

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES

Première série, n° XXVIII

OPTIQUE MOLÉCULAIRE

EFFETS DE PRÉCIPITATION

DE DÉCOMPOSITION, D'ILLUMINATION

PRODUITS PAR LA LUMIÈRE

RECUEILLIS ET PUBLIÉS

Par M. l'abbé MOIGNO

AU BUREAU DU JOURNAL *LES MONDES*

11, Rue Bernard-Palissy, 11

ET CHEZ M. GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-ÉDITEUR

53, Quai des Grands-Augustins

1873

OPTIQUE MOLÉCULAIRE

TYPOGRAPHIE
ED. MONNOYER, AU MANS
(SARTHE)

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES

Première série, n° XXVIII

OPTIQUE MOLÉCULAIRE

EFFETS DE PRÉCIPITATION

DE DÉCOMPOSITION, D'ILLUMINATION

PRODUITS PAR LA LUMIÈRE

RECUEILLIS ET PUBLIÉS

Par M. l'abbé MOIGNO

PARIS

·AU BUREAU DU JOURNAL *LES MONDES*

11, Rue Bernard-Palissy, 11

ET CHEZ M. GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-ÉDITEUR

53, Quai des Grands-Augustins

1873

Tous droits réservés

PRÉFACE

Je recommande d'une manière toute particulière la lecture de cette actualité aux amateurs de la bonne et belle physique théorique et pratique. Elle n'est au fond que la réunion ou le résumé d'un grand nombre de recherches, leçons, notes, éparses çà et là ; mais ces recherches, ces leçons, ces notes soulèvent un grand nombre de questions importantes ou intéressantes, qui auraient pu passer inaperçues, précisément parce qu'elles étaient trop dispersées. Qu'il me soit permis de signaler ici rapidement les faits fondamentaux que les expériences de MM. Tyndall, Morren, Lallemand, Soret, mettent en évidence.

Le premier fait curieux rencontré sur son chemin par M. Tyndall, et rendu manifeste à tous les regards, est l'invisibilité absolue de la lumière ou du rayon lumineux. On savait vaguement que le rayon lumineux qui traverse un milieu quelconque ne dessine sa course que par la réflexion ou la répercussion sur les petites particules solides ou liquides en suspension dans le milieu. M. Soleil père, l'opticien célèbre, inventeur du saccharimètre, avait le premier eu l'idée

a

d'une série d'expériences ayant pour but de prouver aux voisins de sa modeste solitude de Saint-Gratien, sur les bords du lac d'Enghien, que rien n'est plus invisible que la lumière ; et j'ai décrit autrefois dans *Les Mondes* l'instrument très-original qu'il avait appelé *Nihiloscope*. M. Tyndall, en brûlant sur place les poussières en suspension dans son faisceau lumineux, et faisant apparaître des vides absolument sombres, comme le noir des espaces célestes, a mieux fait toucher du regard cette invisibilité mystérieuse de la lumière, laquelle, au fond, n'a rien d'étonnant. L'éther est un fluide ou milieu essentiellement atomique, complètement inaccessible ou insaisissable au regard ; ses mouvements ou vibrations sont aussi des mouvements atomiques, et il est naturel qu'ils ne se fassent sentir qu'alors qu'ils ne se communiquent pas à une matière particulière ou moléculaire.

Par contre, la faculté que possède le rayon de lumière de déceler les impuretés, même les plus impalpables, des milieux qu'il traverse est vraiment incroyable. Cette étonnante faculté, comme nous l'avons montré dans une autre actualité, s'étend même à la lumière diffuse, et c'est ainsi que le bleu du ciel nous révèle l'existence de la matière firmamentaire dont M. Tyndall a tant exalté la ténuité excessive, ténuité que les recherches toutes récentes de M. Marc-Antoine Gaudin feront mieux saisir. Cet esprit éminemment ingénieux a été amené à conclure que la distance des atomes chimiques qui composent les molécules de tous les corps ne dépasse pas un

cent-millionième de millimètre, et que par conséquent le volume des molécules des corps, celle de l'eau, par exemple, formée de trois atomes, est au plus de trois cent-millionièmes de millimètre. Or, avec le plus puissant microscope, on cesse de distinguer les corps qui ont un *dix-millionième de millimètre*, longueur comparable à celle des ondulations lumineuses. Donc les molécules des corps, et à plus forte raison les atomes de la matière firmamentaire ou de l'éther, sont absolument invisibles, même à la pensée. Il résulte aussi de ces considérations que le nombre des molécules comprises dans le diamètre de la plus petite sphérule organique ou inorganique est de plus de 30 millions.

Le second fait révélé par M. Tyndall est la décomposition, par les ondes lumineuses, de certains liquides, de certaines vapeurs de liquides organiques, lorsqu'elles viennent à pénétrer à l'intérieur des molécules ou à être absorbées par elles. Sans doute que le synchronisme des vibrations d'un des éléments de la molécule avec celles des ondes incidentes permet à l'amplitude des vibrations de croître jusqu'à la rupture de la chaîne qui rattache entre elles les molécules. C'est dans les atomes constituants de la molécule, et non dans la molécule elle-même, qu'est le siège de l'absorption.

Le troisième fait important mis en évidence, c'est la formation au sein de ces vapeurs, sous l'action de la lumière, de nuages bleus, invisibles à la lumière

ordinaire du jour, visibles seulement dans l'obscurité, à la condition d'être éclairés par un puissant faisceau de lumière; nuages dans lesquels la lumière est polarisée, la direction du maximum de polarisation étant à angle droit avec le faisceau éclairant, et le *plan de vibration* de la lumière polarisée, perpendiculaire à la direction du faisceau.

L'explication de la polarisation du ciel et la théorie cométaire de M. Tyndall méritent une attention spéciale. Dans cette manière de voir, qui explique assez bien tous les phénomènes, une comète serait formée d'une vapeur décomposable par la lumière solaire. La tête visible et la queue seraient le nuage actinique résultant de la décomposition. La queue serait de la matière précipitée, et formée à chaque instant de vapeurs nouvelles. L'énorme mouvement de rotation de la queue s'explique alors sans qu'on ait besoin d'invoquer une translation impossible. Deux forces antagonistes agiraient sur la matière cométaire : l'une *actinique*, tendant à produire un effet de décomposition et de précipitation ; l'autre calorifique, tendant à produire un effet de dilatation et de répulsion.

Une autre application de ces principes donne l'explication de la formation des nuages dans l'atmosphère : eux aussi seraient de la vapeur précipitée à divers degrés de stabilité, avec des différences considérables de texture et produisant par conséquent les effets les plus variés, avec les phénomènes

de diffractions et de coloration les plus singuliers.

La troisième série de faits énoncés dans cet opuscule a pour point de départ les poussières et les impuretés de l'atmosphère, en y comprenant les miasmes capables d'engendrer un certain nombre de maladies. On est étonné de voir l'illustre physicien passer tour à tour de la décomposition actinique des vapeurs, à travers les queues des comètes et l'azur du ciel, aux poussières de l'atmosphère de Londres, à la théorie sporadique des affections contagieuses, en même temps qu'il formule, sans hésitation aucune, ce grand théorème que la vie ne peut naître que de la vie, et rejette impitoyablement la théorie des générations spontanées, en insistant sur ses dangers.

Les recherches et les expériences de M. Morren diffèrent essentiellement de celles de M. Tyndall. Notre compatriote, qui, aujourd'hui, hélas! n'est plus, a mieux aimé opérer sur les corps inorganiques et sur les composés les plus simples de la chimie minérale, parce que leurs réactions moléculaires sont plus faciles à saisir, et dès lors plus facilement abordables.

Il a très-nettement prouvé qu'il y avait décomposition pour un ou plusieurs corps, lorsque, sous l'action de la lumière solaire concentrée, les nuages bleus d'abord, blancs ensuite, viennent envahir les cônes convergents ou divergents de lumière des tubes.

Le fait de la combinaison sous l'influence de la lumière de l'hydrogène et de l'azote, purs et parfaitement secs, est très-surprenant. Vient ensuite le fait important du dédoublement de l'acide sulfureux sous l'influence de l'action lumineuse, avec dépôt de soufre, et formation d'acide sulfurique anhydre, dans lequel le soufre déposé se dissout.

Signalons encore la distinction établie par M. Morren des corps de la chimie en deux classes. La première, dont l'acide sulfurique est le type, est celle des corps qui se forment ou s'unissent sous l'action de la chaleur; la seconde est celle des corps, et parmi eux l'acide chlorhydrique, qui se produisent et se détruisent sous l'action des rayons chimiques.

M. Lallemand a eu l'heureuse pensée d'étudier dans les liquides les phénomènes d'illumination que M. Tyndall a étudiés dans les milieux gazeux, vapeurs et gaz. En opérant avec de la lumière polarisée, il a reconnu le premier que l'illumination, presque nulle dans les autres directions, prend un éclat tout particulier et très-remarquable dans la direction perpendiculaire au plan de polarisation. Cet éclat ne peut s'expliquer qu'en admettant que les vibrations du rayon lumineux se font, comme le soutenaient Fresnel et Cauchy, contrairement à Newmann et Mac-Cullagh, perpendiculairement au plan de polarisation. Jusqu'ici la question était restée controversée, quoiqu'elle fût réellement et complètement résolue par les faits nombreux, et confirmés par l'expérience, que Cauchy avait déduits de la théorie

de la réflexion à la surface des métaux. L'intensité de la propagation est d'ailleurs déterminée par la densité de l'éther au sein du milieu réfringent, et chaque molécule du corps.

M. Soret a cru devoir attribuer les phénomènes, sans doute aussi par sa condensation autour de l'illumination, si bien observés et discutés par M. Lallemand, à des réflexions sur des particules solides très-ténues que les liquides tiennent inévitablement en suspension; mais ses objections ne sont pas fondées, et les considérations théoriques dans lesquelles M. Lallemand est entré éclairent complètement la question.

On lira en tout cas avec intérêt les deux notes de M. Soret.

J'appelle aussi l'attention sur la théorie de la fluorescence ébauchée par M. Lallemand, et plus encore sur son étude très-originale de la polarisation et de la fluorescence de l'atmosphère.

OPTIQUE MOLÉCULAIRE

EFFETS DE PRÉCIPITATION

DE DÉCOMPOSITION, D'ILLUMINATION

PRODUITS PAR LA LUMIÈRE

I. — Sur une nouvelle classe de réactions chimiques produites par la lumière

Par M. JOHN TYNDALL. — 24 octobre 1868.

Que la Société royale veuille bien me permettre d'appeler l'attention des chimistes sur une méthode expérimentale ou forme nouvelle d'expériences, très-simple dans sa conception, et que néanmoins mes renseignements m'autorisent à considérer comme nouvelle, persuadé qu'elle deviendra entre leurs mains un puissant instrument de recherches. Elle consiste à soumettre les vapeurs des liquides volatils à l'action de la lumière concentrée du soleil, ou à celle des rayons également concentrée de la lumière électrique.

Action de la lumière électrique. — Un tube long de 80 à 90 centimètres, d'un diamètre intérieur de

7 1/2 centimètres, que j'avais souvent employé pour mes recherches sur la chaleur rayonnante, était maintenu dans une position horizontale. À l'une de ses extrémités était placée une lampe électrique disposée de manière que le faisceau de rayons lumineux et le tube avaient le même axe. Dans les premières expériences le tube était fermé par des plaques de sel gemme, et dans les suivantes par des plaques de verre. Je nommerai ce tube, comme dans les occasions précédentes où j'en faisais usage, le *tube expérimental* ou *tube à expériences*.

Ce tube à expériences était en communication avec une machine pneumatique ainsi qu'avec une série de tubes dessiccatifs et autres pour l'épuration de l'air.

Des tubes affectés aux expériences spéciales (j'en ai employé peut-être une cinquantaine) étaient transformés en bocaux de Woolf. Chacun d'eux était fermé par un bouchon qui traversait deux tubes de verre. Un de ces tubes (*a*) ne plongeait pas au-dessous du bouchon, tandis que l'autre (*b*) descendait jusqu'au fond du vase, se terminant par une pointe effilée et un orifice du diamètre de 0,9 de millimètre. Je reconnus nécessaire de luter soigneusement le bouchon. Le petit bocal ainsi fermé, à moitié rempli du liquide dont la vapeur devait être expérimentée, était mis en communication par le tube (*a*) avec le tube à expériences près du bout opposé à la lumière, et par le tube (*b*) avec le courant d'air épuré. Cette dernière communication toutefois était d'abord fermée par un robinet.

Le vide ayant été fait dans le tube expérimental, le robinet était ouvert avec précaution, l'air entraît aussitôt dans le tube (*b*), en sortait par l'extrémité effilée, montait à la surface du liquide en bouillonnant, se chargeait de vapeur et finalement passait par le tube (*a*) dans le tube expérimental.

La puissance que possède la lumière électrique pour déceler la moindre particularité dans les gaz que con-

tient le tube expérimental et accuser jusqu'aux impuretés de ce tube lui-même est vraiment extraordinaire. Lorsque l'expérience est faite dans une chambre obscure, on trouve quelquefois qu'un tube qui semblait être parfaitement propre et limpide était réellement très-sale. Une propreté rigoureusement absolue serait ainsi la seule qui résiste à l'épreuve de la lumière électrique.

J'expose maintenant les résultats que j'ai obtenus par les applications de cette méthode.

Nitrite d'amyle. (Température de l'ébullition 91° à 96° C.) — Dans la première expérience, la vapeur de ce liquide entra dans le tube lorsque la lumière électrique le parcourait dans sa longueur. Des nuages curieux se formèrent au point d'entrée et se répandirent en tourbillonnant dans tout l'espace intérieur.

Le vide ayant été fait de nouveau, le mélange d'air et de vapeur fut introduit dans le tube encore obscur, qu'un faisceau de rayons électriques faiblement convergents parcourut ensuite d'un bout à l'autre. Pendant un instant le tube resta *optiquement vide*. On n'y observait rien de particulier, mais avant qu'une seconde se fût écoulée, on vit apparaître dans tout l'espace envahi par la lumière une nuée de globules liquides formant une sorte de précipité.

Le nuage devint de plus en plus dense par l'action continue de la lumière, laissant voir çà et là une vive irisation.

Le faisceau lumineux fut rendu plus convergent de manière à former un cône qui avait environ 24 centimètres de hauteur, de l'entrée du tube au foyer. Le tube fut nettoyé et rempli encore dans l'obscurité.

Lorsque la lumière y eut fait invasion, le précipité fut si rapide et si intense, après être resté un instant invisible, que le cône prit tout à coup un éclat éblouissant et sembla transformé en un solide lumineux.

On laissa le mélange de gaz et de vapeur pénétrer dans le tube éclairé par la lumière diffuse du laboratoire et le résultat fut le même.

Mais le cône radieux restait invisible aussi longtemps qu'on ne faisait pas agir la lumière électrique.

La quantité de mélange de vapeur était d'ailleurs réglée sans difficulté. La rapidité de l'action diminuait à mesure que la vapeur était plus raréfiée. Lorsque, par exemple, la colonne mercurielle de la machine pneumatique ne s'était abaissée que de 15 centimètres, l'action n'était pas, à beaucoup près, aussi rapide que lorsque le vide était fait à son maximum ; alors cependant il était intéressant de voir se former au bout de quelques secondes, suivant l'axe du tube, un cordon floconneux d'un bleu clair très-délicat, qui grossissait peu à peu et finissait par remplir le cône lumineux ; si l'air du mélange était remplacé par de l'oxygène sec, le phénomène n'éprouvait aucun changement.

Même résultat encore dans un mélange d'hydrogène avec la vapeur.

L'effet n'est donc pas dû à l'action de la vapeur du nitrite sur le gaz qui lui sert de véhicule.

Cette conclusion fut confirmée par la manière dont se conduisit la vapeur employée sans mélange avec aucun gaz ; l'effet ne différa pas essentiellement de ceux qui avaient été obtenus. Il est ainsi parfaitement établi que la cause des phénomènes réside dans la vapeur elle-même.

Relativement à l'air et au verre du tube expérimental, les rayons électriques, quand ils y pénétraient, étaient complètement froids ; ils avaient été tamisés par leur passage dans une solution d'alun et à travers l'épaisse lentille biconvexe de la lampe. Lorsque l'on employait des rayons non tamisés, l'effet était encore le même, les rayons calorifiques obscurs ne paraissaient donc avoir aucune influence sur le résultat.

Je n'ai pas cherché à déterminer exactement la nature de l'action dont je viens de décrire les effets, je me propose simplement de signaler aux chimistes un genre d'expériences qui nous dévoile des réactions nouvelles et très-remarquables; je leur abandonne le soin d'en examiner les produits.

La molécule de nitrite d'amyle est décomposée par certaines ondes de la lumière électrique; il en résulte de l'acide nitreux et d'autres produits dont un probablement est du nitrate d'amyle.

Les fumées brunes de l'acide nitreux se montraient dans le nuage du tube expérimental.

Le nitrate d'amyle, moins volatil que le nitrite, ne pourrait se maintenir à l'état de vapeur et il se précipiterait en globules liquides sur la voie lumineuse. Dans les parties antérieures du tube, la vapeur exerce une action tamisante qui diminue l'action exercée sur les parties postérieures.

Dans quelques expériences le précipité nuageux s'étendait exactement dans la première moitié du tube; dans ce cas, lorsque la lampe était transportée à l'autre extrémité du tube, et dirigée en sens contraire, la seconde moitié subissait la même action et présentait le même résultat que la première.

Action de la lumière du soleil. — La lumière du soleil opère également la décomposition de la vapeur de nitrite d'amyle. Le 10 octobre, j'ai rendu obscure une partie d'une petite chambre de l'Institut royal, éclairée par le soleil, ne faisant entrer les rayons que par une ouverture de volets de la fenêtre. Le faisceau lumineux était reçu sur une grande lentille plan-convexe; et il en résultait au delà de cette lentille un cône convergent, que rendaient parfaitement visibles les corpuscules opaques en suspension dans l'air de la chambre. Le tube expé-

rimental fut rempli dans le laboratoire, recouvert ensuite d'une étoffe noire et transporté dans la partie obscure de la chambre. Dès qu'il fut placé derrière la lentille, suivant la direction des rayons, il se forma un précipité abondant à l'extrémité opposée à la lentille; la vapeur était en partie protégée, contre l'action de la lumière, par celle qui se trouvait en avant; cette action était en outre diminuée par la divergence des rayons, et les résultats étaient en conséquence plus faibles. Lorsque cette seconde extrémité était placée à son tour contre la lentille, il y avait inversion dans les effets des deux moitiés du tube.

Considérations physiques. — Je me suis proposé de déterminer les éléments particuliers de la lumière blanche qui produisent les effets dont il s'agit. Je trouvai d'abord que lorsque le faisceau lumineux n'entrait dans le tube expérimental qu'après avoir traversé un verre rouge, l'effet était considérablement affaibli, mais non pas absolument détruit; il en fut de même avec les verres jaunes de nuances diverses; l'adjonction d'un verre bleu, avant l'enlèvement du jaune et du rouge, augmentait le précipité; donc, pour ces couleurs au moins, les rayons les plus réfrangibles sont aussi ceux qui ont la plus grande puissance chimique sur le nitrite d'amyle.

La couleur de ce composé indique qu'il en sera de même dans le cas de la lumière blanche. En effet, le nitrite d'amyle liquide est d'un jaune faible, mais distinct néanmoins; en d'autres termes, les rayons jaunes sont ceux qu'il renvoie le plus facilement. Mais ce ne sont pas les rayons renvoyés qui produisent ces effets chimiques, ce sont les rayons absorbés; ici le bleu est absorbé comme complémentaire du jaune, et de là résulte l'action plus énergique des rayons bleus. Ce raisonnement prouve toutefois que les mêmes rayons sont absorbés par un liquide et sa vapeur.

Une solution du chromate de potasse, substance dont on peut rendre la couleur à très-peu près identique avec celle du nitrite d'amyle, fut trouvée beaucoup plus efficace pour intercepter les rayons chimiques que les verres rouges ou jaunes; mais de toutes les substances qui furent éprouvées sous ce rapport, aucune n'égale le nitrite, aucune n'absorbe aussi bien les rayons qui agissent sur sa vapeur. Une couche de ce liquide, qui n'avait pas 4 millimètres d'épaisseur et qui n'affaiblissait que d'une quantité presque insensible l'intensité lumineuse, suffit pour éteindre totalement la puissance chimique d'un faisceau concentré de lumière électrique.

La relation intime qui subsiste entre un liquide et sa vapeur, en ce qui concerne leur action sur la chaleur rayonnante, a été déjà amplement démontrée dans mes recherches antérieures (1). Quant au nitrite d'amyle, cette relation est plus spécifique que dans les cas qui avaient été considérés jusqu'à ce jour, car ici, comme les faits l'attestent, le constituant spécial de la lumière qui provoque la décomposition de la vapeur est arrêté par le liquide.

Ici se présente une question de physique moléculaire d'une extrême importance. — Quel est le mécanisme réel de cette absorption et quel est son siège (2)? Je me figure, ainsi que font d'autres physiciens, une molécule comme un groupe d'atomes maintenus dans leur ensemble par leur action mutuelle et pouvant néanmoins changer leur position respective par des mouvements relatifs. La vapeur du nitrite d'amyle doit être regardée comme un assemblage de telles molécules. La question à résoudre est celle-ci : Dans l'acte de l'absorption, sont-ce les

(1) *Phil. Trans.*, 1864.

(2) Mon attention fut très-fortement attirée sur ce sujet, il y a quelques années, par une conversation avec mon excellent ami M. le professeur Clausius.

molécules elles-mêmes ou leurs atomes qui agissent? La force vive des ondes interceptées est-elle transmise à la molécule considérée comme un tout indivisible, ou à ses parties constituantes?

La molécule indivisible ne peut que vibrer en vertu des forces exercées entre elle et les molécules voisines; l'intensité de ces forces et par suite la vitesse de vibration serait dans ce cas une fonction de la distance respective des molécules. Or l'absorption identique, pour le nitrite liquide et pour sa vapeur, indiquerait une vitesse de vibration pareillement identique; et cela seul démontre à mes yeux que l'absorption s'effectue principalement à l'intérieur de la molécule; il est difficile, en effet, d'admettre que si l'absorption était l'acte de la molécule considérée comme un tout indivisible, elle pût conserver la même vitesse de vibration, lorsque la substance passe de l'état de vapeur à l'état liquide.

Dans le fait, la décomposition du nitrite d'amyle est elle-même jusqu'à un certain point une preuve de cette absorption moléculaire intérieure. Car, si l'absorption était l'acte de la molécule prise comme un tout, les mouvements relatifs de ces atomes constituants resteraient invariables et il n'existerait aucune cause mécanique qui tendit à leur séparation.

C'est probablement le synchronisme des vibrations d'une partie de la molécule avec les ondes incidentes qui permet à l'amplitude de ces vibrations d'augmenter, jusqu'à la rupture de la chaîne qui rattache entre elles les parties de la molécule.

Le nitrite d'amyle *liquide* est probablement aussi décomposé par la lumière, mais la réaction, si elle existe, est incomparablement moins rapide et moins distincte que celle de la vapeur.

Le liquide a été soumis à l'action des rayons solaires concentrés jusqu'à son ébullition, et on l'a laissé bouillir

pendant un temps considérable sans qu'on ait pu y découvrir un changement sensible (1).

Je serais porté à étendre beaucoup, sinon même à généraliser complètement le fait qu'un liquide et sa vapeur absorbent les mêmes rayons.

Un flacon de chlore liquide que l'on prépare pour moi en ce moment même, aura, si je ne me trompe, la propriété d'enlever au chlore et à l'hydrogène leur pouvoir de se combiner plus efficacement qu'aucun autre filtre des rayons lumineux.

Une ampoule contenant du chlore et de l'hydrogène exactement dans les proportions nécessaires pour former de l'acide chlorhydrique ayant été placée à une extrémité du tube expérimental, on laissa pénétrer dans ce tube par son autre extrémité un faisceau de rayons électriques qui le parcourut dans toute sa longueur. Le tube étant d'abord rempli de chlore, l'ampoule resta intacte ; lorsque ensuite il eut été rempli d'air, l'incidence des rayons détermina une explosion violente et immédiate. Je prévois pour le chlore liquide une action semblable à celle du gaz dans cette expérience, une action même encore plus énergique. La vérification de cette conjecture, si elle a lieu, sera favorable aux vues théoriques suivant lesquelles le chlore lui-même est moléculaire et non monoatomique. J'espère pouvoir, un jour peu éloigné, produire devant la Société royale d'autres faits de cette nature.

Production du bleu de ciel par la décomposition du nitrite d'amyle. — Lorsque la quantité de vapeur de nitrite est considérable et la lumière intense, l'action chimique est extrêmement rapide, et le précipité devient

(1) Le 21 octobre dernier, M. Chapman m'a dit dans une conversation qu'une fois il exposa de la vapeur de nitrite d'amyle à l'action de la lumière. J'ignore quel fut le résultat.

tellement dense qu'il *blanchit* la gerbe lumineuse. Mais il n'en est plus ainsi quand la vapeur est raréfiée et distribuée bien uniformément dans le tube expérimental. L'effet que j'ai maintenant à décrire fut obtenu avec sa plus grande perfection dans un cas où la vapeur de nitrite provenait d'un reste d'humidité de son liquide dans le tuyau de conduite de l'air sec, où il s'en était introduit accidentellement une petite quantité.

Dans ce cas, plusieurs secondes se passèrent avant qu'on vit rien apparaître dans la gerbe électrique. La décomposition commença ensuite à devenir visible, et marcha lentement. Les premiers globules du précipité étaient trop petits pour être distingués à la loupe. Quand la lumière était très-forte, le nuage était d'un bleu clair laiteux, tandis qu'une intensité de lumière modérée donnait un bleu pur et profond. Dans les importantes expériences de Brucke sur le bleu de ciel et le rouge qui teinte l'horizon le matin ou le soir, du mastic pur et dissous dans de l'alcool est introduit par goutte dans de l'eau qu'on agite. Lorsque le mastic et l'alcool sont exactement dans les proportions convenables, la résine se précipite en particules qui échappent par leur extrême ténuité aux plus puissants microscopes. Le mélange trouble paraît bleu quand il est vu par réflexion, il paraît jaunâtre par transparence, et l'augmentation du précipité peut faire passer cette dernière couleur à l'orange ou même au rouge.

Mais le développement de la couleur dans la vapeur raréfiée de nitrite d'amyle, bien que susceptible de la même explication, présente plus d'analogie avec ce qui se passe dans notre atmosphère. Le bleu, en outre, est plus pur et se rapproche mieux du bleu de ciel que celui qu'on obtient dans le mélange trouble de Brucke. On trouverait difficilement une confirmation plus frappante de la théorie de Newton sur les couleurs du ciel ; car, jamais je n'ai vu, même dans le ciel des Alpes, un bleu

plus riche ou plus pur que celui qu'on peut obtenir par une disposition convenable de la lumière tombant sur la vapeur précipitée. Ne serait-ce pas ainsi que se comporte la vapeur aqueuse de notre atmosphère ? et ne pourrions-nous légitimement attribuer à des particules liquides d'un ordre de grandeur infinitésimal les remarquables couleurs observées au-dessus de la soupape de sûreté d'une locomotive, par M. le principal Forbes, et qu'il rattachait si habilement aux couleurs du ciel ?

Lorsqu'on faisait le vide dans le tube expérimental qui avait contenu le mélange d'air et de vapeur de nitrite d'amyle, il était difficile d'éviter, sous les pistons de la machine pneumatique, des explosions semblables à celles qui se produisent avec la vapeur de bisulfure de carbone ou d'autres substances, et que j'ai décrites ailleurs. Lors même qu'il ne restait qu'une quantité de vapeur infiniment petite, les explosions étaient assez fortes pour détruire les soupapes de la machine.

Iodure d'allyle. (Temp. d'ébullition 101° C.) — Parmi les liquides qui ont été exposés jusqu'à ce jour à la lumière concentrée de l'électricité, l'iodure d'allyle vient immédiatement après le nitrite d'amyle, sous le rapport de la rapidité de l'action et de son intensité. Dans mes expériences sur l'iodure d'allyle, j'ai employé l'oxygène et l'hydrogène aussi bien que l'air comme véhicules de sa vapeur, sans trouver aucune différence essentielle dans les effets correspondants. La colonne nuageuse était ici d'une exquise beauté, mais avec des formes totalement différentes de celles que produisait le nitrite d'amyle. Elle tournait tout entière autour de l'axe du faisceau de lumière ; sur quelques points elle se rétrécissait comme le centre d'un clepsydre, et des filets soyeux d'une grande délicatesse formaient des spirales sur les parties renflées

de la surface. Elle se contournait aussi en volutes élégantes analogues à celles des coquilles. J'ai observé souvent sur les Alpes, dans certaines conditions atmosphériques, des nuages d'un lustre de perles particulier, et j'ai vu apparaître un lustre précisément semblable quand l'expérience était faite avec l'hydrogène pris pour véhicule de la vapeur. Par une disposition convenable de la lumière, il se développait dans le tube de vives couleurs purpurines de vapeur d'iode.

Nous pouvons appliquer ici les remarques qui ont été faites sur la décomposition du nitrite d'amyle par la lumière, et sur les conséquences théoriques de ce fait dans la question de l'absorption moléculaire : si l'absorption était due à la molécule considérée comme un tout, l'iode ne se séparerait pas de l'allyle avec lequel il est combiné. Le non-synchronisme de l'iode avec les ondes de chaleur obscure est démontré par sa merveilleuse transparence à cette espèce de chaleur. Son synchronisme avec les ondes lumineuses, dans le cas actuel, n'est-il pas la cause de son divorce avec l'allyle ? De nouvelles expériences sur ce point sont en cours de préparation.

Iodure d'isopropyle. — L'action de la lumière sur la vapeur de ce liquide est d'abord plus languissante que sur la vapeur d'iodure d'allyle, et peut-être, par cette circonstance, se trouve-t-on privé de la vue de belles réactions. Au bout de quelques minutes d'exposition, cependant, on voit poindre quelques nuages dont la densité augmente par l'action prolongée de la lumière, en même temps que leurs formes remarquables se dessinent. Dans chacune des expériences faites sur ce composé, la colonne nébuleuse qui occupait toute la longueur du tube expérimental se divisait, vers le centre, en deux parties très-distinctes. Au centre même, dans une de ces deux expériences, on voyait un globe

uni par deux axes, à droite et à gauche, avec les deux parties adjacentes, qui étaient de forme cylindrique. Le globe et les cylindres avaient un mouvement commun de rotation. L'action de la lumière se continuant, le mouvement se troubla singulièrement, et il s'y produisit de véritables paroxysmes : les diverses parties de la masse nébuleuse se précipitaient soudainement les unes contre les autres avec une extrême violence, et en même temps les formes devenaient tantôt très-élégantes, tantôt bizarres et grotesques. Ça et là, c'était une réunion de fibres analogues à celles du bois. Parfois, un mouvement longitudinal engendrait une série de zones ou de courbes transversales, l'influence retardatrice des parois du tube produisant un effet qui me rappelait, sur une moindre échelle, les bandes de boue de la Mer de glace. Les commotions avaient leur maximum d'intensité dans la partie antérieure du tube. Ici, des bourgeons de la matière nuageuse naissaient comme sur une tige d'arbre ; ils faisaient leur croissance en quelques secondes, et ressemblaient bientôt à des branches garnies de fleurs. Mais, de toutes les apparitions, la plus curieuse fut celle d'une tête de serpent, car telle fut la forme qu'affectait un noyau de cette matière nuageuse : son développement rapide présenta une bouche très-marquée, de laquelle s'élança tout à coup un petit nuage allongé qui figurait une langue. En somme, les effets correspondants à l'iode d'isopropyle ont leur caractère propre, parfaitement tranché ; on ne peut les confondre avec d'autres parmi tous ceux que j'ai observés. Une magnifique couleur mauve se développait dans la partie postérieure du tube, sur une longueur de 36 centimètres, et la vapeur d'iode s'y faisait reconnaître. Ce splendide coloris, d'une nuance mixte, résultait peut être d'un mélange de couleur purpurine de la vapeur d'iode avec le bleu-de-ciel que donne spécialement la vapeur précipitée. Ainsi que dans les expériences précédentes, tous les effets

étaient dus à la lumière ; il ne se produisait rien dans l'obscurité.

Acide bromhydrique. — La solution aqueuse de cet acide était introduite dans un petit bocal de Woolf, et transportée dans le tube expérimental par un courant d'air.

Le tube ayant été ainsi rempli d'un mélange d'acide, de vapeur d'eau et d'air, on y laissa jaillir un faisceau lumineux ; la lentille était placée de manière à donner un cône de lumière très-intense. Rien n'apparut dans les deux premières minutes ; mais, au bout de ce temps, commença à se dessiner un faible nuage bleuâtre dans la partie la plus concentrée de la lumière. Un second parut bientôt après, s'unissant au premier par un mince cordon de la même matière bleuâtre.

Sous l'action prolongée de la lumière, le premier nuage se décomposa graduellement en une série de disques très-déliés ; ces disques tournèrent autour d'un axe perpendiculaire à leur surface, puis ils se mêlèrent et, par leurs combinaisons, donnèrent naissance à une sorte de vis dont la génératrice était inclinée. La surface de cette vis se transforma en entonnoir, de l'extrémité duquel partait le cordon aboutissant à l'autre nuage. Ce nuage subit également plusieurs modifications successives, après lesquelles les deux nuages se transformèrent en deux groupes d'entonnoirs placés les uns dans les autres. Ceux du nuage le plus éloigné ressemblaient, par leurs formes, à des verres à liqueur. Il y avait jusqu'à six entonnoirs ainsi disposés concentriquement dans chaque groupe, et les deux groupes étaient toujours réunis par le cordon déjà mentionné. Il se forma ensuite d'autres cordons et des tubes déliés de matière nuageuse qui se contournaient en spirale et enveloppaient les entonnoirs.

Quand la lumière devenait plus intense, le cordon

devenait plus mince entre les deux nuages et sa couleur plus blanche, ce qui s'expliquait par l'agrandissement de ses particules. Finalement, les entonnoirs se fondirent en deux membranes, de la forme de deux parapluies, de couleur bleu-tendre, et si minces, si délicates qu'elles semblaient avoir été faites par des esprits; dans les gazes les plus fines, on ne trouverait rien qui pût leur être comparé; c'étaient comme des feuillets d'air bleu.

Une seconde expérience conduisit, à très-peu près, au même résultat. Un nuage, qui prit assez promptement la forme d'un parapluie, se forma sur l'avant, suivi d'un autre à 15 centimètres en arrière; ils se résolurent en entonnoirs d'une forme beaucoup plus allongée que dans le cas précédent. Le second nuage était relié au premier par un filament, mais il se terminait, du côté opposé, par une tige en forme de fer de lance qui s'étendait, sur une longueur d'environ 36 centimètres, vers le fond du tube.

Après quelques changements successifs, la membrane sur l'avant prit la forme d'une cloche, dont la surface convexe servait d'appui à un cylindre creux, long de 6 centimètres. Bientôt ce cylindre se détacha de la cloche et se recourba en anneau brillant des couleurs de l'iris; cet anneau, qui semblait complètement isolé, tournait sur son axe, au milieu du tube. Son diamètre intérieur pouvait avoir 3 centimètres, et le diamètre extérieur 4 1/2 centimètres.

La masse nébuleuse totale, composée de ces diverses parties hétérogènes, était animée d'un mouvement de rotation. La rotation était d'autant plus rapide que la lumière était plus intense. Les disques, les entonnoirs, les feuillets et les volutes montraient parfois les couleurs de la diffraction, qui variaient avec la position de l'œil de l'observateur.

