ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES

SUR

LA RADIATION

LECTURE REDE

FAITE DANS LA MAISON DU SÉNAT, EN PRÉSENCE DE L'UNIVERSITÉ DE CAMBRIDGE

LE MARDI 15 MAI 1864

PAR

M. JOHN TYNDALL

De la Société royale de Londres
Professeur de philosophie naturelle à Royal Institution, Docteur en philosophie

TRADUIT DE L'ANGLAIS

PAR M. L'ABBÉ MOIGNO

BIBLIOTHÈQUE INTERUNIVERSITAIRE
Physique Recherche
SCIENTIFIQUE JUSSIEU

PARIS

ÉTIENNE GIRAUD, LIBRAIRE-ÉDITEUR

10, RUE SAINT-SULPICE, 10

1865

Reproduction interdite

FR 9239

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

PRÉFACE

Nous entrons aujourd'hui dans une voie nouvelle que nous suivrons avec ardeur et persévérance, pour le plus grand bien, nous l'espérons, de la science et de l'invention.

A nos résumés oraux des progrès accomplis, à nos cours de science vulgarisée, nous ajouterons une série d'appendices ou de livraisons supplémentaires consacrées aux grandes questions à l'ordre du jour, aussitôt qu'elles auront reçu de l'un des maîtres de la science des développements qui les mettent à la portée de tous ; ou lorsque nous aurons jugé que le temps est venu de les résumer nous-même pour les fixer irrévocablement et les populariser.

Nous ne pouvions pas mieux débuter que par la traduction du charmant opuscule que M. Tyndall a consacré à l'exposition de ses si brillantes recherches sur la *Radiation*.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Il était chargé de faire, en présence et dans la grande salle du Sénat de la noble Université de Cambridge, la lecture *Rede*, une de ces leçons solennelles fondées à perpétuité, et qui sont confiées à la célébrité scientifique du jour. Il s'en est acquitté avec un succès éclatant, qui lui a valu la plus glorieuse des récompenses, l'élévation à la dignité de DOCTEUR EN PHILOSOPHIE, qu'il partagera désormais avec les illustrations de la politique, de la science, de la littérature anglaise : les Palmerston, les Gladstone, les Faraday, les Wheatstone, les Macaulay, etc. Le motif de sa dissertation lui était imposé par l'immense retentissement de ses admirables découvertes dans le domaine des radiations lumineuses ou calorifiques. Il l'a traité avec une lucidité, une sobriété, une élégance, une aisance magistrales ; et nous ne nous souvenons pas d'avoir lu avec plus de plaisir d'autres dissertations scientifiques.

Nous avions regretté que dans ses si belles leçons sur la chaleur, M. Tyndall fût un peu trop resté dans la sphère des faits, de l'expérience, des conjectures ; qu'il n'eût pas abordé le côté intime, philosophique et théorique de son sujet. Aujourd'hui il a comblé nos désirs et dépassé nos espérances. En même temps qu'il énumère et décrit la plus étonnante série de faits nouveaux qui fût jamais, il pénètre au cœur même des phénomènes qu'il a découverts, pour en donner l'explication complète. Jamais on n'avait abordé plus triomphalement le domaine de la physique molécu-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

laire, et donné une forme plus sensible à des raisonnements abstraits. La lumière, la chaleur, la radiation, l'absorption, sont désormais nettement conçues et rigoureusement définies; on voit presque intuitivement comment les ondes obscures se changent en ondes lumineuses; on touche presque du doigt cette synthèse grandiose qui ramène tous les faits de la nature à de simples questions de mouvement.

Nous avons fait d'un seul jet la traduction de ces délicieuses pages, entraîné que nous étions par un texte limpide comme l'eau, comme l'air, comme le ciel; et il s'est trouvé qu'en traduisant littéralement nous n'avons retrouvé sous notre plume aucun des néologismes qui déplaisent à quelques lecteurs de la *Chaleur*.

Un mot seulement d'observation critique sur la nécessité de bien définir certaines expressions, surtout quand elles ont une si haute portée, et qu'elles reviennent à chaque instant. M. Tyndall est très-clair, mais il l'aurait été plus encore s'il avait accepté notre distinction essentielle entre les *particules*, les *molécules* et les *atomes*. La particule est une petite portion du corps, solide, liquide, ou gazeuse comme lui. La molécule, être à la fois de raison et de fait, est cette individualité cachée, mais réelle, que l'on ne peut diviser, même par la pensée, sans perdre la nature du corps dont il s'agit. L'atome, le dernier élément du corps, est probablement ou même certainement

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

un être simple, sans étendue, un pur centre de mouvement; identique partout à lui-même, dans l'éther et dans tous les corps. Les molécules sont formées d'un plus ou moins grand nombre d'atomes, assemblés avec ordre, de telle ou telle manière, sous forme de tétraèdre, d'octaèdre, par exemple; pouvant vibrer ou osciller autour de leur position d'équilibre. La particule, à son tour, comprend un nombre plus ou moins grand de molécules. La molécule est essentiellement le centre actif de la radiation et de l'absorption, comme elle est le substantif de tous les phénomènes de la chimie. L'éther est uniquement composé d'atomes. Tous les phénomènes de la nature, la pesanteur, la cohésion, la chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme, l'affinité chimique, ont pour cause unique et dernière les mouvements incessants des atomes et des molécules, ou les actions exercées les uns sur les autres par les atomes et les molécules. Mais il est temps de laisser la parole et la plume à notre illustre ami. F. Moigno.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

SUR

LA RADIATION

I

Radiation visible et invisible.

Entre l'âme de l'homme et le monde extérieur sont interposés les nerfs du corps humain qui traduisent, ou aident l'âme à traduire les impressions de ce monde extérieur en faits de la conscience et de la pensée.

Les différents nerfs sont aptes à percevoir des impressions différentes. Nous ne voyons pas avec l'oreille, nous n'entendons pas avec l'œil ; et ce ne sont pas les nerfs de la langue qui nous font percevoir les sons. Dans l'ensemble général des actions physiques, chaque nerf ou groupe de nerfs choisit et transmet celles pour lesquelles il est spécialement organisé.

Le nerf optique va du cerveau au fond postérieur de orbite de l'œil, et là il s'épanouit pour former la rétine,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tissu de filaments nerveux sur lequel les images des objets extérieurs sont projetées par la partie optique de l'œil. Le rôle de ce nerf est limité à la perception des phénomènes de la radiation ; et s'il est merveilleusement sensible à certaines impressions de cet ordre, il est aussi singulièrement insensible à d'autres impressions.

Le nerf optique n'embrasse pas même toute l'échelle des radiations ; certains rayons, lorsqu'ils l'atteignent, sont impuissants à mettre en jeu son activité ; tandis que d'autres rayons ne l'atteignent même pas, absorbés qu'ils sont par les humeurs de l'œil. Nous donnons à tous les rayons incapables de provoquer la vision, qu'ils atteignent ou non la rétine, le nom de rayons invisibles ou obscurs. Tous les corps non lumineux émettent de semblables rayons. Il n'est pas dans la nature de corps absolument froid, et tous les corps non absolument froids émettent des rayons de chaleur. Mais une certaine température est nécessaire pour qu'un rayon de chaleur devienne apte à affecter le nerf optique. Une barre froide de fer mise au feu reste obscure pendant un certain temps, et ne devient lumineuse que lorsque sa température a atteint celle des charbons ardents qui l'entourent. De même, si l'on fait passer un courant électrique d'intensité graduellement croissante à travers un fil de platine, métal très-réfractaire, ce fil devient d'abord chaud au toucher ; sa chaleur augmente ensuite d'un instant à l'autre, mais il reste encore obscur ; bientôt nous ne pouvons plus toucher le métal impunément ; plus tard, à une certaine température déterminée, il émet une faible lumière rouge. A mesure que le courant augmente de puissance, la lumière aug-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

mente d'eclat, jusqu'à ce qu'enfin le métal revête une blancheur éblouissante ; sa lumière est alors semblable à celle du soleil.

Au moyen d'un prisme, sir Isaac Newton nous a révélé la composition de la lumière solaire ; armés du même instrument nous sommes en mesure de discerner les changements lumineux de notre fil de platine En traversant le prisme, tous ses rayons (infinis en nombre et en variétés) sont réfractés ou déviés de leur course rectiligne ; et parce que les divers rayons sont diversement réfractés par le prisme, nous devenons capables de séparer les unes des autres les différentes classes de rayons. Par une semblable analyse prismatique, M. le docteur Draper a montré que lorsque le fil de platine commence à briller, il émet une lumière rouge pur. A mesure que son éclat augmente, le rouge devient de plus en plus vif, mais en même temps des rayons orangés s'ajoutent à la première émission de lumière. La température allant encore en augmentant, les rayons jaunes viennent se placer à côté des rayons orangés ; plus tard le vert s'ajoute au jaune, le bleu au vert, l'indigo au bleu, le violet à l'indigo. Pour déployer en même temps toutes ces couleurs, le fil de platine doit être *chauffé à blanc*, la sensation du blanc étant produite de fait par l'action simultanée de toutes ces couleurs sur le nerf optique.

Dans l'expérience que nous venons de décrire, nous commençons avec un fil de platine à la température ordinaire et chauffé graduellement au blanc pur. Au début, et avant que le courant électrique ait agi sur lui, le fil émettait des rayons invisibles. Quelque temps après que l'action du

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

courant s'est fait sentir, et même quelques instants après que le fil est devenu insupportable au toucher, sa radiation est encore restée invisible. Ici, nous sommes amenés à nous poser cette question : que deviennent les rayons invisibles quand les rayons visibles commencent à faire leur apparition? Nous aurons à démontrer plus tard qu'ils restent dans la radiation ; que tout rayon une fois émis continue de l'être lorsque la température augmente; et que, par conséquent, l'émission de notre fil de platine, même après qu'il a atteint son maximum d'éclat, est en réalité un mélange de rayons visibles et invisibles. Si, en place d'un fil de platine, c'était la terre elle-même qui fût élevée à l'incandescence, la radiation obscure qu'elle émet actuellement ne cesserait pas d'être émise. Pour atteindre l'incandescence, la planète passerait nécessairement par toutes les phases de la radiation non lumineuse, et l'émission finale contiendrait les rayons émis dans chacune de ces phases. On ne saurait douter que du soleil lui-même sortent des rayons en tout semblables à ceux que notre terre fait rayonner nuitamment dans l'espace.

Le grand pionnier dans cette partie de la science a été sir William Herschel. Forçant un rayon solaire à passer à travers un prisme, il le résolut dans ses éléments constituants, et le transforma en ce qu'on appelle techniquement le *spectre solaire*. Introduisant alors un thermomètre au sein des couleurs successives, il détermina leur pouvoir calorifique, et trouva qu'il augmentait du violet, ou du rayon le plus réfracté, au rouge ou rayon le moins réfracté du spectre. Mais il ne s'arrêta pas là. Plongeant le thermomètre dans l'espace obscur au delà du rouge, il vit

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

que, quoique la lumière eût entièrement disparu, la chaleur rayonnante qui tombait alors sur l'instrument était plus intense que celle que l'on avait mise en évidence à tous les points du spectre visible. De fait, sir William Herschel avait découvert, et ce résultat inattendu a été confirmé par tous les physiciens qui l'ont suivi, qu'en outre des rayons lumineux, le soleil émet une multitude d'autres rayons plus chauds que les rayons lumineux, mais complétement impropres à la vision. L'échelle de la radiation n'est donc pas limitée à l'extrémité la moins réfrangible du spectre solaire, quoique l'œil ne perçoive plus rien au delà.

