de la même masse, soutiennent avec leurs voisines des relations différentes, sont dans des états différents de tension. Or, s'il est vrai de dire que les états vibratoires des molécules d'une même espèce sont toujours identiques et indépendants de la température, encore est-il clair qu'il y faut une condition : c'est que leurs mouvements ne soient pas modifiés par des forces coercitives. Si les molécules de telle masse sont dans cette disposition que produit la cristallisation, tandis que celles d'une autre masse ne sont pas liées ensemble ; ou si les relations de ces molécules ont été modifiées dans l'une par le martelage, et dans l'autre non ; comme elles subiront dans leur mode de vibration des influences diverses, leurs vitesses de