L'humidité semblait favorable à la production des

phénomènes; et de là naissait une question, celle de savoir jusqu'à quel point la lumière participait à leur cause. L'acide bromhydrique fume au contact de la vapeur aqueuse de l'air, même quand il émane de sa solution : sa diffusion dans l'eau ne semble pas satisfaire son avidité pour ce liquide. L'acide chlorhydrique, comme l'on sait, donne lieu à la même remarque. Ces nuages de formes si étranges ne pourraient-ils pas être le produit d'une action de cette nature, pour laquelle la lumière ne serait plus qu'un auxiliaire simplement utile et accidentel?

De l'acide bromhydrique, introduit dans le tube expérimental, y resta exposé pendant cinq minutes à la lumière diffuse. On rendit ensuite la chambre obscure, et l'on fit jaillir le faisceau lumineux dans le tube : au bout de deux minutes qui se passèrent sans la production d'aucun effet visible, les nuages apparurent et subirent les mêmes transformations successives que précédemment.

Il est indifférent que l'acide bromhydrique séjourne plus ou moins longtemps dans le tube expérimental avant l'action du faisceau lumineux; jamais un effet appréciable n'a précédé l'introduction de la lumière. Une fois le tube fut rempli de vapeur aqueuse, d'air et d'acide bromhydrique, qu'on laissa pendant quinze minutes dans le tube complètement obscur, et la lumière électrique y pénétra ensuite : le vide optique se continua pendant deux minutes, puis les nuages firent leur apparition.

En obligeant les rayons électriques à traverser une couche d'eau avant de pénétrer dans le tube, on n'a remarqué aucune diminution dans l'énergie de leur action chimique; mais ils la perdaient totalement quand ils traversaient une couche d'acide bromhydrique de même épaisseur que la couche d'eau. Ceci nous montre que les vibrations de l'acide liquide sont synchrones avec

celles de l'acide gazeux ; et nous arrivons encore à la conclusion que c'est dans les atomes constituants de la molécule, et non dans la molécule elle-même, qu'est le siège de l'absorption.

Acide chlorhydrique. — La solution aqueuse de cet acide était employée et traitée comme la solution d'acide bromhydrique. Je me propose d'invoquer le secours d'un artiste habile, de mes amis, pour reproduire les effets qu'on observe pendant la décomposition de l'acide chlorhydrique par la lumière, si réellement ils peuvent être reproduits ; mais j'ai lieu de craindre que tout son talent ne parvienne pas à en donner quelque idée. Le nuage fut lent à croître et n'acquit son plein développement qu'au bout de quinze ou vingt minutes. Alors il se divisa en quatre ou cinq parties, reliées entre elles consécutivement par de minces cordons d'une direction axiale. Chacune de ces parties avait une structure et des ornements très-complexes, où se remarquaient des fibres, des lances, des entonnoirs, des feuilles, des volutes et des fleurs de lis irisées. Cependant, la structure du nuage, dans toute sa longueur, était parfaitement symétrique ; c'était un nuage de révolution, dont l'axe coïncidait avec celui du faisceau lumineux. Il y a beaucoup de points de ressemblance entre les nuages des acides chlorhydrique et bromhydrique, tandis que l'un et l'autre diffèrent considérablement de ceux qui ont été mentionnés avant eux. Dans le fait, chaque liquide paraît avoir son nuage spécial, qui varie dans d'étroites limites à partir de son type normal. La formation du nuage dépend des forces qui lui sont inhérentes plus que des circonstances qui lui sont extérieures. Il est vrai qu'en chauffant ou refroidissant le tube expérimental en certains points, on détermine la production de flexions et de tourbillons extraordinaires ; mais quand le tube est maintenu dans des conditions constantes, la structure

spécifique du nuage se révèle, le caractère distinctif de chaque substance s'imprime dans le précipité nébuleux qui dérive de la décomposition de sa vapeur.

Dans une expérience où la lumière traversait une couche d'acide chlorhydrique liquide avant d'entrer dans le tube, une exposition de treize minutes ne donna pas de résultat. Une couche d'eau ayant été substituée à celle de l'acide, une exposition d'une minute fut suffisante pour produire un commencement de décomposition avec les effets caractéristiques qui l'annonçaient.

Acide iodhydrique. — La solution aqueuse de cet acide a subi également l'épreuve de la lumière concentrée. Un premier essai ne donna pas de résultats visibles, mais les suivants en produisirent d'extraordinaires. On voit se maintenir dans ces expériences, entre les trois acides iodhydrique, bromhydrique et chlorhydrique, cet air de famille qu'ils présentent généralement dans leurs physionomies. Tous les trois, par exemple, offraient d'abord aux regards des observateurs deux petits nuages reliés par un cordon de matière pareillement nuageuse qui faisaient lentement leur croissance, et marchaient, pour ainsi dire, d'un pas réglé vers leur apogée de force, d'éclat et de magnificence. Le vert et le cramoisi les plus vifs que jamais j'aie eu l'occasion d'observer sont ceux qui se produisent dans les premières phases de l'action de l'acide iodhydrique. La formation progressive du nuage peut être assimilée au développement graduel de l'organisme chez les êtres vivants, qui passe insensiblement de l'état de masse informe, ou d'agrégation d'organes rudimentaires, à une structure dont on admire la merveilleuse complexité. De ma vie, je ne crois pas avoir rien vu de plus étonnant que les effets que j'obtins le 28 octobre avec l'acide iodhydrique. Le nuage occupait sur l'axe du tube une longueur d'environ un demi-mètre, et il se transporta lentement de l'extrémité voi-

sine de la lampe à l'extrémité opposée. L'espace abandonné se remplissait d'un brouillard amorphe, probablement le résultat de la décomposition qui s'accomplissait dans le nuage proprement dit. Un cône spectral tournait son sommet vers l'extrémité éloignée, et de fines draperies semblaient se détacher et tomber de sa base circulaire. Sur cette même surface circulaire était posé un vase du galbe le plus exquis, ce vase en contenait un autre semblable, et de leurs bords s'épandait, sous les apparences de nappes liquides, une matière vapoureuse où resplendissaient les couleurs spectrales. Du centre du vase intérieur partait un cordon de nuage qui se prolongeait à quelque distance sur l'axe du tube, et sur ses côtés se montraient symétriquement deux tourbillons vivement irisés. La partie frontale du nuage, dans laquelle pénétrait le cordon, se transforma successivement en roses, en tulipes et en héliotropes; de nouvelles métamorphoses offrirent l'apparence d'une série de bouteilles d'une forme élégante, emboîtées les unes dans les autres; puis celle d'un poisson avec ses yeux, ses ouïes et ses nageoires. La lampe fut retirée pour quelques minutes, et le nuage laissé dans l'obscurité. Après le rétablissement de la lumière, on retrouva le nuage, mais immobile ou sans mouvements perceptibles; il avait perdu beaucoup de ses couleurs, mais ses belles formes s'étaient conservées. Sur quelques points il présentait des analogies avec les cascades électriques de Gassiot, mais la délicate complication des détails et la beauté de l'ensemble le mettaient au-dessus de tout objet de comparaison. Un de mes amis, auquel je le montrais avec ravissement, disait que la configuration générale lui rappelait une de ces formations marines gélatineuses qui ne sont visibles que parce qu'une membrane a tout juste la consistance nécessaire pour réfléchir la lumière. Cette comparaison est, en effet, celle qui me paraît la moins imparfaite; elle ne se fonde

pas seulement sur des symétries extérieures; ces membranes qui s'enclavent dans des membranes, ces nappes vaporeuses si déliées qui se superposent, s'enroulent, se pénètrent, se combinent avec tant de bonheur sous des aspects si variés, donnent l'idée d'un tout dont les parties s'enchaînent comme les organes les plus compliqués dans l'économie amicale. Le nuage satisfaisait rigoureusement aux lois de la *symétrie binaire*; pas un disque, un filament, une tache n'apparaissait sur un côté du tube sans avoir exactement son symétrique sur l'autre côté. Pour moi, je l'avoue, devant un spectacle aussi merveilleux, aussi extraordinaire, je demeurai en extase pendant deux heures, ne pouvant me lasser de le contempler (1).

Je n'ai pas encore déterminé les conditions essentielles pour reproduire avec certitude les effets que j'ai obtenus en opérant sur les acides bromhydrique, chlorhydrique et iodhydrique. Pour ces acides l'air est le seul véhicule que j'aie employé. Je ne hasarde aucune opinion sur la nature chimique des réactions. D'ailleurs, je n'ai fait encore aucune expérience sur ces acides à l'état de gaz secs.

(1) « Quelle admirable perfection! On dirait que c'est fait au tour. Combien cela pourrait être utile aux dessinateurs de broderies! » Telles étaient les réflexions exprimées par les préparateurs qui m'assistaient dans les expériences. M. Ladd, bien familiarisé, comme l'on sait, avec les reflets de lumière électrique dans les milieux raréfiés, assurait que jamais il n'en avait vu qui pussent rivaliser en beauté avec ceux que je me suis efforcé de décrire. Je rapporte ces remarques pour qu'on sache comment les phénomènes affectaient d'autres yeux que les miens.

II. — Sur la couleur du ciel, la polarisation de l'atmosphère et la polarisation de la lumière par les substances nuageuses en général

Par M. TYNDALL (traduction d'une note présentée à la Société royale de Londres, le 16 décembre 1868).

Depuis ma communication récente « sur une nouvelle série de réactions chimiques, produites par la lumière (1), » j'ai poursuivi mes expériences sur ce sujet, et le nombre des substances chez lesquelles cette action a été constatée s'est considérablement accru. J'ai fait aussi des observations nouvelles relatives à l'effet de la lumière sur les *vapeurs mélangées*. Je désire aujourd'hui attirer l'attention de la Société royale sur deux questions, auxquelles j'ai fait incidemment allusion dans la note ci-dessus mentionnée, à savoir la couleur bleue du ciel et la polarisation de la lumière du firmament. Je laisse de côté pour le moment l'histoire de ce sujet, me bornant à rappeler aujourd'hui que ces questions constituent, d'après l'opinion des autorités scientifiques les plus éminentes, les deux grandes énigmes de la météorologie. Dans le fait, c'est une lettre d'une remarquable portée scientifique, dans laquelle sir John Herschel me faisait part de l'intérêt qu'il porte à ces questions, qui m'a engagé à en aborder l'étude.

L'appareil avec lequel j'opère, et que j'ai précédemment décrit, consiste en un tube de verre de trois pieds environ de longueur, et de deux et demi à trois pouces de

(1) Voyez *les Mondes*, décembre 1868, t. XVIII, p. 631, 704, 744.

diamètre intérieur. La vapeur que l'on veut étudier est introduite dans ce tube de la manière que j'ai rapportée dans ma dernière communication, puis l'on fait agir sur elle les rayons concentrés d'une lampe électrique, jusqu'à ce que l'indifférence ou l'activité de la substance se soit manifestée.

Jusqu'ici mon but a été de rendre visible l'action chimique de la lumière sur les vapeurs. Pour y parvenir j'ai choisi des substances dont l'un au moins des produits de décomposition par la lumière soit assez peu volatil pour qu'il se *précipite* aussitôt qu'il se forme. En graduant la quantité de vapeur, cette précipitation peut être obtenue à tous les degrés de ténuité; les particules formées peuvent être assez volumineuses pour être visibles à l'œil nu, ou tellement petites, qu'elles échapperaient probablement aux plus forts grossissements de nos microscopes. Je ne doute pas qu'on ne puisse obtenir ainsi des particules dont le diamètre serait une très-petite fraction de la longueur d'onde de la lumière violette.

Dans tous les cas où les vapeurs employées, quelle que soit leur nature, sont suffisamment atténuées, l'action visible commence par la formation d'un *nuage bleu*. Il importe de bien spécifier ce que j'entends par ce terme. Le nuage bleu, dont je parle ici, est complètement invisible à la lumière ordinaire du jour. Pour être vu, il faut que tout ce qui l'entoure soit dans l'obscurité, et que lui seul soit éclairé par un puissant faisceau de lumière. Ce nuage bleu diffère, sous plusieurs rapports importants, des nuages ordinaires les plus délicats, et l'on pourrait dire avec quelque justesse qu'il tient un rang intermédiaire entre ces derniers et la véritable vapeur transparente.

Cette explication donnée, je pense qu'on ne pourra pas se méprendre sur les termes *nuage*, *nuage naissant*, que j'emploierai.

J'ai essayé de décomposer l'acide carbonique par la lumière ; il s'est formé, dans le tube expérimental, un faible nuage bleuâtre, provenant peut-être du résidu de quelque vapeur employée précédemment. En regardant transversalement ce nuage, avec un prisme de Nicol, le rayon visuel étant horizontal, on a trouvé que, lorsque la courte diagonale du prisme était verticale, la quantité de lumière atteignant l'œil était plus grande que lorsque c'était la longue diagonale qui était verticale.

Quand on plaçait une plaque de tourmaline entre l'œil et le nuage bleu, il arrivait à l'œil une plus grande quantité de lumière quand l'axe du prisme était perpendiculaire à l'axe du faisceau éclairant, que lorsque les axes du cristal et du faisceau étaient parallèles l'un à l'autre.

Le résultat était le même dans toutes les parties du tube. En faisant tourner autour du tube le cristal de tourmaline, son axe étant maintenu perpendiculaire à celui du faisceau éclairant, la quantité de lumière qui atteignait l'œil était un maximum dans toutes les positions ; tandis qu'elle était un minimum quand l'axe cristallographique était parallèle à l'axe du faisceau.

Ainsi, le nuage bleu éclairé émettait de la lumière polarisée, la direction du maximum de polarisation était à angle droit avec le faisceau éclairant, et le *plan de vibration* de la lumière polarisée était perpendiculaire à la direction du faisceau (1). En interposant des plaques

(1) J'adme s ici que le plan de vibration est perpendiculaire au plan de polarisation. On n'est pas encore bien d'accord sur cette manière de voir, mais les probabilités sont tellement en sa faveur, et dans mon opinion il est tellement préférable d'avoir une image physique sur laquelle l'esprit puisse se reposer, que je n'hésite pas à employer cette phraséologie dans le texte. Du reste, lors même que cette hypothèse serait inexacte, il ne résulterait aucun inconvénient de son emploi provisoire.

minces de gypse ou de quartz entre le prisme de Nicol et le nuage bleu, on voyait apparaître les couleurs de la lumière polarisée; elles présentaient le maximum de vivacité, quand le rayon visuel était à angle droit avec le tube expérimental. La plaque de gypse employée le plus habituellement était circulaire; elle était plus mince au centre, et son épaisseur augmentait uniformément en allant vers les bords. Lorsque cette plaque était placée dans la position convenable entre le Nicol et le nuage, il apparaissait un système d'anneaux brillamment colorés.

Les observations que nous venons de rapporter sont les premières qui aient été faites de cette manière. On peut arriver à des résultats beaucoup meilleurs avec des nuages obtenus d'autres substances convenablement choisies et introduites en proportions favorables dans le tube expérimental. On peut employer la benzine, le sulfure de carbone, le nitrite d'amyle, le nitrite de butyle, l'iodure d'amyle, l'iodure d'isopropyle, et plusieurs autres substances encore. Nous prendrons le nitrite de butyle comme exemple pour indiquer les moyens qu'il faut employer afin d'obtenir les meilleurs résultats.

Mais d'abord, il convient de faire remarquer qu'une vapeur qui, seule ou seulement mélangée avec de l'air dans le tube expérimental, résiste à l'action de la lumière, ou ne subit qu'une très-faible altération, peut, lorsqu'elle est mélangée avec d'autres gaz ou vapeurs, éprouver un effet énergétique, même violent, de la part de la lumière; il se passe ici quelque chose de semblable à ce qui a lieu pour l'acide carbonique qui, diffusé dans l'atmosphère, résiste à l'action de la lumière solaire, tandis qu'il se décompose au contact de la chlorophylle dans les feuilles des plantes.

Dans une première expérience, on a rempli le tube

expérimental, dans lequel on avait préalablement fait le vide, avec de l'air qui avait passé bulle à bulle au travers du nitrite de butyle liquide. En exposant ce mélange à l'action de la lumière, on obtint au bout de quinze minutes une légère action visible. — En second lieu, on a rempli le tube avec une demi-atmosphère d'air mélangé de la même vapeur, et une autre demi-atmosphère d'air qui avait passé à travers l'acide chlorhydrique du commerce. En projetant le rayon lumineux au travers de ce mélange, avant le commencement de l'action, on eut le temps de voir que le tube était optiquement vide; mais cet état ne dura qu'une petite fraction de seconde, et un nuage épais se précipita immédiatement sur le passage du rayon qui traversait le mélange.

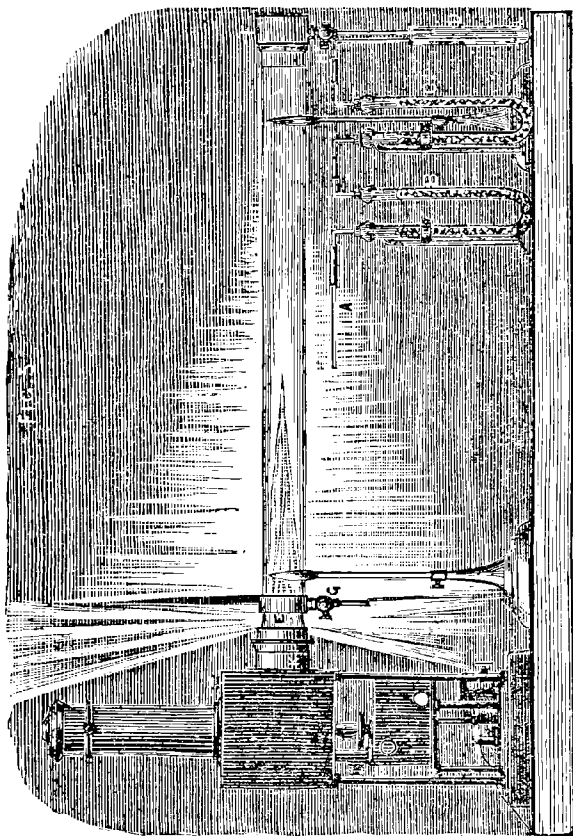
Ce nuage était d'abord *bleu*, mais il passa si rapidement au blanc, que l'on peut presque dire que l'action était instantanée. Observé perpendiculairement à son axe, le nuage dense présentait à peine quelques traces de polarisation. Regardé obliquement, la polarisation était forte.

Le tube expérimental ayant été de nouveau nettoyé et vidé d'air, on y introduisit une petite quantité d'air, mélangé de vapeur de nitrite de butyle, dont la force élastique n'était que d'un dixième de pouce. En d'autres termes, la pression de la vapeur et de l'air réunis ne dépassait pas $1/300$ d'atmosphère. Puis on ajouta de l'air qui avait traversé de l'acide chlorhydrique, jusqu'à ce que la tension fût de trois pouces.

On fit alors passer un faisceau de lumière électrique concentré au travers de ce mélange. Au commencement il n'y avait absolument rien, dans l'intérieur du tube, qui pût disperser la lumière. Mais bientôt on vit se former un nuage d'une superbe couleur bleue le long de la trace du faisceau; et il conserva cette teinte assez longtemps pour permettre l'observation complète de ces phé-

1"

nomènes. La lumière émise par le nuage perpendiculairement à sa longueur était *complètement* polarisée. Le



nuage passa graduellement à une teinte bleue blanchâtre, et, pendant quelque temps, en le regardant normalement

au travers du gypse, on observait des couleurs extrêmement brillantes. La direction du maximum de polarisation était évidemment à angle droit du faisceau éclairant. Il continua à en être ainsi, tant que le nuage conserva une couleur décidément bleue, et même quelque temps après que le bleu pur s'était changé en bleu blanchâtre. Mais lorsque, sous l'action prolongée de la lumière, le nuage devint plus épais et plus blanc, particulièrement à son centre, il cessa d'émettre, en cet endroit, de la lumière polarisée dans une direction perpendiculaire, tandis que cet effet continuait à ses deux extrémités.

Mais le nuage qui n'émettait plus de lumière polarisée normalement présentait des couleurs vives, lorsqu'on le regardait obliquement au travers de la sélénite. La direction du maximum de polarisation changeait avec la texture du nuage; c'est là un point sur lequel nous reviendrons.

On obtient un bleu aussi beau, et plus durable, en employant la vapeur de nitrite de butyle à un état de raréfaction plus grande encore.

Les faits que nous venons de citer se reproduisent constamment: dans tous les cas, et avec toutes les substances, le nuage est bleu au commencement de sa formation, lorsque les particules précipitées sont suffisamment fines, et l'on peut arriver à lui donner une couleur rivalisant avec le plus beau ciel d'Italie. Dans tous les cas aussi, ce beau nuage bleu polarisé complètement le faisceau qui l'illumine, la direction de polarisation formant un angle de 90° avec l'axe du rayon éclairant.

Il est très-curieux d'observer la croissance et la décroissance de la polarisation. Pendant dix ou quinze minutes, après la première apparition du nuage, la vive lumière qui en émane est complètement éteinte par un prisme de Nicol, dont la longue diagonale est verticale,

quand on regarde dans une direction horizontale. Puis, lorsque le bleu de ciel devient graduellement moins pur par la formation de particules de plus grande dimension, en d'autres termes, quand un vrai nuage commence à se développer, la polarisation cesse d'être parfaite, et une portion de la lumière traverse le prisme, quelle que soit sa position. Il importe aussi de remarquer que quelque temps après que la polarisation a cessé d'être complète, lorsque le Nicol est dans la position de minimum de transmission, la lumière *résidue* qui le traverse a une belle couleur bleue, tandis que la lumière plus blanche du nuage est éteinte (1). Quand la texture du nuage est devenue assez grossière pour la rendre comparable à un nuage ordinaire, la rotation du Nicol cesse d'avoir un effet sensible sur la qualité de la lumière émise normalement.

Une autre expérience montre combien est parfaite la polarisation dans une direction perpendiculaire au faisceau éclairant. Un prisme de Nicol, assez large pour laisser passer le faisceau entier de la lampe électrique, a été placé entre celle-ci et le tube expérimental. On introduisit dans le tube d'abord quelques bulles d'air chargé de vapeur de nitrite de butyle, puis on y fit passer de l'air ayant traversé de l'acide chlorhydrique, de manière à ce que la pression totale mesurée avec une éprouvette à mercure fût de trois pouces. On projeta alors le faisceau polarisé dans le tube : j'étais placé en avant, l'œil à la hauteur de l'axe, tandis que mon assistant, M. Cottrel, occupait une position semblable derrière le tube. La courte diagonale du grand prisme de Nicol a été d'abord placée verticalement, le plan de vibration du faisceau lumineux était donc aussi vertical. L'action de la lumière

(1) Ceci semble prouver que les particules trop grosses pour polariser le bleu, polarisent complètement la lumière de moindre réfrangibilité.

produisit lentement un superbe nuage bien visible pour mon assistant aussi bien que pour moi. Mais ce nuage, si facile à voir quand on l'observait dans la position indiquée, *disparaissait complètement lorsqu'on regardait verticalement de haut en bas ou de bas en haut*. Dans cette direction le nuage ne réfléchissait pas. En faisant tourner lentement le grand prisme de Nicol autour de son axe, l'œil de l'observateur étant placé au niveau du faisceau éclairant, et le rayon visuel dirigé perpendiculairement sur lui, on obtenait une extinction complète de la lumière émise horizontalement quand la longue diagonale du Nicol était placée verticalement. Mais alors, en regardant d'en haut ou d'en bas, on voyait ce nuage d'un bleu vif. Cette expérience, réellement très-belle, m'a été suggérée par M. le professeur Stokes dans une lettre qu'il m'a adressée. — Maintenant, pour ce qui concerne la polarisation de la lumière du ciel, la principale difficulté jusqu'ici a été de la concilier avec la loi de Brewster, d'après laquelle l'indice de réfraction est égal à la tangente de l'angle de polarisation; il faudrait que la réflexion qui produit une polarisation complète se fit *dans l'air sur l'air*; et cela a conduit plusieurs savants éminents, entre autres Brewster lui-même, à l'idée de l'existence d'une *réflexion moléculaire*. Or, j'ai opéré sur des substances dont les indices de réfraction différaient beaucoup, et toujours j'ai observé que la polarisation du faisceau par le nuage naissant est *absolument indépendante de l'angle de polarisation*. La loi de Brewster ne s'applique donc pas à la matière dans cette condition, et il reste à expliquer ce fait par la théorie des ondulacions. Tant que les particules précipitées sont suffisamment fines, quelle que soit la substance dont elles sont formées, la direction du maximum de polarisation est à angle droit avec le rayon éclairant, l'angle de polarisation étant invariablement de 45° pour la matière dans cette condition. Je considère ce point

1**

comme ayant une importance capitale dans la question qui nous occupe (1).

Il n'y a pas de doute que des *particules d'eau* produiraient les mêmes effets, si on pouvait les obtenir à cet état de division excessive, et je crois que l'on peut considérer comme certaine leur existence dans cette condition dans les régions les plus élevées de l'atmosphère. En tout cas, il n'est pas nécessaire de recourir à une autre hypothèse pour rendre complètement compte de la couleur bleue du firmament et de la polarisation de la lumière du ciel (2).

Supposons que notre atmosphère soit entourée d'une enceinte imperméable à la lumière, mais percée d'une ouverture du côté du soleil, par laquelle pénétrerait un faisceau de rayons parallèles qui traverseraient l'atmosphère. Entouré, de toutes parts, par de l'air, qui ne se-

(1) La difficulté dont je viens de parler a été exposée en ces termes par sir John Herschel : « La cause de la polarisation est évidemment une réflexion de la lumière solaire sur *quelque chose*. La question est de savoir sur quoi. Si l'angle de maximum de polarisation était de 76° , nous pourrions conclure que le corps réfléchissant est de l'eau ou de la glace, quelque difficile qu'il fût de concevoir l'existence de particules d'eau non évaporée dans une atmosphère sans nuage par une chaude journée d'été. Mais quoique telle ait été autrefois notre opinion, des observations faites avec soin nous ont convaincu que cet angle est de 90° ou environ, et par conséquent, quel que soit le corps réfléchissant, si la lumière est polarisée par une simple réflexion, l'angle de polarisation doit être de 45° , et l'indice de réfraction, qui est la tangente de cet angle, doit être l'unité : en d'autres termes, il faudrait que la réflexion s'effectuât dans l'air sur l'air. » (*Météorologie*, p. 233.)

(2) Toute espèce de particules, si elles sont suffisamment petites, produisent la couleur et la polarisation du ciel. Mais l'existence de petites particules d'eau dans une chaude journée d'été, dans les régions élevées de notre atmosphère, est-elle inconcevable? Il faut se rappeler que l'oxygène et l'azote de l'air se comportent comme le vide à l'égard de la chaleur rayonnante; la vapeur excessivement raréfiée des parties supérieures de l'atmosphère est par conséquent comme en contact avec le froid de l'espace.

rait pas éclairé directement, la trace de ce faisceau ressemblerait à celle du faisceau projeté par la lampe électrique, au travers d'un nuage naissant. Le faisceau de rayons solaires paraîtrait bleu, et il émettrait latéralement de la lumière, dans une condition exactement la même que celle qui est émise par celle du nuage naissant. Dans le fait, la teinte azurée mise en évidence par un faisceau de rayons de cette nature répondrait, à tous égards, à ce que nous avons appelé un nuage bleu (1).

Quant à ce qui concerne la polarisation du ciel, on sait que non-seulement la direction du maximum de polarisation est à angle droit avec la direction des rayons solaires, mais encore qu'à certaines distances angulaires du soleil, probablement variables, il existe des points neutres, ou sans polarisation, des deux côtés desquels les plans de polarisation atmosphérique sont à angle droit l'un de l'autre.

J'ai fait différentes observations sur ce sujet ; je me réserve d'y revenir, mais en attendant un examen plus complet de cette question, je présente à la Société royale les observations et les faits suivants qui s'y rapportent.

Le faisceau de rayons parallèles, employé dans les expériences décrites ci-dessus, traçait sa route au travers de l'air du laboratoire, exactement comme les rayons

(1) Les résultats précédents confirment l'opinion de sir John Herschel, qui considérait la polarisation et la couleur bleue du ciel comme deux faits connexes. « Plus on étudie le sujet (la polarisation de la lumière du ciel), dit cet éminent physicien, plus on le trouve entouré de difficultés, et son explication, si on la découvre, entraînera probablement avec elle celle de la couleur bleue du ciel et de la grande quantité de lumière qu'il nous envoie... Nous pouvons faire observer en outre, ajoute-t-il, que c'est seulement lorsque la pureté du ciel est complète que la polarisation présente son plus haut degré de développement, et que dès que la moindre apparence de *cirri* tend à se manifester, elle diminue considérablement. » Ce passage peut s'appliquer mot pour mot au « nuage naissant. »

solaires le font dans l'air chargé de poussière de Londres. J'ai quelques raisons de croire qu'une grande portion de la matière, flottant ainsi dans l'air du laboratoire, consiste en germes organiques, qui sont capables de donner à l'air une teinte bleue perceptible. Cet air présentait, quoique avec une beaucoup moindre vivacité, tous les effets de polarisation obtenus avec le nuage naissant. La lumière, émise latéralement par la trace du faisceau éclairant, était polarisée, quoique imparfaitement, la direction du maximum de polarisation étant à angle droit avec le faisceau.

La colonne d'air horizontale ainsi illuminée avait 18 pieds de long ; on pouvait par conséquent la regarder très-obliquement sans être gêné par une enveloppe solide. Sur la longueur entière du faisceau la lumière émise normalement présentait le même état de polarisation. En maintenant le Nicol et le gypse dans une position analogue, on observait les mêmes couleurs sur toutes les parties du faisceau, lorsque le rayon visuel était perpendiculaire à sa longueur.

Ensuite, en me plaçant près de l'extrémité du faisceau, à sa sortie de la lampe électrique, et en le regardant de plus en plus obliquement au travers du Nicol et du gypse, j'observais des couleurs s'affaiblissant de plus en plus, jusqu'en un point où elles disparaissaient ; en augmentant encore l'obliquité, les couleurs apparaissaient de nouveau, *mais elles étaient alors complémentaires de celles qu'on avait observées d'abord.*

Ainsi, comme le ciel, ce faisceau présentait un point neutre, des deux côtés duquel la lumière était polarisée, dans des plans perpendiculaires l'un à l'autre.

Pensant que l'action observée dans le laboratoire pourrait provenir de fumées ou de vapeurs, diffusées dans l'air, je fis monter une pile et une lampe électrique dans une salle située au haut de l'Institution royale. La trace de ce faisceau se voyait très-distinctement dans

l'air de cette chambre, sur une longueur de 14 ou 15 pieds ; ce faisceau produisait les effets qui avaient été observés précédemment dans le laboratoire ; la lumière électrique même non concentrée, tombant sur les particules en suspension, produisait les effets de polarisation, quoique à un faible degré (1).

Quand l'air était assez pur pour qu'on ne pût distinguer aucune matière en suspension, il n'exerçait plus aucune action sensible sur la lumière, et se comportait comme le vide.

J'avais déjà varié de plusieurs manières mes expériences sur le point neutre, en opérant tour à tour sur des fumées de chlorhydrate d'ammoniaque, de papier brunet de tabac, lorsque mon attention fut attirée, par sir Charles Wheatstone, sur une observation importante, communiquée en 1860 à l'Académie de Paris, par le professeur Govi, de Turin (2). Dans ses recherches sur la lumière des comètes, M. Govi avait été conduit à étudier un faisceau lumineux projeté dans une chambre contenant de la fumée d'encens ou de tabac. Dans une première communication très-brève il signala le fait de la polarisation produite par cette fumée, et dans une seconde communication il annonça la découverte d'un point neutre dans le faisceau, des deux côtés duquel la lumière était polarisée dans des plans formant entre eux un angle droit.

Mais contrairement à mes observations sur l'air du laboratoire, et contrairement à ce qui a lieu pour le ciel, la direction du maximum de polarisation dans les expériences de M. Govi formait un très-petit angle avec la direction du rayon éclairant. J'ignore si M. Govi ou d'autres observateurs ont poussé plus loin les recherches sur ce point.

(1) J'espère pouvoir répéter l'expérience l'été prochain sur l'air des Alpes.

(2) *Comptes rendus*, t. LI, p. 660, 669.

Comme je l'ai déjà dit, dans les expériences faites avec le tube à expériences, à mesure que le nuage devenait plus dense, la polarisation de la lumière émise à angle droit du rayon allait en s'affaiblissant, et la direction du maximum de polarisation devenait oblique relativement au faisceau. Des expériences sur les fumées du chlorhydrate d'ammoniaque me donnèrent aussi lieu de présumer que la position du point neutre *n'est pas constante*, mais qu'elle varie avec la densité de la fumée éclairée.

L'étude de ces questions m'a conduit à des résultats nouveaux et remarquables. Le laboratoire étant complètement rempli de fumée d'encens, à laquelle on avait laissé le temps de se diffuser uniformément, on projeta le rayon électrique au travers de cette fumée. La traînée lumineuse émettait de la lumière polarisée, mais la direction du maximum de polarisation, au lieu d'être perpendiculaire au faisceau éclairant, formait alors avec lui un angle de 12 à 13°.

On observait aussi un point neutre avec des effets complémentaires des deux côtés. L'angle compris entre l'axe du faisceau et la ligne tirée du point neutre à l'œil de l'observateur mesurait 66° dans cette première expérience.

On ouvrit alors pendant quelques minutes les fenêtres pour laisser échapper une partie de la fumée d'encens. En refermant ensuite la salle et en observant le faisceau, on trouva que la ligne de vision dirigée sur le point neutre formait avec le faisceau un angle de 63°.

On ouvrit une seconde fois les fenêtres pour faire dissiper encore une partie de la fumée, puis on mesura cet angle que l'on trouva de 54°.

Les mêmes opérations furent répétées à plusieurs reprises, et chaque fois le point neutre s'éloignait sur le faisceau, l'angle du rayon visuel passant par le point neutre avec l'axe du rayon éclairant tombant successivement de 54° à 49, 43 et 33°.

Les distances, approximativement mesurées, du point neutre à la lampe, dans la précédente série d'expériences, étaient de :

1 ^{re} observation,	2	»	2	pouces.
2 ^e	»	2	»	6 »
3 ^e	»	2	»	10 »
4 ^e	»	3	»	2 »
5 ^e	»	3	»	7 »
6 ^e	»	4	»	6 »

A la fin de cette série, la direction du maximum de polarisation était redevenue normale au faisceau éclairant.

Ensuite on remplit le laboratoire de fumée de poudre à canon. Dans cinq expériences successives, correspondant à cinq états de densité de la fumée, les angles compris entre le faisceau et le rayon visuel dirigés sur le point neutre étaient de 63, 50, 47, 42 et 38°.

Après avoir laissé se dissiper complètement la fumée de poudre à canon, on remplit le laboratoire de fumée de résine ordinaire, en assez grande quantité pour que la respiration fût très-gênée. Dans ce cas la direction du maximum de polarisation formait un angle de 12° environ avec l'axe du faisceau éclairant. En se plaçant près de la lampe et en regardant la traînée lumineuse comme précédemment, on n'observait *aucun point neutre* sur toute la longueur.

En regardant le faisceau normalement à travers le Nicol et le gypse, le système d'anneaux colorés était distinct, mais peu brillant. En continuant à observer dans la même position au travers du gypse, tandis que l'on avait ouvert les fenêtres en laissant les volets fermés, de manière que la fumée se dissipât lentement, on vit les anneaux colorés devenir plus pâles et finir par disparaître. En continuant encore à regarder normalement, les anneaux reparurent, mais ils étaient complémentaires des

précédents. *Ainsi le point neutre avait passé devant moi dans son mouvement le long du faisceau par suite de l'atténuation de la fumée de résine.*

Avec les fumées de chlorhydrate d'ammoniaque on obtient sensiblement les mêmes résultats que ceux qui viennent d'être décrits. Les faits que j'ai exposés suffiront, je pense, à mettre en évidence la variabilité de position du point neutre. Quant à l'explication des résultats, il faudra que la théorie des ondulations cherche à la découvrir.