Cette même conclusion s'applique à l'extrémité la plus réfrangible. Ritter a découvert que le spectre s'étendait bien au delà du violet dans la région invisible; plus récemment, cette émission de rayons ultra-violets est devenue souverainement intéressante, par suite des admirables recherches de M. le professeur Stokes. Le spectre entier du soleil est donc formé de trois séries différentes : 1° des rayons ultra-rouges d'une très-haute puissance calorifique, mais impuissants à exciter la vision ; 2° des rayons lumineux qui déploient la succession suivante de couleurs : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet ; 3° des rayons ultra-violets, impropres à la vision comme les rayons rouges, dont le pouvoir calorifique est très-faible, mais qui, en raison de leur énergie chimique, jouent un rôle très-important dans le monde organique.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

II

Origine et caractères de la radiation. L'éther.

Lorsque nous voyons un fil de platine, graduellement élevé au rouge blanc, émettre successivement toutes les couleurs du spectre, nous avons simplement la conscience d'une série de changements survenus dans la condition de notre œil. Nous ne voyons pas les actions qui ont fait naître les couleurs successives, mais notre esprit conclut irrésistiblement que l'apparition des couleurs correspond à une modification simultanément survenue dans le fil. En vertu de quelle condition spéciale le fil commence-t-il à rayonner? Nous considérons en ce moment le fil comme un tout formé de l'ensemble de ses atomes constituants. Si nous pouvions les voir, ces atomes, même avant que le courant électrique commence à agir sur eux, nous constaterions qu'ils sont dans un état de vibration. Ce sont ces vibrations qui constituent en réalité la chaleur que le fil possède alors. Locke a énoncé cette idée en termes très-précis; et elle a été placée hors de la portée du doute par les excellentes recherches quantitatives de M. Joule. « La chaleur, dit Locke, est une agitation très-vive des parties invisibles de l'objet qui produit en nous la sensation qui nous fait donner à l'objet la dénomination de chaud. De sorte que ce qui, dans notre sensation est *chaleur*, n'est en réalité dans l'objet que *mouvement*. » Lorsque

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

le courant électrique toujours faible commence à passer à travers le fil, son premier effet est de rendre plus intenses les radiations déjà existantes, en amenant les atomes à parcourir des espaces plus grands. Techniquement parlant, les *amplitudes* des oscillations sont accrues. Toutefois le courant produit ce résultat sans altérer la *période* des anciennes vibrations, ou le temps dans lequel ces vibrations s'accomplissent. Mais en même temps qu'il rend plus intenses les vieilles vibrations, le courant en engendre de nouvelles plus rapides; et dès qu'on est parvenu à une rapidité déterminée, le fil commence à briller La première couleur émise est le rouge, qui correspond à la période de vibrations la plus lente de celles que l'œil est apte à saisir. En augmentant, la force du courant électrique fait naître des vibrations plus rapides, et les rayons orangés apparaissent; une période de vibration de plus en plus rapide produit le jaune, une plus rapide encore amène le vert, et, en croissant sans cesse, la rapidité des vibrations nous fait passer tour à tour au bleu, à l'indigo, au violet, aux rayons ultra-violets.

Tels sont les changements dont la science constate l'existence au sein du fil lui-même, comme simultanés avec les changements visuels qui prennent place dans l'œil. Mais quel est donc le lien qui unit le fil avec cet organe? Par quel moyen peut-il mettre le nerf optique dans l'intelligence de ses variations successives? La chaleur étant, suivant la définition de Locke, un mouvement très-vif des parties insensibles d'un objet, on conçoit sans peine que dans l'acte de *toucher* un corps chauffé, son agitation puisse se communiquer elle-même aux nerfs adjacents,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

et s'annoncer à eux comme lumière et chaleur. Mais le nerf optique ne touche pas le platine chaud; et voilà comment nous sommes amenés à poser cette question : Par quel agent les vibrations du fil sont-elles transmises à l'œil?

La réponse à cette question implique la conception physique la plus importante, peut-être, de celles qu'il a été donné à l'esprit de l'homme de mener à bonne fin, la conception d'un milieu remplissant l'espace, et mécaniquement apte à transmettre les vibrations de la lumière et de la chaleur, comme l'air est apte à transmettre le son. Ce milieu s'appelle l'*éther lumineux*. Chacun des chocs de chacun des atomes de notre fil de platine excite en cet éther une onde qui se propage dans son sein avec la vitesse de trois cent mille kilomètres par seconde. L'éther n'éprouve aucune solution de continuité à la surface de l'œil; les espaces intermoléculaires des diverses humeurs de l'œil en sont remplis; voilà comment les ondes engendrées par le platine ardent peuvent traverser ces humeurs, et venir frapper le nerf optique épanoui au fond de l'œil. La sensation de la lumière se réduit ainsi à une communication de mouvement. Nous n'avons encore eu affaire qu'à de la mécanique pure, mais le passage subséquent du choc des ondes éthérées à la conscience de son action échappe à l'analyse de la science. De même qu'une rame en plongeant dans l'eau engendre un système d'ondes qui, se propageant du centre de la perturbation, vient enfin agiter les roseaux de la rive, de même les atomes en vibrant engendrent dans l'éther environnant des ondulations, lesquelles finalement agitent les filaments de la ré-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tine. Le mouvement ainsi communiqué est transmis avec une vitesse de propagation mesurable, et qui n'est pas très-grande, au cerveau, où, par un procédé que la science ne doit même jamais essayer de découvrir, l'ébranlement de la matière nerveuse devient la conscience de l'impression lumineuse.

L'obscurité alors peut se définir, l'éther en repos, et la lumière, l'éther en mouvement. Mais en réalité l'éther n'est jamais en repos, car en l'absence des ondes de lumière nous avons les ondes de chaleur, qui se propagent sans cesse dans son sein. Dans les profondeurs de l'espace, ces deux classes d'ondulations sont incessamment mêlées. Là les ondes parties d'innombrables centres se croisent, se superposent, s'accordent ou se contrarient, passent à travers les unes des autres sans aucune confusion, sans jamais arriver à une extinction définitive. Les ondes du zénith ne refoulent pas dans le néant les ondes de l'horizon ; et chaque étoile se montre à travers les mille méandres des ondes émises par les autres étoiles. Ce tressaillement incessant que les soleils lointains excitent simultanément dans l'éther constitue ce que nous appelons la température de l'espace. Ainsi que l'air d'une salle s'accommode lui-même aux exigences d'un orchestre, et transmet chacune des vibrations de chacun des tuyaux ou de chacune des cordes, de même l'éther intra-stellaire s'accommode à toutes les exigences de la lumière et de la chaleur. Ses ondes s'enchevêtrent dans l'espace sans aucun désordre; chacune d'elles a son individualité, aussi indestructible que si elle était seule à troubler le repos de l'Univers.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Tout ce qu'il y avait encore de vague dans l'emploi des mots *radiation* et *absorption* va maintenant disparaître. La radiation est la communication du mouvement vibratoire à l'éther; et lorsqu'on dit qu'un corps est gelé par la radiation, comme par exemple l'herbe de la prairie, dans une nuit étoilée, cela veut dire que les molécules de l'herbe ont perdu en partie leur mouvement, en le cédant au milieu dans lequel elles vibrent. D'un autre côté, les ondes de l'éther une fois engendrées peuvent battre contre les molécules du corps exposé à leur action, de manière à leur céder leur mouvement; et l'absorption de la chaleur rayonnante consiste précisément dans le transfert du mouvement de l'éther aux molécules du corps. Tous les phénomènes de la chaleur sont ainsi réductibles à des échanges de mouvements, et c'est purement en notre qualité de récipients ou de cessionnaires de ce mouvement que nous devenons conscients des effets de la chaleur et du froid.

III

La théorie atomique dans ses rapports avec l'éther.

Le mot *atome* a déjà été répété plusieurs fois dans cette lecture. Les chimistes ont pensé que toute matière est réductible à une certaine forme élémentaire qu'ils ont désignée du nom d'atome. Ces atomes sont doués d'une puissance d'attraction mutuelle, et dans des circonstances favorables ils s'unissent pour former des corps composés.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ainsi l'oxygène et l'hydrogène sont des éléments tant qu'ils sont séparés ou simplement mêlés ; mais on peut les amener à se combiner, de manière à former des molécules constituées chacune par deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène. Dans cette condition ils donnent naissance à l'eau. De même aussi le chlore et le sodium sont des éléments : le premier est un gaz à odeur pénétrante, le second, un métal mou ; et ils s'unissent ensemble pour former le chlorure de sodium ou sel commun. De même encore l'élément azote se combine avec l'élément hydrogène, dans la proportion d'un atome du premier et de trois atomes du second, pour former l'ammoniaque ou l'essence de corne de cerf. Si l'on donne par imagination aux atomes des corps élémentaires la forme de petites sphères, les molécules des corps composés deviendront des groupes de semblables petites sphères. C'est la théorie atomique telle que Dalton l'a conçue. Cela posé, si cette théorie est fondée en fait ; si la notion d'un éther envahissant tout l'espace et devenu le véhicule des mouvements atomiques est elle-même réelle, nous devons assurément nous attendre à ce que les vibrations des corps élémentaires soient profondément modifiées par l'acte de la combinaison. La première conséquence de ces deux théories est, en effet, qu'en ce qui regarde la radiation ou l'absorption, c'est-à-dire en ce qui regarde la communication du mouvement à l'éther et la réception du mouvement de l'éther, la manière d'agir des atomes non combinés sera très-différente de celle des atomes combinés.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

IV

Absorption de la chaleur rayonnante par les gaz.

Nous avons maintenant à soumettre ces considérations à la seule épreuve qui puisse et doive leur servir de contrôle, l'expérience. L'expérience a été bien définie, une question posée à la nature ; mais pour ne pas courir le risque d'une demande mal faite, il faut avant tout débarrasser la question de tous les accessoires qui ne lui appartiennent pas nécessairement. On a admis que la matière est composée d'éléments constituants, qui par leur agrégation font naître toutes ses variétés. Mais, en outre de la combinaison chimique, les corps élémentaires ou composés peuvent s'unir d'une manière moins intime. Par l'attraction ou la cohésion les gaz et les vapeurs s'agrégent en liquides ou en solides, sans aucun changement dans leur nature chimique. Nous n'avons pas à chercher maintenant comment la transmission de la chaleur rayonnante peut être affectée par l'enchaînement dû à la cohésion ; et parce que notre but est d'examiner l'influence de l'action chimique, nous devons avant tout simplifier nos expériences, en libérant entièrement les atomes et les molécules des liens de la cohésion, et les mettant en jeu sous forme de gaz ou de vapeurs.

Essayons maintenant de nous faire une idée parfaitement claire du problème qui se dresse devant nous. Limi-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

tant tout d'abord nos recherches au phénomène de l'absorption, nous avons à nous figurer une succession d'ondes issues d'une source de rayonnement et passant à travers un gaz. Quelques-unes de ces ondes viennent se briser contre des molécules gazeuses et leur cèdent leur mouvement; d'autres glissent autour des molécules, ou passent à travers leurs espaces intermoléculaires, sans obstacle sensible. Le problème consiste à déterminer si de semblables molécules libres ont à un degré quelconque le pouvoir d'arrêter les ondes de la chaleur, et si les différentes molécules possèdent ce pouvoir à différents degrés.

La source d'ondes que nous choisissons pour ces expériences est une plaque de cuivre dont le dos est incessamment léché par une flamme fixe. En sortant ou émergeant du cuivre, les ondes passent d'abord à travers un espace vide d'air, et entrent ensuite dans un cylindre creux en verre, d'un mètre de long, de 8 centimètres de large. Les deux extrémités du cylindre sont fermées par deux plaques de sel gemme, seule substance solide qui offre un obstacle presque insensible au passage des ondes calorifiques. Après avoir traversé le tube, la chaleur rayonnante tombe sur la face antérieure d'une pile thermo-électrique, où elle est instantanément appliquée à engendrer un courant électrique. Ce courant conduit autour d'une aiguille magnétique la fait dévier, et l'étendue de cette déviation est la mesure de la chaleur tombée sur la face de la pile. C'est de cet instrument fameux, et non d'un thermomètre ordinaire que nous ferons usage dans ces recherches. Mais nous l'utiliserons d'une manière un peu nouvelle. Aussi long-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

temps que les deux faces opposées de la pile thermo-électrique sont maintenues à la même température, quelque condensée que soit la matière soumise à l'expérience, il n'y a pas de courant engendré. Le courant est la conséquence d'une *différence* de température entre les deux faces opposées de la pile. Donc, si après que la face antérieure a reçu la chaleur de notre source rayonnante, une seconde source, que nous pouvons appeler source compensatrice, est admise à son tour à rayonner contre la face postérieure de la pile, cette seconde radiation tendra à neutraliser la première. Si la neutralisation est parfaite, l'aiguille aimantée mise en relation avec la pile ne sera pas déviée, et sa pointe correspondra au zéro du cercle divisé sur lequel elle oscille.

Supposons maintenant que le tube en verre, à travers lequel passent les ondes de la plaque chaude de cuivre, ait été vidé d'air à l'aide d'une machine pneumatique, en même temps que les deux sources de chaleur agissent sur les deux faces opposées de la pile. Des quantités parfaitement égales de chaleur étant communiquées à la fois aux deux faces, l'aiguille marquera zéro. Permettons maintenant aux molécules d'un gaz quelconque de pénétrer dans le tube vide. Si ces molécules ont à un degré sensible le pouvoir d'intercepter les ondes calorifiques, l'équilibre préexistant sera troublé; la source compensatrice l'emportera et aura pour conséquence immédiate la déviation de l'aiguille. Des déviations ainsi produites par les différents gaz nous déduirons sans peine les proportions relatives de mouvement ondulatoire que leurs molécules interceptent ou absorbent.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Les substances inscrites dans le tableau suivant ont été examinées de cette manière, avec la précaution de n'admettre dans le tube de verre qu'une très-petite quantité de chacune. Cette quantité admise était juste ce qu'il fallait pour diminuer de $2^c,5$ la hauteur d'une colonne de mercure mise en communication avec le tube ; en d'autres termes les gaz étaient examinés sous la pression d'un trentième d'atmosphère. Les nombres de la table expriment les quantités relatives de mouvement ondulatoire absorbé respectivement par les gaz, en prenant pour unité la quantité absorbée par l'air atmosphérique.

NOMS DES GAZ.	ABSORPTION RELATIVE.
Air	1
Oxygène	1
Azote	1
Hydrogène	1
Oxyde de carbone	750
Acide carbonique	972
Acide chlorhydrique	1005
Protoxyde d'azote	1590
Acide nitreux	1860
Sulfure d'hydrogène	2100
Ammoniaque	5460
Gaz oléfiant	6050
Acide sulfureux	6480

Chacun de ces gaz est parfaitement transparent à la lumière, c'est-à-dire que les ondes comprises dans les limites du spectre visible les traversent sans obstacle; mais pour les ondes de période plus lente, émanées de notre plaque de cuivre, il se manifeste des différences énormes de pouvoir absorbant. Ces différences mettent en évidence de la manière la plus inattendue l'influence de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

la combinaison chimique. En effet les gaz simples, oxygène, hydrogène, azote, et l'air mélangé de gaz simples, se comportent pratiquement par rapport aux rayons de chaleur comme un vide parfait. Quand chacun de ces gaz simples absorbe un rayon, ou, plus exactement, une unité de mouvement ondulatoire, l'ammoniaque parfaitement transparente en intercepte 5460, le gaz oléfiant 6030, le gaz acide sulfureux 6480. Que devient le mouvement ondulatoire ainsi intercepté? Il est employé à chauffer le gaz absorbant. Au contraire, les ondes de l'éther passent sans absorption à travers l'air, l'oxygène, l'hydrogène et l'azote; et ces gaz ne changent pas sensiblement de température sous l'action des rayons calorifiques les plus puissants. La place occupée sur ce tableau par l'acide nitreux mérite tout particulièrement d'être signalée. Ce gaz renferme à l'état de combinaison chimique les mêmes atomes qui existent non combinés dans l'atmosphère, et l'absorption du composé est 1800 fois celle du simple mélange ou de l'air.

V

Absorption de l'iode. Formation des foyers invisibles.

La manière extraordinaire dont les gaz élémentaires se comportent ramène naturellement l'attention sur les corps simples dans un autre état d'agrégation; et à ce point de vue, quelques-uns des résultats de Melloni prennent maintenant une signification toute nouvelle. En

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

effet, le célèbre expérimentateur a trouvé que les cristaux de soufre, corps simple, sont extrêmement perméables à la chaleur rayonnante; il a aussi démontré que le noir de fumée, et le verre enfumé qui doit sa coloration au carbone, sont, dans une proportion considérable, transparents pour les rayons calorifiques de faible réfrangibilité. Ces faits, qui s'harmonisent d'une manière si frappante avec le mode d'action des gaz simples, conduisent à d'autres recherches. Le soufre dissous dans le bisulfure de carbone est presque parfaitement transparent. On a essayé le brome, corps simple, dense, de couleur très-foncée, et l'on a trouvé qu'il éteint la lumière de nos flammes les plus brillantes, tandis qu'il transmet en toute liberté les rayons calorifiques invisibles. On est passé ensuite à l'iode, corps simple très-rapproché du brome, mais il s'est refusé à l'examen sous sa forme ordinaire de substance solide. Il se dissout heureusement dans le bisulfure de carbone. Il n'y a pas de combinaison chimique entre le sulfure et l'iode, c'est une simple solution dans laquelle les éléments non combinés du corps simple peuvent agir individuellement sur la chaleur rayonnante. Quand on les a mis à même d'exercer leur action, on a constaté qu'une couche d'iode dissous, suffisamment opaque pour arrêter la lumière du soleil en plein midi, était presque absolument transparente à tous les rayons calorifiques invisibles.

Sir William Herschel avait essayé de séparer par l'analyse prismatique les rayons lumineux des rayons non lumineux du soleil, comme aussi à rendre les rayons obscurs visibles par concentration. Interceptant la portion

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lumineuse de son spectre, il amena, au moyen d'une lentille convergente, les rayons ultra-rouges à converger vers un foyer unique, et cette concentration ne lui donna point de lumière. La solution d'iode fournit le moyen de tamiser le faisceau de rayon solaire, ou à son défaut le faisceau de lumière électrique, de manière à produire des foyers de rayons invisibles beaucoup plus puissants que ceux des expériences de sir William Herschel. Pour former son spectre, il était obligé d'opérer sur la lumière solaire transmise à travers une fente étroite ou une très-petite ouverture : et cette circonstance réduisait considérablement la quantité de chaleur mise en jeu. Avec notre solution opaque, au contraire, nous pouvons utiliser la surface entière de la plus large des lentilles ; puis, après avoir fait ainsi converger les rayons lumineux et non lumineux, nous pouvons intercepter les premiers par l'iode, et faire des seconds tout ce qu'il nous plaira. Des expériences de ce genre ont été faites à Royal Institution au printemps de 1862, non-seulement avec la solution d'iode, mais avec le verre noir et des couches de noir de fumée, et nous pouvons dire que les effets des foyers invisibles ainsi obtenus n'avaient pas même été soupçonnés auparavant.

Dans les essais auxquels il vient d'être fait allusion, on se servait de lentilles de verre pour concentrer les rayons. Mais le verre, quoique très-transparent aux rayons lumineux, est opaque à un haut degré pour les rayons calorifiques invisibles de la lampe électrique ; et le plus grand nombre de ces rayons étaient par conséquent interceptés par le verre. Le remède facile à cet inconvénient

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

est de faire usage d'une lentille en sel gemme ou de roche, ou mieux de renoncer à toute lentille et de concentrer les rayons par un miroir métallique. Chacun de ces perfectionnements a été tour à tour mis en pratique, et, comme on l'avait prévu, les foyers invisibles sont devenus incomparablement plus intenses. La manière d'opérer est restée cependant la même en principe que dans les expériences de 1862. On avait trouvé alors qu'un instant d'exposition de la pile thermo-électrique au foyer des rayons invisibles fait dévier violemment l'aiguille assez lourde d'un galvanomètre ordinaire; on a trouvé cette fois qu'en substituant un corps combustible à la pile thermo-électrique, les rayons invisibles suffisaient pleinement à l'enflammer.

VI

Rayons visibles et invisibles de la lumière électrique

Nous avons maintenant à examiner quelles sont les proportions relatives des rayons non lumineux et lumineux dans la lumière électrique. La solution opaque d'iode nous permet de le faire avec une approximation extrêmement voisine de la vérité. Le bisulfure pur de carbone, dissolvant de l'iode, est parfaitement transparent aux rayons lumineux, et presque parfaitement transparent aux rayons obscurs de la lampe électrique. On peut admettre que la radiation totale de la lampe passe à travers le bisulfure transparent, tandis que les seuls

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

rayons obscurs sont transmis par la solution d'iode. Déterminant alors au moyen de la pile thermo-électrique la radiation totale, et retranchant de cette radiation totale la radiation purement obscure, nous obtenons la quantité d'émission purement lumineuse. Les expériences faites dans cette voie prouvent que si tous les rayons visibles de la lumière électrique étaient concentrés dans un foyer éblouissant d'éclat, sa chaleur serait seulement la neuvième partie de celle qui serait produite par le foyer obscur des rayons invisibles.

En exposant ses thermomètres aux couleurs successives du spectre solaire, sir William Herschel détermina le pouvoir calorifique de chacune, et, en outre, celui de la région située au delà du rouge extrême. Tirant alors une ligne droite qui représentât la longueur du spectre, il éleva en un nombre suffisant de points des perpendiculaires dont les longueurs étaient proportionnelles aux pouvoirs calorifiques en ces points; puis unissant les sommets de ces perpendiculaires, il traça une courbe qui montrait au regard la manière dont la chaleur était distribuée dans le spectre solaire. M. le professeur Muller, de Fribourg, qui a répété plus tard ces mêmes expériences avec des instruments plus parfaits, a obtenu une courbe de même genre, et plus exacte. Pour nous, dans l'étude que nous avons à faire de la distribution de la chaleur dans le spectre de la lumière électrique, nous aurons recours à une forme particulière de pile thermo-électrique, combinée par Melloni. Sa face est un rectangle, que l'on peut rendre aussi étroit qu'on voudra à l'aide de vis de rappel. On peut, par exemple, réduire cette face à n'avoir plus qu'un milli-

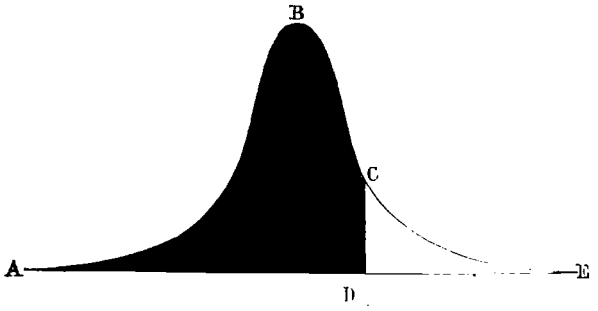
Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

mètre ou même un dixième, un centième de millimètre de largeur. A l'aide d'une vis sans fin, l'ouverture linéaire de cette pile thermo-électrique peut en outre passer tour à tour devant toutes les parties du spectre, en même temps que la quantité de chaleur qu'elle reçoit à chaque point de sa marche est enregistrée par l'aiguille aimantée qui lui est associée.