Avant de quitter la question du renversement de la polarisation par les substances à l'état de fumée, je dois ajouter une ou deux observations. Quelques-uns des nuages formés dans les expériences sur l'action chimique de la lumière présentent des formes très-étonnantes. Le tube expérimental est souvent divisé en segments de nuages denses, séparés par des nœuds de matière plus fine; en le regardant normalement on a observé jusqu'à quatre renversements du plan de polarisation, en passant d'un nœud à un segment, et d'un segment à un nœud. Avec les fumées diffusées dans le laboratoire, au contraire, il n'y avait aucun changement de polarisation sur toute sa longueur: en effet, dans ce cas, il n'existe pas dans la texture du nuage de différence produisant ce renversement.

En outre, en faisant arriver dans le faisceau éclairant une bouffée de fumée de tabac ou de vapeur condensée, l'éclat des couleurs peut être considérablement augmenté. Mais avec des nuages différents, on produit deux sortes d'effets divers: par exemple, si l'on porte au maximum d'intensité le système d'anneaux observé dans l'air ordinaire, puis que l'on fasse pénétrer un nuage atténué de chlorhydrate d'ammoniaque dans le faisceau, au point que l'on regarde, alors le système d'anneaux apparaît avec plus d'éclat, tandis que le sens de la polarisation reste le même. Tel est encore le cas, lorsqu'on

brûlé du phosphore ou du soufre au-dessous du faisceau, de manière à y introduire de fines particules d'acide phosphorique ou de soufre. Avec les fumées de soufre l'éclat des couleurs augmente énormément ; mais, dans tous les cas, il n'y a pas de changement de sens dans la polarisation.

Au contraire, une bouffée de vapeur d'eau condensée, ou les fumées d'acide chlorhydrique, iodhydrique ou nitrique, introduites dans le rayon, produisent un renversement complet des teintes observées avec le gypse. Tous ces nuages-là font tourner le plan de polarisation de 90°.



III. — Sur une théorie cométaire

Par M. JOHN TYNDALL.

Le 8 de ce mois (de mars), dans une conférence que j'ai faite à la Société philosophique de Cambridge, je me suis hasardé à émettre une théorie sur l'origine et la manière d'être de la matière des comètes. J'ai été amené à réfléchir sur cette question, à la suite de mes expériences sur la décomposition des vapeurs par la lumière, expériences que j'ai déjà décrites sommairement dans les *Proceedings* de la Société royale (voir la brochure MÉLANGES DE CHIMIE ET DE PHYSIQUE). Voici en quels termes j'ai formulé ma théorie devant la Société philosophique :

« Dans le cours de mes expériences sur l'action actinique, j'ai été souvent étonné de la masse de lumière qu'une quantité de matière tout à fait infinitésimale, lorsqu'elle est diffusée sous la forme de nuage, peut émettre par réflexion. J'ai été bien des fois embarrassé et induit en erreur par l'action de résidus en quantité si faible qu'ils étaient véritablement inconcevables. Pour débarrasser de ces résidus mes tubes à expériences, après qu'ils avaient servi pour quelque vapeur, on les rinçait avec de l'alcool, on les épongeait avec du savon et de l'eau chaude, et enfin on les lavait abondamment avec de l'eau pure. Laissez-moi vous donner une idée des quantités de matières qui entrent ici en ce jeu. »

Ce tube placé sous vos yeux, qui a 3 pieds de longueur et 3 pouces de diamètre, a été si parfaitement nettoyé que lorsqu'il est rempli d'air ou de vapeur d'acide chlor-

hydrique liquide, la plus longue exposition à une lumière intense n'y produit pas la moindre nébulosité. Après m'être ainsi assuré de la netteté parfaite du tube, j'ai pris un petit morceau de papier buvard, je l'ai roulé en une boulette moins grosse que le quart d'un petit pois ; je l'ai mouillé avec un liquide ayant un point d'ébullition plus élevé que celui de l'eau. J'ai tenu la boulette entre mes doigts jusqu'à ce qu'elle fût presque sèche ; je l'ai introduite dans un vase communiquant avec le tube, et j'ai fait passer sur elle de l'air sec qui devait entrer dans le tube. L'air chargé de la petite quantité de vapeur qu'il avait ainsi prise en passant a été soumis à l'action de la lumière. Un nuage bleu de lumière actinique commença immédiatement à se former, et au bout de cinq minutes, la couleur bleue s'était étendue dans toute la longueur du tube à expériences. Ce nuage continua d'être bleu pendant quelques minutes, et pouvait être complètement éteint par un prisme de Nicol ; car l'œil n'apercevait pas de trace de lumière lorsque le Nicol était dans la position convenable. Bientôt les particules du nuage grossirent graduellement, et au bout de quinze minutes, un nuage blanc, épais, remplissait le tube. En considérant la quantité de vapeur que l'air avait entraînée, on dirait presque que l'apparition d'un nuage aussi dense et aussi lumineux est comme un monde tiré du néant.

Mais ce n'est pas tout ; on a enlevé la boulette de papier buvard et on a purifié le tube à expériences en le balayant par un courant d'air sec. *Ce courant traversa aussi le vase de communication dans lequel était restée la buvette de papier buvard.* On interrompit le passage de l'air ; on fit le vide dans le tube à expériences ; on introduisit dans le tube, par le même vase communiquant, quinze pouces d'acide chlorhydrique. Cela posé, il est nécessaire de remarquer ici : 1° que la quantité totale du liquide absorbé par la boulette dans le premier cas était excessivement petite ; 2° que j'avais fait évaporer entre

mes doigts presque toute cette faible quantité avant de mettre la boulette dans le vase communiquant ; 3^o que la boulette avait été retirée et que le tube dans lequel elle avait été placée avait servi de conduit à un fort courant d'air pur. C'est une partie d'un résidu aussi faible que celui qui a pu rester adhérent au tube communiquant, après cette triple opération, qui a été entraînée dans le tube à expériences par l'acide chlorhydrique et qui a été soumise à l'action de la lumière.

Une minute après que la lampe électrique eut été allumée, on vit apparaître un faible brouillard ; en deux minutes, ce brouillard avait rempli toute la partie antérieure du tube et s'était étendu sur une grande longueur ; il se développa ensuite sous la forme d'un beau nuage ; et quinze minutes après, la masse de lumière émanée du nuage était véritablement étonnante, quand on considère la quantité de matière qu'il renfermait. Mais si lumineux qu'il fût, le nuage était beaucoup trop subtil pour pouvoir dérober à la vue d'une manière appréciable les objets placés derrière lui. La flamme d'une bougie n'en paraissait pas plus affaiblie qu'elle ne l'eût été par le vide. Quand on plaçait une page d'impression de telle sorte qu'elle fût éclairée par le nuage lui-même, on pouvait lire à travers le nuage sans affaiblissement sensible. Rien ne pourrait mieux que ces nuages actiniques donner une idée plus parfaite de la *texture spirite* que sir John Herschel attribue à une comète. Des expériences prouvent, en effet, qu'une matière d'une ténuité presque infinie est apte à répandre une lumière bien plus intense que celle de la queue des comètes. Le poids de la matière qui envoie à l'œil cette masse de lumière devrait probablement être multiplié par des millions pour arriver à égaler le poids de l'air au sein duquel cette matière est suspendue.

Et maintenant, voulez-vous permettre que pendant quelques minutes j'essaye d'appliquer ces résultats à une

théorie cométaire? J'y suis encouragé par une remarque de Bessel, qui dit que si ses observations sur la comète de Halley avaient été précédées de quelque théorie qui eût fixé son attention, soit pour la vérifier, soit pour la réfuter, il aurait été à même de déduire de ses observations une somme de connaissances bien supérieure à celle qu'il en a réellement tirée.

Si le temps me l'avait permis, j'aurais voulu vous amener, par une progression facile, à l'opinion que je désire vous soumettre; mais le temps me manque et, par conséquent, l'exposition que je ferai de la théorie souffrira de la sécheresse résultant du défaut de préparation.

Vous connaissez, sans doute, les effrayantes difficultés qui se dressent devant toute tentative de théorie cométaire. La comète observée par Newton en 1680 a déployé en deux jours une queue de quatre-vingt-dix millions de kilomètres de longueur. La comète de 1843, si je m'en souviens bien, a lancé, en un seul jour, une queue qui occupait 100° sur le ciel. Cette énorme étendue de matière est supposée avoir été engendrée par la tête de la comète, et projetée en arrière par une certaine force mystérieuse de répulsion exercée par le soleil. Bessel a imaginé, pour l'expliquer, une sorte de polarité et de répulsion magnétique. « Il est clair, dit sir John Herschel, que *si l'on avait affaire ici à la matière telle que nous la concevons, c'est-à-dire douée complètement d'inertie*, cette matière devrait être sous l'influence de forces incomparablement plus énergiques que la gravitation, et d'une nature toute différente. » Dans un autre endroit, il résume les difficultés de la question dans les termes suivants très-remarquables :

« On ne saurait nier que la question de la queue des comètes est enveloppée de quelque secret ou mystère profond. Il n'est peut-être pas trop téméraire d'espérer que les observations à venir, venant en aide à la conception

d'une théorie rationnelle, appuyée sur les progrès des sciences physiques en général (spécialement de celles des branches de la science qui se rapportent aux éléments éthérés et impondérables), pourront enfin nous rendre capables de pénétrer ce mystère, et de prononcer si c'est réellement de la *matière*, dans l'acception ordinaire du mot, qui est projetée des têtes de comètes avec une aussi prodigieuse vitesse, ou si, sans être lancée, cette matière est au moins *dirigée* dans sa marche par une certaine action du soleil devenu pour elle un centre qu'elle doit fuir. Dans cette question de la matérialité des queues des comètes, il n'y a rien qui mérite davantage de fixer notre attention que le mouvement énorme qu'elles font autour du soleil dans leur périhélie, à la manière d'une verge droite et rigide, contrairement à la loi de la gravitation, et même aux lois reçues du mouvement, s'étendant (comme nous l'avons vu dans les comètes de 1860 et de 1843) du voisinage de la surface du soleil à l'orbite de la terre, et décrivant sans se briser, dans le dernier cas, un angle de 180° en un peu plus de deux heures. Il semble absolument incroyable que dans un cas pareil ce soit le même objet matériel qui soit ainsi brandi ou fasse le moulinet. Si l'on pouvait concevoir quelque chose de semblable à une *ombre négative*, à une impression momentanée produite sur l'éther lumineux en arrière de la comète, cette ombre, cette impression éthérée représenterait, jusqu'à un certain point, l'idée qu'un pareil phénomène fait naître irrésistiblement en nous. »

Je demande maintenant la permission de vous exposer une théorie qui écarte toutes ces difficultés, et qui, qu'elle ait ou non une réalité physique, a du moins l'avantage de lier entre eux, d'une manière assez remarquable, les phénomènes présentés par les comètes.

1° D'après cette théorie, une comète est composée d'une vapeur décomposable par la lumière solaire, la tête visi-

ble et la queue seraient un nuage actinique résultant de la décomposition; la constitution des nuages actiniques est évidemment celle d'une comète.

2° La queue, dans cette théorie, n'est pas de la matière projetée, mais de la matière précipitée par ou sur le faisceau de rayons solaires qui traversent l'atmosphère de la comète. On peut prouver par l'expérience que cette précipitation peut se produire lentement le long du faisceau, ou à peu près instantanément sur toute la longueur. La prodigieuse rapidité du développement de la queue s'expliquerait ainsi sans invoquer le mouvement étourdissant de translation qu'on a admis jusqu'ici.

3° Pendant que la comète tourne autour de son périhélie, la queue n'est pas composée partout et toujours de la même matière, mais d'une matière nouvelle précipitée par et sur le faisceau des rayons solaires qui traversent l'atmosphère cométaire dans de nouvelles directions. L'énorme mouvement de rotation de la queue s'explique alors sans qu'on ait besoin d'invoquer un mouvement de translation impossible.

4° La queue est toujours dirigée du côté opposé au soleil pour cette raison : deux forces antagonistes agissent sur la matière cométaire; l'une est une force *actinique* tendant à produire un effet de précipitation, l'autre une force *calorifique* tendant à opérer un effet de vaporisation. Lorsque la première domine, nous avons le nuage cométaire; quand c'est la seconde, nous avons la vapeur cométaire transparente. Il est certain que le soleil est la source de ces deux forces. Il n'y a rien absolument d'hypothétique dans la supposition de leur existence. Pour qu'une précipitation doive se produire derrière la tête de la comète, ou dans l'espace occupé par l'ombre de la tête, il faut simplement supposer que les rayons calorifiques du soleil sont absorbés plus abondamment par la tête ou le noyau que les rayons actiniques. Cette absorption rendrait prépondérante l'action des rayons

actiniques en arrière de la tête ou du noyau, et les rendrait capables de produire le nuage qui constitue la queue de la comète.

5° La vieille queue cessant d'être abritée par le noyau, qui ne fait plus fonction d'écran, est dissipée par la chaleur solaire; mais sa disparition n'est pas instantanée. La queue s'incline vers cette portion de l'espace que la comète vient de quitter. Un fait général d'observation trouve ainsi son application facile.

6° Dans la lutte à qui l'emportera des deux classes de rayons, les rayons actiniques, en raison des variations de densité ou pour quelque autre cause, peuvent l'emporter momentanément, même dans les parties de l'atmosphère cométaire qui ne sont pas abritées par le noyau. On expliquerait ainsi les effluves latérales et l'émission apparente de faibles queues dirigées vers le soleil.

7° Le rétrécissement de la tête dans le voisinage du soleil est causé par les ondes calorifiques qui viennent battre contre elle, dissipent ses bords atténués et produisent sa contraction apparente.

Dans tout l'ensemble de cette théorie, j'ai eu recours exclusivement à des causes réelles ou physiques, et je n'ai fait appel à aucun agent dont l'existence ne repose pas sur la base certaine de l'observation ou de l'expérience. C'est à vous de dire si, en me hasardant à formuler cette théorie, j'ai dépassé les limites d'une spéculation raisonnable.

Si je ne me suis pas égaré, je ne pouvais certainement pas choisir un terrain plus propice au redressement qui ne saura pas se faire attendre. Si ma théorie n'est qu'une pure fiction de l'esprit, vos Adam et vos Stoke (heureusement ici présents), auxquels je sou mets ma discussion avec le désir qu'elle soit immédiatement anéantie par l'astronomie et par la physique, si elle ne mérite pas un meilleur sort, rempliront, je n'en doute pas, leur devoir,

et nous garantiront, vous et moi, contre l'erreur, avant qu'elle ait eu le temps de s'établir sérieusement dans notre imagination.

La bienveillance avec laquelle cette théorie a été accueillie à Cambridge m'engage à la soumettre à l'examen critique des lecteurs du *Philosophical Magazine*. (15 mars 1869.)

Observations de M. l'abbé Raillard. — Je rappellerai à M. Tyndall que j'ai exposé depuis longtemps, et en dernier lieu dans les *Mondes*, t. XIII, p. 606, 1867, une théorie cométaire qui a dans plusieurs points beaucoup d'analogie avec la sienne, mais qui en diffère par d'autres points. Ainsi, j'admets avec M Tyndall que ce que nous voyons dans une comète, son noyau et sa queue, ne forme qu'une très-petite partie de la matière dont elle se compose; que dans la queue d'une comète, toujours opposée au soleil, ce n'est pas toujours la même matière que nous apercevons, car s'il en était ainsi, le mouvement de cette matière autour du soleil serait tout à fait contraire aux lois de l'attraction, mais que les parties de la matière cométaire situées derrière le noyau par rapport au soleil deviennent successivement visibles, tandis que le reste demeure invisible. Mais je cesse d'être d'accord avec M. Tyndall quant à la cause de la visibilité de la matière cométaire; car j'attribue cette visibilité à l'influence magnétique du soleil, tandis que M. Tyndall la fait venir de la décomposition de la vapeur cométaire produite par les rayons actiniques. Ma théorie a au moins sur la sienne l'avantage de rapporter à une origine commune, à l'influence magnétique, d'une part, les queues des comètes, et de l'autre, les irradiations des aurores boréales. Du reste, elles résolvent également bien l'une et l'autre les *difficultés effroyables* qui embarrassaient la théorie cométaire.

Observations de D. E. Carpmael. — L'intéressante théorie cométaire de M. Tyndall s'appuie sur une supposition difficilement compatible avec les lois du mouvement. Elle suppose que la queue d'une comète est « de la matière précipitée sur le faisceau des rayons solaires qui traversent l'atmosphère cométaire. » S'il en est ainsi, les dimensions linéaires d'une comète doivent être supérieures à la longueur de sa queue, c'est-à-dire, dans certains cas, doivent être de plus de 60 millions de milles. Une très-légère modification de la théorie de M. Tyndall obvierait à cette difficulté, et expliquerait également bien toutes les apparences observées. S'il y avait une atmosphère solaire extrêmement ténue, s'étendant beaucoup plus loin que l'orbite de la terre, et si, lorsqu'une comète s'approchant du soleil est par conséquent exposée à une chaleur intense, son volume devenait comparable au volume du soleil, la chaleur du soleil serait interceptée dans la partie de l'atmosphère solaire qui serait dans l'ombre de la comète (laquelle, quoique transparente pour la lumière, est opaque pour la chaleur), des nuages actiniques seraient formés dans l'*atmosphère solaire* et donneraient ainsi l'apparence d'une queue à la comète. Si l'ombre de la comète était irrégulière, il pourrait y avoir plus d'une queue. La comète après son passage au périhélie s'éloigne du soleil et en même temps se refroidit et se contracte graduellement; la queue doit donc avoir la plus grande longueur et le plus grand éclat au périhélie ou peu après; puis elle doit diminuer lentement et s'évanouir. (*Philosophical Magazine.*)

Observations de M. Gibbs. — Dans le dernier numéro du *Philosophical Magazine*, M. le professeur Tyndall a proposé une théorie d'après laquelle la tête et la queue visibles d'une comète sont un nuage actinique, résultant de la décomposition d'une vapeur par la lumière solaire. Cette théorie explique la ténuité extrême des comètes, leur

polarisation, le mouvement et le développement de leurs queues.

Maintenant, si nous ne connaissons les comètes que par des observations à l'œil nu, cette théorie pourrait expliquer les phénomènes observés, et telle qu'elle est, elle augmente nos connaissances sur de la matière qui, si elle n'est pas de la matière cométaire, a du moins des analogies frappantes avec elle; mais je ne pense pas qu'elle explique les phénomènes cométaires tels qu'ils sont observés au télescope.

En premier lieu, tout à fait derrière le noyau, où l'on devrait, d'après cette théorie, trouver une région très-lumineuse, on observe ordinairement un espace obscur. De plus, la matière qui forme la queue s'écoule ordinairement de la tête *du côté* du soleil; ceci a été spécialement remarqué dans la comète Halley en 1836. Ensuite, Bond, parlant de la comète de Donati, dit que la matière, après être sortie du noyau, au lieu d'être aussitôt lancée dans la queue, a formé une épaisse nébulosité dans laquelle la matière lumineuse a continué de s'écouler pendant quelque temps. *Cette nébulosité s'étendait du côté qui regardait le soleil, et elle est restée dans le voisinage pendant plusieurs jours.* Lorsqu'elle eut acquis une certaine dimension, l'écoulement se fit principalement par les cornes d'un croissant de chaque côté en deux courants qui, se réunissant avec ceux qui sortaient d'autres enveloppes, formèrent les deux branches de la queue! Il y a ainsi plusieurs séries d'enveloppes qui s'élèvent en se portant *du côté* du soleil. Dans la comète de Donati on en a compté sept; dans la grande comète de 1861 on n'en a pas compté moins de onze; la force qui produit le soulèvement de ces couches est intermittente et finit par s'évanouir. M. Webb en 1861 a remarqué l'affaissement des enveloppes sur le noyau; Herschel et Schröder avaient observé la même chose dans la comète de 1811. D'après ces faits, je suis porté à croire que, quoique

l'hypothèse du professeur Tyndall explique quelques-uns des phénomènes, la vraie théorie est encore à découvrir.

Note additionnelle sur la formation et les phénomènes des nuages, par M. John Tyndall. — On sait que lorsqu'on fait le vide dans un récipient rempli d'air ordinaire non desséché, les premiers coups de piston produisent un nuage dû à la précipitation de la vapeur aqueuse diffusée dans l'air. Il est possible, comme on pouvait s'y attendre, de produire des nuages de cette manière avec des vapeurs de liquides autres que l'eau.

Dans le cours de mes expériences sur l'action chimique de la lumière, j'ai eu souvent l'occasion d'observer la précipitation de nuages semblables dans les tubes à expériences dont je me servais; j'ai même, à une époque, consacré plusieurs jours uniquement à la génération et à l'examen des nuages produits par la dilatation subite de l'air dans les tubes à expériences.

On donne naissance aux nuages de deux manières: la première consiste à ouvrir la communication entre le tube à expériences plein et la machine pneumatique, et à dilater l'air en faisant simplement jouer la machine; dans l'autre méthode, le tube à expériences communique avec un récipient de volume convenable, et on peut fermer, par un robinet, le passage entre le récipient et le tube à expériences. On fait d'abord le vide dans le récipient; en tournant le robinet, l'air s'élançe dans le récipient et il en résulte la formation d'un nuage dans le tube à expériences. Au lieu d'un récipient spécial, je me suis servi ordinairement des corps de pompe de la machine pneumatique elle-même.

On a reconnu qu'en expulsant le résidu d'air et de vapeur, après chaque précipitation, et en faisant de nouveau le vide dans les corps de pompe, on pouvait obtenir quinze ou vingt nuages successifs avec certaines

substances, et sans remplir de nouveau le tube à expériences.

Les nuages ainsi précipités diffèrent les uns des autres en pouvoir lumineux : quelques-uns répandent une lumière blanche et douce, d'autres brillent d'un éclat subit et surprenant. Cette différence d'effet doit naturellement être attribuée aux pouvoirs réflecteurs différents des particules des nuages, produites par des substances dont les indices de réfraction diffèrent entre eux.

En outre, ces nuages possèdent des degrés très-divers de stabilité : quelques-uns s'évanouissent rapidement, tandis que d'autres persistent pendant plusieurs minutes dans le tube à expériences, et reposent sur le fond de ce tube où ils se dissolvent comme un amas de neige. Les particules d'autres nuages se traînent le long du tube à expériences comme si elles se mouvaient à travers un milieu visqueux.

Rien ne surpasse la splendeur des phénomènes de diffraction présentés par quelques-uns de ces nuages ; les couleurs se voient mieux lorsqu'on les regarde, suivant la longueur du tube à expériences, d'un point au-dessus de lui, la face tournée vers le foyer d'éclairement. Les mouvements différentiels, déterminés par le frottement contre la surface intérieure, déterminent souvent les couleurs à se disposer en couches distinctes.

La différence de texture présentée par des nuages différents m'a engagé à examiner, avec plus d'attention que je ne l'avais fait auparavant, le mécanisme de leur formation. Une certaine expansion est nécessaire pour précipiter le nuage ; dans l'instant qui précède sa précipitation, la masse d'air et de vapeur refroidie peut être considérée comme partagée en un certain nombre de polyèdres ; et les molécules se meuvent sur les surfaces limites des polyèdres, dans des sens contraires, lorsque la précipitation se produit. Chaque particule de nuage a consommé un polyèdre de vapeur dans sa formation, et

il est évident que le volume de la particule doit dépendre non-seulement du volume du polyèdre de vapeur, mais encore du rapport de la densité de la vapeur à celle du liquide. Si la vapeur est légère et le liquide lourd, toutes choses égales d'ailleurs, la particule du nuage doit être plus petite que si la vapeur était lourde et le liquide léger. Il doit y avoir évidemment plus de contraction dans un cas que dans l'autre : ces considérations se sont trouvées justifiées dans toutes les expériences ; le cas du toluol peut être pris comme le type d'un grand nombre d'autres. La densité de ce liquide est 0,85, celle de l'eau étant prise pour unité ; la densité de sa vapeur est 3,26, et celle de la vapeur aqueuse 0,6. Cela posé, comme le volume des particules d'un nuage est directement proportionnel à la densité de la vapeur et inversement proportionnel à la densité du liquide, un calcul facile prouve qu'en supposant que le volume du polyèdre de vapeur est le même dans les deux cas, le volume de la particule du nuage de toluol doit être plus de six fois aussi grand que le volume du nuage d'eau. Il est probablement impossible de résoudre cette question avec une exactitude mathématique ; mais on reconnaît à l'œil nu, d'une manière très-frappante, que le nuage de toluol est comparativement très-dense. Ce cas, comme je l'ai dit, peut servir de type pour tous les autres.

Dans le fait, la vapeur aqueuse ne peut se comparer avec les autres ; elle n'est pas seulement la plus légère de toutes les vapeurs, dans l'acception ordinaire du mot, elle est encore le plus léger de tous les gaz, à l'exception de l'hydrogène et du gaz ammoniac. On doit attribuer principalement à cette circonstance la beauté douce et tendre des nuages de notre atmosphère.

On peut conclure la *sphéricité* des particules des nuages de la manière dont elles se comportent sous l'influence du faisceau lumineux. La lumière qu'elles répandent est continue lorsqu'elles sont sphériques ; mais des nuages

peuvent aussi se précipiter sous forme de particules plates, et alors le scintillement incessant du nuage fait voir que ces particules sont des plans et non des sphères. Quelques parties du même nuage peuvent être composées de particules sphériques, d'autres de plaques, et la différence est tout d'abord indiquée par l'*état calme* d'une portion du nuage, par l'*état changeant* d'une autre. Le scintillement de ces plaques m'a rappelé les plaques de mica du fleuve du Rhône, à son entrée dans le lac de Genève, lorsqu'elles sont vivement éclairées par un soleil brillant.

IV. — Sur la poussière atmosphérique et les maladies

Conférence faite par M. Joux TYNDALL, à l'Institution royale de Londres, le 21 janvier 1870.

La lumière solaire, en passant à travers une chambre obscure, révèle sa trace en illuminant la poussière qui flotte dans l'air. Le soleil, dit Daniel Culverwel, découvre des atomes, alors même qu'ils sont invisibles à la lumière d'une bougie, et les fait danser nus au sein de ses rayons.

Dans mes recherches sur la décomposition de la vapeur par la lumière, je me vis forcé d'écarter ces *atomes* et cette *poussière* ; il était essentiel que l'espace contenant les vapeurs ne comprît aucun élément visible ; que toute substance capable de disperser la lumière dans le plus petit degré de sensibilité fût rigoureusement exclue dans chaque expérience du tube traversé par le faisceau lumineux.

Pendant très-longtemps je fus troublé par l'apparition au sein de ce tube de poussière flottante, invisible à la lumière diffuse, mais dont un rayon de lumière fortement condensée révélait la présence. Deux tubes furent placés successivement sur le passage de la poussière ; l'un contenait des fragments de verre mouillés avec de l'acide sulfurique concentré ; l'autre contenait des fragments de marbre mouillés avec une forte solution de potasse caustique.

A mon grand étonnement, la poussière passa à travers le tube, résistant à l'acide et à l'alcali. L'air de

Royal-Institution envoyé à travers ces tubes, assez lentement pour qu'on eût le temps de le sécher et de lui enlever son acide carbonique, amenait dans le tube à expériences une quantité considérable de matière mécaniquement suspendue, qui s'illuminait lorsque le faisceau lumineux pénétrait dans le tube. L'effet était substantiellement le même que lorsqu'on permettait à l'air de passer bulle à bulle à travers le liquide acide ou la solution de potasse. C'est ainsi que le 5 octobre 1868, je fis passer deux charges successives d'air à travers la potasse et l'acide sulfurique dans le tube expérimental vide; antérieurement à l'admission de l'air, le tube avait été *vidé optiquement*; il ne contenait rien qui fût capable de disperser la lumière; après que l'air fut entré dans le tube, la trace conique du faisceau de lumière électrique révélait clairement sa présence dans tous les cas. A l'époque à laquelle je me reporte, cette observation était pour moi une observation de tous les jours.

J'essayai d'intercepter cette matière flottante de diverses manières, et le jour dont je viens de rappeler la date, avant d'envoyer l'air dans l'appareil dessiccateur, je le faisais passer avec soin sur la flamme d'une lampe à esprit-de-vin. La matière flottante n'apparaissait plus, sans doute parce qu'elle avait été brûlée par la flamme; c'était par conséquent de la matière organique.

Lorsque l'air avait été envoyé trop rapidement à travers la flamme, on retrouvait dans le tube à expériences un nuage bleu très-fin. C'était la fumée des particules de la matière organique. Je n'étais nullement préparé à ce résultat, car j'avais pensé avec le reste de l'univers que la poussière de notre air était en grande partie inorganique et non combustible.

M. Valentin eut la bonté de me procurer un petit fourneau à gaz, contenant un tube de platine, que l'on pouvait chauffer au rouge blanc. Le tube renfermait en outre un rouleau de toile en fil de platine qui, tout en livrant

passage à l'air, assurait le contact parfait de la poussière avec le métal incandescent. On laissait l'air du laboratoire entrer dans le tube à expériences, quelquefois à travers le tube froid, d'autres fois à travers le tube chaud de platine. On faisait aussi varier la rapidité de l'écoulement. La première colonne du tableau suivant exprime en nombre de pouces cubes la quantité d'air envoyée dans le tube par la pompe à mercure calibrée; la seconde colonne, l'état froid et chaud du tube de platine; la troisième enfin, l'état de l'air entré dans le tube.

Quantité d'air. État du tube de platine. État du tube.

15	pouces	froid	plein de particules
15	»	chauffé au rouge	vide optiquement
15	»	froid	plein de particules
15	»	chauffé au rouge	vide optiquement
15	»	froid	plein de particules
15	»	chauffé au rouge	vide optiquement.

La phrase *vide optiquement* exprime que lorsque les conditions d'une combustion parfaite sont réalisées, la matière flottante disparaît entièrement. Elle était complètement brûlée, et ne laissait aucune trace de résidu. Cependant l'analyse spectrale nous apprend que de la soude flotte dans l'air. Je pense que les particules de poussière organique sont les radeaux qui la portent, et que quand elles sont écartées la soude tombe et s'évapore.

Lorsque le passage de l'air est assez rapide pour rendre imparfaite la combustion de la matière flottante, on voit apparaître dans le tube à expériences, à la place du vide optique, un nuage bleu très-fin. Cette particularité est mise en évidence par la série suivante d'expériences.

Quantité d'air. Tube de platine. Tube à expériences.

15 p ^{ces}	lent ^t	froid	plein de particules
15 »	lent ^t	chauffé au rouge	vide optiquement
15 »	vite	<i>Idem.</i>	nuage bleu
15 »	vite	intensivement chaud	fin nuage bleu.

Le caractère optique de ces nuages est totalement différent de celui de la poussière qui les produit; ils émettent de la lumière parfaitement polarisée à angle droit avec le rayon qui les éclaire. Le nuage peut être entièrement éteint par un prisme de Nicol transparent et le tube ramené au vide optique parfait. Quand il fut ainsi prouvé que les particules qui flottent dans l'atmosphère de Londres sont de nature organique, j'essayai de les brûler au foyer d'un miroir concave. J'employai à cet effet un des puissants miroirs convergents qui avaient déjà servi à mes expériences sur la combustion par les rayons obscurs; mais je ne réussis pas dans mes essais. Sans doute que les particules flottantes sont transparentes en partie à la chaleur rayonnante, ou qu'elles sont tout à fait incombustibles par ce genre de chaleur. Leur passage rapide à travers le foyer aide sans doute à les faire échapper à la combustion. Elles n'y font pas un assez long séjour pour y être consumées, il était évident qu'une flamme les brûlerait, mais je craignais que la présence de la flamme masquât l'action exercée par la lumière sur les particules.

Je plaçai une lampe à esprit-de-vin allumée au sein d'un faisceau cylindrique qui illuminait fortement la poussière du laboratoire. Mêlée à la flamme et tout autour de son bord extérieur, on voyait un tourbillon d'obscurité ayant l'apparence d'une fumée intensivement noire. Lorsqu'on abaissait la flamme au-dessous du faisceau, ces mêmes masses sombres s'élevaient brusque

ment. Elles étaient quelquefois plus noires que les plus noires des fumées que j'aie vu sortir de la cheminée d'un bateau à vapeur, et leur ressemblance avec la fumée était si parfaite qu'elle conduisait l'observateur le plus exercé à conclure que la flamme, en apparence si pure, de la lampe à alcool n'avait besoin que d'être éclairée par un rayon d'intensité suffisante pour révéler la présence de ses nuages de charbon mis en liberté.

Mais cette noirceur est-elle de la fumée? Cette question se présentait d'elle-même à l'esprit. Je plaçai un fer chauffé au rouge au-dessous du faisceau lumineux, et je constatai qu'une guirlande noire s'en échappait aussi en montant. Je remplaçai le fer par une flamme d'hydrogène, elle produisit les masses noires tourbillonnantes en bien plus grande abondance que la flamme d'esprit-de-vin et que le fer chauffé au rouge. Il ne pouvait plus dès lors être question de fumée.

Qu'étaient donc ces masses noires? c'était simplement le noir des espaces stellaires; c'est-à-dire l'obscurité résultant de l'absence, sur la trace du faisceau, de toute matière apte à disperser la lumière. Lorsque l'on plaçait la flamme au-dessous du faisceau, la matière flottante était brûlée sur place, et l'air libéré de cette matière montait dans le faisceau, rejetait de côté les particules illuminées et substituait à leur lumière leur obscurité propre due à leur transparence parfaite. Rien ne pourrait mettre en évidence d'une manière plus concluante l'invisibilité de l'agent qui rend toutes choses visibles.

Le faisceau franchissait, sans être vu, l'abîme sombre formé par l'air transparent, tandis que des deux côtés de cette crevasse les particules dru-semées brillaient semblables à des solides éclairés par une illumination intense.

Mais ici nous rencontrions une difficulté. Il n'est pas nécessaire de brûler les particules pour produire un

courant d'obscurité. On peut, sans combustion actuelle, engendrer des courants qui excluraient la matière flottante et feraient par conséquent apparaître des places obscures au sein de l'éclat environnant. Je produisis d'abord cet effet en plaçant une boule de cuivre chauffée au rouge au-dessous du faisceau, et la laissant en place jusqu'à ce que la température fût tombée au-dessous de celle de l'eau bouillante. Les courants noirs, quoique beaucoup plus faibles, ne cessèrent pas d'être produits. Ils purent aussi être produits avec une bouteille remplie d'eau chaude.

Pour mieux étudier l'effet produit, je fis traverser le faisceau par un fil tendu de platine et je mis les deux extrémités du fil en communication avec les pôles d'une pile voltaïque. Afin de régler à volonté la force du courant, j'installai un rhéostat dans le circuit. Commencant par un courant faible, j'augmentai de plus en plus la température du fil; mais avant qu'il eût atteint le point d'ignition, il s'en échappa par ascension un courant d'air plat qui, vu par son bord, se montrait plus noir et mieux défini que l'une des raies les plus noires de Fraunhofer, dans le spectre solaire. A droite et à gauche de cette bande obscure verticale, s'élève la matière flottante, délimitant d'une manière très-nette le courant d'air non lumineux. Comment expliquer ce phénomène? D'une manière bien simple: le fil chaud raréfie l'air qui le touche, mais il ne rend pas aussi légère la matière flottante. Le courant ascendant d'air pur monte donc à *travers les particules*, les entraînant après lui à droite et à gauche, mais formant entre elles une ligne noire de séparation qu'elles ne franchissent pas. Nous nous expliquons ainsi ces courants obscurs produits par des corps à une température inférieure à celle de leur combustion.

L'oxygène, l'hydrogène, l'azote, l'acide carbonique préparés de manière qu'ils ne contiennent pas du tout de

particules flottantes, produisent l'obscurité lorsqu'on les verse ou qu'on les projette dans le faisceau. Le gaz d'éclairage produit le même effet. Si l'on place dans l'air une cloche ordinaire de verre, l'ouverture en bas sur le passage du faisceau, on voit la trace de ce faisceau qui la traverse. Si l'on introduit du gaz d'éclairage ou de l'hydrogène dans la cloche avec un tube qui arrive jusqu'en haut, le gaz la remplit graduellement du haut en bas. Aussitôt qu'il arrive dans l'espace traversé par le faisceau, la trace lumineuse s'évanouit. Mais si on soulève la cloche de manière que la surface qui sépare le gaz de l'air soit au-dessus du faisceau, la trace de celui-ci reparaît aussitôt.