Lorsque l'instrument reçoit les rayons de l'extrémité violette du spectre de la lumière électrique, la chaleur est insensible. A mesure que la pile avance du violet au rouge, la chaleur se manifeste et va en augmentant de plus en plus. De toutes les couleurs du spectre visible, le rouge est donc celle qui possède au plus haut degré la puissance calorifique. Quand on vient à pousser la pile dans la région obscure au delà du rouge, la chaleur, au lieu de s'évanouir, augmente soudainement et énormément d'énergie; elle atteint son maximum un peu au delà du rouge. Si l'on fait encore avancer la pile, la puissance calorifique faiblit, un peu plus rapidement qu'elle n'avait augmenté. Elle disparaît ensuite peu à peu, mais on découvre encore des traces de chaleur à une distance, au delà de l'extrémité rouge, beaucoup plus grande que la longueur entière du spectre visible. Tirant comme l'a fait sir William Herschel une ligne droite, et élevant sur sa longueur des perpendiculaires proportionnelles à l'intensité de la chaleur en ses divers points, on obtient la courbe extraordinaire qui met en évidence la distribution de la chaleur dans le spectre de la lumière électrique. Dans la région des rayons obscurs, au delà du rouge, la courbe s'élance et forme une sorte d'escarpement ou de pic massif, qui est

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

comme le Mont-Cervin de la chaleur, et qui écrase ou réduit à rien, par sa grandeur, la portion de la figure représentant la radiation lumineuse. En réalité, l'idée que l'inspection de cette figure impose forcément à l'esprit est que les rayons lumineux sont un accessoire insignifiant des rayons obscurs. Qu'est en effet l'espace CDE des radiations lumineuses comparé à l'espace ABCD des rayons non lumineux.



La figure par laquelle M. le professeur Muller a représenté la distribution de la chaleur dans le spectre solaire est bien loin d'être aussi frappante, par cette raison, sans doute, qu'avant d'atteindre la terre, les rayons solaires ont à traverser notre atmosphère. La vapeur aqueuse répandue dans l'atmosphère agit très-énergiquement sur les rayons ultra-rouges, et son action coupe le sommet du pic qui représente la radiation solaire invisible. On observe ce même abaissement de la montagne de la chaleur invisible, lorsque l'on fait passer les rayons de la lumière électrique à travers une couche d'eau qui agit sur

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

eux comme la vapeur de l'atmosphère agit sur les rayons du soleil.

VII

Combustion par les rayons invisibles.

Les rayons invisibles du soleil l'emportent de beaucoup en pouvoir calorifique sur les rayons visibles, de telle sorte que si le tour de force attribué à Archimède pendant le siége de Syracuse est une réalité, il faudra nécessairement admettre que les principaux agents de combustion du grand philosophe auront été les rayons obscurs solaires. Nous pouvons reproduire sans peine, sur une petite échelle, avec les seuls rayons invisibles de la lumière électrique, tout ce qu'Archimède aurait obtenu avec la radiation solaire totale. Plaçant en arrière de la lumière électrique un petit miroir concave, on rend les rayons convergents; le cône des rayons réfléchis et leur point de convergence deviennent parfaitement visibles lorsqu'on les saupoudre de poussière; interposant alors entre le foyer lumineux et la source des rayons la solution d'iode, on supprime entièrement le cône de lumière, mais la chaleur intolérable que l'on sent lorsqu'on approche la main, même pour un moment, du foyer obscur, montre que les rayons calorifiques passent sans obstacle aucun à travers la solution opaque.

On peut demander à ce foyer de rayons invisibles pres-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

que tous les effets qu'on obtient d'un feu ordinaire ; et, en même temps, l'air qui occupe ce foyer reste parfaitement froid, en raison de sa transparence pour les rayons calorifiques. Un thermomètre à air avec une boule creuse en sel gemme ne serait nullement impressionné par la chaleur, si on le plongeait dans ce foyer ; il n'y aurait en ce lieu ni dilatation, ni échauffement par déplacement ou convection ; car là l'éther et non pas l'air est la substance imbibée de chaleur. Un bloc de bois introduit dans ce foyer absorbe la chaleur, et l'on voit une fumée dense s'élever rapidement, indiquant de quelle manière l'air lui-même s'élèverait si les rayons invisibles étaient aptes à le chauffer. Dans ce foyer complétement obscur, le papier sec s'enflamme instantanément ; des copeaux de bois brûlent avec vivacité ; le plomb, l'étain et le zinc entrent en fusion ; des disques de clinquant sont bientôt portés à une incandescence très-vive. On pouvait supposer que les rayons obscurs n'auraient aucune préférence pour le blanc ou le noir; cependant pour obtenir une combustion rapide, il faut noircir la substance mise au foyer si elle n'est pas déjà noire. S'il s'agit de brûler un métal, il faut le noircir ou du moins ternir assez sa surface pour diminuer son pouvoir réflecteur. Une feuille noircie de zinc placée au foyer des rayons invisibles flambe sur-le-champ et brûle avec sa lumière pourpre caractéristique. Un fil de magnésium aplati ou un ruban terni de magnésium brûlent aussi avec une flamme splendide. Des morceaux de charbon suspendus au sein d'un récipient plein d'oxygène prennent feu ; les rayons obscurs qui ont traversé les parois du récipient ont encore assez de puissance pour enflammer le charbon et

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

déterminer son attaque par l'oxygène. Si, au lieu d'être plongé dans l'oxygène, le charbon est suspendu dans le vide, il s'allume au point où tombe le foyer des rayons obscurs.

VIII

Transmutation des rayons[1]. Calorescence.

Des expérimentateurs éminents ont longtemps essayé de démontrer l'identité substantielle de la lumière et de la chaleur rayonnante. Nous sommes maintenant en possession d'une preuve nouvelle et frappante de cette identité. Un miroir concave produit au delà de l'objet qu'il réfléchit une image inverse et amplifiée de cet objet. Si par exemple nous écartons la solution iodée, nous verrons se former au foyer du miroir employé dans les expériences précédentes une image renversée très-intense des pointes de charbon de la lampe électrique. Lorsqu'on interpose la solution, et qu'on arrête la lumière, que devient cette image? Elle échappe au regard ; mais il reste à sa place ce qu'on est en droit d'appeler un thermographe ou image thermographique invisible ; et c'est uniquement la constitution particulière de notre œil qui nous rend impuissants à voir l'image formée par les rayons calorifiques. En tombant sur du papier blanc, cette image se dissimule elle-

[1] J'emprunte le mot transmutation à M. le professeur Challis (*Philosophical Magazine*, vol. XII, p. 521).

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

même; en tombant sur du papier noir elle y perce deux trous correspondants aux lieux des images des deux pointes de charbon. Mais en tombant sur une lame mince d'étain ou de charbon dans le vide, ou, soit dans le vide, soit dans l'air, sur une feuille mince de platine platinisé, la chaleur rayonnante est convertie en lumière, et l'image s'imprime elle-même en caractères d'incandescence vive soit sur le charbon, soit sur le métal. On a obtenu avec les rayons invisibles de la lumière Drummond, jet enflammé de gaz oxygène et hydrogène tombant sur de la chaux, et avec la lumière du soleil, les mêmes effets qu'avec la lumière électrique.

Les résultats qui précèdent sont une sorte de complément des excellentes recherches et des découvertes faites par M. le professeur Stokes à l'extrémité opposée du spectre solaire. Il a désigné du nom de *fluorescence* les phénomènes découverts et étudiés par lui, et je propose d'appeler *calorescence* les nouveaux phénomènes que je viens de décrire. Par l'interposition d'un milieu approprié, M. Stokes a tellement abaissé la réfrangibilité des rayons ultra-violets du spectre solaire, qu'il les a rendus visibles. Ici, par l'interposition de la lame mince de platine, la réfrangibilité des rayons ultra-rouges est tellement exaltée qu'ils deviennent visibles à leur tour, d'invisibles qu'ils *étaient. En regardant à travers un prisme la lumière de l'image incandescente* des pointes de charbon, on la voit s'étaler en un spectre complet. Les rayons invisibles de la lumière électrique reconstituée par les atomes du platine émettent au loin une lumière visible, parce que les rayons ultra-rouges sont convertis en rayons rouges, orangés,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

jaunes, verts, bleus, indigos, violets et ultra-violets. Si nous pouvions élever encore davantage, si nous pouvions élever assez la température de la source primitive des rayons, nous n'obtiendrions pas seulement avec les rayons obscurs de cette source une première image incandescente; les rayons obscurs de cette image nous donneraient une seconde image brillante; les rayons obscurs de cette seconde image brillante nous en donneraient une troisième encore lumineuse; c'est-à-dire que nous entrerions en possession d'une série d'images complètes, de spectres complets, extraits ainsi successivement de la source invisible primitive [1].

[1] En étudiant plus à fond la calorescence produite par les rayons qui ont traversé des verres de diverses couleurs, on a trouvé que dans certains échantillons de verre bleu la feuille de platine émettait une lumière de couleur pourpre. Ce n'était pas une impression subjective, et ce fait met sur la voie de considérations très-dignes d'intérêt. Les diverses sortes de verres noirs diffèrent notablement quant au pouvoir de transmission de la chaleur rayonnante. Employées en lames minces, certaines sortes donnent au soleil une teinte verdâtre; d'autres lui communiquent une couleur rouge-vif sans aucune trace de vert; ces dernières sont beaucoup plus diathermiques que les premières. De fait, le charbon parfaitement dissous et incorporé à un bon verre blanc est grandement transparent pour les rayons calorifiques, et en l'employant comme absorbant, on peut reproduire les phénomènes de la calorescence, quoique d'une manière moins frappante qu'avec la solution d'iode. Le verre noir choisi pour boule de thermomètre, dans le but d'absorber complétement la lumière solaire, peut tout à fait manquer son but si le verre auquel le carbone est incorporé *était tout à fait incolore*. Pour rendre la boule d'un thermomètre parfaitement absorbante, le verre auquel *on ajoute* le carbone a dû d'abord être vert. Aussitôt après la découverte de la fluorescence, M. le docteur W. A. Müller signala la lumière de la chaux comme exemple de réfrangibilité exaltée. Des expériences directes ont depuis entièrement confirmé les vues énoncées par lui, page 10 de son *Traité de chimie*, publié en 1855.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

IX

Insensibilité du nerf optique aux rayons calorifiques.

Lorsqu'on l'installe en avant de l'œil, la couche d'iode des expériences qui précèdent intercepte les rayons du soleil de midi; et lorsqu'on fait tomber sur un écran blanc placé au foyer du miroir l'image de la lampe électrique, on n'aperçoit aucune trace de lumière, même au sein d'une chambre obscure. J'avais cependant pensé que si l'on plaçait la rétine au foyer des rayons obscurs, elle pourrait encore recevoir la sensation de la lumière. Cette expérience présentait un double danger. Si les rayons obscurs viennent à être absorbés en quantité suffisante par les humeurs ou milieux de l'œil, l'albumine de ces milieux pourra se coaguler le long du trajet du rayon. Si au contraire cette puissante absorption n'a pas lieu, les rayons pourront atteindre la rétine en nombre suffisant pour la détruire. Pour se rendre compte de l'imminence de ces deux dangers, on a fait des expériences avec l'eau et une solution d'alun, et elles ont montré qu'il était tout à fait improbable que dans le temps très-court nécessaire à l'expérience, l'œil pût être sérieusement compromis. Je me hasardai alors à approcher mon œil du foyer obscur, sans même l'armer d'aucun moyen de défense; mais il me fut impossible de supporter l'action exercée par la chaleur sur les parties de l'œil qui entourent la pupille. Je perçai donc un petit trou

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dans une plaque de métal, et j'approchai de nouveau l'œil placé derrière l'ouverture du point de convergence des rayons invisibles. J'atteignis le foyer d'abord avec la pupille, puis avec la rétine. Éloignant l'œil de l'ouverture, mais laissant la plaque en place, je mis au lieu occupé un moment auparavant par la rétine une feuille mince de platine. Le platine devint immédiatement rouge feu. Et cependant cette expérience n'avait causé à mon œil aucun dommage, le nerf optique n'avait pas même eu la conscience de la chaleur.

Mais on sait que les humeurs de l'œil sont très-imperméables aux rayons calorifiques invisibles ; il y avait donc lieu à se poser cette question : Dans l'expérience qui précède, la radiation avait-elle réellement atteint la rétine? La réponse est que les rayons ont été en partie transmis à la rétine, en partie absorbés par les humeurs. De nouvelles expériences faites sur l'œil d'un bœuf ont en effet montré que la proportion de rayons obscurs qui atteint la rétine est de 18 pour 100 de la radiation totale. Si tous les rayons purement lumineux de la lampe électrique avaient été concentrés par notre miroir au foyer, le sort de la rétine placée en ce foyer n'aurait été nullement douteux. Sa ruine aurait été inévitable ; et cependant cet effet de destruction aurait été produit par un mouvement ondulatoire dont l'intensité est tout au plus la moitié de celle que la rétine a supportée, sans en avoir eu même la conscience, au foyer des rayons invisibles.

Ce sujet exige un moment de plus d'attention. A la distance de 55 centimètres la radiation visible de la lumière électrique est 800 fois plus intense que celle d'une

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

bougie. A cette même distance, la portion de la radiation de la lumière électrique qui atteint la rétine, sans exciter la sensation de la vision, est environ 1500 fois plus forte que la radiation lumineuse de la bougie[1]. Or une bougie, par une nuit claire, se voit facilement d'une distance d'un kilomètre et demi, quoique la lumière à cette distance soit inférieure à la vingt millionième partie de la lumière à 33 centimètres. Donc, pour la rendre égale en puissance à la radiation non lumineuse reçue de la lumière électrique à 33 centimètres de distance, il faudrait la multiplier par 1 500 d'abord, par 20 000 000 ensuite, ou par 30 000 millions. Ainsi la trente mille millionième partie de la radiation de la lumière électrique, reçue par la rétine à la distance de 33 centimètres, sans lui donner la sensation de sa présence, pourrait, si l'on changeait quelque peu sa nature ou son caractère, devenir amplement suffisante à provoquer la vision. Rien n'est plus propre à mettre en évidence de la manière la plus frappante la relation toute spéciale admise par Melloni et autres entre le nerf *optique* et les *ondulations périodiques des corps lumineux*. Semblable à une corde musicale, le nerf optique répond aux ondes avec lesquelles il est en consonnance, tandis qu'il refuse obstinément d'être excité par d'autres ondes d'une énergie presque infiniment plus grande, dont les périodes de récurrence ou d'oscillation ne sont pas en unisson avec la sienne.

[1] Il faut avoir bien présent à l'esprit que la chaleur qu'un rayon quelconque lumineux ou non lumineux est apte à engendrer, est la vraie mesure de l'énergie de ce rayon.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

X

Persistance des rayons.

Dans la première partie de cette lecture, il a été affirmé que lorsqu'un fil de platine est graduellement amené à l'état d'*incandescence* vive, de *nouveaux rayons* s'*ajoutent* constamment aux premiers pendant que l'intensité des premiers rayons va sans cesse en augmentant. Ainsi dans l'expérience de M. Draper, l'élévation de température *qui engendre* l'orangé, le jaune, le vert et le bleu *augmente* en même temps l'intensité du rouge. Ce qui est vrai du rouge est vrai d'un autre rayon quelconque du spectre visible ou invisible. Nous ne pouvons pas *voir* cet accroissement d'intensité survenu dans la région ultra-rouge, mais nous pouvons le mesurer et l'exprimer en nombre. L'expérience suivante n'a pas d'autre but. Une spirale de fil avait été entourée d'un petit globe destiné à la défendre du courant d'air, les rayons sortis par un orifice percé dans le globe pouvaient aller tomber ensuite sur une pile thermo-électrique. On plaçait en avant de l'orifice une solution opaque d'iode, et l'on constatait que le fil de platine montait de l'obscurité à la plus vive incandescence en donnant les résultats suivants :

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ASPECT DE LA SPIRALE.	ÉNERGIE DE LA RADIATION OBSCURE.
Sombre	1
Sombre, mais plus chaude	3
Sombre, mais encore plus chaude	5
Sombre, mais toujours plus chaude	10
Rouge naissant	19
Rouge sombre	28
Rouge	57
Rouge vif	62
Orangé	89
Orangé clair	144
Jaune	202
Blanc	216
Blanc intense	240

Ainsi l'augmentation de courant électrique qui fait passer le fil de son obscurité première à la chaleur blanche intense exalte en même temps l'énergie de la radiation obscure, jusqu'à ce qu'à la fin elle soit 240 fois plus forte qu'elle n'était en commençant.

Ce que nous avons démontré de l'ensemble des rayons ultra-rouges est vrai pour chacun d'eux en particulier. En faisant coïncider notre pile thermo-électrique linéaire avec un point quelconque du spectre ultra-rouge, on prouverait de même que tout rayon une fois émis continue à être émis avec une énergie sans cesse croissante, à mesure que la température augmente. Après avoir chauffé à blanc par le passage d'un courant électrique la spirale de platine dont il a été si souvent question, on formait avec sa lumière un spectre brillant. On plaçait dans la région des rayons obscurs une pile thermo-électrique linéaire, et en diminuant le courant on ramenait la spirale à une température basse. On la faisait ensuite passer par divers degrés

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

d'obscurité ou d'incandescence, et l'on obtenait les résultats suivants :

ASPECT DE LA SPIRALE.	ÉNERGIE DES RAYONS SOMBRES.
Sombre	1
Sombre	6
Rouge commençant	10
Rouge sombre	15
Rouge	18
Rouge vif	27
Orangé	60
Jaune	95
Blanc pur	122

Cette fois comme dans la première expérience, les radiations sombres et brillantes ont atteint leur maximum en même temps ; à mesure que l'une augmentait, l'autre augmentait aussi, jusqu'à ce qu'enfin l'énergie des rayons obscurs d'une réfrangibilité particulière donnée fût devenue 122 fois plus forte qu'elle ne l'était. Pour atteindre la chaleur blanche le fil doit passer par toutes les phases de la radiation obscure ; et, même au maximum de son éclat, il possède toujours, sous une forme amplifiée, les rayons de toutes les phases antérieures.

Et il en est ainsi avec toutes les sortes de matière que l'on a pu examiner jusqu'ici. Le coke amené à la chaleur blanche par le courant électrique ou par le jet de gaz oxy-hydrogène émet des rayons invisibles avec une énergie croissante à mesure que sa lumière augmente. La même chose arrive de la chaux, de la brique et des autres substances. Cela est encore vrai pour les métaux capables de devenir incandescents par la chaleur. Ce fait s'étend de

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

même au phosphore brûlant dans l'oxygène. Chaque faisceau de lumière éblouissante emporte avec lui un faisceau de chaleur rayonnante invisible, qui dépasse de beaucoup sa lumière en énergie, et cet état de choses s'applique à tous les corps qui peuvent être portés à la chaleur blanche, quelle que soit leur condition, solide ou en fusion. Il s'appliquerait sans aucun doute aux brouillards lumineux formés par la condensation de vapeurs métalliques incandescentes. Dans tous les cas, si l'on construisait la courbe des énergies rayonnantes du corps, la radiation obscure surplomberait semblable à une montagne, tandis que la radiation lumineuse se montrerait timidement à sa base sous forme de trait insignifiant.

Mais quelle est l'origine de la radiation lumineuse ? Nous la voyons apparaître quand le corps rayonnant a atteint une certaine température ; ou, en d'autres termes, lorsque les atomes vibrants du corps ont acquis une certaine amplitude d'excursion. Dans les corps solides ou en fusion, on ne peut pas dépasser une certaine amplitude sans introduire des périodes de vibration de nature à provoquer la sensation de la vision. S'il était permis de se lancer dans le champ des hypothèses, chacun pourrait demander si ces vibrations plus précipitées ne sont pas le produit des vibrations plus lentes ? Ne faut-il pas voir réellement dans l'action mutuelle des atomes, alors qu'ils oscillent dans des espaces relativement grands, et qu'ils s'accrochent l'un l'autre, la cause qui détermine des périodes de vibrations plus rapides ? S'il en est ainsi, de quelque manière que les vibrations à larges amplitudes soient obtenues, nous aurons toujours associées avec elles les vibrations qui don-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nent la lumière. Peu importerait que les grandes amplitudes fussent produites par les coups d'un marteau ou par les pulsations des molécules d'un gaz non lumineux, comme l'air pris à une certaine hauteur au-dessus de la flamme du gaz, ou par le choc des particules de l'éther dans l'acte de transmission de la chaleur rayonnante. Le résultat, dans tous les cas, serait l'incandescence. Ainsi les ondes invisibles de notre faisceau tamisé de lumière électrique qui a produit l'incandescence du platine, peuvent être regardées comme engendrant dans le métal sur lequel elles tombent des vibrations synchroniques ; mais dès que ces vibrations auront atteint une certaine amplitude, leurs réactions mutuelles feront naître des vibrations plus rapides, et les ondes lumineuses seront la progéniture nécessaire des vibrations calorifiques. De l'éclat vraiment très-grand de certaines étoiles fixes nous pouvons conclure à l'intensité des radiations obscures qui ont été le précurseur indispensable et qui restent le compagnon inséparable des rayons lumineux qu'elles émettent.

XI

Absorption de la chaleur rayonnante par les vapeurs et les odeurs.