Lorsque la cloche est pleine, si on la renverse, le gaz monte comme une fumée noire à travers les particules éclairées.

L'air de nos appartements de Londres est chargé de cette poussière organique, et l'air libre de la campagne n'en est pas exempt. La lumière ordinaire du jour peut la dissimuler ; mais un faisceau suffisamment puissant la fait paraître comme un corps à demi solide plutôt que comme un gaz, l'air dans lequel la poussière est tenue en suspension. Personne ne pourrait placer sans répugnance sa bouche au foyer éclairé du faisceau électrique, et respirer les ordures qu'il met en évidence. On ne se guérirait même pas du dégoût par la réflexion que, quoique nous n'apercevions pas ces impuretés, nous les faisons passer et repasser sans cesse dans nos poumons à chaque heure, à chaque minute de notre vie.

Le contact avec ces impuretés se fait sans relâche, et ce qu'il y a d'étonnant, ce n'est pas que nous devions souffrir de temps en temps de leur présence, mais qu'une si petite portion de matière puisse devenir mortelle à l'homme.

Et quelle est cette portion ? C'était, il y a quelque

temps, une croyance commune que les maladies épidémiques étaient généralement propagées par une sorte de *malaria* consistant en une matière organique à l'état de putréfaction ; que lorsqu'une pareille matière était introduite dans le corps par les poumons ou par la peau, elle avait la propriété d'y faire naître la décomposition qui l'avait atteinte elle-même. Une propriété de cette nature s'exerçait visiblement dans le cas de la fermentation. On voyait un peu de levain faire fermenter toute la masse ; une seule particule de matière, dans cet état supposé de décomposition, paraissait capable de propager indéfiniment sa propre décomposition. Pourquoi une petite portion d'air corrompu n'opérerait-elle pas d'une manière semblable dans l'organisme humain ?

En 1836, une admirable réponse a été faite à cette question. Dans le courant de cette année, Cagnard de la Tour a découvert la plante de la levure, organisme vivant qui, placé dans un milieu convenable, se nourrit, se développe, se reproduit, et opère ainsi ce que nous appelons la fermentation. Il fut alors prouvé que la fermentation est un produit de la vie, au lieu d'être un effet de décomposition.

Schwann, de Berlin, découvrit aussi de son côté la plante de la levure ; il annonça en février 1837 le fait important que, quand on met une décoction de viande parfaitement à l'abri de l'air ordinaire, et qu'on la laisse seulement au contact d'un air porté d'abord à une haute température, elle n'est jamais envahie par la putréfaction. Il osa affirmer par conséquent que la putréfaction est produite par quelque chose qui vient de l'air, et que ce quelque chose peut être détruit par une température suffisamment élevée. Les expériences de Schwann ont été répétées et confirmées par Helmholtz et Ure. Mais pour ce qui regarde la fermentation, les esprits des chimistes subissant probablement l'influence de la grande autorité de

Gay-Lussac, qui attribuait la putréfaction à l'action de l'oxygène, revinrent à l'ancienne idée d'une matière à l'état de décomposition. Ce n'était pas la plante vivante, mais les parties mortes ou très-malades du levain qui, assaillies par l'oxygène, produisaient la fermentation.

Cette théorie a été définitivement renversée par M. Pasteur : il a prouvé que ce qu'on appelait *ferments* n'était pas ce que l'on pensait ; que les vrais ferments étaient des êtres organisés qui trouvaient leur aliment nécessaire dans les prétendus ferments.

A côté de ces recherches et de ces découvertes, appuyée par elles et par d'autres encore, s'est développée la *théorie des germes* des maladies épidémiques. Kircher a le premier exprimé l'idée, adoptée ensuite par Linnée, que les maladies épidémiques avaient pour cause des germes flottants dans l'atmosphère, entrant dans le corps et y produisant des troubles par le développement de parasites vivants. Tandis que cette théorie luttait encore contre d'imposantes autorités, elle a trouvé un interprète et un défenseur dans le président de cette institution. A une époque où la plupart de ses confrères du corps médical la considérait comme une rêverie extravagante, sir Henry Holland soutenait qu'il y avait probablement du vrai dans la théorie des germes. Ce qui fait la force de cette théorie, c'est le parallélisme parfait que l'on observe entre les phénomènes des maladies contagieuses et ceux de la vie. De même qu'un gland planté en terre donne naissance à un chêne capable de produire une abondante récolte de glands, qui ont chacun la propriété de reproduire à leur tour un arbre semblable à celui d'où ils sont sortis, et de former ainsi une forêt tout entière, issue d'une seule plante, de même ces maladies épidémiques répandent littéralement leurs semences ; celles-ci se développent et produisent de nouveaux germes ; ceux-ci, rencontrant dans le corps humain l'aliment et la température qui leur

conviennent, prennent enfin possession de populations entières.

Ainsi, le choléra asiatique ayant pris de faibles commencements dans le delta du Gange, est arrivé en dix-sept ans à se répandre presque sur toute la terre habitée.

Un autre exemple de ce genre de propagation est le développement d'un grand nombre de pustules provenant d'une particule infinitésimale du virus de la petite vérole, pustules chargées toutes du poison qui leur a donné naissance.

La réapparition du fléau, comme dans le cas du *Dreadnought* à Greenwich, si habilement décrit par le docteur Budd et M. Busk, trouve une explication satisfaisante dans la théorie qui l'attribue au séjour prolongé de germes dans la localité infectée.

Les chirurgiens connaissent depuis longtemps le danger de laisser pénétrer l'air dans un abcès ouvert. Pour empêcher son entrée, ils emploient un tube appelé canule, à laquelle est attachée une pointe effilée d'acier appelée trocart. Ils font une ponction avec la pointe d'acier, et en pressant légèrement, ils forcent le pus de sortir par la canule. Il est nécessaire de nettoyer l'instrument avec le plus grand soin; il est même difficile de comprendre comment il peut être nettoyé par les moyens ordinaires dans un air chargé d'impuretés organiques, comme nous avons prouvé qu'il l'était.

Dans le fait, l'instrument devrait être chauffé à la plus haute température que sa trempe puisse supporter; mais on ne le fait pas, et de là vient que, malgré tous les soins du chirurgien, une inflammation commence souvent après la première opération, rendant nécessaire une seconde et une troisième. On observe qu'une putréfaction rapide accompagne cette nouvelle inflammation. En outre le pus, qui d'abord était sans odeur et n'offrait aucune

trace de vie animale, est maintenant fétide et fourmille de petits organismes actifs appelés vibrions. M. le professeur Lister, qui, dans une leçon faite récemment, citait le fait dont je me suis fait l'écho, soutient avec toute apparence de raison que cette putréfaction rapide et ce développement étonnant de la vie animale sont causés par l'entrée de germes dans l'abcès pendant la première opération, et que ces germes y ont trouvé les conditions de nourriture et de température favorables à leur développement et à leur multiplication. Le célèbre physiologiste et physicien Helmholtz est attaqué annuellement de la fièvre des foies (*hay fever*). Du 20 mai à la fin de juin, il souffre d'un catarrhe des voies aériennes supérieures; et il a reconnu que pendant cette période, non pendant une autre, les sécrétions nasales étaient peuplées de ces vibrions. Ils paraissent se nicher de préférence dans les cavités et les enfoncements du nez, car un éternuement vigoureux est nécessaire pour les déloger. Il n'est pas fort agréable d'apprendre ces choses, mais lorsqu'on a découvert un ennemi, on peut le combattre. Quand l'aigle a bien reconnu sa proie, sa force est doublée, et son vol parfaitement assuré. S'il est prouvé que la théorie des germes soit vraie, elle donnera à nos efforts pour combattre le mal une direction précise qu'il ne pouvait pas avoir auparavant. C'est seulement en travaillant exactement sur ses indications qu'on pourra établir sa vérité ou sa fausseté.

Il est difficile à un profane comme moi de lire sans une émotion sympathique des mémoires comme ceux du docteur Budd, de Bristol, sur le choléra, la fièvre scarlatine et la petite vérole; c'est un homme d'imagination puissante, qui peut quelquefois s'élancer au delà des faits; mais sans cette chaleur dynamique du cœur, on ne pourrait triompher de la stoïque inertie du Breton, né libre. D'ailleurs, tant que cette chaleur excessive est mise au service de la vérité, que cet enthousiasme peut rache-

ter des méprises par des exemples incontestables de succès, je suis disposé à laisser un champ libre à son activité et à lui souhaiter une heureuse issue.

Mais revenons à notre poussière. Il n'est pas nécessaire de faire remarquer qu'on ne peut pas la chasser avec un soufflet ordinaire; ou pour parler plus exactement, que les particules chassées dans ce cas seront remplacées par d'autres particules sortant du soufflet, de sorte que la trace du faisceau ne sera pas altérée. Mais si le tuyau d'un bon soufflet est rempli d'une ouate de coton qui ne soit pas trop serrée, l'air qui traversera le coton sera filtré et débarrassé de la matière flottante; il formera alors une bande obscure nette dans la poussière éclairée. Tel était le filtre employé par Schröder dans ses expériences sur la génération spontanée, et il a figuré ensuite dans les excellentes recherches de M. Pasteur. Je m'en suis servi moi-même constamment en 1868.

Mais la respiration de l'homme offre l'exemple de beaucoup le plus intéressant et le plus important de ce procédé de filtration. Je remplis mes poumons d'air ordinaire et je souffle par un tube de verre à travers le faisceau de lumière électrique. La condensation de la vapeur aqueuse de l'haleine se révèle par la formation d'un nuage blanc lumineux, d'une texture délicate. Il faut détruire le nuage, et on peut le faire en desséchant d'abord l'haleine avant de l'introduire dans le faisceau, ou bien, ce qui est plus simple, en chauffant le tube de verre; alors la trace lumineuse du faisceau reste un peu de temps sans être interrompue; l'haleine imprime à la matière flottante un mouvement transversal. Mais la poussière qui sort des poumons remplace les particules déplacées. Au bout de quelque temps on voit apparaître sur le faisceau un disque sombre dont l'obscurité augmente jusqu'à ce que finalement, vers la fin de l'expiration, le

faisceau semble comme percé d'un trou d'un noir intense, dans lequel on ne peut discerner aucune particule. En effet, l'air a si bien logé ses impuretés dans les poumons, que les dernières parties de l'haleine expirée sont absolument privées de matières en suspension. On peut répéter cette expérience avec le même résultat, autant de fois que l'on voudra. Elle rend la distribution des impuretés dans les poumons aussi évidente que si la poitrine était transparente.

Maintenant j'expulse l'air de mes poumons aussi complètement que possible, et en appliquant une poignée de coton contre ma bouche et mes narines, j'aspire l'air à travers ce coton ; il n'est pas difficile de remplir ainsi les poumons d'air. Quand on expire cet air par un tube de verre, on voit avec évidence qu'il ne contient aucune matière flottante. Dès le commencement de cette série d'expirations, le faisceau est percé d'un trou noir. La première bouffée sortie des poumons fait disparaître la poussière éclairée et met à sa place une tache obscure ; l'obscurité continue pendant tout le temps que dure l'expiration. Lorsqu'on met le tube au-dessus du faisceau et qu'on le fait aller et venir, il se produit la même apparence de fumée que lorsqu'on observe une flamme ; en un mot, quand on emploie le coton en quantité suffisante, il intercepte la matière de l'air qu'on aspire dans les poumons.

Nous avons révélé ici la véritable raison philosophique d'une pratique suivie par les médecins, plus par instinct que par une connaissance réelle. Dans une atmosphère contagieuse, ils tiennent un mouchoir contre leur bouche et respirent à travers. En faisant ainsi, ils arrêtent, sans le savoir, les impuretés et les germes de l'air. Si le poison était un gaz, il ne serait pas intercepté par ce moyen. Après avoir été témoin de mes expériences avec le coton, M. le docteur Bence-Jones les répéta aussitôt avec un mouchoir de soie ; le résultat fut substantiellement le

même, quoique, comme on pouvait s'y attendre, le coton soit un filtre bien plus efficace.

L'application de ces moyens est évidente; si un médecin veut préserver ses poumons, ou ceux de ses malades, des germes par lesquels on dit qu'une maladie contagieuse se propage, il se servira d'un respirateur de coton. Après les révélations de cette soirée, des respirateurs de cette espèce deviendront, je pense, d'un usage général pour se garantir contre la contagion. Dans les demeures où sont entassés les pauvres de Londres, et où il est difficile, sinon impossible, d'isoler les malades, l'air nuisible qui environne le malade peut être suffisamment purifié par ce simple moyen. Les infirmiers peuvent respirer impunément l'air filtré de cette manière. Suivant toute probabilité, la protection des poumons sera la protection de tout le système, car il est extrêmement probable que les germes qui se logent dans les voies aériennes et qui peuvent à loisir pénétrer à travers la membrane muqueuse, sont ceux qui engendrent dans le corps les maladies épidémiques. S'il en est ainsi, on peut certainement se garantir de la maladie par des filtres de coton. J'essayerai très-volontiers leur efficacité sur ma propre personne. Le temps décidera si, dans de longues maladies, le respirateur de coton ne pourrait pas calmer l'irritation ou peut-être arrêter le dépérissement. Au moyen de ce respirateur, on pourrait respirer dans la chambre d'un malade un air aussi pur de germes que l'air des sommets les plus élevés des Alpes.

V. — Sur les matières flottantes et le rayon de lumière

Par M. JOHN TYNDALL (Nature, 17 mars 1870).

Des rayons de lumière ont été employés à révéler l'existence des matières flottantes dans l'air, de même que l'on a fait servir les matières flottantes à la révélation de la marche des rayons de lumière ; lorsque le rayon est intense, il devient un chercheur, ou un très-puissant révélateur de l'état de l'air ; ainsi examiné, l'air d'une chambre qui, à la lumière diffuse, apparaît absolument pur, se montre chargé de matières en suspension. Beaucoup des fins nuages développés dans mes expériences relatives à l'action de la lumière sur les vapeurs, disparaissent entièrement au sein de la lumière diffuse ; tandis que, lorsque la chambre est rendue sombre, et que la lumière d'un rayon intense n'éclaire que les nuages eux-mêmes, ils apparaissent aussitôt grandement lumineux. L'œil est alors le véritable agent de la révélation ; rendu sensible par l'obscurité, et ne recevant de lumière que des seules matières flottantes, la quantité de lumière suffisante à produire un effet sensible peut devenir infiniment petite. L'aptitude de la lumière à produire des impressions est en outre accrue par l'extension donnée au corps qui l'émet. La mobilité de ces nuages actiniques est, dans certains cas, tout à fait extraordinaire.

Les différences de température, déterminées par le seul acte de la décomposition, amènent souvent ces nuages à prendre des formes d'une complexité et d'une beauté

étonnantes. Les nuages qui se forment ainsi d'eux-mêmes par action interne sont aussi excessivement sensibles aux actions externes. Supposons qu'un fin nuage actinique remplisse le tube à expériences, et que la masse entière soit éclairée par un rayon de lumière traversant le tube longitudinalement ; un instant de contact entre le sommet de la flamme d'une lampe à esprit-de-vin et la surface inférieure du tube détermine le nuage à éclater en haut sous forme de violent courant, et à tourner sur lui-même, à droite et à gauche de la verticale, en magnifiques tourbillons. La rapidité avec laquelle la chaleur passe à travers le verre épais et met le nuage en mouvement, est surprenante. La chaleur du doigt suffit à produire un effet plus faible, il est vrai, mais substantiellement le même que celui produit par la lampe à esprit-de-vin.

De fait, la matière flottante de l'air, proprement illuminée, peut être convertie en un thermoscope d'une délicatesse extrême. J'avais fait diffuser au sein d'un tube la fumée née de la combustion d'un petit morceau de papier brun d'emballage, et je constatai que la trace d'un rayon lumineux qui la traversait était beaucoup plus blanche que la trace de ce même rayon dans l'air ; de sorte que l'invasion d'un air sans fumée peut devenir instantanément visible. Lorsqu'on approchait la main de la base de l'ombre, on voyait se produire immédiatement un violent soubresaut de l'air. La fumée était agitée d'un mouvement vif de rotation ; les tourbillons étaient distinctivement indiqués par l'action différente de la lumière sur l'air enfumé et sur l'air sans fumée ; je n'étais nullement préparé à voir une si petite différence de température produire un effet si prompt et si grand. Il n'est même pas nécessaire d'introduire de l'air étranger obscur pour rendre visibles les courants à travers la matière nébuleuse.

Lorsque le courant de fumée se contourne pour former

un cyclone, l'air environnant se contourne aussi pour produire des spirales obscures à travers le nuage illuminé.

Feu M. le principal Forbes a souvent fait allusion à l'écume qui flotte sur l'eau coulant lentement dans un canal, et dont les portions latérales sont retardées par le frottement. Cette écume ou mousse se dispose d'elle-même en stries ou bandes distinctes séparées les unes des autres par des intervalles libres relativement plus étroits. Il est pratiquement impossible d'établir des mouvements différentiels au sein des liquides ou des solides, sans produire quelque effet de ce genre. On le retrouve dans le fer fibreux comme dans l'atmosphère où des courants de vitesses différentes font naître des bandes de cirrus. J'ai souvent surveillé la manière dont les matières en suspension dans le torrent trouble de l'Arve à Chamouni se dessinent elles-mêmes au sein de l'eau. Nonobstant le choc subi dans sa chute par la source de l'Arve, ce mélange de limon et de liquide n'est nullement parfait. De fait, chaque nouvel obstacle qui amène un mouvement différentiel amène aussi des stries et détruit l'uniformité du mélange. Il y a cinq ou six semaines, j'ai fait construire une chambre carrée, vitrée dans sa moitié supérieure et dont le plancher est formé de rails traversaux sur lesquels on étend une natte épaisse de ouate de coton. La chambre a une cheminée en laiton, au sein de laquelle on peut faire brûler un bec de gaz en forme de rose. Il s'établit ainsi dans la cheminée un courant ascendant, l'air de dessous entrant dans la chambre à travers la ouate pour prendre la place de celui qui est enlevé par la flamme. Lorsque la chambre est pourvue de sa provision d'air ordinaire, le rayon de lumière qui la traverse dessine sa trace sur les matières flottantes. Si alors le bec vient à être allumé, l'air pénètre à travers la ouate. Des stries parfaitement sombres traversent la

trace lumineuse, se recourbant quelquefois et se contournant de manière à former des courants d'obscurité infléchis avec grâce; même lorsque l'air est injecté par la bouche d'un soufflet à travers la surface lumineuse, il montre une tendance à former ces mêmes stries, quoique, comme l'eau de l'Arve à Chamouni, l'air injecté soit rempli de la même matière flottante que celle de l'air à travers lequel on l'envoie.

Dans ma leçon du 21 janvier, j'ai décrit une série d'expériences et j'ai essayé de les expliquer. (V. page 55.)

On a trouvé que l'explication était entourée de difficultés. Lorsque le fil est chauffé à blanc, il lance en haut une bande d'obscurité intense; ceci, ai-je dit, est dû à la *destruction* de la matière flottante. Mais, alors que la température n'excède pas celle de l'eau bouillante, le fil ne cesse pas de produire un courant obscur ascendant; cet effet, ai-je répondu, est dû à la *distribution* de la matière flottante. La difficulté à laquelle je fais allusion vient probablement de la brièveté de mon explication. Imaginons le fil plongé dans l'air plein d'atomes, mon idée est qu'il chauffe l'air et qu'il le rend plus léger, sans rendre légère au même degré la matière flottante; sa tendance, par conséquent, est de déterminer un courant d'air pur à travers l'air rempli d'atomes. Figurez-vous ce mouvement de l'air tout autour du fil. En le regardant par la section transversale, nous verrions au bas du fil l'air s'incliner à droite et à gauche, former deux branches de courants ascendants le long de ses flancs, et se courber pour remplir le vide partiel créé au-dessus du fil. Cela posé, à mesure que chaque provision nouvelle d'air rempli d'atomes arrive en contact avec le fil chaud, l'air pur, comme il vient d'être dit, est d'abord lancé à travers les atomes inertes. Ceux-ci sont entraînés à leur tour après l'air pur; mais il s'est formé une frange d'air pur en avance sur les atomes. Les deux

tranges purifiées des deux branches du courant se réunissent au-dessus du fil, et laissent à droite et à gauche les atomes qui leur ont autrefois appartenu; elles forment par leur union la bande obscure observée dans l'expérience. Cet effet se renouvelle incessamment. Toujours au moment où l'air rempli d'atomes touche le fil, cette distribution se produit. Si l'air et les particules situées au-dessous du fil pouvaient traverser la masse, nous aurions un courant vertical de particules, mais pas de bandes obscures. Car alors, quoique les atomes restent en arrière au départ, chauffés, ils suivraient le courant ascendant et dissiperaient l'obscurité.

J'ai dit que lorsque le fil de platine est intensivement chauffé, la matière flottante est non-seulement distribuée, mais détruite; en voici la preuve :

J'étendis un fil d'environ quatre pouces de long à travers l'air d'un globe ordinaire en verre, debout sur sa base. Cette base inférieure reposait sur de la ouate qui entourait aussi son bord.

Le fil était chauffé à blanc par un courant électrique. L'air se dilatait, une partie était forcée de traverser la ouate de coton, tandis que, lorsque le courant était interrompu et l'air au sein du globe refroidi, l'air expulsé à son retour n'emportait plus d'atomes avec lui. Au commencement de cette expérience, le globe était chargé de matière flottante. Après une demi-heure, il était optiquement vide.

Sur la base en bois d'un globe en verre de onze pouces et demi de côté, je fixai des supports verticaux, et d'un support à l'autre je tendis trente-trois pouces de fil de platine sur quatre lignes parallèles. Les extrémités du fil de platine furent soudées à deux gros fils de cuivre qui passaient à travers la base du globe, et pouvaient être mis en communication avec les pôles d'une pile. Comme dans la dernière expérience, le globe reposait sur

de la ouate de coton. Un rayon envoyé à travers le globe révélait la présence de la matière en suspension. On chauffait alors au blanc le fil de platine ; après cinq minutes, on constatait une diminution sensible de matière flottante, et, dix minutes après, elle était complètement consumée. Ceci prouve que lorsque le fil de platine est suffisamment chaud, la matière flottante, au lieu d'être distribuée, est détruite.

Mais la matière flottante n'est-elle pas en réalité d'un caractère tel qu'elle puisse être détruite aussi par le fil de platine modérément chauffé ? Voici la réponse :

1° Un tube de platine, avec son orifice recouvert de gaze de platine, était relié à un tube à expériences à travers lequel on pouvait faire passer un rayon lancé par une lampe électrique dressée vers son extrémité. On chauffait le tube de platine jusqu'à ce qu'il rougît faiblement, mais distinctement dans l'obscurité. On faisait alors le vide dans le tube à expériences, et on le remplissait d'air qui avait passé à travers le tube chauffé.

Le rayon de lumière électrique révélait la présence d'une quantité considérable de matière flottante qui avait échappé à la combustion.

2° Le tube était chauffé au rouge le plus brillant, et on faisait en sorte que l'air le traversât lentement. Quoique diminuée en quantité, la matière flottante se montrait encore cependant dans le tube expérimental vide.

3° On éleva encore la température du tube de platine ; il ne passait plus dans le tube que des traces imperceptibles de matière flottante.

4° On répéta l'expérience avec cette différence que l'air passait plus lentement à travers le tube chauffé au rouge ; la matière flottante était complètement détruite.

5° La température du fil de platine était alors abaissée

jusqu'à ce qu'il n'émit plus qu'une chaleur à peine visible. L'air qui le traversait passait plus lentement encore que dans la dernière expérience, et cependant il entraînait avec lui un nuage de matière flottante. Si donc la matière en suspension est détruite par une chaleur rouge clair, elle sera à plus forte raison détruite par une flamme dont la température est beaucoup plus élevée que celle employée dans les expériences précédentes; de sorte que l'obscurité introduite dans le faisceau lumineux qui passe au-dessous d'une flamme est bien due, comme on l'a établi, à la destruction de la matière en suspension. A une chaleur rouge sombre, cependant, et plus encore à la chaleur limite du rouge, le tube de platine permet aux atomes de passer librement. Dans ce dernier cas, la température est de 450 à 500°, et elle ne suffirait pas à détruire la matière en suspension; à bien plus forte raison, par conséquent, un fil de platine chauffé à 100° sera-t-il impuissant. Un semblable tube peut donc la distribuer, mais non pas la détruire.

La poussière flottante est révélée par une illumination locale intense. Elle est vue par contraste avec les espaces adjacents non illuminés; plus l'illumination est brillante, plus la différence est sensible. Cela posé, le faisceau employé dans les expériences précédentes n'a pas le même éclat dans toute sa section transversale. Si l'on fait passer rapidement à travers le faisceau une badine blanche ou un couteau à papier en ivoire, l'impression de cette section persiste sur la rétine. La section semble flotter un moment dans l'air comme un cercle lumineux dont le bord est plus brillant que la partie centrale. L'intérieur du faisceau paraît ainsi être renfermé dans une gaine très-lumineuse. Un effet complémentaire de celui-ci s'observe quand le faisceau est coupé par la bande obscure produite par le fil de platine. Plus l'éclai-

rement est intense, plus grand doit être l'obscurcissement relatif résultant de ce qu'on a supprimé la lumière. Voilà pourquoi la section transversale de la gaine environne la bande obscure, sous la forme d'un anneau plus obscur.

La question de la génération spontanée se rattache intimement à notre sujet actuel. Une sorte d'antagonisme a existé longtemps sur cette question entre différentes classes de savants. Van Helmont a donné une recette pour fabriquer des souris, et l'on a cru sérieusement pendant très-longtemps que les vers étaient produits spontanément dans la viande corrompue. Redi, membre de la célèbre académie del Cimento, a renversé cette opinion en prouvant qu'il suffisait de protéger la viande en la couvrant d'une gaze pour empêcher la prétendue génération. En 1743, deux hommes très-habiles, Nedham et Spallanzani, prirent les deux partis contraires dans la discussion, le premier affirmant, le second niant le fait des générations spontanées. Au commencement même de notre siècle, nous trouvons du côté de la négative Lamarek, Oken, J. Müller, et du côté de l'affirmative Schwann, Schultz et Ehrenberg. De nos jours, les représentants principaux des deux partis contraires sont MM. Pouchet et Pasteur.

La méthode d'investigation suivie dans cette conférence aidera, je pense, à éclairer le champ de la discussion. Les expérimentateurs ne semblent nullement avoir parfaitement connu la nature de l'atmosphère dans laquelle ils ont opéré; car, s'ils l'avaient connue, ils n'auraient jamais fait quelques-unes des expériences qui ont été mentionnées. Par exemple, pour rendre doublement certaine la destruction des germes atmosphériques, M. Pouchet, l'avocat distingué de la doctrine des générations spontanées, brûla de l'hydrogène dans l'air et recueillit l'eau produite par la combustion. Mais en supposant qu'il

eût vu comme vous la matière flottante, aurait-il conclu que la manière dont s'est comportée l'eau qu'il a laissée s'écouler goutte à goutte à travers un air pareil, pouvait avoir la moindre influence pour trancher cette grande question ?

Voici une certaine quantité d'eau produite et recueillie exactement comme M. Pouchet a produit et recueilli la sienne. Cette eau est parfaitement claire à la lumière ordinaire, mais dans le faisceau condensé de lumière électrique, elle paraît chargée de particules, si ténues et si rapprochées les unes des autres qu'elles produisent un cône continu de lumière. En traversant l'air, l'eau a entraîné cette matière, et par suite elle est devenue chargée d'organismes naissants.

Permettez-moi d'appeler votre attention sur une expérience de M. Pasteur qui embarrassera, je crois, les lecteurs et les admirateurs de M. Pouchet. M. Pasteur prépara vingt-un ballons de verre contenant chacun une décoction de levure, filtrée et claire. Il fit bouillir la décoction pour détruire tous les germes qu'elle pouvait contenir, et pendant que l'espace au-dessus du liquide était rempli de vapeur pure, il scella ses ballons à la flamme du chalumeau. Il en ouvrit dix dans les caves profondes et humides de l'Observatoire de Paris, et onze dans la cour de l'établissement. Un seul des premiers présenta ensuite des signes d'organisation. Dans neuf ballons, il ne s'était développé aucune espèce d'organisme. Des organismes apparurent promptement dans tous les autres.

Voilà donc une expérience faite à Paris, et qui prouve que l'air d'une localité peut développer la vie, tandis que l'air d'une autre localité ne le peut pas. Voyons si nous ne pourrions pas justifier cette expérience ici, à Londres, et y répandre quelque lumière. Je place ce grand ballon dans le faisceau, et vous voyez la trace lumineuse qui le

traverse de part en part. Le ballon est rempli de l'air de cette salle chargé de ses germes et de sa poussière, capable par conséquent d'être éclairé. Mais voici un autre ballon semblable qui forme une lacune bien tranchée dans le faisceau. Il est plein d'air qui n'a pas été filtré, et cependant on n'y aperçoit aucune trace du faisceau. Pourquoi? J'ai pris tout simplement ce second ballon dans notre chambre d'appareils, et je me suis assuré ensuite qu'un instant auparavant on l'avait puisé dans une des caves au-dessous de l'escalier. D'autres ballons étaient dans la même cave, j'en ai apporté trois; ils étaient tous vides optiquement. L'air tranquille avait déposé sa poussière et tous ses germes, et il ne tenait lui-même aucune matière en suspension.

Vous pouvez comprendre maintenant l'impuissance de l'air des caves de Paris. L'observation démontre tout à la fois l'influence des germes et l'exactitude des affirmations de M. Pasteur. On a examiné à son tour l'air de la cave à la lumière électrique; quoique beaucoup moins chargé que l'air du dehors, il n'était pas tout à fait privé de particules. Il fallait s'y attendre parce qu'on ouvrait souvent la porte de la cave. Les ballons eux-mêmes sont de vraies chambres tranquilles; la poussière s'est déposée sur leurs parois et elle s'y est fortement collée. Pour le prouver on a rempli d'air ordinaire plusieurs ballons de dix pouces environ de diamètre, on les a bouchés, et on les a posés sur une table dans le laboratoire; après deux jours de repos ils étaient optiquement vides.

Il n'est même pas nécessaire de boucher les ballons, car, quand ils sont ouverts, l'air qu'ils contiennent est à peine troublé.

Deux jours de repos sur une des tables du laboratoire suffisent pour déposer la poussière organique et rendre les ballons ouverts optiquement vides.

J'ai fait construire une chambre pour faire des expé-

riences sur cette question. Sa moitié inférieure est en bois; sa moitié supérieure est fermée par quatre fenêtres en verre. La chambre se termine par le haut en cône tronqué; elle mesure à la base trois pieds sur deux pieds six pouces, et elle a cinq pieds dix pouces de hauteur. Le 6 février, cette chambre a été fermée, et l'on a collé soigneusement du papier sur chaque fente qui pouvait laisser entrer de la poussière ou produire un déplacement d'air. Le faisceau de lumière électrique révéla d'abord l'existence de la poussière flottante dans la chambre comme il le faisait dans l'air du laboratoire.

On a examiné la chambre presque chaque jour; on remarquait chaque fois une diminution perceptible de la matière flottante. Au bout d'une semaine la chambre était optiquement vide et ne présentait pas de trace de matière capable de disperser la lumière. Mais aux endroits où le faisceau entraît dans la chambre et où il en sortait, les cercles blancs marqués sur les surfaces intérieures des verres faisaient voir ce qu'était devenue la poussière. Elle s'était collée contre ces surfaces, et c'est par elles et non par l'air que la lumière était diffusée. Si l'on faisait passer le faisceau de la lumière électrique à travers l'air des caves de Paris, j'ose prédire que l'on verrait la cause de l'impuissance de cet air à engendrer la vie.

On ne saurait douter, je pense, que la méthode d'observation que nous suivons ici ne soit destinée à fournir un contrôle et un guide utile dans les recherches de cette nature.

VI. — La poussière et la fumée

Par M. JOHN TYNDALL.

Après quelques expériences préliminaires destinées à élucider la nature et les propriétés de la lumière polarisée, M. Tyndall s'est occupé de la polarisation de la lumière par les poussières fines, par l'atmosphère et par les particules de l'air plus grossières contenues dans la fumée. Pour les premières, la direction du maximum de polarisation est, comme pour l'atmosphère, perpendiculaire au rayon lumineux; pour les dernières, conformément aux observations de Govi, le plan de polarisation est oblique au rayon.

L'observation de Govi sur l'existence d'un point neutre, de part et d'autre duquel la polarisation était négative d'un côté, positive de l'autre, fut aussi rappelée. On signala même ce fait additionnel : que la position du point neutre varie avec la densité de la fumée. En commençant, par exemple, avec une atmosphère obscurcie par d'épaisses fumées d'encens, de résine et de poudre à canon, on vit, en recherchant la position du point neutre, qu'il s'inclinait sur le rayon vers la source de lumière.

Les fenêtres furent ensuite ouvertes de manière à permettre à la fumée de s'échapper graduellement. On vit alors le point neutre descendre le long du rayon, passer à l'extrémité d'une perpendiculaire menée de l'œil à la direction du rayon de lumière, et parcourir graduellement un espace de plusieurs pieds en s'éloignant de la source. L'orateur ne s'arrêta pas à ces observations; elles n'é-

taient que l'introduction, le point de départ de recherches d'une nature différente ; et, après les avoir présentées, M. Tyndall continua en ces termes :

— Mais, me direz-vous, quelle est l'utilité pratique de ces curiosités ? Si vous me faites cette question, ma cause est en quelque sorte gagnée, car j'avais l'intention de la provoquer. Je confesse que si nous excluons l'intérêt qui s'attache à l'observation de faits nouveaux, et cette donnée scientifique qui veut que, de nouveaux faits naisse au bout de quelque temps une nouvelle loi, ces curiosités sont en elles-mêmes inutiles. Elles ne nous permettront de rien ajouter à la somme de nos connaissances sur la nourriture, les boissons, les vêtements ou les pierres précieuses. Mais quoique dépourvues en elles-mêmes de toute utilité, elles peuvent ouvrir à notre esprit des aperçus nouveaux, qui sans elles seraient restés inconnus, et devenir ainsi l'origine de résultats pratiques. Regardons, par exemple, cette poussière éclairée et demandons-nous ce qu'elle est.

Comment agit-elle, non plus sur un rayon de lumière, mais sur nos poumons et notre estomac ? Ici, la question revêt un caractère pratique. L'observation nous apprend que cette poussière est une matière organique, en partie vivante, en partie frappée de mort. Elle renferme des débris de paille, de chiffons déchirés, des particules de fumée, du pollen de fleurs, des spores de champignons et des germes de nature diverse. Mais quel rapport ces éléments ont-ils avec l'économie animale ? Permettez-moi de vous signaler un fait sur lequel mon attention a été récemment appelée par M. George-Henri Lewes ; il m'écrivit en ces termes :

« Je désire appeler votre attention sur les expériences de von Recklinghausen, si vous ne les connaissez pas. Elles sont une éclatante confirmation de vos idées sur la poussière et les maladies. Au printemps dernier, me trouvant dans son laboratoire à Würtzbourg, j'examinaï

avec lui du sang, qui, extrait du corps depuis trois semaines, un mois, et cinq semaines, avait été conservé sous une lame de verre dans de petites coupes de porcelaine. Ce sang était vivant et en voie d'accroissement. Non-seulement les mouvements amiboïdes des corpuscules blancs persistaient, mais il y avait des témoignages nombreux de la croissance et du développement de ces corpuscules. J'y vis aussi un cœur de grenouille qui continuait encore à battre après avoir été séparé du corps, depuis un nombre de jours dont j'ai perdu le souvenir exact, mais qui était certainement de plus d'une semaine. Il y avait encore d'autres exemples de la même persistance de vitalité ou absence de putréfaction. Von Recklinghausen n'attribuait pas ces phénomènes à l'absence de germes. Le mot germe n'était pas employé par lui. Mais quand je lui demandai son opinion sur ce sujet, il me dit que tout le secret de son opération consistait à préserver le sang *de toute impureté*. Les instruments employés étaient portés à la chaleur rouge au moment de s'en servir, le fil était d'argent et traité de la même manière. Quant aux coupes de porcelaine, elles n'étaient pas, il est vrai, exemptes d'air, mais l'air ne pouvait y circuler. Il me dit qu'il avait souvent eu des insuccès et qu'il les attribuait à ce que des parcelles de poussière avaient échappé à ces précautions. »

M. le professeur Lister, qui a fondé sur l'éloignement ou la destruction de ces *impuretés* de grands et nombreux perfectionnements en chirurgie, nous apprend l'effet de leur introduction dans le sang des blessures. Il nous fait savoir ce qu'il adviendrait du sang extrait du corps si les impuretés de l'air y tombaient. Le sang se putréfierait et deviendrait fétide; et en examinant de plus près le phénomène de la putréfaction, vous trouverez que la substance putréfiée *fourmille* de vie organique dont elle a puisé les germes dans l'air.

Une autre note, que j'ai reçue il y a un ou deux jours,

traite à un point de vue plein d'actualité de cette question de la poussière et des impuretés, et de l'utilité de s'en garantir. Cette note est de M. Ellis, de Sloane-street, envers qui j'ai contracté une dette de reconnaissance pour les soins qu'il m'a donnés quand je fus grièvement blessé dans les Alpes. « Je ne sais pas, m'écrit M. Ellis, s'il vous est arrivé de voir ces lettres, dont je vous envoie ci-joint une réimpression, lorsqu'elles ont paru dans le *Times*; mais je tiens à vous faire connaître la méthode de vaccination que j'y ai décrite, parce que, dans mon opinion, elle touche à la question de la pénétration des particules organiques extérieures dans l'intérieur du corps. Le mode ordinaire de vaccination consiste à gratter l'épiderme et à introduire dans les piqûres faites avec la lancette le virus vaccin. Dans la méthode que j'emploie et dont je fais usage depuis plus de vingt ans, l'épiderme est soulevé par un épanchement de sérosité, résultant de l'action irritante de la cantharidine appliquée sur la peau. La petite bulle ainsi formée est ponctionnée; une goutte de fluide en sort; on introduit alors par l'ouverture une fine aiguille à vaccin, et on la retire après l'y avoir laissée pendant une minute. L'épiderme se réapplique ensuite sur la peau, et ainsi se trouve évité le contact non-seulement de l'air, mais de ce que l'air renferme.

« Maintenant notez le résultat : sur des centaines de revaccinations que j'ai faites, jamais je n'ai eu un seul cas d'intoxication du sang ou d'abcès.

« Par la méthode ordinaire les abcès secondaires ne sont pas rares, et la pyohémie peut également survenir. Pour moi, la sécurité relative de mon procédé dépend : premièrement, de l'exclusion de l'air et de ce qu'il renferme; en second lieu, de la dimension plus grande des ouvertures faites par la lancette, disposition qui permet au virus de pénétrer plus facilement. »

Je signale ces faits pour qu'ils soient soumis à un examen minutieux, et réfutés s'ils sont inexacts. Si leur

exactitude est reconnue, il est inutile d'insister sur leur importance. Il n'est pas nécessaire d'ajouter que si M. Ellis s'était borné à prendre pour guide la théorie des germes, il n'aurait pu se conformer d'une manière plus complète aux données de cette théorie. C'est ce que l'air renferme, qui rend la vaccination dangereuse. Les résultats de M. Ellis s'accordent parfaitement avec la théorie générale de la putréfaction, proposée par Schwann, et développée dans ce pays avec un si brillant succès par M. le professeur Lister. S'ils sont vrais, ils indiquent une cause autre que la mauvaise qualité de la lymphe pour expliquer les insuccès et les accidents déterminés par la vaccine; si ce procédé est adopté, il peut fournir les moyens de faire tomber l'opposition irrationnelle faite à la vaccine, en écartant les cas isolés d'accidents, sur lesquels s'appuient les adversaires de cette pratique.

Ici, nous sommes assurément sur un terrain très-pratique. Avec votre permission je vais revenir sur un sujet qui, récemment, a beaucoup préoccupé l'attention publique. Vous savez qu'au point de vue des formes inférieures de la vie, le monde est et a été depuis longtemps divisé en deux partis.

Les uns affirment qu'il suffit de soumettre la matière morte à certaines conditions physiques pour lui faire produire des organismes vivants; les autres, sans vouloir imposer de bornes à l'énergie de la matière, prétendent que de nos jours on n'a jamais vu la vie naître indépendamment d'une vie préexistante.

Beaucoup d'entre vous savent que j'appartiens à ce parti qui soutient que la vie ne peut procéder que de la vie. La question a deux facteurs : les faits et l'esprit qui les juge. Aussi ne devez-vous pas oublier que c'est peut-être en vertu d'une disposition spéciale, d'une tendance intellectuelle particulière, que dans toute cette discussion, depuis le commencement jusqu'à la fin, je ne vois d'un côté que faits douteux et logique défectueuse; de

l'autre, une raison ferme, et la connaissance des conditions qu'exige une expérimentation rigoureuse. Mais au point de vue pratique, quelle importance a pour nous cette question de la génération spontanée? Voyons un peu. Il y a de nombreuses maladies de l'homme et des animaux, qui ne sont que des produits de la vie parasitaire (cela peut se démontrer), et ces maladies peuvent prendre les formes épidémiques les plus graves. Telle est la maladie qui, de nos jours, en France, a frappé les vers à soie. Maintenant il est de la plus haute importance de savoir si les parasites en question se développent spontanément, ou s'ils sont puisés dans le milieu ambiant par les individus qui en sont porteurs. Les moyens de s'en préserver, sinon de s'en guérir, seront très-différents dans les deux cas,

Mais cela n'est pas tout. En dehors de ces cas généralement admis, il existe en voie de formation une théorie nouvelle qui gagne de jour en jour en force et en clarté. Chaque jour, en effet, elle trouve une nouvelle confirmation dans les travaux des savants les plus heureux et des plus profonds penseurs de la profession médicale elle-même. Cette théorie est celle qui attribue aux maladies contagieuses en général une nature parasitaire. S'il m'était arrivé d'apprendre ou de lire quelque chose qui me fit regretter de vous avoir présenté cette théorie il y a déjà plus d'un an, je vous en exprimerais franchement mes regrets. J'y renoncerais devant vous, malgré la prédilection que mes paroles auraient pu trahir. Permettez-moi de formuler en deux sentences les bases sur lesquelles s'appuient les partisans de cette théorie : à l'aide de leurs virus respectifs, vous pouvez inoculer la fièvre typhoïde, la scarlatine ou la petite vérole. Quelle est la moisson que fournira cette culture? Aussi sûrement que le chardon naît du chardon, le figuier du figuier, le raisin du raisin, l'épine de l'épine, aussi sûrement le virus typhoïde produira par croissance et multiplication la fiè-

vre typhoïde, le virus scarlatineux la scarlatine, et le virus varioloux la petite vérole. Quelle est la conclusion qui se présente ici d'elle-même ? C'est la suivante : Ce que nous appelons du nom vague de virus est à tous les points de vue, sous tous les rapports, une semence. Otez la notion de vitalité, vous ne trouvez dans toute la chimie aucun phénomène qui présente avec la vie un parallélisme aussi parfait. Je veux parler de cette faculté bien démontrée d'auto-multiplication et de reproduction. Seule la théorie des germes rend compte de ce phénomène.

Ici vous voyez toute l'importance que présente la doctrine de la génération spontanée dans cette question. Car si cette doctrine continue à être discréditée comme elle l'a été jusqu'à présent, il en résulte que les épidémies qui, de temps en temps, sévissent parmi nous, ne sont pas nées spontanément, mais dérivent par filiation d'une souche antérieure, dont l'habitat est le corps humain lui-même. Ce n'est pas sur la viciation de l'air, sur la malpropreté d'un égouttoir, que se fixera tout d'abord l'attention du médecin : c'est sur ces germes de maladie, que ni l'air vicié, ni un égouttoir malpropre, ne peuvent engendrer, mais qui peuvent emprunter à un air impur une virulente énergie de reproduction. Vous pourriez croire que je marche ici sur un terrain dangereux, que j'émet des vues qui peuvent contrarier des pratiques salutaires. Il n'y a là rien de réel. Si vous voulez être édifiés sur l'importance de la science médicale et de la pratique dans ses rapports avec les maladies contagieuses, vous n'avez qu'à vous reporter au récent discours Harveien (*Harveian oration*) du docteur Gull. De telles maladies défient le médecin, elles doivent se consumer elles-mêmes. Rien que ce fait, sur lequel d'ailleurs je n'insiste pas, plaiderait en faveur de leur origine vitale. Car si les semences de maladies contagieuses sont elles-mêmes des êtres vivants, il sera difficile de les détruire,

elles ou leur progéniture, sans comprendre dans la même destruction l'organisme où elles résident.

N'acceptez, je vous prie, qu'avec réserve l'assertion si souvent émise et qui sera certainement répétée, que je sors de mon métier quand je vous entretiens de ces phénomènes. Ce ne sont pas là des questions professionnelles. Je ne fais pas d'ordonnances, je ne saurais tirer aucune indication de l'état de votre pouls ou de votre langue. Je m'occupe d'une question que peuvent seuls décider avec compétence les esprits habitués à peser la valeur des résultats expérimentaux, et sur laquelle, dans son état présent, ils sont tout aussi capables de se former une opinion que sur les phénomènes du magnétisme et de la chaleur rayonnante. Je ne saurais faire mieux, pour conclure cette partie de mon discours, que de vous lire un fragment d'une lettre que m'adressait, il y a quelque temps, le docteur William Budd, de Clifton, à l'habileté et à l'énergie duquel la ville de Bristol est redevable de tant de perfectionnements sanitaires.

« Pour ce qui est de la théorie des germes elle-même, écrit le docteur Budd, c'est un point sur lequel je me suis depuis longtemps fait une opinion. Depuis le jour où j'ai commencé à m'occuper de ces questions, je n'ai jamais douté que la cause spécifique des fièvres contagieuses ne fût un organisme vivant.

« Il est impossible, en effet, d'émettre aucune assertion sur l'essence ou les caractères distinctifs de ces fièvres sans se servir des termes *les plus caractéristiques de la vie*. Parcourez les écrits des plus violents adversaires de la théorie des germes, et dix fois contre une vous les trouvez remplis de termes tels que ceux-ci : Propagation, auto-propagation, reproduction, auto-multiplication, etc. Voyez s'ils peuvent, toutes les fois qu'ils ont à dire quelque chose de caractéristique sur ces maladies, éviter l'emploi de ces termes ou de ceux qui leur équivalent exactement. Parfaitement applicables

aux choses de la vie, ces mots expriment des qualités qui non-seulement ne sont pas applicables à de simples agents chimiques, mais me paraissent, dans l'état actuel de la science, incompatibles avec eux. »

Une fois établie dans l'organisme, cette forme malfaisante de la vie (permettez-moi cette expression) doit suivre son cours. Jusqu'à ce jour, la médecine est impuissante à arrêter ses progrès, et le grand point auquel il faut s'attacher est de lui interdire l'accès du corps. C'est dans cette pensée que j'eus l'idée, il y a quelques années, de recommander l'emploi des respirateurs d'ouate dans les endroits infectés. Je vous répète ici que je crois à leur efficacité, s'ils sont convenablement faits. Mais je ne voudrais pas faire tort à l'emploi de ces respirateurs dans l'esprit des adversaires de la théorie des germes, en les représentant comme liés indissolublement à cette théorie. Il y a en Angleterre beaucoup de professions dans lesquelles la vie est abrégée ou rendue misérable par l'introduction dans les poumons de matières que l'on en pourrait écarter. Le docteur Greenhow a montré que la poussière de la pierre se déposait dans les poumons des tailleurs de pierre. Les poumons noirs des charbonniers sont un autre exemple d'un même fait. Bref, on pourrait citer cent cas de cet ordre, et même beaucoup d'autres, où l'indication ne paraît pas tout d'abord aussi évidente. Ainsi, par exemple, nous n'aurions pas pensé que l'industrie de l'impression pût réclamer l'emploi des respirateurs d'ouate ; et pourtant on m'a dit que la poussière produite par le triage des caractères avait une influence pernicieuse sur la santé.

Je suis allé, il y a quelque temps, dans une manufacture d'une de nos grandes villes, où l'on émaille des vases de fer en les revêtant d'une poudre minérale et en les soumettant à une chaleur suffisante pour fondre cet émail. L'organisation de cet établissement était excellente ; il n'y manquait qu'un point pour la rendre par-

faite. Dans une vaste chambre, un certain nombre de femmes étaient occupées à mettre la couverte sur les vases. L'air était chargé de fine poussière, et leurs figures étaient aussi blanches, aussi décolorées que la poudre dont elles se servaient. Par l'emploi des respirateurs d'ouate, ces femmes auraient pu respirer un air mieux débarrassé de matières en suspension que celui de la rue.

Il y a plus d'un an, un grainetier du Lancashire m'écrivit pour me dire que chaque année, pendant la saison des semailles, ses hommes souffraient horriblement d'irritation et de fièvre, à tel point que beaucoup quittaient son service. Il me pria de lui venir en aide, et je lui donnai mon avis. A la fin de la saison, cette année, il m'écrivit qu'il avait simplement fait usage d'un petit sac de mousseline rempli d'ouate, qu'il l'avait attaché au-devant de la bouche, et que par ce moyen il avait passé la saison facilement, sans recevoir de plainte d'aucun de ses hommes.

Le coton a aussi été employé à d'autres usages. Un malade me dit que chaque soir il se met devant la bouche un peu de coton qu'il humecte légèrement pour le faire adhérer. Par ce moyen, il a prolongé son sommeil, diminué l'irritation de sa gorge et très-avantageusement modifié une toux opiniâtre dont il souffrait depuis longtemps. En fait, il n'est pas douteux que cette substance puisse recevoir nombre d'applications utiles. On a fait à son application une objection, celle qu'il devient humide et qu'il s'échauffe par la respiration. Pendant que je cherchais à porter remède à cet inconvénient, un de mes amis m'envoya de Newcastle un modèle de respirateur inventé par M. Carrick, hôtelier de Glasgow, qui y remédie d'une manière efficace et qui pourrait devenir parfait à l'aide d'une légère modification. La cavité intérieure de l'appareil est divisée en deux par une cloison de gaze métallique. L'espace situé au-dessous d'elle,

destiné par M. Carrick à contenir des substances médicamenteuses, peut être rempli d'ouate. La bouche est placée contre une ouverture, qui s'adapte parfaitement au pourtour des lèvres, et l'air entre dans la cavité buccale à travers la ouate, par une légère soupape qui est soulevée par l'inspiration. Pendant l'expiration, cette soupape se ferme, et l'air s'échappe dans l'atmosphère par une seconde soupape. Le coton se maintient ainsi sec et frais; l'air en le traversant se débarrasse de toutes les impuretés qu'il tient en suspension.

On le voit, j'ai été conduit par mes premières expériences purement théoriques à une foule de considérations pratiques. En cela, j'ai été mû par un motif de bien-être humanitaire.

Le seul genre de combat auquel je m'intéresse est le conflit de l'homme avec la nature. J'aime à voir l'homme conquérir un sommet de montagne ou éteindre un incendie. Je me rappelle fort bien l'intérêt que je pris, il y a vingt ans, à voir les pompiers de Berlin lutter pour se rendre maîtres d'un incendie qui avait éclaté près de la porte de Brandebourg, et j'ai souvent éprouvé le même intérêt dans les rues de Londres. L'admiration que j'éprouve pour l'énergie et la bravoure de nos pompiers, et la connaissance de ce fait que la fumée est pour eux un ennemi plus dangereux que la flamme elle-même, firent naître en moi le désir d'inventer un respirateur pour les incendies. Mais, avant de vous dire ce qui a été fait dans cette direction, permettez-moi d'attirer votre attention sur les moyens employés jusqu'ici pour permettre à l'homme de vivre au milieu d'une épaisse fumée. Grâce à la courtoisie du capitaine Shaw, je puis vous mettre sous les yeux le *smoke-jacket*, connu à l'étranger sous la dénomination d'*appareil Paulin*, du nom de son inventeur supposé. Ce vêtement est fait de cuir de vache souple. Il a des bras, un capuchon et des yeux de verre. Des courroies et des

boucles le fixent autour des poignets et de la ceinture; une courroie qui passe entre les jambes l'empêche de pouvoir s'enlever. Au côté gauche du vêtement est placé un écrou, auquel vient se fixer le tuyau ordinaire des pompes à incendie; et dans son intérieur on injecte de l'air que la pression fait pénétrer dans l'espace qui sépare le corps de l'appareil. Le vêtement se gonfle partiellement; mais il n'en peut résulter aucune gêne, parce que l'air, quoique un peu retardé, s'échappe avec une facilité suffisante par les poignets et la ceinture. Dans cet équipement, le pompier, armé d'un tuyau suffisamment long, peut marcher en toute sécurité au milieu de la plus épaisse fumée et de l'air le plus impur. Mais, comme vous voyez, l'usage du *smoke-jacket* nécessite la présence de plusieurs personnes et l'emploi d'une machine. Un seul homme ne peut en faire usage, et quel que soit leur nombre, ces hommes ne peuvent rien sans une pompe à air. Les usages de ce vêtement sont ainsi résumés dans une communication que m'adresse le capitaine Shaw :

« Le vêtement à incendie (*smoke-jacket*) est très-utile pour éteindre le feu dans des caves, dans la cale des navires; pour pénétrer dans les puits, les carrières, les mines, les fosses d'aisances, etc., partout, en un mot, où l'air est devenu impropre à la respiration.

« Les avantages spéciaux de ce vêtement sont sa grande simplicité, la facilité de son usage, la rapidité avec laquelle on peut l'emporter et le mettre. Son défaut est d'exiger l'emploi d'une pompe à air, et par conséquent de ne pouvoir servir à un homme seul; aussi les vêtements à incendie, très-utiles pour nous permettre d'aller aux endroits convenables éteindre le feu, se sont rarement montrés de quelque utilité pour *sauver la vie*. »

C'est là précisément la lacune que j'ai voulu combler par l'emploi d'un respirateur convenable. Nos appareils de sauvetage sont manœuvrés par un seul homme, et je

voudrais qu'il fût possible à chacun de ces hommes de pénétrer au milieu de la plus épaisse fumée, jusque dans les parties les plus reculées des maisons, pour venir au secours de ceux qui, sans leur aide, périraient suffoqués ou brûlés. J'ai pensé que la ouate, qui arrête si complètement la poussière, aurait sur la fumée la même influence. L'essai fut tenté ; mais quoique ce moyen procurât quelque soulagement dans une fumée peu intense, il se montra complètement inefficace contre les fumées âcres produites par la combustion de la résine, dont nous nous servions dans nos expériences. Du reste, et je suis heureux de l'avoir appris du capitaine Shaw, cette substance produit la plus abominable fumée qu'il ait jamais vue. Je me mis à chercher un perfectionnement, et, dans une conversation que j'eus avec lui sur ce sujet, mon ami le docteur Debus me donna l'idée d'employer la glycérine pour humecter la ouate et la rendre plus adhésive. Cette substance a été employée par le champion le plus distingué de la génération spontanée, M. Pouchet, pour arrêter les germes atmosphériques. Il étendit une mince couche de glycérine sur une lame de verre, fit passer à sa surface un courant d'air et examina la poussière qui s'y était attachée. L'humectation de la ouate par la glycérine constitue un progrès réel ; néanmoins, un respirateur dans ces conditions ne nous permet pas de rester dans une fumée épaisse plus de trois ou quatre minutes : au bout de ce temps, l'irritation devenait intolérable.

En y réfléchissant, il me vint à l'idée qu'une combustion assez imparfaite pour produire une épaisse fumée, doit donner naissance à de nombreux produits hydrocarbonés qui, étant à l'état de vapeur, ne sont que très-incomplètement arrêtés par la ouate. C'est là, selon toute probabilité, la cause de l'irritation définitive, et si l'on pouvait la supprimer, il deviendrait possible d'obtenir un respirateur pratiquement parfait.

Je vous donne ces idées telles qu'elles se sont offertes à mon esprit. Bien des personnes ici comprennent d'avance leur résultat. Tous les corps possèdent, à un degré plus ou moins élevé, le pouvoir de condenser à leur surface les gaz et les vapeurs. Quand le corps est très-poreux ou à un grand état de division, la force de condensation peut produire des effets très-remarquables. Ainsi, une feuille de platine bien décapée, plongée dans un mélange d'oxygène et d'hydrogène, détermine une condensation des gaz assez intense pour amener leur combinaison. Si même l'expérience est faite avec soin, la chaleur dégagée par la combinaison peut élever le platine à la température du rouge vif, et causer ainsi l'explosion du reste du mélange. La rapidité de cette action est beaucoup plus grande encore quand le platine est dans un grand état de division. Une petite boule d'éponge de platine, par exemple, plongée dans un mélange d'oxygène et d'hydrogène, détermine une explosion immédiate. En vertu de son extrême porosité, le charbon de bois possède un pouvoir analogue. Il n'est pas assez actif pour causer, comme l'éponge de platine, la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène; mais il agit sur les vapeurs condensables et sur l'oxygène de l'air avec une telle puissance de condensation que les molécules de ces corps, se trouvant à une distance moindre que celle qui est nécessaire pour déterminer leur combinaison, l'oxygène de l'air peut attaquer et détruire les vapeurs dans les pores du charbon. De cette manière, les effluves de toute espèce sont en quelque sorte brûlées : tel est le principe de l'excellent respirateur au charbon de bois imaginé par le docteur Stenhouse. Armé d'un de ces appareils, vous pouvez aller dans les endroits les plus infects sans que votre odorat en soit péniblement affecté. Quelques-uns d'entre vous se rappellent la leçon faite ici même par le docteur Stenhouse, et dans laquelle un vase d'apparence suspecte était placé devant la table. Ce vase contenait un

chat en décomposition. Il était couvert d'une couche de charbon de bois, et personne ne se douta, avant d'en être averti, de ce que le vase renfermait.

Permettez-moi, en passant, de vous donner mon avis sur l'efficacité des respirateurs de charbon de bois pour communiquer de la chaleur à l'air introduit dans les poumons. Non-seulement la chaleur sensible de l'air expiré est en partie absorbée par le charbon, mais la quantité considérable de chaleur latente contenue dans la vapeur aqueuse venant des poumons est mise en liberté par la condensation de cette vapeur dans les pores du charbon. Chaque parcelle de charbon devient ainsi une source de chaleur et réchauffe l'air qui la traverse au moment de l'inspiration. Cela est en accord parfait avec les observations thermométriques du docteur Marsh.

Mais tandis que le respirateur au charbon arrête puisamment les vapeurs, il est sans effet sur la fumée : ses parcelles traversent librement le respirateur. Dans une série d'expériences faites en bas, la limite de la tolérance fut d'une demi-minute à une minute. Ce temps pourrait être un peu dépassé par la méthode de Faraday, qui consiste à vider complètement les poumons, puis à les remplir d'air avant de pénétrer dans l'atmosphère enfumée. En réalité, chaque corpuscule solide de la fumée est lui-même un morceau de charbon, et porte à sa surface et dans son intérieur sa petite charge de vapeur irritante. C'est elle, bien plus que les parcelles de charbon, qui produit l'irritation. Ainsi deux causes de souffrance sont à supprimer : les particules de charbon chargées par adhésion et condensation de matière irritante, et les vapeurs libres qui accompagnent ces particules.

Je savais parfaitement que le coton humecté arrêterait les premières : j'espérais que des fragments de charbon retiendraient les secondes. Dans le premier respirateur pour les pompiers, la disposition adoptée par M. Carrick, celle de deux soupapes, l'une pour l'inspiration,

l'autre pour l'expiration, est conservée. Mais on a donné à la portion de l'appareil qui reçoit les substances filtrantes et absorbantes une profondeur de quatre à cinq pouces. Sur la cloison de gaz métallique au fond de l'espace qui fait face à la bouche est une couche d'ouate humectée de glycérine, puis une mince couche d'ouate sèche. Vient ensuite une couche de charbon de bois en fragments, puis, de nouveau, une mince couche d'ouate sèche, et enfin une couche de chaux caustique en petits fragments. La succession des couches peut être intervertie sans préjudice pour l'appareil. Un couvercle de toile métallique empêche les substances de tomber du respirateur. Dans la fumée la plus épaisse dont nous nous soyons servi jusqu'ici, la couche de chaux n'a jamais été nécessaire.

En effet, dans une maison en flammes, grâce au mélange de l'air avec la fumée, jamais la proportion d'acide carbonique n'est assez grande pour entraver la respiration; mais, dans le cas où la quantité d'acide carbonique serait excessive, les fragments de chaux neutraliseraient son influence.

C'est en bas, dans une chambre semblable à une cave, avec un plancher et des murs de pierre, que furent faites nos premières expériences. On y plaça des fourneaux chargés de pin résineux; le feu fut allumé et couvert d'une sorte d'étouffoir pour empêcher une circulation d'air trop active: il se produisit une fumée très-épaisse. Les yeux protégés par des lunettes appropriées, nous restâmes, mon assistant et moi, dans cette chambre pendant plus d'une demi-heure, et cependant la fumée était si âcre et si intense, qu'une seule inspiration faite sans le respirateur était absolument intolérable. Nous aurions pu néanmoins prolonger notre séjour pendant des heures. Ayant ainsi perfectionné l'instrument, j'écrivis au capitaine Shaw, le commandant en chef des pompiers de la capitale, pour lui demander si un pareil respirateur pourrait lui rendre des services.

Il me répondit aussitôt qu'un tel instrument serait très-utile. Il connaissait, du reste, tous les appareils de ce genre imaginés dans notre pays et à l'étranger; aucun d'eux ne lui avait paru répondre aux besoins de la pratique. Il m'offrit de venir lui-même en faire ici l'essai ou de mettre à ma disposition une chambre dans la cité. Sur ma demande, il vint ici accompagné de trois de ses hommes. Une petite chambre fut remplie de fumée à leur entière satisfaction. Les trois hommes y entrèrent successivement et y restèrent aussi longtemps que le désira le capitaine Shaw. En sortant, ils nous dirent qu'ils n'avaient pas éprouvé la plus légère incommodité, et qu'ils auraient pu rester toute la journée dans la fumée. Le capitaine Shaw fit alors lui-même l'essai de l'instrument avec le même résultat. Depuis ce moment, le capitaine Shaw a mis tous ses soins à perfectionner l'instrument. Il a adapté au respirateur un capuchon approprié. La solution pratique du problème est donc trouvée, et je dois me borner à dire que si l'on employait à perfectionner le respirateur d'ouate le dixième de l'intelligence, du zèle et de l'habileté pratique que le capitaine Shaw a déployés pour le respirateur des pompiers, plus d'une vie précieuse serait épargnée et la durée de l'existence augmenterait.

M. Ladd a aussi préparé une pièce pour la bouche ou embouchure qui promet beaucoup, et M. Cottrel l'a fixée à un masque d'escrime ordinaire. Telle sera probablement la forme définitive de l'appareil.

Le discours se termina en ces termes : « Ainsi nous avons été conduits de la décomposition actinique des vapeurs à travers les queues des comètes et l'azur du ciel, jusqu'à la poussière de Londres, de la théorie sporique des maladies au respirateur des pompiers. Au lieu de cet exemple vulgaire, je pourrais, si le temps le permettait, montrer par des exemples d'un genre plus relevé la tendance de la science pure à conduire aux applica-

tions pratiques. Ainsi, ces véritables vagabondages de l'esprit scientifique, qui semblent à première vue purement théoriques, deviennent à la fin des sources d'applications pratiques. Et néanmoins, il existe une philosophie, défendue, je crois, par quelques-uns de nos plus ardents penseurs, qui voudrait abolir ces courses errantes de l'esprit et le fixer dès le début exclusivement sur le terrain de la pratique. Je crains bien que sur beaucoup de points ils ne commettent, malgré leurs bonnes intentions, la fatale erreur de substituer aux faits les chimériques espérances de leur imagination. Je ne pense pas qu'une telle philosophie puisse jamais servir au monde, et qu'un naturaliste ami de la liberté veuille supporter le poids de ses chaînes. »

Quelque temps avant cette leçon, j'eus occasion d'examiner l'appareil de M. Sainclair, qui a été essayé et hautement loué par le chef des pompiers de Manchester.

L'idée originale est due à de Humboldt, qui proposa l'instrument pour les mines du Hartz. Galibert donna à l'appareil une forme perfectionnée, et depuis il a reçu de nouvelles améliorations de M. Sainclair qui a acheté le brevet de Galibert. Il consiste en un sac imperméable à l'air, duquel partent deux tubes qui se réunissent en un seul au niveau d'une pièce respiratrice que l'on applique sur la bouche. Le sac est rempli d'air ; le porteur aspire par une valve et respire par l'autre. L'air expiré est conduit au fond du sac et y reste en raison de la densité plus grande que lui communique le refroidissement qu'il éprouve au sortir de la bouche. Un sac de grandeur assez ordinaire est, dit-on, suffisant pour entretenir la respiration d'un homme pendant vingt minutes. L'appareil de M. Sainclair fut montré pendant la séance.

ACTION MOLÉCULAIRE DE LA LUMIÈRE

VII. — Sur les réactions chimiques produites par la lumière solaire

Par M. MORREN.

Dans les derniers mois de l'année dernière, M. Tyndall a publié sur les réactions de la lumière un travail d'un extrême intérêt. Ses découvertes ont livré aux physiciens et aux chimistes un moyen nouveau de synthèse et d'analyse, sur lequel il appelle l'attention et les recherches de tous.

J'obéis aujourd'hui à ce scientifique appel. J'ai répété, avec un soin scrupuleux et attentif, toutes les expériences que ces publications indiquent, et je les ai trouvées toutes aussi exactes que parfaitement décrites. Souvent j'ai partagé l'admiration qu'elles ont inspirée. De plus, elles sont relatives à des opérations moléculaires, à des réactions atomiques, où l'on semble presque surprendre la nature dans ses plus mystérieuses opérations; elles ont donc, sous ce dernier point de vue, un intérêt d'actualité dont il est inutile de faire ressortir l'importance.

Les molécules des corps, lorsqu'elles apparaissent à l'état solide, en quittant l'état gazeux, sont, dans ces expériences, éclairées avec une extrême puissance sous l'œil de l'observateur, qui est placé dans une obscurité profonde; celui-ci, dès lors, possédant une très-grande puissance d'aperçu et de pénétration, suit très-aisément ces mouvements atomiques, en présence des-

quels M. Tyndall et tous ceux qui sont avides d'étudier les secrets de la constitution des corps éprouvent une vive curiosité.

M. Tyndall, dans le climat brumeux de la Grande-Bretagne, a été obligé d'employer surtout et presque exclusivement la lumière électrique, qu'il a fait agir principalement sur les corps organiques volatils.

J'ai cru devoir suivre une marche et une direction toutes différentes.

Placé dans une situation très-favorable sous le rapport de la lumière, en Provence, où pendant des mois entiers le ciel, d'une pureté sans égale, n'a pas un seul nuage, j'ai voulu et j'ai pu ne recourir qu'à la seule lumière solaire et me borner aux seules conditions lumineuses que l'atmosphère présente; de plus, j'ai voulu mettre une recherche extrême à éviter l'emploi des corps organiques. Leurs molécules si complexes, et dès lors si mobiles, si facilement décomposables sous l'action des forces multiples qui les sollicitent, donnent lieu à la formation d'une foule de composés qu'il eût été difficile pour moi de démêler et de saisir. J'ai préféré les corps inorganiques et les corps même les plus simples de la chimie minérale. Leurs réactions moléculaires sont plus faciles à contrôler, et dès lors plus facilement abordables pour le physicien qui cherchait des réponses nettes et précises.

Dans cette première exposition, je suivrai pas à pas l'ordre qui, sans idées préconçues et systématiques, a guidé mes expériences successives : c'est pour ainsi dire un voyage dans un pays nouveau; on verra mieux ainsi mes déceptions, les difficultés survenues sur la route, les nécessités qui m'ont obligé à des modifications d'appareils et le but que je me proposais d'atteindre.

Au début j'ai employé des appareils d'expériences entièrement semblables à celui de M. Tyndall. J'ai d'abord

pris un tube en cristal de 8 à 9 centimètres de diamètre, de 1 mètre de longueur, ayant à ses deux extrémités deux larges anneaux ou douilles en laiton, lutés au mastic ordinaire, très-bien dressés dans les parties antérieures, contre lesquelles deux glaces planes très-transparentes, légèrement enduites d'un corps gras au pourtour, venaient s'appuyer. Ce tube formait un excellent appareil, qui possédait une fermeture hermétique sous l'action puissante du vide; deux robinets en verre, lutés avec soin dans des douilles soudées à l'anneau en laiton, permettaient d'un côté de faire le vide et de l'autre d'introduire les gaz ou les vapeurs sur lesquels on voulait expérimenter. Une propreté, sinon absolue, du moins excessive, et des tubes parfaitement desséchés sont d'une extrême nécessité.

Lorsque la lumière pénètre dans le tube après sa condensation par une lentille, qui, dans les expériences de M. Tyndall, comme tout porte à le croire, n'était pas achromatique, il se forme, dans les appareils de M. Tyndall comme dans les miens, deux cônes opposés par le sommet, ayant, le premier, le *cône convergent*, un pourtour rouge-orangé, et le second, le *cône divergent*, un pourtour bleu-violet. J'insiste à dessein sur cette circonstance, parce que les molécules que l'on va voir apparaître, et qui ont souvent une couleur blanche, revêtiront et réfléchiront, en les traversant, la couleur des bandes de lumière qu'elles traversent.

Lorsque le tube est parfaitement vide, la lumière passe sans que l'on aperçoive les deux cônes de lumière; le tube est optiquement vide, et aucune lumière n'est réfléchie vers l'œil; mais dès qu'un gaz ou une vapeur de décomposition possible arrive, un précipité apparaît après un temps variable, suivant la facilité plus ou moins grande avec laquelle la lumière en effectue la décomposition. Dans bien des cas, ce précipité ou ce nuage est d'un

bleu pur et d'une délicatesse sans égale ; il se montre d'abord au sommet des deux cônes, puis envahit le cône convergent, tant que ce précipité possède cette couleur bleue, légère ; la lumière qu'il envoie à l'œil est parfaitement polarisée, pour un observateur qui reçoit le rayon réfléchi, dans un plan perpendiculaire à l'axe des cônes, et qui n'étudie que les rayons qui sont dans ce plan. M. Tyndall a parfaitement décrit tout cela. Mais peu à peu la densité du précipité augmente, sa couleur passe au blanc, elle est encore polarisée, et comme les parois du tube, éclairées par les cônes, réfléchissent elles-mêmes une lumière polarisée, faisant ainsi l'effet d'un premier polariseur, la vapeur blanchâtre des cônes se conduit alors comme une lame mince polarisante, et, sous l'inspection du Nicol que tient l'observateur, elle revêt une magnifique couleur bleue lorsque les deux plans de polarisation sont perpendiculaires, comme le ferait une lame de sélénite au degré voulu d'épaisseur. A mesure que le précipité augmente, il passe à la couleur blanche complète, et toute polarisation disparaît. Aux débuts de l'expérience, lorsque le précipité ne paraissait pas encore, la lumière comme la chaleur traversaient le tube sans que rien ne les arrêtât ; mais dès que le précipité blanchâtre apparaît, ces molécules solides réfléchissent la lumière et s'échauffent ; elles échauffent alors le gaz où elles sont placées, surtout au sommet des cônes et contre la surface de la glace d'entrée ; de là un mouvement, lent d'abord, qui amène, dans l'espace occupé par les cônes lumineux, de nouvelles parties non encore influencées par la lumière, par conséquent transparentes et dès lors noires, par suite de cette transparence même, qui viennent se mêler en ondulations capricieuses et souvent très-régulières aux parties blanchâtres ; de là les images les plus belles, les plus changeantes, si vivement décrites par M. Tyndall. Les molécules précipitées augmentent de diamètre, et les cônes alors deviennent

resplendissants par la teinte blanche qu'ils réfléchissent, et qui sur les bords du premier cône ont une belle teinte rouge-orangée, et sur ceux du second une vive teinte bleue. Si l'expérience est prolongée, il y a, pour certains corps, des points de réflexion particuliers où l'œil voit le cône revêtu d'une teinte rose très-marquée et très-belle. Tantôt cette direction fait 45° avec l'axe du cône en partant de la base qui touche la glace d'entrée, tantôt cette direction fait un angle de $90^\circ + 45^\circ$, et souvent la même substance présente cette même couleur à différents moments de l'expérience; il y a, comme dans l'arc-en-ciel, une ligne de position et pour les molécules précipitées une position de rayons efficaces qui réclame une attention et des recherches spéciales.