Nous avons débuté, dans les démonstrations qui font l'objet de cette lecture, par des expériences sur les gaz per-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

manents, et nous avons à diriger maintenant notre attention sur les vapeurs des liquides volatils. Ici, comme dans le cas des gaz, il se manifeste d'énormes différences entre les diverses sortes de molécules, en tant qu'il s'agit de leur puissance d'interception ou d'absorption des ondes calorifiques. Tandis que certaines vapeurs livrent à ces ondes un passage relativement libre, dans d'autres cas, la plus petite bulle de vapeur introduite dans le tube qui sert à l'étude des gaz détermine une déviation de l'aiguille du galvanomètre. Prenant pour unité l'absorption de l'air à la pression d'une atmosphère, les absorptions causées par la série suivante de vapeurs à la pression d'un 60e d'atmosphère sont :

NOM DE LA VAPEUR.	ABSORPTION.
Bisulfure de carbone	47
Iodure de méthyle	115
Benzine	136
Amylène	521
Éther sulfurique	440
Éther formique	548
Éther acétique	612

La vapeur du bisulfure de carbone est la plus transparente de cette liste, la vapeur d'éther acétique est la plus opaque. Un 60e d'atmosphère de la première produit 47 fois autant d'effet que l'air atmosphérique, tandis que un 60e d'atmosphère de vapeur d'éther acétique produit 612 fois l'effet d'une atmosphère d'air. En ramenant l'air sec à la pression de l'éther acétique et comparant ces deux fluides élastiques, on trouve que la quantité de mouvement ondulatoire interceptée ou absorbée par le

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dernier serait plusieurs mille fois la quantité de mouvement interceptée par l'air.

Chacune de ces vapeurs dégagées dans l'air en avant d'un corps qui émet des rayons obscurs, intercepte plus ou moins de la radiation. Les parfums répandus dans l'air produisent un effet semblable, quoique leur atténuation soit, comme on le sait, à peu près infinie. Prenons pour exemple le courant d'air qui passe sur un papier buvard humecté de patchouli : les émanations emportées par le courant absorbent 30 fois la quantité de chaleur interceptée par l'air qui les charrie ; et cependant le patchouli agit moins sur la chaleur rayonnante que tous les autres parfums soumis à l'expérience. Le tableau suivant contient les résultats obtenus avec les diverses huiles essentielles, les émanations étant toujours charriées par un courant d'air sec, au sein du tube déjà employé pour les gaz et les vapeurs.

NOMS DES PARFUMS.	ABSORPTION.
Patchouli	30
Bois de sandal	52
Géranium	53
Huile d'œillets	54
Essence de rose	54
Huile de bergamotte	44
Huile de néroli	47
Lavande	60
Limon	65
Portugal	67
Thym	68
Romarin	74
Huile de laurier	80
Fleurs de camomille	87
Cassia	100
Huile d'aspic	355
Anis	372

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

Ainsi l'absorption exercée par un tube rempli d'air sec étant 1, celle de l'odeur de patchouli diffusé dans cet air est 30, celle de la lavande 60, celle du romarin 74, tandis que celle de l'anis est 372. Il serait presque ridicule de prétendre évaluer les quantités pondérables de matières mises en jeu dans ces absorptions.

XII

Des vapeurs aqueuses de l'atmosphère dans leurs rapports avec les températures terrestres.

Nous voici suffisamment préparé à accepter un résultat qui sans ces préliminaires serait apparu complètement incroyable. L'eau est jusqu'à un certain point un corps volatil, et notre atmosphère reposant, comme elle le fait, sur l'Océan, reçoit de lui une provision continuelle de vapeur aqueuse. Ce serait une erreur que de confondre les nuages, les brouillards ou toute brume visible, avec la vapeur d'eau. Cette vapeur est un gaz, parfaitement impalpable, diffusé dans toute l'atmosphère même par les jours les plus clairs. Comparée à l'immense volume de l'air, la vapeur aqueuse qu'il contient est en quantité à peu près infinitésimale, puisque 99 1/2 pour 100 de l'air atmosphérique consistent en oxygène et en azote. En l'absence d'expériences, nous n'aurions jamais songé à attribuer à cette proportion variable, mais si petite de vapeur d'eau, une influence importante sur la radiation terrestre; et cependant cette

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

influence est beaucoup plus puissante que celle du volume énorme de l'air. En disant qu'en Angleterre, par un jour d'humidité moyenne, la vapeur atmosphérique exerce une action égale à cent fois celle de l'air lui-même, nous resterons bien certainement au-dessous de la réalité. Les qualités particulières de cette vapeur, et la circonstance qu'à la température ordinaire elle est très-près de son point de condensation, font que le résultat obtenu avec l'appareil déjà décrit est au-dessous de la vérité; et j'oserais presque affirmer que l'absorption de la vapeur d'eau est 200 fois plus grande que celle de l'air dans lequel elle est diffusée. En comparant une simple molécule de vapeur aqueuse avec une molécule de l'un quelconque des constituants principaux de notre atmosphère, j'oserais presque dire que l'action de la première est égale à plusieurs mille fois l'action des dernières.

Ces nombres si grands sont dus en partie à ce que le pouvoir absorbant de l'air est extrêmement faible; le pouvoir de la vapeur aqueuse semble énorme, parce que le pouvoir de l'air auquel on le compare est infiniment petit. Toutefois, considérée en elle-même, en dehors de toute comparaison, cette substance exerce une action vraiment grande. Très-probablement, une colonne d'air ordinaire de trois mètres de hauteur intercepterait 10 ou 15 pour 100 de la chaleur rayonnée par une source obscure; et je pense que le plus grand de ces nombres, 15 pour 100, ne suffit pas à exprimer la quantité de radiation terrestre absorbée par les trois premiers mètres d'air en contact avec la surface terrestre. Ce fait entraîne les conséquences les plus graves relativement à la vie sur notre

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

planète. Concevons que les molécules superficielles de la terre soient animées du mouvement qui constitue la chaleur, et que ce mouvement se communique à l'éther environnant ; ce mouvement serait bien vite enlevé, et perdu à jamais pour notre planète, si les ondes de l'éther n'avaient pour les arrêter dans leur course excentrique que l'absorption de l'air. Mais les vapeurs aqueuses enlèvent leur mouvement aux ondes éthérées, s'échauffent et enveloppent ainsi la terre comme d'un manteau qui la protége contre le froid mortel qu'elle aurait sans cela à supporter. Plusieurs physiciens ont émis des idées sur l'influence d'une enveloppe atmosphérique. De Saussure, Fourier, M. Pouillet, M. Hopkins ont tour à tour enrichi la littérature scientifique de recherches sur ce sujet ; mais les considérations que ces hommes éminents ont appliquées à l'air atmosphérique doivent se rapporter désormais aux vapeurs aqueuses.

Les observations des météorologistes nous fournissent une preuve évidente, quoique restée inaperçue jusqu'ici, de l'influence de cet agent. Partout où l'air est sec nous sommes exposés à des températures diurnes extrêmes. Le jour, dans ces stations à air sec, la chaleur solaire atteint la terre non protégée, et fait naître un maximum de température élevée. D'un autre côté, pendant la nuit, la terre rayonne sans aucun obstacle la chaleur vers ses espaces célestes, et il en résulte un minimum de température très-basse. Voilà pourquoi la différence entre le maximum et le minimum est très-grande partout où l'air est très-sec. Dans les plaines de l'Inde, sur les hauteurs de l'Himalaya, dans l'Asie centrale, en Australie, partout où règne la sécheresse, nous trouvons de jour une chaleur excessive

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

qui fait un violent contraste avec le froid des nuits. Dans le Sahara lui-même, dès que les rayons du soleil cessent de plonger sur le sol brûlant, la température descend rapidement jusqu'au point de congélation, parce qu'il n'y a pas là de vapeur interposée pour arrêter le flux calorifique. Nous pouvons ajouter ici à tous les exemples déjà connus, un cas remarquable dans lequel nous voyons la nature s'efforcer de corriger ses propres excès. Par le refroidissement nocturne, les vapeurs aqueuses de l'air se condensent en eau à la surface de la terre; et comme c'est simplement sa portion superficielle qui rayonne, l'acte de la condensation a pour résultat d'amener l'eau à être le corps rayonnant. Or, l'expérience prouve que la vapeur aqueuse est particulièrement opaque pour les rayons émis par l'eau. Donc l'acte même de la condensation, conséquence nécessaire du refroidissement terrestre, devient comme la sauvegarde de la terre, parce qu'elle communique à la radiation ce caractère particulier qui fait qu'il est beaucoup plus facile de l'empêcher de s'échapper dans l'espace.

On pourrait objecter, cependant, que puisque toute notre chaleur dérive du soleil, cette même couverture qui protége la terre contre le froid, devrait la défendre aussi de la radiation solaire. Cela est vrai, mais en partie seulement. Les rayons du soleil diffèrent en qualité des rayons de la terre; et l'on n'est nullement en droit de conclure que la substance qui absorbe les uns absorbera nécessairement les autres. Par exemple, les rayons du soleil passent relativement, en toute liberté, à travers une couche d'eau de 2 millimètres d'épaisseur; tandis que, comme Melloni

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

l'a prouvé, une couche d'eau ayant la moitié de cette épaisseur ne laisserait passer aucun des rayons émis par la terre échauffée. De même, les rayons du soleil passent avec une liberté relativement grande à travers les vapeurs aqueuses de l'air; et le pouvoir absorbant de ces vapeurs s'exerce principalement sur la chaleur émise par la terre, et qui tend à se dissiper dans l'espace. Par suite de cette différence d'action exercée par la vapeur d'eau sur les chaleurs solaire et terrestre, la température moyenne de notre planète est plus grande que celle qui serait simplement due à sa distance du soleil :

XIII

Liquides et leurs vapeurs dans leurs rapports avec la chaleur rayonnante.

Le mode d'action assigné ici à la vapeur atmosphérique a été établi par des expériences directes faites sur de l'air pris dans les rues et dans les parcs de Londres, au pied des dunes d'Epsom et sur les collines de l'île de Wight; comme aussi par des expériences faites sur de l'air séché d'abord, puis rendu artificiellement humide par de l'eau pure distillée. On l'a encore établi de la manière suivante : on a pris au hasard des liquides volatils; et l'on a déterminé, pour des couches de même épaisseur, l'absorption exercée par chacun de ces liquides sur les ondes de cha-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

leur. On a pris ensuite des quantités de vapeur de ces liquides proportionnelles aux quantités de liquide des couches; et l'on a déterminé de nouveau le pouvoir d'absorption relatif de ces vapeurs pour les ondes calorifiques, en commençant par les substances dont le pouvoir d'absorption est le plus faible, pour arriver graduellement aux plus énergiques, et l'on a vu les substances soumises à l'expérience se ranger dans l'ordre suivant:

LIQUIDES.	VAPEURS.
Bisulfure de carbone.	Bisulfure de carbone.
Chloroforme.	Chloroforme.
Iodure de méthyle.	Iodure de méthyle.
Iodure d'éthyle.	Iodure d'éthyle.
Benzine.	Benzine.
Amylène.	Amylène.
Éther sulfurique.	Éther sulfurique.
Éther acétique.	Éther acétique.
Éther formique.	Éther formique.
Alcool.	Alcool.
Eau.	

L'ordre d'absorption est donc le même dans les deux cas. Nous avons libéré les molécules des liens qui les enchaînaient plus ou moins à l'état liquide, sans que ce changement dans leur état d'agrégation ait rien changé à leur ordre d'absorption. Rien ne saurait prouver plus clairement que l'acte de l'absorption dépend uniquement de la molécule individuelle, laquelle exerce également son pouvoir à l'état liquide et à l'état gazeux. En outre, nous sommes pleinement en droit de conclure de la table ci-dessus que la position d'une vapeur est complétement déterminée par celle de son liquide. A la fin de la liste

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nous trouvons l'eau se signalant elle-même par son pouvoir énorme d'absorption; et de ce simple fait, alors même que nous n'aurions pas fait d'expériences directes, nous serions autorisé à placer la vapeur d'eau au premier rang des absorbants connus de la chaleur rayonnante. L'expérience a prouvé qu'une couche d'air de 5 centimètres d'épaisseur entourant notre planète et saturée de vapeur d'éther sulfurique intercepterait 35 pour 100 de la radiation terrestre. Et quoique la quantité de vapeur d'eau nécessaire à saturer l'air soit beaucoup moindre que la quantité de vapeur d'éther qu'il peut tenir en suspension, il n'en est pas moins très-probable que l'estimation déjà faite de l'action de la vapeur atmosphérique contenue dans les trois premiers mètres au-dessus de la surface de la terre est tout à fait en dessous de la réalité; et que nous lui sommes redevables, dans une proportion qui n'est pas encore exactement déterminée, mais qui dépasse très-certainement tout ce que l'on a pu imaginer jusqu'ici, de la température actuelle à la surface de notre globe.