Il est facile de reconnaître qu'il y a synthèse ou décomposition pour un ou plusieurs corps, lorsque, sous l'action de la lumière solaire concentrée, les nuages bleus, puis blancs, précédemment décrits, viennent envahir les cônes.

Le premier corps dont j'ai tenté de reproduire la synthèse est le même corps que j'ai si souvent et si facilement reproduit par l'électricité, en faisant passer l'étincelle d'induction à travers un mélange gazeux formé de 5 parties d'oxygène, 2 d'azote et 3 d'acide sulfureux (1), $AzO^3 2SO^3$. C'est le composé qui se forme dans les chambres de plomb lors de la préparation de l'acide sulfurique. J'ai soumis le mélange à l'action solaire, et de suite le composé s'est montré. Ce même mélange gazeux m'a permis de reconnaître, comme M. Tyndall, que les rayons spéciaux qui faisaient naître ces réactions n'étaient ni les rayons calorifiques qui précèdent le rouge du spectre, ni les rayons rouges et jaunes très-concentrés. J'ai employé pour cet objet

(1) Voyez *Annales de Physique et de Chimie*, 4^e série, t. VI.

les écrans les plus variés, le quartz enfumé, l'iode dissous dans le bisulfure de carbone, les verres rouges et orangés, et même les verres jaunes et verts. L'action produite avec ces deux derniers était insignifiante; cette action devient, au contraire, extrêmement vive avec les verres bleus et violets. Ce sont donc sous les chocs des oscillations des rayons chimiques, chocs plus multipliés dans un même temps, que ces réactions s'opèrent.

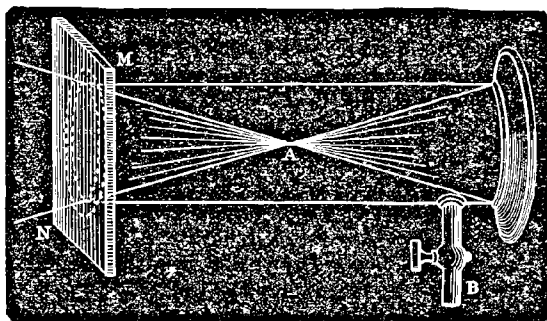
Après le corps $AzO^3\ 2SO^3$, j'ai cherché à unir des corps plus rebelles, et pour cela je me suis adressé aux deux gaz qui forment l'ammoniaque. J'ai placé dans le tube de l'hydrogène et de l'azote purs et très-secs. Ma surprise fut excessive quand je vis le nuage blanc se former; cette fois, ce résultat très-inattendu, et que j'avais considéré comme impossible, me mit dans la nécessité de serrer la question de plus près, et me fit recourir à des précautions extrêmes.

Dans les tubes à expériences, les deux douilles ou anneaux en laiton sont lutés avec le mastic résineux habituel. Mes premiers scrupules s'adressèrent à lui : ce mastic contenait peut-être encore quelque essence volatile, par exemple de la térébenthine, qui pouvait se dégager dans le tube sous l'action d'un vide énergétique; et comme il suffit d'une très-petite quantité de matière pour produire un résultat appréciable, cette essence pouvait avoir causé le nuage inattendu. Il me fallait faire disparaître cette cause possible d'erreur et simplifier le plus possible l'appareil. Voici, après bien des essais, ce qui fut arrêté :

Je pris une large éprouvette à pied, en cristal, longue de 25 à 30 centimètres, large de 8 à 9 centimètres de diamètre intérieur, contenant de 1,200 à 2,000 centimètres cubes. Le bord supérieur est évasé, rodé et dressé avec soin; la largeur de ce bord est d'environ 8 millimètres : on le lubrifie légèrement avec un peu de suif et d'huile

fondus ensemble. Une glace plane MN (*fig. 2*), très-trans-

Fig. 2.



parente, est placée sur ce bord supérieur, appuyée assez vivement ; puis, avec un fer chaud, on fait fondre soigneusement un peu de cire tout autour du contact. Au bas de l'éprouvette est une tubulure avec un robinet en verre très-soigné. Voici, du reste, le dessin et la position horizontale de l'éprouvette : on a indiqué le cône de rayons lumineux pénétrant dans son intérieur. Le fond, ou pied de l'éprouvette, a été dressé et poli extérieurement pour éviter la trop grande réflexion de la lumière.

Le dessin n'a pas besoin de légende et s'explique de lui-même. Le vide se maintient des mois entiers dans ces appareils ; c'est par l'unique tube B qu'on fait le vide, et qu'on fait pénétrer les gaz et les vapeurs.

Je dois indiquer ici le procédé que j'ai suivi pour placer dans l'éprouvette le corps à étudier, surtout lorsqu'il est solide ou liquide et volatil. On met une parcelle de la substance dans un tube très-petit, très-fin et très-mince, qu'on ferme aux deux bouts ; on fait le vide complètement, et l'on peut ensuite, quand cela est nécessaire, briser ce petit tube en morceaux par un léger choc ou

3***

une agitation suffisante donnée à l'éprouvette. Pour préparer et amener les gaz, j'emploie exclusivement des gazomètres à mercure : la cloche supérieure en cristal est divisée avec soin en parties d'égale capacité, qui permettent de mesurer avec exactitude le volume des gaz sur lesquels on opère. Enfin, comme machine pneumatique, je me suis servi exclusivement de l'aspirateur à mercure que j'ai décrit dans les *Annales*. Ce sont les seuls appareils qui pouvaient me permettre une propreté absolue et ensuite me rendaient faciles, après la réaction lumineuse terminée, la reprise et l'étude, si je le désirais, du gaz resté dans l'éprouvette. Je pouvais aisément aussi en faire l'analyse ; de plus, ils me permettaient avec facilité la mesure de la force élastique du gaz avant et après la réaction et la connaissance de la variation de volume du gaz employé.

J'ai ajouté à mon aspirateur à mercure deux parties importantes : j'ai placé à côté du manomètre à mercure un manomètre à acide sulfurique, parfaitement bouilli et débarrassé d'acide sulfureux. Ensuite l'air qui presse sur le mercure employé à faire le vide est entretenu constamment sec par son passage continu sur de la chaux et du chlorure de calcium : c'est toujours le même air qui va et vient, du ballon supérieur, dans un sac de caoutchouc, et qui passe et repasse sur les substances desséchantes.

Ce qui donne à ces expériences un caractère particulier, c'est l'élimination complète des véhicules gazeux chargés d'amener la vapeur du corps à étudier. Mes conditions d'expérimentation ont donc sous ce rapport différé de celles de M. Tyndall. Je dois reconnaître toutefois que les éprouvettes d'un volume très-restreint que j'ai employées ne prêtent pas autant au grandiose de l'expérience que les grands tubes présentés par M. Tyndall à son auditoire ; mais ces éprouvettes avaient pour moi de très-grands avantages : leur montage, leur nettoyage et

leur manipulation étaient d'une facilité et d'une promptitude extrêmes ; de plus, l'aspirateur à mercure me permettait très-aisément de reconnaître, en faisant le vide, si le tube et les gaz employés étaient parfaitement secs : c'est souvent un point très-essentiel. Quant à la manière d'amener la lumière, voici ce qui a été fait : un large miroir, tantôt métallique, tantôt formé d'une belle glace étamée, recevait et rendait horizontal un faisceau solaire que concentrait une lentille de 22 centimètres de diamètre et de 40 centimètres de distance focale. La lentille et les rayons infléchis par elle sont dans une boîte, noircie à l'intérieur, d'où le cône lumineux sort pour entrer immédiatement dans l'éprouvette, en traversant la glace qui la ferme. Ainsi que l'indique la figure, le sommet des deux cônes convergents et divergents opposés est situé à peu près vers le milieu de l'éprouvette ; on n'aperçoit du reste ceux-ci dans l'éprouvette que lorsque des modifications moléculaires apparaissent dans le corps gazeux enfermé. Il ne faut pas oublier que le pourtour de la surface des deux cônes est coloré par suite du non-achromatisme de la grande lentille de condensation.

Dans ces circonstances, et avec toutes les précautions que je viens d'indiquer, j'ai été profondément surpris de voir que lorsqu'on soumettait à l'action de la lumière un mélange d'hydrogène et d'azote purs et parfaitement secs, il se produisait le nuage de réaction. Les gaz avaient été desséchés en passant très-lentement à travers du verre en petits fragments calcinés avec soin et mouillés avec de l'acide sulfurique pur et très-concentré. Je voulus faire varier la nature du corps desséchant ; j'employai successivement la potasse, le chlorure de calcium ou spongieux ou desséché : dans ces trois derniers cas, le nuage de réaction disparut, l'action de la lumière fut nulle.

. Quel pouvait donc être le nuage blanc observé lors-

que la substance desséchante était l'acide sulfurique, et quel corps cet acide pouvait-il apporter? Évidemment ce ne pouvait être que le corps gazeux si habituellement dissous par l'acide sulfurique : ce ne pouvait être que de l'acide sulfureux, car — je l'avais précédemment et fréquemment observé — l'acide sulfurique est le dissolvant par excellence de l'acide sulfureux, il en contient toujours, et il peut s'en dégager en quantité très-notable, non-seulement lorsqu'on fait le vide, mais encore pendant le passage d'un gaz au-dessus de lui.

Cet acide en émet toujours et en ajoute toujours au gaz qui le traverse, et cela d'une manière d'autant plus sensible que l'acide desséchant est plus récemment employé. Il me fallait donc me livrer à une étude spéciale de l'acide sulfureux. Je préparai ce gaz avec un soin extrême, et, après l'avoir bien desséché, je le laissai encore plusieurs jours en contact, dans le gazomètre, avec du chlorure de calcium récemment fondu. Il m'a été facile de reconnaître que l'acide sulfureux était, presque immédiatement décomposé lorsqu'il était dans l'éprouvette, soumis à l'action lumineuse. D'abord un nuage très-délicat, du plus beau bleu, apparaît, et si l'on suit avec soin cette manifestation, on voit qu'elle se produit non-seulement au sommet des deux cônes, mais un peu au delà et en deçà. Je ne connais pas de corps plus facile à l'action lumineuse. Pour lui, la condensation de la lumière semble à peine nécessaire, puisque le nuage naît et se manifeste ailleurs qu'au sommet des cônes, et presque dans la totalité du cône convergent. Tant que le nuage est bleu, cette lumière réfléchi est totalement polarisée, comme l'a fait connaître M. Tyndall ; mais peu à peu le nuage devient blanc, les molécules précipitées semblent augmenter de diamètre, et à ce moment cette vapeur blanchâtre réfléchit d'une manière parfaite les bandes colorées et de pourtour que présentent les deux

cônes : rouge-orangé pour le premier, et violet-bleuâtre pour le second. Mais peu à peu le corps blanc précipité s'échauffe sous l'action des rayons calorifiques condensés par la lentille ; dès lors le gaz s'échauffant lui-même, il se produit dans les cônes des mouvements aériens qui apportent dans les cônes lumineux des parties gazeuses non encore influencées par la lumière, et qui, pour ce motif, sont transparentes et paraissent noires. Ces parties flottantes, alternativement blanches et noires, donnent lieu à la formation de figures nuageuses très-variées, colorées par les bandes du pourtour des cônes, et souvent revêtues à leur apparition de nuances nacrées très-belles. Je ne m'arrête pas à ces phénomènes, décrits avec soin par M. Tyndall. Je reviens à l'acide sulfureux, et la première question qui se présentait était de savoir quel pouvait être le corps solide auquel était due l'apparition de ces nuages bleus et blancs. La couleur m'a semblé produite par la seule différence du diamètre des molécules précipitées. La couleur bleue tenait sans nul doute à l'état d'extrême division de la matière précipitée, et la couleur blanche arrivait quand les molécules possédaient un diamètre suffisamment agrandi. Dans ces circonstances, j'ai été peu engagé à chercher à mesurer ce diamètre changeant. J'avais d'abord essayé l'inspection de ces molécules avec un microscope à foyer suffisamment allongé ; mais ces petits corps, étincelants de lumière, passent trop vivement et comme des étincelles de feu dans le champ du microscope, et ce n'est que très-approximativement que j'ai pu trouver $\frac{1}{40}$ et $\frac{1}{30}$ de millimètre pour le diamètre de ces particules flottantes. Je parlerai plus loin d'un autre moyen que j'ai essayé. Mais continuons l'étude de l'acide sulfureux. Au bout d'une demi-heure, on voit l'éprouvette entièrement remplie par une vapeur blanche, qui résulte de la précipitation produite par la lumière. Si on laisse l'éprouvette en repos et dans l'obscurité pour faire ces-

ser toute réaction lumineuse, on voit, après un temps suffisamment long, — et presque toujours j'ai employé la durée d'une nuit, — on voit que l'éprouvette est devenue transparente, non pas parce que le nuage blanc s'est dissous, mais parce que les parties qui le composent se sont déposées sur la partie inférieure de l'éprouvette. Si l'on soumet, sans l'ouvrir, l'éprouvette à une nouvelle action lumineuse, des phénomènes identiques à ceux de la veille se reproduisent, et l'on peut ainsi augmenter indéfiniment la quantité du dépôt formé.

Si l'on analyse le gaz que contient l'éprouvette, on reconnaît, avec l'acide sulfureux, la présence abondante de l'acide sulfurique anhydre en vapeur. Il faut avoir soin de faire de suite cette expérience de vérification après la réaction lumineuse. Le motif de cette obligation va être facile à saisir un peu plus loin. Voulant connaître d'une manière positive quelles étaient la décomposition et la synthèse opérées par la lumière, voici le second procédé que j'ai suivi : après avoir soumis plusieurs jours de suite à l'action lumineuse une éprouvette pleine d'acide sulfureux, je fis pénétrer, par le robinet A, 8 à 10 centimètres d'eau distillée, sans laisser pénétrer d'air, ce qui était facile, puisque, toujours après avoir fait le vide dans l'éprouvette à $\frac{1}{10}$ de millimètre avant d'y laisser arriver l'acide sulfureux, je ne laissais jamais pénétrer assez d'acide sulfureux pour que la tension élastique du gaz contenu fût égale à celle de l'atmosphère ; ainsi, dans une éprouvette de 2,000 centimètres cubes, je n'introduisais au plus que 1,500 à 1,800 centimètres cubes d'acide sulfureux, en mettant l'eau distillée bouillie dans le tube A et ouvrant légèrement le robinet. L'eau seule pénétrait dans l'éprouvette. Alors, en agitant celle-ci après chaque exposition à la lumière solaire, on voyait l'eau devenir laiteuse et tenir ainsi en suspension un corps blanchâtre. Il était évident que l'eau devait

contenir aussi de l'acide sulfureux, puisque l'éprouvette en était pleine, ainsi que de l'acide sulfurique. Pour reconnaître ce que l'eau contenait, voici le procédé qui a été suivi. Après l'action lumineuse, j'ai achevé de remplir l'éprouvette avec de l'acide carbonique, pour rendre la force élastique intérieure égale à la pression atmosphérique ; puis, en ouvrant le robinet au-dessus d'un tube contenant lui-même de l'acide carbonique, je suis parvenu à faire arriver l'eau laiteuse dans ce tube, en évitant tout contact avec l'oxygène de l'air atmosphérique, qui aurait pu faire passer l'acide sulfureux dissous à l'état d'acide sulfurique. J'ai fait bouillir l'eau dans le tube pour chasser l'acide sulfureux. Après un repos suffisant, j'ai décanté le liquide, qui s'est trouvé contenir très-abondamment de l'acide sulfurique, tandis que le dépôt blanchâtre qui rendait l'eau laiteuse, ayant été lavé, s'est trouvé être du soufre. Voici maintenant le phénomène qui s'est présenté quand j'ai voulu recueillir le soufre seul et directement. Puisque l'action lumineuse précipite du soufre, qui, après un repos suffisant, se dépose sur la partie inférieure de l'éprouvette, j'ai pensé qu'en mettant dans l'éprouvette une lame de verre d'environ 4 centimètres de large, et d'une longueur un peu moindre que celle de l'éprouvette, puis remplissant celle-ci avec de l'acide sulfureux sec, l'exposant aux rayons solaires condensés, la laissant toujours dans la position horizontale pendant le repos d'une nuit après chaque jour d'exposition à la lumière, j'ai pensé qu'un dépôt de soufre pulvérulent se produirait, et, effectivement, après une expérience de trois ou quatre jours, j'ai vu, sans ouvrir l'éprouvette, que la lame de verre était couverte d'un dépôt léger sur la partie supérieure. J'espérais ainsi, par l'auréole de diffraction, mesurer le diamètre des corpuscules ; mais en prolongeant l'expérience pendant quinze jours, par un soleil constamment beau, j'ai vu qu'au lieu d'un dépôt pulvérulent, j'avais

un dépôt de gouttelettes huileuses; j'ai recommencé plusieurs fois l'expérience et avec de l'acide sulfureux desséché avec un soin extrême : toujours les gouttelettes *liquides* se sont formées, et je me suis assuré, à la fin de chacune de ces opérations, que la fermeture de l'éprouvette s'était maintenue parfaite, et qu'aucune trace d'air et avec lui d'humidité n'y avait pénétré. Ces gouttelettes huileuses, parfaitement transparentes, analysées, sont formées d'acide sulfurique et de soufre, qui se précipite dès qu'une goutte d'eau distillée touche la gouttelette. Le soufre, en présence de l'acide sulfurique anhydre, s'unirait donc à celui-ci en s'y dissolvant, à peu près comme le font la glace ou la neige en présence du chlorure de sodium dans les mélanges réfrigérants. Serait-ce à cette circonstance qu'il faut attribuer l'existence accordée à certains acides oxygénés du soufre, qui se dédoublent en présence des bases, sans former avec elles d'autres sels que ceux qui correspondent aux radicaux SO^3 et SO^2 ? Je laisse aux chimistes le soin d'éclaircir cette question de dissolution, qui semble se présenter aussi à propos des acides oxygénés du phosphore.

Il est encore une expérience intéressante de M. Tyndall sur laquelle nous croyons devoir revenir. La vapeur de nitrite d'amyle est une de celles sur lesquelles le physicien anglais a fait les plus nombreuses expériences; c'est aussi cette vapeur qui se prête le mieux à ces brillantes évolutions moléculaires. Chacun connaît également l'action des rayons solaires sur un mélange en parties égales de chlore et d'hydrogène. M. Tyndall a remarqué que les rayons solaires ou électriques qui ont traversé un écran contenant du nitrite d'amyle à l'état liquide perdent dans ce passage la propriété de décomposer le nitrite d'amyle en vapeur placé dans le tube d'expériences et recevant le cône lumineux ainsi modifié. Le chlore liquide, toujours d'après le même savant, jouirait de

propriétés analogues. Serait-ce donc une loi générale que les rayons lumineux qui ont traversé un corps liquide perdraient la propriété d'exercer quelque influence d'analyse ou de synthèse sur les vapeurs des corps qui ont formé l'écran liquide? Il m'a semblé que cette conclusion, déduite de deux faits particuliers, pouvait ne pas être exacte et générale. Dans ces deux exemples, il pourrait arriver que les écrans liquides de chlore et de nitrite d'amyle arrêteraient les rayons chimiques excitateurs, non pas parce qu'ils sont chlore et nitrite d'amyle liquide, mais simplement parce que ces deux écrans liquides sont jaunes. La couleur, et non la nature du corps, jouerait ici un rôle efficace. L'expérience pouvait aisément fournir une preuve décisive pour la solution de cette question. En effet, l'acide sulfureux gazeux est un des corps que décompose le mieux la lumière solaire. J'ai donc pris un écran liquide de 3 centimètres, contenu dans un vase aplati en cristal dont les deux faces avaient été soigneusement dressées et polies par notre habile opticien M. Hoffman. Cette écran pouvait permettre le passage d'un cône lumineux de 7 à 8 centimètres de diamètre, et l'épaisseur des parois était assez considérable pour résister à l'acide sulfureux liquide emprisonné. Plein d'acide sulfureux, l'écran liquide était d'une transparence admirable, absolument comme l'eau la plus limpide. Les rayons solaires sans l'écran ne demandent que huit à dix secondes pour décomposer l'acide sulfureux. Avec l'écran liquide, la réaction n'est que retardée; elle a lieu parfaitement au bout de vingt-sept minutes. Ce fait seul suffit pour trancher et résoudre la question exposée plus haut.

Résumons et étudions les faits qui viennent de se produire :

1° L'acide sulfureux soumis à l'action lumineuse subit une évolution moléculaire qui le dédouble.

2° Dans la première phase de l'expérience, un nuage

bleu apparaît au sommet des cônes et dans l'intérieur du premier; la lumière réfléchie par les corpuscules du nuage est polarisée par un plan normal à l'axe.

3° Dans la seconde phase, le nuage devient blanc, et la polarisation disparaît peu à peu.

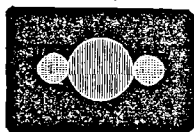
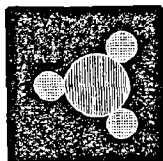
4° Dans la troisième, les cônes lumineux, devenus très-brillants par la réflexion de la lumière blanche, présentent successivement, dans des plans inclinés de 45° , et $90^\circ + 45^\circ$ à l'axe, une lumière rose très-marquée non polarisée.

5° L'analyse indique qu'il y a dépôt de soufre et formation d'acide sulfurique anhydre.

6° Que le soufre déposé se dissout dans les vapeurs d'acide sulfurique anhydre.

J'avais eu d'abord la pensée que les trois premières conclusions semblaient donner à croire que le nuage bleu si délicat était produit par la précipitation du soufre seul et le nuage blanc par la formation de l'acide sulfurique anhydre; mais la persistance complète de ce nuage blanc sous l'action continue de la chaleur et de la lumière ne permet pas de le supposer, ainsi qu'on le verra plus loin. Cependant cette différence marquée de couleur et de polarisation indique sans nul doute une agrégation moléculaire différente; peut-être le second état et la couleur blanche que prend le nuage bleu ne seraient-ils déjà qu'un commencement de l'action mutuelle produite entre le soufre et l'acide sulfurique. Puisque ces deux corps apparaissent en même temps, la réaction peut s'écrire ainsi : 3SO^2 deviennent $\text{S} + 2 \text{SO}^3$; il y a deux molécules d'acide sulfurique formées pour une de soufre précipité. Ainsi donc les molécules de SO^2 ne peuvent supporter le choc des rayons chimiques; les vibrations de ces rayons, les seuls qui soient ici actifs, détruisent SO^2 pour en former S et SO^3 , et les molécules d'acide sulfureux qu'on peut se représenter par le grou-

pement de la *fig. 3* seraient représentées par la *fig. 4*, la

Fig. 3.*Fig. 4.*

molécule intérieure indiquant le soufre et les molécules latérales appartenant à l'oxygène. Le premier groupement SO^2 appartient nécessairement à une molécule plus légère que celle représentée par le second. Dans le dernier état, le soufre et l'oxygène ainsi groupés résistent aux chocs des vibrations des rayons chimiques, ce qu'ils ne faisaient pas dans le composé SO^2 . Nous allons revenir sur cette circonstance. Mais occupons-nous de l'acide sulfurique anhydre.

Puisque ce corps est facilement volatil, l'action que lui font éprouver les rayons lumineux était intéressante à étudier. Rappelons-nous seulement que, lorsqu'on met un peu d'acide sulfurique anhydre dans une ampoule ou pipette de verre, ce corps reste solide et blanc tant que la pipette est froide, mais qu'il se réduit en vapeur transparente et invisible si on la chauffe suffisamment, exactement comme le ferait un peu de neige, un peu d'eau congelée.

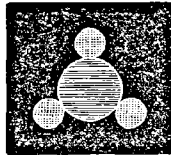
L'expérience de l'acide sulfurique anhydre SO^3 soumis à l'action du faisceau de lumière solaire concentrée est à la fois et très-belle et très-intéressante. J'ai placé un peu de ce corps dans un petit tube en verre mince très-facile à briser par le choc. J'ai placé ce tube dans l'éprouvette, et j'ai fait dans celle-ci un vide excellent. L'acide sulfurique anhydre fume abondamment à l'air, et l'on attribue cet effet à l'absorption, par ce corps, de la va-

peur aqueuse répandue dans l'air. Cela n'est pas complètement exact, puisque, dans un vide très-sec de $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{6}$ de millimètre, quand on brise par le choc le petit tube effilé mince qui contient SO^3 , immédiatement la petite explosion produite lance au loin, dans l'éprouvette, les vapeurs blanches de SO^3 , qui deviennent éblouissantes d'éclat dans les cônes de lumière. Mais les rayons chimiques sont sans action; ils ne peuvent en effet détruire le corps qu'ils ont produit, comme nous l'avons vu précédemment. Mais ici il y a aussi en présence des rayons calorifiques. Ceux-ci n'agissaient pas ou peu sur le soufre, qui est relativement beaucoup moins volatil que SO^3 sous l'action de la chaleur. SO^3 se conduit ici comme le fait tous les jours, sous nos yeux, l'eau à l'état de vapeur vésiculaire et que l'on chauffe; elle se dissout et disparaît à l'état de vapeur transparente. Si SO^3 est stable sous l'action des rayons chimiques, il absorbe au contraire avec une extrême énergie les ondulations calorifiques. Cette absorption est si complète et même si visible, que tout mouvement de transport des vapeurs blanches cesse immédiatement d'une façon absolue; les molécules restent immobiles d'une manière vraiment singulière, occupées, pour ainsi dire, à absorber la chaleur. Alors, au lieu de grossir comme dans le cas du soufre précipité dans SO^2 , elles vont s'amointrissant sans cesse, jusqu'à finir par disparaître, en présentant le spectacle des couleurs les plus brillantes et les plus variées, analogues à celles de la nacre de perle. C'est naturellement au point où la chaleur est la plus vive, au sommet des cônes, que les molécules disparaissent le plus rapidement, laissant des espaces noirs au milieu desquels sont des points brillants et colorés qui s'évanouissent à leur tour. Si, par un mouvement rapide de la clef du robinet, on laisse rentrer lestement un peu d'air qui produit de suite une véritable tempête d'agitation, mais en même temps un froid de dilatation considérable, les vapeurs blanches d'acide sulfurique reparais-

sent comme dans l'expérience de la vapeur sous une cloche vide où on laisse rentrer un peu d'air. Mais sitôt que le robinet est fermé, les vapeurs reprennent immédiatement une immobilité complète, tout mouvement cesse, et peu à peu la chaleur reprend son œuvre et les molécules d'acide sulfurique s'évanouissent de nouveau.

En présence de ces phénomènes, on se trouve conduit à penser que les atomes qui constituent la molécule SO^3 (*fig. 5*) doivent avoir un mouvement synchrone avec les

Fig. 5.



ondulations calorifiques, qu'ils éteignent dès lors et absorbent avec une extrême rapidité dans cette expérience, qui est vraiment magnifique.

J'ai besoin de m'arrêter ici un moment pour exposer les considérations que ces faits soulèvent. On sait que lorsqu'en acoustique des ondulations aériennes et sonores viennent rencontrer des corps qui sont à l'unisson avec elles et peuvent vibrer d'une manière synchrone et harmonique, par exemple des *flammes*, des *cordes tendues* d'une harpe ou d'un piano dont on a soulevé les étouffoirs, des *corps élastiques quelconques*, aussitôt la force vive des ondulations synchrones est absorbée par ces corps harmoniques, qui, pouvant se mouvoir sous l'action de ces chocs réitérés et concordants, se mettent à vibrer et à émettre eux-mêmes des sons. Il m'est arrivé plusieurs fois, devant mon auditoire, qu'en promenant, même avec la plus grande douceur, un archet sur les bords d'une grande cloche en cristal, dont toutes les parties se mettaient en vibration, il m'est arrivé de rendre peu à peu

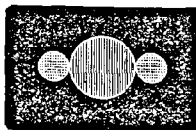
ces vibrations recueillies par la cloche, assez vives et assez puissantes pour faire voler la cloche en éclats, sous l'action de ces chocs très-doux, très-petits, mais réitérés. La seule action d'une voix sonore émise devant la cloche d'une manière harmonique et prolongée suffit, dit-on, pour produire le même phénomène et briser le corps sonore, ce qui n'arriverait pas si la voix ne donnait pas le son voulu et unique.

D'après cela, on concevrait les corps composés, et même aussi les corps simples, comme des édifices moléculaires formés d'atomes assemblés et réunis les uns auprès des autres, et pouvant osciller d'une manière plus ou moins rapide, suivant leur nature, suivant leur poids et suivant le nombre des atomes groupés. Or la science admet que la réfrangibilité, ou mieux la longueur d'onde, et par suite le nombre d'oscillations dans une seconde, est variable pour les rayons calorifiques, lumineux et chimiques, et que tous ces rayons, assemblés, juxtaposés et même aussi superposés dans le spectre solaire, ont, les premiers, les oscillations les plus lentes, les autres les oscillations les plus rapides.

On peut, par divers moyens, augmenter l'amplitude et par là même la puissance de ces oscillations, et obtenir les grands effets de chaleur, de lumière et d'action chimique que nous connaissons.

Ainsi, pour les faits qui nous occupent, si en présence de l'oxygène on soumet du soufre à l'action suffisamment

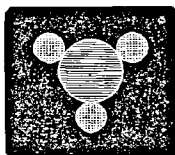
Fig. 6.



énergique de la chaleur, c'est-à-dire au choc des ondu-
lations calorifiques, les molécules de soufre et d'oxygène
s'unissent, se combinent pour former le corps SO^2 (Fig. 6),

édifice moléculaire dont les atomes vibrent et oscillent eux-mêmes, et puisque cet édifice se conserve dans la chaleur et n'est plus détruit par elle, il faut que les oscillations actuellement possibles ne soient plus synchrones avec les oscillations des rayons calorifiques. Ces oscillations traversent le milieu gazeux SO^2 sans l'ébranler. Mais si l'on transporte SO^2 pour le présenter aux chocs plus multipliés et d'une autre période, ceux des rayons chimiques, les atomes de SO^2 , s'ébranlent, et dès qu'ils ont suffisamment emmagasiné la force vive des oscillations des rayons chimiques, leur amplitude de vibration peut devenir assez grande pour que ces atomes soient éloignés les uns des autres par une distance plus grande que le rayon de leur sphère d'action; alors l'édifice moléculaire SO^2 est démoli, les atomes soufre et oxygène conservent cependant leurs propriétés attractives spéciales, ils s'unissent entre eux de nouveau, mais ils ne peuvent former qu'un corps qui résiste aux ébranlements du milieu qui les entoure, et alors il se produit un édifice moléculaire nouveau SO^3 (*fig. 7*) plus

Fig. 7.



lourd, puisqu'il y a plus d'atomes composants pour chaque molécule, et avec des oscillations particulières plus lentes le corps SO^3 échappe à l'action décomposante des rapides oscillations des rayons chimiques. Le soufre S, ne trouvant pas d'oxygène, est précipité à l'état solide. Je me propose, mais le temps m'a manqué pour tenter l'expérience, de voir si, avec de l'oxygène en proportion suffisante, le corps

formé ne serait pas exclusivement SO^3 (1). Ce dernier corps n'est pas visible, je le crois, dans ces opérations, parce que, dès sa formation sous l'action des rayons chimiques, il trouve au même lieu des rayons calorifiques qu'il absorbe et qui le font passer à l'état de vapeur transparente. On conçoit que, si l'on augmente suffisamment l'énergie ou mieux l'amplitude des oscillations calorifiques, le corps SO^3 sera lui-même décomposé à son tour pour laisser revenir SO^2 . Il y a des corps sur lesquels il sera instructif et curieux d'étudier l'action des rayons chimiques, et qui semblent être l'inverse de SO^2 et SO^3 . C'est l'acide carbonique, CO^2 et l'oxyde de carbone CO . Le premier se forme quand, sous l'action de la chaleur, le carbone et l'oxygène sont en présence; puis l'acide carbonique, dans les feuilles de végétaux, se présente comme un édifice moléculaire que les rayons lumineux, ou mieux les rayons chimiques, décomposent, rendant libre l'oxygène et précipitant le carbone.

Je dois rapidement signaler ici quelques résultats présentés par différents corps de la chimie minérale sous l'action de la lumière solaire concentrée. Dans la famille, la plus naturelle cependant des métalloïdes, il y a des anomalies singulières. On sait que le chlore et l'hydrogène s'unissent sous l'action des rayons chimiques de la lumière solaire; on comprend ici, sans que nous ayons besoin d'insister sur ce point, pourquoi cette action de la lumière est si vive et si puissante, car l'excitation qui produit la combinaison agit pour ainsi dire partout et sur toutes les molécules à la fois; celles-ci sont toutes ébranlées en même temps, et la nature spéciale de l'excitant doit avoir ici, comme dans une foule de circonstances, sur les décompositions et les détonations brusques ou

(1) L'expérience a été faite, et, en mettant de l'oxygène avec l'acide sulfureux, le précipité n'est pas modifié.

lentes de la chimie, une action très-variable depuis la plus douce jusqu'à la plus violente. L'acide chlorhydrique, qui résulte de l'action des rayons chimiques sur le chlore et l'hydrogène, ne peut être décomposé par les vibrations qui l'ont formé. C'est effectivement ce que l'on constate quand on prend les précautions convenables, qui sont : la préparation de l'acide chlorhydrique au moyen de l'emploi d'un chlorure très-pur, et surtout d'un acide qui ne pourra pas apporter avec lui la moindre trace d'acide sulfureux. On réussit en employant même l'acide sulfurique, mais après l'avoir exposé chaud à l'action d'un vide très-complet et prolongé. Dans ces conditions, l'acide chlorhydrique (j'avais employé du sel gemme très-pur) n'est pas décomposé.

Au contraire, l'acide hydriodique l'est très-facilement. Il est vrai qu'avec ce gaz il y a toujours des actions complexes, car, malgré sa densité considérable, il est très-difficile de l'avoir très-pur et privé d'air atmosphérique. Sous la première action de la lumière solaire concentrée, on voit, au sommet des cônes, les vapeurs violettes de l'iode apparaître, puis un groupement moléculaire différent et non étudié se produire, puisque des molécules blanchâtres et précipitées viennent envahir les cônes lumineux et semblent annoncer des décompositions et des synthèses.

Pour le brome, voici les résultats qui se produisent. Si l'on met dans l'éprouvette de l'hydrogène pur et sec avec un peu de brome contenu dans un petit tube de verre mince qu'on brise avant l'action solaire, au bout de quelques secondes et sous l'action de la lumière, la couleur fauve du brome disparaît, la combinaison du brome et de l'hydrogène est faite, car la transparence est complète, et quand on ouvre l'éprouvette, le gaz contenu fume abondamment à l'air. Il y a ici complète ressemblance avec le chlore.

Je trouve inutile, pour le moment, d'indiquer la liste

des corps sur lesquels l'action de la lumière a été essayée. Cette liste, beaucoup plus complète, aura de l'intérêt par le grand nombre des corps de la chimie minérale sur lesquels il aura été possible d'opérer. Elle permettra des vues d'ensemble et une classification qui jetteront de la lumière sur ces curieux phénomènes dont l'étude s'ébauche à peine. J'ai déjà commencé l'examen des corps dans lesquels entre le carbone : quelques-uns sont atteints par les rayons chimiques ; d'autres, comme le cyanogène, sont absolument insensibles (1). Quant aux composés de la chimie organique, les évolutions moléculaires y sont nombreuses et faciles, et il suffit, comme l'a trouvé M. Tyndall, des plus minimes quantités d'entre eux pour avoir des nuages et des précipités sensibles et plus ou moins prompts.

Je me bornerai aujourd'hui à donner les considérations théoriques que les faits qui précèdent ont présentées à mon esprit.

Il est établi que les phénomènes de chaleur, de lumière et d'actions chimiques sont produits par des rayons de réfrangibilités différentes, successivement et insensiblement croissants ; que, dans le spectre solaire, par exemple, les phénomènes de chaleur sont produits par les rayons des réfrangibilités les plus faibles, et, précédant les rayons lumineux qui produisent le rouge, puis s'étendant au delà, ils pénètrent le spectre coloré, qui, seul, agit sur le sens de la vue, depuis le rouge extrême jusqu'à l'extrême violet. Les rayons chimiques occupent, au contraire, la partie la plus réfrangible du spectre et s'étendent à une distance considérable au delà du violet visible. Les molécules d'éther, aux vibrations desquelles sont attribués ces divers phénomènes, ont des rapidités

(1) Toutefois, du cyanogène qui a été ainsi insolé, forme un édifice moléculaire ébranlé, car au bout de quelque temps et dans l'obscurité, il se décompose avec un dépôt noir soluble dans l'eau.

d'oscillations croissantes, depuis les rayons calorifiques de moindre réfrangibilité jusqu'aux rayons chimiques extrêmes.

Voici les conclusions que les faits qui précèdent me portent à admettre.

Tous les corps de la chimie peuvent être classés en deux séries : la première, dont l'acide sulfureux est le type, est celle des corps qui se forment et s'unissent sous l'action de la chaleur ; la seconde, et je citerai l'acide chlorhydrique comme type, est celle des corps qui se produisent et se combinent sous l'action des rayons chimiques. On doit admettre que si un corps se forme et se maintient sans changement sous certaines conditions ondulatoires, il faut que les oscillations propres des atomes qui constituent sa molécule soient différentes de celles du milieu où le corps a été produit. Mais si l'on transporte le corps dans un autre milieu, où se produisent des vibrations synchrones avec celles de ses atomes, les vibrations de ces derniers deviennent plus énergiques ; la force vive qu'ils accumulent ainsi devenant rapidement considérable, les atomes sont jetés à une distance les uns des autres plus grande que le rayon de leur sphère d'action. L'édifice atomique précédemment formé est démoli ; les atomes, conservant leurs attractions spéciales, forment un édifice nouveau, possible dans les conditions qui les entourent, par conséquent ne possédant plus les oscillations synchrones du milieu qui a défait le précédent édifice. Ainsi, nous l'avons vu, l'acide sulfureux SO^2 est édifié avec une facilité extrême par l'action de la chaleur sur le soufre, en présence de l'oxygène. La combinaison résulte de la juxtaposition des atomes de soufre et d'oxygène ayant chacun un nombre d'oscillations déterminé, l'oxygène oscillant auprès du soufre, qui possède lui-même son nombre d'oscillations spécial. L'édifice moléculaire ainsi construit oscillerait aussi, et son oscillation serait produite par le déplace-

ment régulier du centre de gravité du système. Si maintenant SO^2 est amené sous l'action des rayons chimiques convenables, immédiatement et avec une facilité aussi merveilleuse que puissante, les oscillations synchrones des atomes composants sont exagérées par la force vive sans cesse recueillie et accumulée, les atomes s'écartent et sont portés à une distance plus grande que le rayon de leur sphère d'attraction, l'édifice atomique SO^2 est démoli, des atomes de soufre se précipitent et pourraient, sans nul doute, se combiner avec d'autres corps s'ils avaient été mis en présence de ceux-ci ; il se forme une molécule nouvelle d'acide sulfurique SO^3 , molécule qui oscille certainement avec plus de lenteur, car, mise en présence des rayons calorifiques, elle recueille et emmagasine la chaleur pour prendre l'état gazeux. Il sera intéressant de rechercher ce que deviendront les réactions lumineuses de SO^2 quand on ajoutera à ce gaz soit de l'oxygène, soit de l'hydrogène, soit d'autres corps, et de rechercher avec précision quels sont les corps ainsi formés et quelles réactions seront accomplies. Ces faits, on le voit, ouvrent à exploiter un champ plein d'intérêt et destiné à éclairer les évolutions moléculaires des atomes, évolutions curieuses, qui semblent engager le chimiste :

1° A rechercher et à constater avec soin sous quelles causes et sous l'action de quelles forces les atomes s'unissent ;

2° A déterminer avec précision, s'il est possible, suivant quelles vibrations oscillent ces atomes ;

3° A indiquer sous quelles vibrations différentes, suffisamment exagérées, l'édifice formé devra être démoli.

On sait parfaitement que, pour unir et combiner les corps simples, il faut employer soit la chaleur, soit la lumière, soit l'électricité. C'est donc une impulsion, une oscillation, une force vive qu'il faut communiquer aux atomes pour que leur combinaison soit possible.

L'ozone et tous les corps qui peuvent d'eux-mêmes s'unir aux autres corps pour former immédiatement des composés seraient des molécules dont les atomes posséderaient une force vive suffisante pour animer et mettre en mouvement les atomes des molécules des corps auxquels ils vont s'unir.

Le chlore insolé, les substances photographiques exposées à la lumière, etc., sont encore des cas de force vive emmagasinée.

L'action de la lumière solaire dans l'acte de la végétation, la couleur des feuilles, qui sont presque toujours vertes, quelquefois rouges, et qui, par conséquent, réfléchissent les rayons lumineux les moins réfrangibles et absorbent ceux qui le sont le plus pour décomposer l'acide carbonique, fixer le carbone et émettre de l'oxygène ; tous ces faits se trouvent éclairés par les réactions lumineuses dont nous nous sommes occupés et par les recherches ultérieures qu'ils provoquent.

Il est un fait que je dois mentionner encore. J'ai remarqué, à plusieurs reprises, et dans des circonstances qui me sont encore inconnues, que, dans l'air atmosphérique, les cônes de lumière donnaient naissance, dans le premier cône surtout et dans le voisinage du sommet, à un nuage bleuâtre très-sensible, bien que d'une légèreté et d'une délicatesse excessives.

Craignant que les poussières et les corps légers qui flottent en si grande abondance dans notre atmosphère si sèche du midi ne fussent la cause de ces apparences, j'ai fait l'expérience dans l'éprouvette à pied habituelle, sans avoir, il est vrai, tamisé l'air avec du coton, mais en le laissant suffisamment reposer, et j'ai reconnu, ce qui du reste est bien facile à distinguer, que ce voile bleuâtre, si léger, n'était pas dû aux causes, poussières et autres, auxquelles j'aurais pu l'attribuer. S'il en était ainsi, et si des causes que je n'ai pas encore recherchées produisent ce phénomène, on pourrait ainsi expliquer

cette belle vapeur bleuâtre qui, sous l'action de la lumière d'un beau soleil et d'un ciel pur, baigne et entoure le pied des montagnes dans les vallées des Alpes ou des Pyrénées.

Enfin, pour terminer, on peut se demander encore : les corps simples eux-mêmes resteront-ils toujours tels si l'on peut parvenir à connaître le nombre d'oscillations sous lequel vibrent leurs atomes, et celui, par conséquent, qui pourra abattre leur édifice moléculaire ?

D'après ce qui précède, on conçoit bien aisément la manière variée avec laquelle une même substance explosive détone suivant la précision et la convenance avec laquelle on lui présente les vibrations synchrones qu'elle réclame pour que la constitution de ses molécules soit partout ébranlée à la fois : un mélange de chlore et d'hydrogène, auquel on met le feu avec une allumette enflammée, détone moins violemment que lorsqu'un faisceau lumineux solaire traverse et atteint à la fois toutes les molécules du mélange. On conçoit ainsi parfaitement les vues théoriques exposées par M. Abel, dans sa communication à l'Institut, du 13 juillet dernier, à propos des matières explosibles, et celle de M. Favre, relatives à la décomposition des corps par les vibrations synchrones développées dans la pile et transmises par les arcs interpolaireaux aux corps électrolysés.

Le platine, par rapport à l'exposé précédent, offre des faits saisissants. Légèrement chauffé, il émet seulement des rayons calorifiques, et il n'émet pas de lumière propre. Chauffé davantage, il émet, avec les rayons calorifiques, des rayons lumineux, rouge sombre, appartenant à la partie la moins réfrangible du spectre ; chauffé plus encore, le rouge sombre devient rouge vif, rouge cerise par l'adjonction de l'orangé et du jaune du spectre qu'il émet. Il arrivera un moment où, plongé dans un mélange d'hydrogène et d'oxygène, il opérera leur combinaison, qui formera de la vapeur d'eau ; et le platine, à cette

température et avec cette teinte qu'il réfléchit, plongé dans de la vapeur d'eau, ne détruira pas ce corps qu'il a formé. En chauffant encore davantage le platine, il continue à émettre des rayons de plus en plus réfrangibles, et leur ensemble commence à produire de la couleur blanche; en cet état, plongé même dans l'eau, il ne la décompose pas encore. Mais si l'on continue à le chauffer jusqu'au blanc éblouissant et à la fusion même, il émet alors assez de rayons chimiques extrêmes pour démolir l'édifice moléculaire précédemment formé, et plongé alors dans l'eau qu'il avait un peu auparavant fait naître, il la décompose en ses éléments primitifs.

J'ai constaté que l'eau n'est pas la seule substance que le platine, à une température très-voisine de son point de fusion, dissocie en la dédoublant en ses deux éléments. L'acide carbonique est dans le même cas : si l'on fait passer ce gaz dans un tube de platine porté à la température du rouge blanc, il se dédouble en oxyde de carbone et oxygène.

VIII. — Recherches sur l'illumination des corps transparents

Par M. A. LALLEMAND.

Lorsqu'on illumine par un faisceau de rayons solaires différents corps transparents, solides ou liquides, on observe des phénomènes variés qui dépendent de la nature de la substance employée. A ce point de vue, les corps peuvent se ranger sous trois catégories. Les uns n'ont pas de fluorescence appréciable et ne possèdent pas de pouvoir rotatoire ; les seconds sont plus ou moins fluorescents, et, comme les premiers, n'exercent aucune déviation sur le plan de polarisation de la lumière incidente. Les derniers sont ceux qui ont un pouvoir rotatoire moléculaire, auquel vient s'ajouter souvent une fluorescence assez énergique. Je vais décrire d'abord les principaux phénomènes auxquels conduit l'observation immédiate, et j'exposerai ensuite le résultat des vérifications photométriques qui justifient les conclusions qu'il me semble permis d'en tirer.

Si l'on opère sur un liquide, il est contenu dans un large tube de verre fermé à ses deux extrémités par des glaces parallèles. Le tube, placé horizontalement dans une chambre obscure, reçoit dans la direction de son axe un faisceau de rayons solaires réfléchi par un miroir métallique et rendu légèrement convergent par une lentille achromatique à long foyer. Un prisme de Foucault, interposé au besoin sur le trajet du faisceau, sert à polariser la lumière dans un plan déterminé. Les solides diaphanes, taillés en cylindres ou prismes droits, peuvent être

soumis à l'expérience dans les mêmes conditions que les liquides.

Substances non fluorescentes.

Supposons que le tube renferme soit de l'eau pure, soit tout autre liquide non fluorescent, tel que la partie la plus volatile de l'essence de pétrole, c'est-à-dire de l'hydrure d'amyle, et qu'on opère d'abord avec de la lumière neutre, ou du moins ne possédant que la faible polarisation elliptique due à la réflexion des rayons solaires sur le miroir argenté. En regardant le tube dans une direction transversale, on constate que le liquide s'illumine; en visant au travers d'un analyseur bi-réfringent, un nicol par exemple, normalement à l'axe du faisceau et dans un plan quelconque passant par cet axe, on reconnaît que l'extinction est complète quand la section principale du prisme est parallèle à l'axe du tube, c'est-à-dire que la lumière émise par le liquide dans une direction quelconque normale à l'axe du faisceau est entièrement polarisée dans un plan passant par l'axe; en inclinant le nicol sur l'axe dans les deux sens, l'extinction n'est plus totale, la lumière est partiellement polarisée, et d'autant moins que l'inclinaison est plus grande. Le résultat, du reste, ne change pas si l'on opère sur les rayons solaires directs, en supprimant toute réflexion préalable.

Lorsque la lumière incidente est polarisée par le prisme de Foucault dans un plan que je supposerai dorénavant horizontal, le phénomène change. A la simple inspection du tube, on reconnaît que l'illumination a une intensité variable : elle est maximum dans une direction horizontale; en regardant de haut en bas, ou de bas en haut, l'obscurité est complète. On reproduit ainsi avec un milieu homogène, parfaitement transparent, l'expérience que M. Stokes a suggérée à M. Tyndall, dans ses re-

cherches sur les condensations nuageuses que la lumière électrique détermine au sein d'un milieu raréfié renfermant des vapeurs décomposables. Mais la conclusion qu'on en peut déduire est bien différente : tandis que dans l'expérience de M. Tyndall, l'illumination peut être attribuée à un phénomène de réflexion sur des particules solides ou liquides extrêmement ténues, avec un milieu transparent et homogène, on ne saurait invoquer un phénomène de réflexion particulière ; c'est une véritable propagation du mouvement vibratoire au sein de l'éther condensé du milieu réfringent qui a lieu dans toutes les directions, excepté dans la direction normale au plan de polarisation. On reconnaît d'ailleurs que la lumière émise est toujours *entièrement* polarisée dans un plan déterminé, et lorsque en particulier on donne à l'analyseur une direction horizontale quelconque, il est aisé de vérifier que le plan de polarisation primitif est encore celui de la lumière propagée transversalement.

Pour analyser le phénomène dans tous ses détails et en simplifier l'interprétation, il convient de modifier l'expérience de la manière suivante. Au lieu d'enfermer le liquide dans un tube cylindrique ou une cuve prismatique, on l'introduit dans un ballon de verre sphérique à mince paroi. Aux extrémités d'un même diamètre, le ballon est percé de deux ouvertures circulaires d'un à deux centimètres de diamètre sur lesquelles on mastique deux disques de glace mince bien parallèles. C'est au travers de ces deux disques que passe le filet de lumière polarisée ; on vise alors invariablement le centre du ballon au travers d'un tube noirci et suivant un diamètre quelconque. Le résultat de cette première épreuve, c'est qu'il y a lumière émise avec des intensités variables dans tous les sens, excepté suivant la direction verticale. Autour de cette direction, l'intensité va croissant avec l'inclinaison, et devient maximum quand le tube a atteint

une position horizontale. Ce maximum lui-même est variable avec l'azimut dans lequel le tube se trouve situé, et d'autant plus grand que l'angle de cet azimut avec le vertical passant par l'axe du filet lumineux est lui-même plus petit.

En adaptant au tube mobile qui sert à la visée un nicol analyseur, on constaté que la lumière émise dans une direction quelconque est toujours *entièrement* polarisée. Quel que soit l'azimut où le tube se trouve placé, l'extinction a toujours lieu quand la section principale de l'analyseur est normale à cet azimut, c'est-à-dire que le plan de polarisation de la lumière émise est constamment perpendiculaire au plan azimutal qui contient les rayons émergents.

Les deux expériences que je viens de décrire constituent d'abord une sorte de vérification expérimentale du lemme d'Huygens qu'on invoque en particulier dans l'explication des phénomènes de diffraction; elles conduisent aussi à modifier la manière dont on l'interprète pour expliquer tous les phénomènes relatifs à la propagation du mouvement lumineux. Les opinions admises jusqu'à ce jour sur cette question ont été savamment développées par Verdet dans les leçons que M. Levistal a recueillies et publiées. Conformément à l'opinion de Fresnel, Verdet admet que chaque point de l'onde primitive ne peut envoyer de mouvement qu'au delà du plan tangent à l'onde en ce point; par suite, l'onde élémentaire ne doit être regardée comme active que sur la moitié antérieure située au delà du plan tangent mené par son centre à l'onde primitive, tandis que, sur l'autre moitié, le mouvement vibratoire doit être regardé comme nul. D'un autre côté, l'intensité du mouvement vibratoire sur la demi-onde antérieure diminue très-rapidement suivant une loi inconnue, à partir de son sommet. Cette dernière conclusion est une circonstance inévitable de toutes les expériences de diffraction; mais en attribuant, comme je

le fais, l'illumination des milieux très-réfringents à la propagation latérale du mouvement lumineux, on est conduit à admettre que l'onde élémentaire est active par tous les points de sa surface et que le mouvement vibratoire émané de chaque point de l'onde primitive se propage en arrière du plan tangent. Quelques expériences photométriques m'ont conduit à admettre qu'à partir d'une petite distance de la normale à l'onde primitive, l'intensité du mouvement vibratoire éprouve un affaiblissement rapide, pour conserver ensuite une valeur constante sur toute la surface de l'onde élémentaire. Cette hypothèse est celle que j'adopterai, tout en reconnaissant que, dans certains cas, l'expérience semble indiquer une diminution graduelle d'intensité à partir du sommet antérieur de l'onde élémentaire jusqu'à son sommet postérieur. Quant à la réalité du mouvement vibratoire en arrière du plan tangent à l'onde lumineuse, elle était déjà démontrée par les phénomènes de diffraction antérieurs à l'écran diffringent que M. Knochenhauer a particulièrement étudiés.

Avant d'aller plus loin, il importe d'écarter l'opinion soutenue par M. Soret, qui attribue tous les phénomènes d'illumination que j'ai fait connaître à une réflexion sur des particules solides très-ténues, que les liquides tiennent inévitablement en suspension. Je reconnais, en effet, que les expériences de cette nature n'offrent d'autre difficulté que celle qu'on éprouve à obtenir des liquides bien purgés de poussières ou corpuscules de diverses natures, qui deviennent le siège d'une réflexion diffuse ou spéculaire, et nuisent à la netteté du résultat. L'eau en particulier, dont l'illumination est faible, se purifie très-difficilement; il faut la distiller dans des conditions particulières, relier le vase où on la reçoit avec le réfringérant, de manière à éviter toute communication immédiate avec l'air extérieur, et balayer d'avance tout l'appareil avec un courant de gaz ou de vapeur. Malgré

ces précautions, on n'arrive pas toujours à une pureté absolue, les organismes ou débris d'organismes qui flottent dans l'atmosphère restent en suspension dans l'eau et dans les dissolutions salines aqueuses, et le repos ne suffit pas, dans bien des cas, pour déterminer leur précipitation. Mais il n'en est pas de même des liquides organiques très mobiles, tels que l'acétone, les alcools méthylique et éthylique, le sulfure de carbone, les carbures hydrogénés et surtout les hydrocarbures saturés qu'on retire de l'essence de pétrole, traitée préalablement par les acides azotique et sulfurique, et rectifiée sur de la chaux vive. Les poussières organiques de l'atmosphère s'y dessèchent rapidement et se déposent ensuite avec facilité.

Pour lever tous les doutes qui pourraient subsister dans quelques esprits sur le rôle que jouent les poussières atmosphériques dans le phénomène de l'illumination, je ferai remarquer que l'acide sulfurique concentré, lorsqu'il vient d'être rectifié, s'illumine à la manière de l'eau pure ; mais au bout de quelques jours, pour peu qu'il ait été mis en contact avec l'air, il prend une légère coloration, et l'illumination change de nature. Ce n'est plus cette traînée de lumière estompée, homogène, qu'on avait d'abord observée. A distance, l'illumination semble formée d'un amas de petits globules lumineux qui se détachent sur un fond moins éclairé. En observant de plus près, à l'aide d'une loupe, on s'aperçoit que l'illumination est due en partie à des stries fines et colorées de toutes les nuances prismatiques. Ici, le phénomène de l'illumination est évidemment compliqué d'une réflexion sur les deux surfaces de minces filaments transparents et des couleurs d'interférence qui en sont la conséquence. Aussi l'acide sulfurique concentré, qui attaque et retient avec tant d'énergie les corpuscules atmosphériques, est-il éminemment propre à la purification de l'air et des gaz. L'acide sulfureux, desséché par l'acide sulfurique, en

prenant la précaution de recouvrir l'extrémité du tube abducteur d'une toile métallique en fils de platine qui divise le gaz en bulles microscopiques, s'obtient ainsi parfaitement pur; et si on l'amène au fond d'un ballon dont le col a été préalablement étiré, on peut, quand le courant gazeux a été longtemps soutenu, liquéfier l'acide sulfureux, sceller immédiatement le ballon à la lampe, et obtenir de la sorte un liquide d'une pureté absolue, que les rayons illuminent néanmoins avec énergie. Dans ce cas, l'intervention des poussières atmosphériques ne saurait être invoquée, et le phénomène ne saurait être attribué qu'à la propagation latérale du mouvement vibratoire. L'intensité de cette propagation est d'ailleurs déterminée par la densité de l'éther du milieu réfringent, et sans doute aussi par sa condensation autour de chaque molécule du corps.

Substances fluorescentes.

Cette opinion est rendue plus probable et en quelque sorte confirmée par les phénomènes plus complexes qu'offrent les liquides fluorescents. Je suppose qu'on soumette à l'action du faisceau polarisé une dissolution aqueuse d'esculine ou de sulfate de quinine, le liquide, observé dans une direction verticale, s'illumine d'une teinte bleue uniforme dont l'intensité va décroissant depuis la face d'incidence jusqu'à l'extrémité du tube: cette lumière est neutre à l'analyseur. En visant horizontalement, l'illumination est bleue à l'origine du tube, et devient blanche vers l'extrémité opposée. Le nicol montre que cette lumière est partiellement polarisée dans le plan primitif, et dans la position d'extinction laisse persister une teinte bleue identique à celle qu'on observe directement au même point en visant de haut en bas. L'analyseur permet ainsi d'arrêter toute la lumière résultant de la propagation latérale, et ne laisse passer que la lumière

neutre engendrée par la fluorescence. Ce procédé offre un moyen commode d'isoler et d'analyser l'illumination due exclusivement à la fluorescence.

En faisant précéder, au contraire, le tube à expériences d'une cuve renfermant une dissolution plus concentrée du même liquide, qui arrête tous les rayons excitateurs violets ou extra-violet, le liquide renfermé dans le tube se comporte comme l'eau pure ou tout autre liquide non fluorescent, et paraît complètement obscur dans le sens vertical. Une particularité qu'il importe de signaler, c'est que la lumière polarisée que j'attribue à la propagation latérale du mouvement lumineux, analysée au spectroscope, renferme, comme les rayons incidents, les raies principales du spectre solaire, tandis que la lumière fluorescente a un caractère particulier qui dépend de la substance employée. C'est ainsi qu'avec le verre ou de l'azotate d'urane, on retrouve les bandes vertes caractéristiques signalées par MM. Stokes et Edmond Becquerel.

Ce mode d'analyse conduit d'ailleurs à cette conséquence, que la fluorescence est beaucoup plus commune dans les liquides qu'on ne l'avait supposé. Si elle n'a pas été remarquée dans un grand nombre de liquides et même de solides qui la possèdent, c'est que tous les rayons du spectre sont susceptibles, dans bien des cas, de provoquer le phénomène, et que la fluorescence, au lieu de se produire avec un maximum d'éclat et une couleur propre au contact de la face d'incidence, se manifeste dans toute la masse du corps que la lumière traverse, et sans couleur propre bien tranchée.

Prenons comme exemple le sulfure de carbone, rectifié sur de la chaux vive et mis en contact avec du cuivre réduit par l'hydrogène : il est alors parfaitement incolore, et, soumis à l'action des rayons polarisés, il s'illumine sur toute la longueur du tube, et dans toutes les directions, d'une teinte blanche légèrement bleuâtre. En

visant horizontalement avec un polariscope, on y reconnaît encore la présence d'une certaine proportion de lumière polarisée, tandis que, dans le sens vertical, la lumière émise est neutre, entièrement due à la fluorescence, et l'analyse spectrale y révèle toutes les couleurs prismatiques et quelques-unes des raies du spectre solaire.

En opérant avec une lumière homogène, on reconnaît en effet que les rayons rouges, par exemple, excitent dans le sulfure carbonique une fluorescence rouge, et qu'en définitive les atomes de ce liquide vibrent à l'unisson de tous les rayons lumineux du spectre, excepté les rayons chimiques, qui, lorsqu'ils n'éprouvent pas une absorption spéciale, sont en général transformés en rayons faiblement lumineux de moindre réfrangibilité. La plupart des liquides, le verre et le cristal eux-mêmes, sont à divers degrés fluorescents à la manière du sulfure de carbone, et je n'oserais pas affirmer qu'il existe un seul liquide transparent entièrement dépourvu de cette propriété.

Vérification expérimentale de l'hypothèse de Fresnel sur la direction du mouvement vibratoire dans un rayon de lumière naturelle ou polarisée.

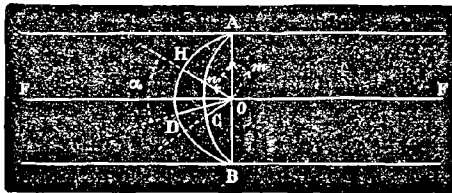
Revenons maintenant aux deux expériences fondamentales que j'ai décrites au début de ce Mémoire. La première, dans laquelle on voit la lumière naturelle propager normalement au faisceau incident des rayons complètement polarisés, et dans une direction oblique de la lumière partiellement polarisée, suffit à elle seule pour justifier les hypothèses de Fresnel, et démontre en même temps que le mouvement vibratoire de l'éther est perpendiculaire au rayon dans la lumière naturelle, rectiligne et normal au plan de polarisation dans la lumière polarisée. La seconde vient à l'appui de la première : elle démontre,

en effet, qu'il n'y a pas de mouvement propagé dans une direction normale au plan de polarisation. Or Fresnel a conclu mathématiquement de la non-interférence des rayons polarisés à angle droit, que dans les rayons de cette nature la vibration était rectiligne et normale au plan, ou dirigée suivant le plan de polarisation. Mais les lois expérimentales de la polarisation n'ont pas permis de décider l'importante question de savoir si la vibration est parallèle ou perpendiculaire. Les phénomènes d'illumination montrent que la seconde hypothèse est seule admissible ; les vibrations éthérées ne se propagent pas normalement au plan, ou du moins ne peuvent exciter dans cette direction que des ondes longitudinales analogues aux ondes aériennes, lesquelles ne déterminent aucun effet lumineux.

En partant de cette donnée, on explique très-simplement les variations d'intensité et la direction variable du plan de polarisation de la lumière émise, tandis que ces effets si complexes ne sauraient se concilier avec l'hypothèse d'une réflexion particulière.

Soient F le faisceau cylindrique des rayons solaires polarisés dans un plan horizontal (*fig. 8*), O le centre du

Fig. 8.



ballon sphérique illuminé, ACB la section droite du cylindre, et ADB une section oblique faisant avec la première un angle $COD = \omega$. Supposons que OH , contenu dans cet azimut oblique, représente la ligne de

4**

visée et fasse avec sa projection horizontale OD un angle $HOD = \alpha$. Une vitesse de vibration dirigée suivant OA admet deux composantes : l'une ON, dirigée suivant OH, ne produit dans cette direction aucun effet lumineux ; l'autre OM, perpendiculaire à ON, engendrera un rayon polarisé dans un plan normal à l'azimut ABD, conformément à l'expérience.

Pour calculer l'intensité de la lumière émise suivant OH, il suffit de remarquer qu'elle est proportionnelle au carré de la vitesse composante OM, ainsi qu'à la profondeur OH du faisceau lumineux, en supposant que ce faisceau ait un diamètre très-petit, relativement à la distance à laquelle se trouve l'observateur (1). Elle s'exprimera donc par $k \cdot \overline{OH} \cdot \cos^2 \alpha$, en représentant par k un coefficient variable avec le corps soumis à l'expérience, et si l'on prend comme unité la vitesse de vibration verticale et le demi-diamètre OA du faisceau lumineux.

Or OH représente le diamètre variable d'une ellipse dont l'équation est

$$x^2 \cos^2 \omega + y^2 = 1,$$

d'où l'on déduit aisément

$$\frac{1}{\overline{OH}^2} = 1 - \cos^2 \alpha \sin^2 \omega ;$$

(1) Soient, en effet, b la distance de l'œil à l'axe du filet lumineux, δ le demi-diamètre du filet suivant la ligne de visée et x la distance d'un point lumineux de ce diamètre à l'axe du faisceau ; en admettant que la quantité de lumière envoyée à l'œil par les divers points de ce diamètre est la somme arithmétique des éclaircissements de chacun d'eux, elle sera proportionnelle à l'expression suivante :

$$\int_{-\delta}^{+\delta} \frac{dx}{(b+x)^2} = \frac{2\delta}{b^2 - \delta^2},$$

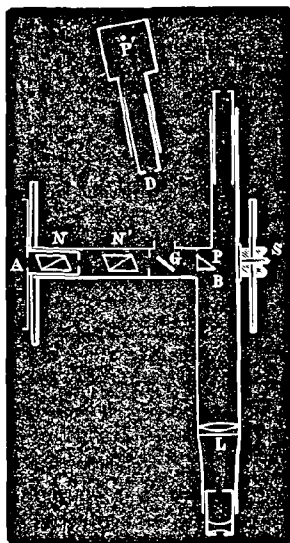
d'où il suit que si δ est une fraction suffisamment petite de b , cette intégrale définie est sensiblement proportionnelle à δ , c'est-à-dire au diamètre du filet lumineux.

l'intensité du rayon propagé dans la direction OH sera par conséquent

$$I = \frac{k \cos^2 \alpha}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \sin^2 \omega}}$$

L'appareil photométrique dont j'ai fait usage pour vérifier cette formule, est fondé sur la méthode indiquée par Arago, et ne diffère que par quelques dispositions spéciales des appareils analogues imaginés par MM. Bernard et Edmond Becquerel; il se compose d'un tube coudé ABCL (*fig. 9*); la partie AB porte deux nicols, l'un

Fig. 9.



N mobile au centre d'un cercle gradué, et l'autre N' reste fixe pendant l'expérience; en P est un prisme à réflexion totale; une lampe à modérateur, placée à distance dans

une boîte noircie, envoie de la lumière qui, après avoir traversé un diaphragme rectangulaire ou semi-circulaire et les deux nicols, est réfléchié par le prisme P et donne, à l'aide d'une petite lunette de Galilée L, une image nette du diaphragme. Le tube BC est dirigé vers le centre du ballon sphérique contenant le liquide illuminé, et porte aussi à son extrémité un diaphragme semblable à celui qui précède le nicol mobile. Derrière une petite fenêtre que porte le tube AB, est une petite glace G non étamée et mobile en tout sens. Le photomètre est porté sur un pied vertical, et pivote en S au centre d'un cercle gradué, de manière à donner au tube CL toutes les inclinaisons possibles ; la lunette de Galilée peut être au besoin supprimée, et j'ai souvent trouvé avantage à viser à l'œil nu les deux diaphragmes.

Supposons d'abord que le photomètre soit dirigé normalement au faisceau lumineux : dans ce cas, $\omega = 0$, et la formule précédente se réduit à

$$I = k \cos^2 \alpha,$$

c'est-à-dire que l'intensité de la lumière émise variera comme le carré du cosinus de l'angle que fait le rayon émergent avec sa projection horizontale. La vérification photométrique est alors des plus simples. On fait coïncider les sections principales des deux nicols, et le photomètre ayant une direction horizontale, on tourne le polariseur de 90° , de manière à ne recevoir, suivant CL, que la petite quantité de lumière neutre fluorescente que la substance illuminée peut émettre. On dispose alors, en avant de la glace G, une petite lampe à essence de pétrole P' placée au fond d'un large tube, muni d'un diaphragme D semblable aux diaphragmes C et A. Des verres ou des auges à liquides colorés, placés devant le diaphragme D, permettent d'établir l'égalité des teintes, condition indispensable pour juger avec le plus de précision possible de l'égalité des lumières, et à laquelle j'ai toujours satisfait.

Quand cette condition est réalisée et que la lumière due à la fluorescence est équilibrée par un éclairage égal, le polariseur est ramené à la position première, c'est-à-dire que le plan de polarisation des rayons incidents est de nouveau rendu horizontal; l'œil reçoit ainsi, au travers du diaphragme C, la somme des deux lumières neutre et polarisée, qui constituent l'illumination; la lampe placée au devant du nicol mobile intervient alors pour établir l'égalité, et l'œil voit, au travers de la lunette juxtaposée, d'un côté l'image illuminée du diaphragme C, et de l'autre les images superposées des deux diaphragmes D et A. Cette superposition s'établit aisément à l'aide des mouvements qu'on peut donner au prisme P et à la glace G. L'égalité des deux images étant établie pour le maximum d'illumination, il n'est pas nécessaire, pour effectuer la vérification, de déplacer le photomètre; il suffit de tourner le polariseur d'un certain angle α , et pour maintenir l'égalité des lumières, le nicol mobile devra être dévié d'un angle égal, si la loi du cosinus signalée plus haut est exacte. C'est ce que j'ai toujours vérifié avec toute la précision que comporte ce genre de mesures, aussi bien sur le verre et le cristal que sur différents liquides qu'il suffit, dans ce cas, de placer dans des auges rectangulaires. Lorsque l'égalité des lumières est bien établie au départ, elle se maintient pour des rotations égales quelconques du polariseur et du nicol photométrique; il importe d'ailleurs d'opérer par un ciel très-pur et vers le milieu du jour, pour écarter toute influence due à la variation d'intensité des rayons solaires. Voici quelques nombres obtenus avec un prisme de cristal dont l'illumination était vive et la fluorescence faible :

Rotation du polariseur...	15°00'	30°00'	45°00'	60°00'	75°00'
Rotation du prisme photométrique	14.38	30.25	44.16	59.40	74.22
					4***

J'ai cherché aussi à vérifier la formule générale d'intensité établie plus haut en plaçant le liquide dans un ballon sphérique portant deux disques de glace parallèles; il faut alors disposer le photomètre et ses accessoires sur une tablette mobile autour de la verticale passant par le centre du matras qui contient le liquide illuminé, de manière à mesurer l'angle ω . L'inclinaison donnée à l'axe CL du photomètre se mesure sur le cercle qui lui sert de support, et représente α .

Considérons d'abord le cas où, le photomètre conservant une direction horizontale, ω seul varie; la formule d'intensité se réduit à

$$I = \frac{k}{\cos \omega}.$$

Les sections principales des deux nicols photométriques étant parallèles, si l'on établit l'égalité des lumières lorsque le photomètre vise dans l'azimut ω , l'intensité de l'illumination va diminuer lorsqu'on ramènera l'instrument dans l'azimut normal au faisceau lumineux; et pour maintenir l'égalité, il faudra dévier le nicol mobile d'un angle x , tel que $\cos^2 x = \cos \omega$.

Je choisis, parmi les différentes épreuves que j'ai effectuées, les nombres suivants obtenus avec de l'hydrure d'hexyle très-pur.

Trouvé.		Calculé.	
$\omega = 30^\circ$	$x = 21^\circ 28'$	$x = 22^\circ 8'$	$21^\circ 6'$
45	32.46	33.24	32.54
60	45.00	46.4	44.00

Les deux valeurs de x correspondantes à une même valeur de ω sont relatives à deux inclinaisons égales et symétriques par rapport à l'azimut normal au faisceau; la première valeur est celle qui a été obtenue en inclinant le photomètre du côté du faisceau émergent, et la seconde, toujours un peu plus faible que la première, surtout pour

les plus grandes valeurs de ω , est celle qui correspond à une inclinaison égale et symétrique du côté du faisceau incident. Avec quelques liquides, tels que le collodion, qui s'illuminent vivement, j'ai obtenu souvent des différences plus considérables, que j'attribue à un défaut de limpidité du liquide qui peut tenir en suspension quelques particules solides, mais qui tiendrait peut-être aussi, comme je l'ai déjà fait remarquer, à ce que la propagation du mouvement vibratoire en arrière de l'onde incidente éprouve une résistance plus grande que dans la direction opposée.