XIV

Réciprocité de la radiation et de l'absorption.

Durant toute la série de considérations qui nous ont occupés jusqu'ici, le fait toujours présent à notre esprit a dû être que les rayons issus d'une source d'ondes calorifiques

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

ont été interceptés ou absorbés dans des proportions différentes, par leur passage à travers les molécules séparées d'un gaz ou d'une vapeur. Mais dans tous les cas le transport ou la communication du mouvement se faisait de l'éther aux molécules relativement en repos du gaz ou de la vapeur. Il faut maintenant modifier ce mode de conception, et nous représenter les molécules non plus comme des individualités absorbantes, mais comme des individualités rayonnantes, non plus comme les récipients, mais comme les sources des mouvements ondulatoires; c'est-à-dire que nous devons les considérer comme vibrant et engendrant dans l'éther environnant des ondulations qui se propagent avec la vitesse de la lumière. Notre objet actuellement est de chercher si l'acte de la combinaison chimique qui s'est montré si puissant relativement aux phénomènes de l'absorption, jouera un rôle aussi important dans les phénomènes de radiation. Avant de procéder à l'examen de cette question, il est nécessaire avant tout d'élever à une même température des gaz et des vapeurs, et d'examiner le pouvoir d'absorption du mouvement dont ils jouissent relativement à l'éther au sein duquel les molécules oscillent.

On a placé une boule de cuivre au-dessus de la couronne d'un bec ou brûleur de gaz, percé d'un grand nombre de petites ouvertures ; ce brûleur communiquait par un tube avec des récipients contenant les divers gaz à examiner. On forçait par une pression douce les gaz à sortir par ces orifices, et à venir frapper la boule de cuivre ; là chacun des gaz s'échauffait et s'élevait sous forme de colonne ascendante. Une pile thermo-électrique, défendue par un écran

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

de la chaleur de la boule, se trouvait exposée à la radiation du gaz chaud, et la déviation de l'aiguille aimantée en relation avec la pile mesurait l'énergie de cette radiation.

Il a été prouvé par cette nouvelle série d'expériences que le même arrangement moléculaire qui fait d'un gaz un absorbant puissant, en fait au même degré une source puissante de rayonnement ; que les atomes ou les molécules aptes à intercepter les ondes calorifiques sont aptes dans le même degré à les engendrer. Ainsi, pendant que les molécules des gaz élémentaires sont impuissantes à émettre aucune quantité sensible de chaleur rayonnante, les molécules des corps composés se sont montrées très-capables de troubler l'équilibre de l'éther environnant. Des expériences spéciales ont prouvé que la même chose a lieu pour les vapeurs des liquides volatils, et que le pouvoir rayonnant de chaque vapeur est proportionnel à son pouvoir absorbant. Ces expériences ont pour base ce fait que les molécules qui, comme par exemple celles de l'air, glissent sans résistance sensible à travers l'éther, ne peuvent pas glisser ainsi entre les molécules d'un autre gaz. Dans le mélange des deux gaz, les molécules échauffées communiquent leur mouvement par choc direct aux molécules froides ; et si ces secondes molécules ont une composition chimique plus complexe, les molécules chaudes perturberont instantanément l'éther qui les entoure et perdront ainsi leur chaleur. Il en résulte que le mouvement dont les atomes étaient primitivement pourvus et qu'ils étaient impuissants à décharger directement sur l'éther, peut, par l'intervention de molécules plus complexes, céder actuellement sa chaleur. Supposons mainte-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nant qu'une petite quantité d'une vapeur quelconque soit introduite dans un tube où l'on a fait le vide ; puis qu'on laisse l'air entrer dans le tube et le remplir : l'air s'échauffe par son choc contre les parois du tube ; ce mouvement calorifique se communique instantanément, par choc, aux molécules de la vapeur, et celles-ci, à leur tour, la transmettent à l'éther ou, en d'autres termes, la ramènent à la forme de chaleur rayonnante. J'ai pu déterminer par ce procédé, auquel j'ai donné le nom de *radiation dynamique*, le pouvoir rayonnant des gaz et des vapeurs, et mettre en évidence la réciprocité de leur radiation et de leur absorption [1].

Dans les excellents mémoires de Leslie, de MM. de la Provostaye et Desains, de M. Balfour-Steward, la réciprocité de la radiation et de l'absorption dans le cas des corps solides a été prouvée de différentes manières ; plus tard les recherches théoriques et expérimentales de M. Kirchhoff ont donné à cette question des développements merveilleux et l'ont enrichie d'applications d'ordre le plus élevé. A ces résultats antérieurs il faudra désormais ajouter celui qui précède, qui fait entrer une grande classe de corps inaccessibles jusqu'ici à l'expérience, en possession de la dualité de radiation et d'absorption, et met en évidence de la manière la plus décisive et la plus extraordinaire l'influence de la *combinaison chimique sur l'un et l'autre de ces phénomènes*, radiation et absorption.

[1] Lorsque l'air chaud communique son mouvement à un autre gaz ou à une autre vapeur, le transport de la chaleur est accompagné d'un changement dans la période vibratoire. La radiation dynamique est rendue possible par la transmutation des vibrations.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

XV

Influence de la période de vibration et de la forme moléculaire. Analyse physique de la respiration humaine.

Dans toutes les expériences précédentes sur les gaz et les vapeurs nous avons toujours employé des rayons invisibles, et quelques-unes de ces substances se sont montrées tellement imperméables qu'il suffisait d'une longueur de quelques décimètres pour intercepter tous les rayons comme le ferait une couche de poix. Et cependant les substances qui se montrent si opaques pour la chaleur rayonnante sont parfaitement transparentes pour la lumière. Or les rayons de lumière ne diffèrent des rayons de la chaleur invisible que par la longueur de la période de vibration; et ces derniers ne peuvent pas ébranler la rétine, parce que leur période d'ondulations est trop lente. C'est ainsi, d'une manière ou de l'autre, que la transparence de nos gaz et de nos vapeurs dépend de la période des ondes qui viennent les frapper. Quelle est la nature de cette dépendance? Les admirables recherches de M. Kirchhoff vont nous mettre sur la voie d'une réponse satisfaisante. Les atomes et les molécules de chaque gaz sont animés de vitesses déterminées d'oscillation; et les ondes éthérées les plus copieusement absorbées sont celles dont les périodes de récurrence synchronisent avec les périodes de vibration des molécules à travers lesquelles elles passent. Ainsi,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lorsque nous constatons que les rayons invisibles sont absorbés et les rayons visibles transmis, nous devons en conclure que les périodes d'oscillation des molécules gazeuses coïncident avec celle du spectre invisible et non avec celle du spectre visible.

Il faut avoir l'habitude de commander à son imagination pour arriver à se faire une idée nette de ce mode d'action. Voici cependant comment on peut se le figurer. Lorsqu'une onde éthérée tombe sur des molécules dont les périodes de vibration coïncident avec celle de l'onde, les coups régulièrement frappés par l'onde font que le mouvement s'accumule dans la molécule, de même qu'un peu lule très-lourd est mis en mouvement par des souffles convenablement distancés. Mille millions de chocs sont produits en une seconde par les ondes calorifiques, et il n'est pas difficile de concevoir que chaque onde arrivant juste à temps pour renouveler et continuer l'action de celle qui l'a précédée, les molécules doivent finalement être amenées à osciller dans de plus grands espaces, que si l'arrivée des ondes successives n'avait pas été si parfaitement réglée. Il n'est pas difficile, en réalité, de concevoir qu'un assemblage de molécules, actionné par des ondes en désaccord, doit rester pratiquement en repos; et c'est ce qui arrive lorsque les ondes du spectre visible passent à travers un gaz transparent ou une vapeur. Il n'y a pas dans ce cas de transport sensible du mouvement de l'éther aux molécules matérielles; en d'autres termes, il n'y a pas d'absorption sensible.

Il sera bon de rappeler ici un exemple frappant de l'influence de la période. Le gaz acide carbonique est un des

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

moins puissants parmi les absorbants de la chaleur rayonnante émise par les sources solides. Il est, entre autres, extrêmement transparent pour les rayons émis par la plaque de cuivre chauffée, dont il a été parlé plus haut. Il est cependant un nombre relativement petit de rayons émis par le cuivre pour lesquels l'acide carbonique est impénétrable; et si nous parvenions à obtenir une source de lumière qui n'émettrait que ces rayons, nous constaterions que l'acide carbonique est plus que tout autre gaz opaque pour ces rayons particuliers. Cette source existe, et c'est la flamme d'oxyde de carbone, dans laquelle l'acide carbonique est l'agent principal de radiation. Le gaz oléfiant absorbe dix fois la quantité de chaleur, issue de la plaque de cuivre chauffée et absorbée par l'acide carbonique; celui-ci à son tour absorbe deux fois plus que le gaz oléfiant les rayons émis par la flamme d'oxyde de carbone. Ce changement merveilleux survenu dans le pouvoir absorbant du gaz acide carbonique est la simple conséquence de ce fait que les périodes de l'acide carbonique chaud et froid étant identiques, les ondes de la flamme transmettent librement leur mouvement à des molécules synchroniques avec elles. De là vient qu'un dixième d'atmosphère d'acide carbonique enfermé dans un tube long de $1^m,32$ absorbe 60 pour 100 de la radiation de l'oxyde de carbone, tandis qu'un 50^e d'atmosphère absorbe 48 pour 100 de la chaleur issue de cette même origine.

Dans la nature, la présence au sein d'atmosphères gazeuses des plus petites quantités d'acide carbonique peut être mise en évidence par son action sur la flamme de l'oxyde de carbone. Si par exemple on fait pénétrer

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

dans un tube long de 1m,52 la respiration humaine sèche, l'absorption qui sera alors produite par l'acide carbonique de l'air expiré s'élèvera à 50 pour 100 de la radiation entière. Aussi, la chaleur rayonnante peut réellement servir à la détermination pratique de la quantité d'acide carbonique expirée par les poumons. Mon préparateur, M. Barrett, a, sur ma demande, procédé à cette détermination. L'acide carbonique artificiellement préparé fut mélangé à de l'air sec en proportions telles que l'action exercée par le mélange sur les rayons de chaleur fut la même que celle de la respiration sèche. La composition du mélange connue et exprimée en centièmes donnait la composition de la respiration sèche. Cette même respiration, analysée chimiquement par M. le docteur Frankland, et physiquement par M. Barrett, a donné les résultats suivants :

PROPORTION EN CENTIÈMES DE L'ACIDE CARBONIQUE CONTENU DANS LA RESPIRATION HUMAINE.

Analyse chimique.	Analyse physique.
4,66	4,56
5,33	5,22

Il est ainsi prouvé que nous avons, dans la quantité de mouvement éthéré qu'elle est apte à absorber, la mesure pratique de la quantité d'acide carbonique contenue dans la respiration, et par suite la mesure de la combustion qui s'opère au sein des poumons.

Cependant cette question de période oscillatoire, quoique de la plus grande importance, ne suffit pas à rendre compte de tous les faits observés. L'éther, autant que nous

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

pouvons le savoir, accepte les vibrations de toutes les périodes avec la même facilité. Pour lui les oscillations d'une molécule d'oxygène sont acceptables et transmissibles au même degré que celles d'une molécule de gaz oléfiant ; si donc le pouvoir rayonnant de l'oxygène en vibration est inférieur à celui du gaz oléfiant, il faut l'attribuer non à la période de vibrations, mais à quelque autre particularité inhérente respectivement aux deux molécules. Le groupe atomique qui constitue la molécule de gaz oléfiant produit une perturbation plusieurs mille fois plus grande que celle causée par l'oxygène, parce que le groupe est apte à opposer aux mouvements de l'éther une résistance *bien supérieure à celui des atomes individuels*. Les cavités ou dentelures de la molécule formée d'atomes sphériques peut être une des causes de cette augmentation de résistance. Une autre cause de résistance est peut-être que l'éther lui-même, condensé et engagé entre les atomes constituants du composé, augmente le volume du groupe et par conséquent aussi sa résistance. Quel que puisse être le sort futur de l'effort que nous avons fait pour visualiser, si l'on peut s'exprimer ainsi, le mécanisme physique de la radiation et de l'absorption, il n'en sera pas moins toujours vrai que pour expliquer ces deux phénomènes il faut prendre en considération la forme, le volume, et la complication des molécules qui contribuent à la perturbation de l'éther.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

XVI

Résumé et conclusions.

Qu'il nous soit permis actuellement de jeter un regard rapide sur le chemin que nous avons parcouru. Nous nous sommes fait d'abord une idée générale de la lumière et de la chaleur. La constitution de la matière par des atomes élémentaires, et l'influence de l'acte de la combinaison sur la radiation et l'absorption, ont été prises ensuite en considération et mises en évidence par l'expérience. Nous avons trouvé que la chaleur rayonnante passe à travers les gaz simples comme à travers le vide; tandis que des gaz composés opposent un obstacle presque invincible au passage des ondes calorifiques. Cette manière d'être des gaz simples a dirigé notre attention vers d'autres corps simples, et cet examen nous a conduit à découvrir que la dissolution du corps simple iode dans du bisulfure de carbone possède le pouvoir de séparer, de la manière la plus tranchée, la lumière du spectre de sa chaleur, en absorbant tous les rayons lumineux jusqu'au rouge extrême, et permettant aux rayons calorifiques situés au delà du rouge de la traverser librement. Nous avons alors employé cette substance pour tamiser le faisceau de lumière électrique, et former des foyers de rayons invisibles assez intenses pour produire presque tous les effets du feu ordinaire. Nous avons avec les rayons concentrés de la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

lumière invisible enflammé les corps combustibles et porté à la chaleur blanche les substances réfractaires. De cette manière, en exaltant leur réfrangibilité, nous avons rendu visibles les rayons invisibles de la lumière électrique, et nous avons extrait de l'obscurité absolue toutes les couleurs du spectre solaire. L'extrême richesse de la lumière électrique en rayons invisibles de basse réfrangibilité a été ensuite démontrée; nous avons constaté que les rayons lumineux ne sont que le dixième de la radiation totale. L'insensibilité du nerf optique pour les rayons invisibles a été mise en évidence, et nous avons ajouté quelques expériences pour prouver que les rayons lumineux et obscurs d'un corps augmentent graduellement et ensemble d'intensité, à mesure que l'on avance vers l'incandescence; qu'avant d'atteindre la chaleur blanche il a fallu engendrer la chaleur obscure. Un soleil ne peut pas se former, un aérolithe ne peut pas devenir lumineux dans d'autres conditions. Les rayons lumineux ne sont, dans tous les cas, qu'une petite fraction de la radiation totale; leur inexprimable importance par rapport à nous est due tout entière à ce fait que leurs périodes sont accommodées aux exigences spéciales de notre œil.

Nous avons aussi trouvé qu'il existe des différences considérables entre les vapeurs des liquides volatils, quant à leur puissance d'absorption. Nous avons suivi en outre diverses molécules dans leur passage de l'état liquide à l'état gazeux, et nous avons trouvé que le pouvoir absorbant relatif des molécules individuelles était le même dans ces deux états d'agrégation; que la position d'une vapeur en tant qu'absorbant de la chaleur rayonnante est déterminée

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

à l'avance par la position du liquide qui lui donne naissance, et réciproquement.

Changeant alors de front, nous avons regardé les molécules des gaz et des vapeurs non plus comme les récipients, mais comme les sources du mouvement ondulatoire; non comme des centres d'absorption, mais comme des centres de rayonnement; et nous avons prouvé que les pouvoirs d'absorption et de radiation marchent ensemble; de sorte que la même action chimique qui rend un corps apte à intercepter les ondes de l'éther le rend apte au même degré à les engendrer. Les parfums ont été à leur tour soumis à l'examen, et malgré leur ténuité extraordinaire, nous les avons trouvés tous largement supérieurs, quant au pouvoir absorbant, au volume d'air qui les dissout et les emporte.

Conduits ainsi lentement à l'examen de la plus importante et de la plus répandue de toutes les vapeurs, la vapeur d'eau de l'atmosphère, nous avons vu qu'elle était un puissant absorbant des rayons purement calorifiques. Nous avons brièvement discuté sa si grande influence sur nos climats, et son rôle général dans la température actuelle de notre globe. La toile d'araignée tendue sur une fleur suffit à la défendre de la gelée des nuits; de même la vapeur aqueuse de notre air, tout atténuée qu'elle soit, arrête le flux de la chaleur rayonnée par la terre, et protége la surface de notre planète contre le refroidissement qu'elle subirait infailliblement, si aucune substance n'était interposée entre elle et le vide des espaces célestes. Nous avons enfin pris en considération l'influence de la période de vibration et de la forme de la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

molécule sur l'absorption et la radiation, et déduit de son action sur la chaleur rayonnante la proportion exacte d'acide carbonique expiré par les poumons humains.

C'est ainsi que, dans une esquisse rapide, j'ai placé devant vous les résultats des recherches récentes dans le domaine de la radiation, en me proposant partout pour but de faire naître dans votre esprit des images physiques distinctes des divers mécanismes mis en jeu dans ces recherches. Quelques-uns pensent que les sciences naturelles exercent une influence mortelle sur l'imagination, et l'on se prend à douter de la valeur d'études qui produiraient fatalement un semblable effet. Mais l'expérience de cette dernière heure doit, il me semble, vous avoir convaincus que l'étude de la physique peut marcher de pair, la main dans la main, avec la culture de l'imagination. Cette faculté nous a prêté son concours et son appui dans la plus grande partie de cette lecture. Nous nous sommes fait une image fidèle des atomes, des molécules, des vibrations, des ondes que l'œil n'a jamais vues, que l'oreille n'a jamais entendues, que l'exercice de l'imagination pouvait seul nous faire saisir. Seule en effet, parmi nos facultés, elle nous met en état de nous élancer au delà des limites des sens et de rattacher les phénomènes de notre monde visible à ceux du monde invisible. Sans l'imagination nous ne nous serions jamais élevés aux conceptions qui nous ont agréablement occupés aujourd'hui. Le plaisir et le profit que vous retirerez de cette lecture seront proportionnés au pouvoir que vous possédez d'exercer sainement votre imagination, et d'associer des images mentales très-nettes aux termes dont nous

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

nous sommes servis. Les faits extérieurs de la nature sont impuissants à satisfaire notre esprit. Il ne nous suffirait pas de savoir que la lumière et la chaleur du soleil éclairent ou échauffent notre monde; nous sommes conduits irrésistiblement à nous demander ce qu'est la lumière et ce qu'est la chaleur. Et cette question nous fait passer forcément du domaine des sens dans le domaine de l'imagination.

Nous arrivons ainsi, en pesant, en interrogeant, en nous débattant, à compléter ce que nous sentons et ce que nous voyons, sans en être pleinement satisfaits, par quelque chose que nous ne sentons pas, que nous ne voyons pas, mais qui n'en est pas moins le complément indispensable de nos connaissances. Des hommes de génie ont en partie découvert non-seulement la nature de la lumière et de la chaleur, mais encore, à travers cette nature, les rapports généraux des phénomènes naturels. La puissance de la nature est la puissance du mouvement, dont tous les phénomènes naturels ne sont que des formes particulières. Le mouvement se manifeste également au sein de la matière palpable et de la matière impalpable, sans cesse transporté de l'une à l'autre, sans cesse transformé dans ce transport. Il est aussi réel dans les ondes de l'éther que dans les vagues de la mer, ces dernières n'étant en réalité que le mouvement soustrait aux premières. Car ce sont les ondes calorifiques émises par le soleil qui échauffent notre atmosphère, produisent nos vents et agitent notre Océan. Soit qu'elles se brisent en écume sur le rivage, ou qu'elles s'épuisent à caresser silencieusement le lit de l'Océan, ou qu'elles s'éteignent par le frottement mutuel de leurs propres

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

molécules, les vagues de la mer se résolvent finalement en ondes de l'éther, engendrant de nouveau le mouvement auquel elles devaient leur existence temporaire. Ce rapprochement est une sorte de type général. La nature n'est pas un agrégat de parties indépendantes, elle est un tout organique. Ouvrez un piano, et chantez; il est une certaine corde qui vous répond. Changez le ton de votre voix, la première corde cesse de vibrer, mais une seconde vous répond; modifiez encore votre ton, les deux premières cordes sont devenues silencieuses, c'est une troisième qui résonne. Or, en modifiant le ton de votre voix vous changez simplement la forme du mouvement communiqué à l'air par vos cordes vocales; une des cordes répond à l'une de ces formes, l'autre corde à l'autre. C'est ainsi que l'homme intelligent est mis en éveil ou averti par la nature, en ce sens que le nerf optique, le nerf acoustique et les autres nerfs du corps humain sont autant de cordes diversement accordées, et répondant diversement aux différentes formes de la puissance universelle.

FIN

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC

FACULTÉ DES SCIENCES
P. C. B.
TRAVAUX PRATIQUES DE PHYSIQUE

TABLE DES MATIÈRES

I. Radiation visible et invisible. 5
II. Origine et caractères de la radiation. L'éther. 10
III. La théorie atomique dans ses rapports avec l'éther. . . . 14
IV. Absorption de la chaleur rayonnante par les gaz. 16
V. Absorption de l'iode ; formation des foyers invisibles. . . 20
VI. Rayons visibles et invisibles de la lumière électrique. . . 25
VII. Combustions par les rayons invisibles. 27
VIII. Transmutation des rayons. Calorescence. 29
IX. Insensibilité du nerf optique aux rayons calorifiques. . . . 32
X. Persistance des rayons. 35
XI. Absorption de la chaleur rayonnante par les vapeurs et les odeurs. 39
XII. Des vapeurs aqueuses de l'atmosphère dans leurs rapports avec les températures terrestres. 42
XIII. Liquides et leurs vapeurs dans leurs rapports avec la chaleur rayonnante. 46
XIV. Réciprocité de la radiation et de l'absorption. 48
XV. Influence de la période de vibration et de la forme moléculaire ; analyse physique de la respiration humaine. . . 52
XVI. Résumé et conclusions. 57

BIBLIOTHEQUE INTERUNIVERSITAIRE
Physique Recherche
SCIENTIFIQUE JUSSIEU

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu – UPMC