Mais si l'on se borne à comparer les intensités dans un même azimut oblique, ω restant invariable, tandis que α seul varie, la formule se vérifie avec plus d'exactitude. Dans ce cas, pour la rendre calculable par logarithmes, on a recours à un angle auxiliaire en posant

$$\cos \alpha \sin \omega = \cos \varphi,$$

d'où

$$I = \frac{k \cos^2 \alpha}{\sin \varphi}.$$

Le photomètre visant au centre du ballon illuminé dans une direction horizontale, on établit l'égalité des lumières, et en inclinant ensuite le photomètre d'un angle α , l'intensité doit diminuer dans le rapport de $\frac{1}{\cos \omega}$ à $\frac{\cos^2 \alpha}{\sin \varphi}$, et pour rétablir l'égalité, il suffit de dévier le nicol du photomètre d'un angle x déterminé par la relation

$$\cos^2 x = \frac{\cos \omega \cos^2 \alpha}{\sin \varphi}.$$

Voici le résultat d'une expérience exécutée sur le collodion dans l'azimut de 45° , d'où

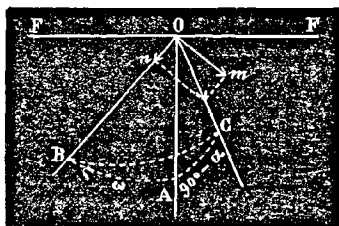
$$\omega = 45^\circ.$$

		Calculé.	Trouvé.
$\alpha = 30^\circ$	$\varphi = 52^\circ 14'$	$x = 35^\circ 00'$	$x = 34^\circ 34'$
45	30.00	50.17	51.6
60	69.18	64.14	63.44

Ce mode de vérification, qui exige le déplacement du photomètre, est peu commode et nécessite une manœuvre laborieuse ; pour équilibrer exactement dans toutes les positions de l'instrument la lumière fluorescente qui est variable avec la profondeur du filet lumineux, il est indispensable alors de placer, en arrière du diaphragme C, un troisième nicol mobile qui offre l'inconvénient d'affaiblir l'illumination ; aussi n'ai-je pas multiplié les essais de cette nature, et j'ai préféré conserver au photomètre, dans chaque azimut, la direction horizontale, et déterminer une variation d'intensité dans cette direction par la rotation du polariseur. L'intensité de l'illumination suivant cette direction invariable se calcule, dans ce cas, de la manière suivante.

Soient OF (fig. 10) l'axe du filet lumineux, O le centre

Fig. 10.



de la sphère illuminée, OB la ligne divisée faisant un angle ω avec la trace horizontale OA de l'azimut normal au faisceau, OC une ligne située dans cet azimut et faisant avec OA l'angle $\text{COA} = 90^\circ - \alpha$. Si le plan de polarisation de la lumière incidente, supposé d'abord horizontal, est dévié d'un angle α , il est évident que OC

représentera la direction du mouvement vibratoire au point O. Une vitesse de vibration suivant cette direction admet deux composantes, l'une ON qui ne produira dans la direction OB aucun effet lumineux, l'autre OM perpendiculaire à OB qui sera seule efficace.

L'intensité lumineuse suivant OB sera proportionnelle au carré de cette composante OM, et aura évidemment pour valeur

$$I = \frac{k \sin^2 \text{COB}}{\cos \omega}.$$

Posons $\text{COB} = \beta$, on voit que β est l'hypoténuse d'un triangle sphérique rectangle, dont ω et $\frac{\pi}{2} - \alpha$ sont les deux autres côtés ; d'où

$$\cos \beta = \cos \omega \sin \alpha ;$$

et, par suite, l'expression de l'intensité sera

$$I = \frac{k(1 - \cos^2 \omega \sin^2 \alpha)}{\cos \omega}.$$

Posons $\alpha = 0$, elle se réduit à $\frac{k}{\cos \omega}$, valeur déjà trouvée.

Pour $\alpha = 90^\circ$, elle devient

$$I = \frac{k \sin^2 \omega}{\cos \omega}.$$

Qu'on établisse l'égalité photométrique lorsque $\alpha = 0$ et qu'on fasse ensuite tourner le polariseur de 90° , l'intensité de l'illumination est diminuée dans le rapport de 1 à $\sin^2 \omega$, et pour rétablir l'égalité il faudra dévier le nicol mobile de l'angle complémentaire ($90^\circ - \omega$).

En général, si la rotation du polariseur est un angle quelconque α , l'intensité diminue dans le rapport de 1 à $\sin^2 \beta$, et l'égalité des éclaircissements est rétablie lorsque le

prisme photométrique est dévié d'un angle x , tel que $\cos^2 x = \sin^2 \beta$; d'où $x = 90^\circ - \beta$. J'ai exécuté un grand nombre de déterminations par cette nouvelle méthode, et obtenu des résultats suffisamment précis. Je transcris ici quelques nombres obtenus avec l'hydrure d'heptyle bouillant à 95° , et en opérant dans un azimut incliné sur le faisce au lumineux émergent.

PREMIÈRE SÉRIE. $\omega = 30^\circ$.

	Calculé.	Trouvé.
$\alpha = 20^\circ$	$x = 17^\circ 13' 40''$	$16^\circ 22'$
40	30.49.30	29.18
60	48.35.20	49. 4
80	58.31.30	57.14
90	60 00.00	60.28

DEUXIÈME SÉRIE. $\omega = 45^\circ$.

	Calculé.	Trouvé.
$\alpha = 20^\circ$	$x = 14^\circ 00' 00''$	$12^\circ 54'$
40	27. 2.00	26.12
60	37.45.40	37. 2
80	44.08.10	43 10
90	45.00.00	44.00

TROISIÈME SÉRIE. $\omega = 60^\circ$.

	Calculé.	Trouvé.
$\alpha = 20^\circ$	$x = 9^\circ 50' 50''$	$8^\circ 36'$
40	18.44.50	17.22
60	25.39.30	24.40
80	29.30.00	28.04
90	30.00.00	29.10

En procédant comme je viens de l'indiquer, le plan de polarisation de la lumière émise change à chaque nouvelle déviation du polariseur, et tandis que, pour $\alpha = 0$ l est horizontal, il devient vertical lorsque $\alpha = 90^\circ$.

Pour une autre valeur de α , la rotation du plan de polarisation est représentée par le complément de l'angle B du triangle sphérique ABC. La valeur de cet angle se détermine par la relation

$$\text{tang } (90^\circ - B) \text{ tang } \alpha \sin \omega.$$

La déviation observée s'accorde très-exactement avec cette formule, et c'est une nouvelle vérification qui s'ajoute aux précédentes pour justifier l'explication que je donne du phénomène de l'illumination.

Voici quelques déterminations obtenues avec du collodion et de l'alcool ordinaire.

		Collodion.		Alcool.
		Calculé.	Trouvé.	
$\alpha = 20^\circ$	$90^\circ - B =$	$10^\circ 18' 50''$	$9^\circ 18'$	$9^\circ 04'$
40		22.45.40	21.56	22.00
60		40.53.40	40.06	39.50
80		70.34.30	69.16	68.56

$$\omega = 60^\circ.$$

		Collodion.		Alcool.
		Calculé.	Trouvé.	
$\alpha = 20^\circ$	$90^\circ - B =$	$17^\circ 29' 45''$	$17^\circ 10'$	$16^\circ 44'$
40		36.00.20	36.52	35.12
60		56.18.35	55.50	55.30
80		78.29.30	77.14	78.02

Illumination des substances solides.

Les solides transparents homogènes, tels que le verre et le cristal, se comportent comme les liquides et s'illuminent avec énergie dans le plan de polarisation, tandis que, dans une direction normale à ce plan, on observe une teinte neutre, le plus souvent colorée en jaune verdâtre. Lorsqu'on opère avec un faisceau concentré

par une lentille de quartz taillée parallèlement à l'axe optique et dont la section principale coïncide avec celle du polariseur, les premières couches ont une teinte bleue comparable à celle d'une solution d'esculine, qui est due à l'action excitatrice des rayons ultra-violets. Cette fluorescence bleue est surtout très-vive avec certains échantillons de crown, comme on l'observe du reste dans un grand nombre de tubes de Geissler. Le crown à base de potasse présente de grandes différences au point de vue de la fluorescence et de l'illumination latérale. Un prisme de-fabrication ancienne, qui renfermait de nombreuses stries et dont la densité était 2,46, s'illuminait médiocrement, et sa fluorescence était à peine sensible. Un autre prisme d'origine récente, dont la densité était 2,563, avait une fluorescence verdâtre très-vive, et une illumination latérale relativement assez faible. Il ne serait pas impossible qu'à la longue, sous l'influence de la lumière, l'illumination et la fluorescence du verre éprouvent des changements appréciables.

Le flint rayonne avec beaucoup plus d'intensité que le crown dans le plan de polarisation. La traînée lumineuse est blanche, et l'on y distingue très-nettement toutes les raies du spectre solaire. La lumière fluorescente y est variable de couleur, ordinairement jaunâtre, et dans quelques variétés de flint lourd d'une teinte rouge-brique peu intense. Ce qu'il importe de remarquer, c'est que le faisceau lumineux qui traverse un prisme de verre ou de cristal, y fait apparaître de très-petites bulles d'air invisibles, même à l'aide d'une loupe, à la lumière diffuse ; elles donnent naissance à un jet de lumière qui se distingue très-nettement de l'illumination générale qu'on ne saurait leur attribuer.

Parmi les substances cristallisées sur lesquelles j'ai pu faire des observations, le spath fluor incolore et transparent se comporte comme le verre, avec cette différence que la traînée de lumière fluorescente est d'un beau vio-

let. Le sel gemme et le spath d'Islande ne s'illuminent pas d'une manière sensible sur le trajet du faisceau lumineux. On sait pourtant, d'après les travaux de M. Edmond Becquerel, que ces substances sont phosphorescentes et qu'elles donnent au phosphoroscope une lueur orangée; mais c'est alors une illumination générale que la lumière excite dans toute la masse, et qui n'est pas sensiblement plus vive sur le trajet des rayons qu'en tout autre point. Quant à l'illumination par propagation directe du mouvement vibratoire, elle n'est pas appréciable. Il faut remarquer, en effet, que ces deux substances sont très-perméables à toutes sortes de radiations, et qu'il existe, pour chaque corps transparent et pour chacune des radiations simples, un coefficient d'illumination complémentaire du coefficient de transmission.

C'est là une conséquence de mes recherches qu'il faut signaler. Lorsqu'un milieu diaphane n'a pas de fluorescence sensible, l'absorption partielle d'une radiation simple par une épaisseur déterminée de ce milieu résulte de la propagation latérale du mouvement vibratoire qui lui correspond; on s'explique alors la fonction exponentielle par laquelle on représente la quantité de lumière transmise, et que les expériences de MM. Jamin et Masson ont justifiée. Lorsqu'une fluorescence énergique vient s'ajouter à l'illumination par propagation directe, le phénomène de l'absorption se complique, et il est évident que, pour certaines radiations, la loi de l'absorption telle qu'elle est formulée devient inexacte et n'a plus qu'une valeur approximative; il ne faut donc pas s'étonner que le sel gemme et le spath d'Islande aient un coefficient d'illumination extrêmement faible; il en est de même pour le cristal de roche.

Illumination chromatique.

Lorsque le faisceau lumineux traverse le quartz dans une direction quelconque, sa trace est invisible dans

l'intérieur du cristal, et, lorsqu'elle apparaît, ce n'est que pour trahir un défaut d'homogénéité des failles cristallines sur lesquelles s'opère une réflexion spéculaire. C'est ce qu'on observe dans le quartz enfumé, en apparence le plus homogène, où il m'a été impossible, à cause de cette circonstance, de reconnaître une illumination bien prononcée. Lorsque le filet lumineux traverse un prisme de quartz hyalin suivant son axe optique, la rotation du plan de polarisation, variable pour chaque couleur simple, devrait développer sur une très-faible épaisseur cette coloration prismatique latérale que présentent, comme nous le verrons bientôt, tous les liquides doués du pouvoir rotatoire; on n'observe pourtant rien de semblable. Le quartz est avec le sel gemme la substance transparente par excellence, et, en même temps que son coefficient d'illumination est extrêmement faible, sa fluorescence est nulle.

Mais s'il est impossible de manifester directement sur le quartz, par le fait de l'illumination, la rotation du plan de polarisation, on y réussit aisément en l'associant à une substance non fluorescente et dont le coefficient d'illumination soit très-élevé. Le collodion non ioduré, incolore et bien transparent, est précieux pour cette expérience; lorsqu'une auge cylindrique, remplie de ce liquide, est vivement illuminée par le faisceau polarisé horizontalement, et que dans la direction verticale il est obscur, il suffit d'interposer sur le trajet du rayon une lame de quartz perpendiculaire à l'axe, pour voir apparaître aussitôt la lumière dans cette direction. Si le faisceau incident est homogène, la bande horizontale qui offre le maximum d'illumination se déplace de haut en bas ou de bas en haut, suivant que le quartz est droit ou gauche. Le déplacement angulaire est d'ailleurs égal à la rotation qu'il faudrait imprimer à un analyseur biréfringent, placé sur le trajet du faisceau émergent, pour éteindre l'une des deux images. Avec la lumière blanche

et un quartz qui donnerait à l'image effacée de l'analyseur la teinte rouge, on voit dans la direction verticale apparaître une illumination de même nuance, tandis que, dans la direction horizontale, l'illumination blanche est remplacée par une bande colorée de la teinte verte complémentaire. Entre ces positions extrêmes, le cylindre de collodion présente toutes les nuances intermédiaires, indiquant par leur ordre de succession le sens de la rotation. Cette expérience réussit bien avec un grand nombre de substances autres que le collodion. Je citerai l'alcool absolu, une solution aqueuse concentrée d'azotate d'argent ou de mercure, une dissolution de phosphore dans le sulfure de carbone, le protochlorure de phosphore, le bichlorure de carbone, etc.

En disposant sur le trajet du rayon émergent un nicol analyseur suivi d'un prisme à réflexion totale, j'ai pu comparer simultanément la teinte de l'image que donne l'analyseur dont la section principale a été déviée d'un certain angle, et celle que présente le collodion dans le méridien correspondant ; on reconnaît alors que dans tous les cas ces deux teintes sont identiques. C'est la confirmation la plus rigoureuse des conclusions théoriques que j'ai formulées précédemment. Si, en effet, l'intensité de la lumière émise normalement au faisceau varie proportionnellement au carré du cosinus de l'angle que fait la ligne de visée avec le plan de polarisation du rayon incident, les formules de Biot qui servent à calculer, d'après la règle de Newton, la composition des teintes de l'une des deux images de l'analyseur biréfringent s'appliquent rigoureusement à la détermination des nuances successives que présente le collodion entre deux méridiens rectangulaires. Une petite auge cylindrique contenant un liquide non fluorescent ou bien un cylindre de flint pesant fonctionnent dès lors comme un véritable analyseur, et peuvent, comme lui, mettre en évidence le pouvoir rotatoire du cristal

de roche ou de toute autre substance douée de la même propriété.

Illumination des liquides à pouvoir rotatoire.

Les phénomènes que je viens d'analyser laissent pressentir les curieux effets qu'offrent les liquides doués du pouvoir rotatoire, quand on les soumet à l'action du faisceau polarisé. Prenons un tube de 70 à 80 centimètres de longueur, rempli d'une solution concentrée de sucre de canne et qui soit d'abord illuminé avec une lumière rouge homogène ; la solution n'ayant pas de fluorescence bien sensible, si l'on regarde le tube verticalement dans le voisinage de l'incidence, il paraît obscur. Dans une direction horizontale, au contraire, il émet une vive lumière ; jusque-là, le phénomène est conforme à celui que présentent tous les liquides peu fluorescents. Mais en s'éloignant de la face d'incidence, on remarque qu'il faut tourner autour du tube, de gauche à droite, et viser dans une direction de plus en plus inclinée, pour apercevoir la bande illuminée. En traçant sur le tube la direction moyenne de cette bande, il est aisé de vérifier que cette ligne courbe est une hélice dont le pas est justement représenté par la longueur de la colonne du liquide actif, qui ferait tourner le plan de polarisation de la lumière incidente de 360° . La longueur du pas diminue quand la réfrangibilité de la lumière augmente, suivant la loi approximative donnée par Biot. Pour rendre la vérification plus précise, il vaut mieux, comme je l'ai fait plusieurs fois avec les dissolutions à divers degrés de concentration, mesurer directement le pouvoir rotatoire de la dissolution par le procédé usuel, et en conclure la longueur du pas de l'hélice, qu'on peut alors tracer d'avance sur le tube dans lequel on observe l'illumination. J'ai constaté ainsi que le maximum d'éclat coïncide invariablement avec la ligne hélicoïdale déjà

marquée. La longueur du tube sur laquelle cette coïncidence s'observe est d'ailleurs limitée par celle où le faisceau lumineux, légèrement convergent, peut être regardé comme ayant un diamètre sensiblement constant.

Avec la lumière blanche, l'effet se complique; toutes les hélices lumineuses correspondantes aux divers rayons simples qui la composent se superposent à l'origine du tube et donnent de la lumière blanche; mais elles se séparent bientôt et produisent une illumination latérale prismatique de l'effet le plus curieux. Si l'on dirige le rayon visuel de gauche à droite, autour d'une section déterminée du tube, on voit les teintes mixtes se succéder dans l'ordre de réfrangibilité; en regardant, au contraire, dans la direction d'une génératrice du cylindre, et en allant de l'origine du tube à son extrémité, on observe la même succession de nuances prismatiques. Le calcul d'une teinte mixte en un point déterminé du tube s'obtiendrait encore aisément à l'aide des sommations de Biot et de la règle de Newton; mais cette nouvelle vérification n'ajouterait rien à celle beaucoup plus nette que j'ai indiquée dans le paragraphe précédent, et je ne l'ai pas tentée. Malgré les prévisions théoriques qui indiquaient cette coloration transversale du liquide actif, on est surpris de voir le faisceau émergent du tube entièrement incolore, tandis que ses parois brillent des plus vives couleurs, changeantes avec le plan méridien suivant lequel on regarde. En supprimant le polariseur, cette illumination prismatique, qui donne au tube les reflets de l'opale, disparaît instantanément. L'essence de térébenthine se comporte comme le sirop de sucre de canne, avec cette différence que la rotation *visible* du plan de polarisation s'opère de droite à gauche, et que l'illumination latérale, qui, dans ce cas, conduit à tracer sur le tube des hélices gauches, est compliquée d'une fluorescence sensible.

Influence de la réfrangibilité sur le pouvoir illuminant.

Le coefficient d'illumination d'une substance transparente dépend de sa nature chimique, de sa constitution moléculaire et de sa réfrangibilité, mais les essais comparatifs que j'ai pu faire à cet égard ne sont pas encore assez nombreux pour qu'il me soit permis de formuler des conclusions précises ; les dissolutions salines incolores ne donnent pas des résultats bien tranchés, d'autant plus que les comparaisons photométriques sont rendues très-difficiles par l'impossibilité d'obtenir des dissolutions d'une limpidité absolue. Le repos et la décantation sont les seuls moyens auxquels on puisse recourir, car les filtrations répétées sont tout à fait impuissantes à dépouiller un liquide des immondices de l'atmosphère. Un filtre de papier est une sorte de feutre tout saturé de corpuscules aériens que les liquides aqueux entraînent abondamment. Je me contenterai de dire, pour le moment, que les sels qui augmentent beaucoup l'indice de réfraction de l'eau accroissent dans une proportion plus grande son pouvoir d'illumination : tels sont les sels de plomb, de mercure et d'argent ; cette influence de la densité d'un liquide et de sa réfrangibilité s'observe très-nettement avec les hydrocarbures saturés qu'on retire par la distillation fractionnée de l'essence de pétrole. Tous ces hydrures, depuis l'hydrure d'amylo jusqu'à l'hydrure de décyle, complètement incolores, d'une limpidité et d'une transparence parfaites, s'illuminent avec d'autant plus d'intensité, que leur densité est plus grande et leur indice de réfraction plus élevé : ce qui montre bien l'influence de la densité de l'éther sur le coefficient d'illumination, si l'on admet avec Fresnel que cette densité est proportionnelle au carré de l'indice de réfraction. Le sulfure de carbone est au nombre des liquides qu'on peut obtenir dans un grand état de pu-

reté, et il s'illumine aussi très-énergiquement, mais la lumière fluorescente qu'on observe dans une direction normale au plan de polarisation a elle-même une grande intensité et représente les 0,6 de l'illumination totale ; en le saturant de phosphore, on obtient une solution qui, décantée dans une atmosphère d'acide carbonique, est limpide, d'une très-grande réfrangibilité, et dont l'illumination latérale est bien supérieure à celle du sulfure de carbone pur, tandis que la fluorescence n'a pas augmenté : ce qui démontre encore l'influence de la réfrangibilité sur le pouvoir illuminant. Le verre et le cristal donnent lieu à des remarques analogues.

Fluorescence en général.

Lorsqu'un corps diaphane est illuminé par un faisceau polarisé horizontalement, la lumière émise dans le sens vertical est neutre, c'est-à-dire qu'elle ne renferme aucune trace de lumière polarisée ; elle est souvent colorée, et j'attribue, comme l'a fait M. Stokes, cette lumière à l'influence des molécules du corps qui, après avoir absorbé une partie du mouvement vibratoire propagé dans l'éther du milieu transparent, deviennent alors des centres de vibration et propagent dans toutes les directions de la lumière naturelle. On sait déjà, d'après les beaux travaux de MM. Stokes et Edmond Becquerel, que ce sont, en général, les rayons les plus réfrangibles du spectre qui excitent la fluorescence dans les solutions d'esculine, de quinine, les sels d'urane, les platino-cyanures, etc., et qu'un rayon d'une réfrangibilité déterminée donne lieu à une fluorescence de réfrangibilité moindre. Parmi les divers procédés que M. Stokes a mis en œuvre, on connaît la belle expérience du spectre linéaire, qui, projeté sur différents corps et regardé au travers d'un second prisme, montre un spectre secondaire très-pâle, moins dévié, qui est formé

par les rayons fluorescents et permet de reconnaître cette propriété dans un grand nombre de corps solides.

Mais tandis que M. Stockes opère avec un spectre linéaire très-impur obtenu à l'aide d'un prisme dont les arêtes sont perpendiculaires à la fente par laquelle arrive la lumière solaire, on peut la modifier de manière à la rendre plus concluante. Pour obtenir un spectre linéaire très-intense et en même temps très-pur, il suffit de concentrer un large faisceau de rayons solaires avec une lentille de quartz d'un foyer de 25 à 30 centimètres, et de placer au foyer une fente verticale qui devient la source lumineuse. Avec une seconde lentille suivie d'un prisme dont les arêtes sont parallèles à la fente, on obtient un spectre linéaire très-vif, dans lequel on distingue les principales raies solaires, et qui, projeté sur un papier blanc, par exemple, et regardé au travers d'un second prisme, donne un spectre secondaire qui s'étend, au moins dans la partie correspondante aux rayons visibles, jusqu'au spectre primaire. On voit ainsi que chaque rayon simple du spectre linéaire excite une fluorescence complexe constituée par des rayons dont la réfrangibilité varie depuis le rouge extrême jusqu'à la couleur propre du rayon excitateur. J'ai pu même constater que certaines variétés de papier épais, ayant longtemps servi d'écran, et jaunies dans un long contact avec l'air, ont une phosphorescence appréciable, de telle sorte qu'il suffit d'éteindre brusquement le spectre linéaire projeté sur leur surface, pour le voir persister pendant une fraction de seconde avec toutes ses couleurs : ce qui prouve que, dans ce cas, c'est le rayon de même réfrangibilité que le rayon excitateur qui domine dans l'émission lumineuse que ce rayon a provoquée.

Fluorescence isochromatique.

Cette particularité que présente le papier oxydé dans un contact prolongé avec l'air atmosphérique est juste-

ment le phénomène constant que présentent la plupart des liquides, avec cette restriction qu'une couleur simple y excite exclusivement une fluorescence de même réfrangibilité. C'est ce qu'il est facile de vérifier avec les liquides très-fluorescents, tels que le sulfure de carbone ou l'essence d'anis. La lumière incidente étant tamisée par un verre rouge, on l'observe directement au spectroscopie, et l'on dirige ensuite le collimateur de l'instrument normalement au faisceau illuminé et au plan de polarisation.

La lumière fluorescente ainsi observée vient recouvrir exactement les mêmes divisions du micromètre que la lumière incidente. Le fait se vérifie pour tous les rayons lumineux, excepté les rayons violets, qui ne sont pas visibles au spectroscopie à cause de leur faible intensité, mais que l'œil distingue encore nettement par vision directe.

Si la lumière polarisée incidente est blanche, en observant au spectroscopie la lumière fluorescente du sulfure de carbone, on y distingue quelques-unes des raies solaires, et entre autres les raies C, E et F, qui occupent sur le micromètre les mêmes positions que celles du spectre solaire lui-même. Ces raies sont peu visibles, il est vrai, et manquent de netteté. Mais si leur présence dans la lumière fluorescente n'est pas due à des traces de lumière polarisée provenant des réflexions spéculaires sur les faces latérales de la cuve où le liquide est placé, et qu'un polariscopie de Savart y décèle aisément, elle confirmerait avec plus de rigueur l'identité de réfrangibilité du rayon exciteur et du rayon fluorescent.

Pour étudier sur différents liquides cette fluorescence spéciale, que j'appellerai si l'on veut *isochromatique*, j'ai eu recours à diverses méthodes que je n'ai pas encore contrôlées par des essais nombreux, et dont je vais maintenant dire quelques mots, afin de montrer les difficultés et

les causes d'erreur qui sont inhérentes à ce genre de recherches.

Un premier procédé consiste à interposer l'aube renfermant le liquide entre le prisme de Foucault, servant de polariseur, et un nicol analyseur dont les sections principales sont croisées. Si, avant l'interposition du milieu isotrope, l'extinction du faisceau lumineux est complète, la réapparition de la lumière qu'on observe en interposant le liquide sera due exclusivement à la fluorescence, et comme son intensité dépend de la longueur de la colonne du liquide illuminé, elle pourra être assez grande pour que l'analyse spectroscopique s'opère sans difficulté. Théoriquement, ce mode d'expérimentation semble irréprochable; mais, dans la pratique, on reconnaît d'abord qu'avec un nicol analyseur l'extinction n'est jamais complète, quelque délié que soit le filet lumineux. Le spectroscopie placé sur le trajet des rayons émergents donne toujours un spectre très-pâle, où néanmoins l'œil distingue les principales raies solaires. Si l'aube qui devra renfermer le liquide est alors placée entre le polariseur et l'analyseur, l'intensité de ce spectre augmente plus ou moins, suivant que le filet lumineux passe près des bords ou au centre des glaces qui limitent la colonne liquide. On reconnaît ainsi que les glaces minces elles-mêmes se comportent comme le verre trempé, surtout près des points où elles adhèrent par un mastic au tube qui contient le liquide. Il y a là une cause d'erreur qu'il faut autant que possible écarter, quand on étudie l'illumination latérale, et qu'on procède à des mesures photométriques. En général, quand l'obturateur est une glace mince, les parties centrales sont sensiblement neutres, et le léger accroissement d'intensité du spectre tient peut-être à la fluorescence des glaces obturatrices. En introduisant ensuite le liquide fluorescent très-pur, l'intensité du spectre augmente beaucoup. Les raies solaires y sont encore très-nettement visibles, mais la con-

clusion qu'on peut en tirer n'est pas inattaquable. L'expérience ainsi faite semble prouver pourtant que, suivant la direction du faisceau lumineux, l'intensité de la fluorescence isochromatique est bien plus grande que dans toute autre direction.

Un second moyen susceptible d'une grande précision, quand on veut comparer les réfrangibilités du rayon excitateur et du rayon fluorescent qui en dérive, c'est d'obtenir un spectre ordinaire très-pur avec une lentille de quartz à long foyer perpendiculaire à l'axe, suivie d'un prisme de spath d'Islande dont les arêtes sont parallèles à l'axe optique du cristal. Au point où se forme l'image ordinaire de la fente lumineuse, et où les raies spectrales sont les plus nettes, on dispose un écran portant une fente étroite par laquelle passent successivement les divers rayons. Derrière l'écran et après le liquide fluorescent, un analyseur sert à éteindre ces rayons polarisés dans un plan parallèle aux arêtes du prisme. A la suite du polariseur, le spectroscopie reçoit le rayon polarisé ou la lumière fluorescente qui en provient lorsque l'extinction a lieu. Cette méthode, malgré le défaut d'extinction complète, permet de reconnaître les plus petites différences de réfrangibilité du rayon excitateur incident et du rayon fluorescent. J'ai pu, dans quelques essais peu nombreux, vérifier très-nettement la fluorescence isochromatique du sulfure de carbone, de l'essence d'anis et de quelques autres carbures hydrogénés.

Quant aux rayons ultra-violetés que cette méthode isole, ils ne donnent pas de fluorescence visible, si ce n'est pour les liquides à fluorescence verte ou bleue, comme certains pétroles. Il faut les concentrer en masse avec une lentille de quartz, et leur action sur le liquide s'observe alors directement. Avec le sulfure de carbone, ils développent une fluorescence bleue très-faible et qui doit être observée dans une profonde obscurité. Il est

probable qu'il doit en être de même pour la plupart des liquides à fluorescence isochromatique, car, chez tous, la fluorescence complexe qu'excite le faisceau solaire a une teinte blanche légèrement bleuâtre, qui est bien appréciable avec le sulfure de carbone ; d'où l'on devrait conclure que les rayons chimiques non lumineux excitent toujours une fluorescence de moindre réfrangibilité, sauf les cas où ils éprouvent une absorption spéciale, comme cela a lieu pour la dissolution du soufre dans le sulfure carbonique. Dans ce cas, en effet, ces rayons provoquent la transformation du soufre soluble en soufre insoluble.

Il est d'ailleurs un moyen bien simple de constater dans un grand nombre de solides et de liquides cette fluorescence spéciale avec changement de réfrangibilité qu'excitent les rayons les plus réfrangibles du spectre solaire, et qu'on pourrait appeler *fluorescence hypochromatique* : il suffit d'interposer sur le trajet du faisceau lumineux polarisé un écran coloré, soit un verre violet, soit une auge renfermant certains liquides colorés, tels qu'une dissolution d'iode dans l'hydrure d'amyle, etc. Tandis que la lumière transmise par le corps soumis à l'expérience est d'un violet foncé, l'illumination latérale dans un plan normal au plan de polarisation est d'un bleu clair plus ou moins intense. C'est ainsi qu'une dissolution aqueuse ou alcoolique de platinocyanure de magnésium montre une fluorescence comparable par son intensité à celle du sulfate de quinine. Citons encore l'acétone, l'acide acétique cristallisable, l'éther amylic, la dextrine, la plupart des essences, l'acétate d'alumine, les sels d'ammoniaque, l'azotate de strontiane, etc., qui, tous à divers degrés, s'illuminent en bleu clair avec les rayons violets et ultra-violet. Dans ces conditions, le crown et le flint s'illuminent au contraire en jaune ou vert.

La solution alcoolique de chlorophylle, soumise à ce

mode d'expérimentation, présente quelques particularités qui n'ont pas été signalées. Elle absorbe, comme on sait déjà, toute la partie du spectre située au delà de la raie F et donne, dans la partie la moins réfrangible, cinq bandes d'absorption ; la plus large de ces bandes s'étend de la raie B jusqu'au delà de C, et ce sont ces rayons absorbés qui excitent particulièrement la fluorescence rouge que présente ce liquide, en les transformant en rayons moins réfrangibles qui avoisinent la raie A. Aussi le spectre de la chlorophylle présente-t-il plus d'intensité dans le voisinage de cette raie qui se détache alors avec plus de netteté. On reconnaît, en effet, que le sulfate de quinine, le verre d'urane, le bichromate de potasse, une dissolution de soufre dans le sulfure de carbone, etc., n'éteignent pas la fluorescence de la chlorophylle ; la chlorophylle, au contraire, éteint la fluorescence du sulfate de quinine et en grande partie celle du verre d'urane, en même temps qu'elle empêche la transformation du soufre soluble en soufre insoluble que provoque la moitié la plus réfrangible du spectre à partir de la raie F.

Remarquons maintenant que la fluorescence isochromatique, qui est si générale dans les liquides, donne dans la direction normale au plan de polarisation une lumière sensiblement blanche, qu'on peut comparer photométriquement avec l'illumination latérale qui contient à la fois la lumière neutre et la lumière polarisée. Les rapports d'intensité de ces deux illuminations s'obtiennent directement avec le photomètre précédemment décrit, en visant normalement au faisceau et passant de l'une à l'autre par un quart de rotation du polariseur. L'égalité des lumières étant établie pour l'illumination maximum, on la maintient en tournant le nicol photométrique ; le carré du cosinus de la déviation donne immédiatement le rapport cherché. C'est ainsi que j'ai trouvé, pour la valeur de ce rapport :

Collodion.....	0,07
Alcool éthylique.....	0,16
Alcool amylique.....	0,34
Sulfure de carbone...	0,60

Cette épreuve permet, dans certains cas, d'apprécier le degré de pureté d'un liquide. Pour ne citer qu'un exemple, la fluorescence de l'alcool méthylique pur est faible et à peu près égale à celle de l'alcool vinique, lorsqu'il a été préparé par la décomposition de son éther oxalique, tandis que l'esprit de bois le mieux rectifié, parfaitement incolore et ayant un point d'ébullition constant à 66°, possède une fluorescence comparable à celle du sulfure de carbone; cela vient de faibles traces de matière goudronneuse qu'il tient encore en dissolution.

Cette question de la fluorescence, telle que je viens de l'ébaucher, demande évidemment une étude plus suivie et plus de temps que je n'ai pu y consacrer; j'espère y revenir dans un prochain travail. Je ne saurais rien dire aussi de bien positif touchant la propagation latérale du mouvement calorifique; les tentatives peu nombreuses que j'ai faites pour l'observer ne m'ont donné que des résultats à peu près négatifs, et je les attribue en grande partie au défaut de sensibilité de la pile thermométrique et du galvanomètre dont je me suis servi.

IX — Sur la polarisation de la lumière de l'eau

Par M. J.-L. SORET.

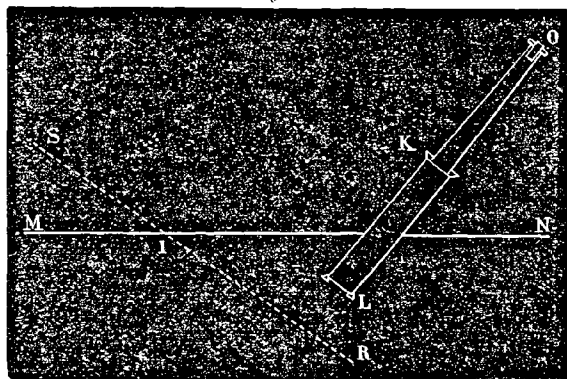
*Tiré des Archives des sciences de la Bibliothèque universelle.
Mai 1866. — Décembre 1870.*

J'ai été conduit, à propos d'autres recherches, à m'occuper d'une question que l'on a souvent discutée, celle de savoir si la coloration bleue de l'eau est due au liquide lui-même, ou à des particules solides en suspension. Une récente publication de M. Tyndall sur la polarisation de la lumière du ciel, et ses belles expériences sur les propriétés optiques des substances à l'état de nuage, m'ont suggéré l'idée que, si la teinte bleue de l'eau est produite, au moins partiellement, par des particules solides en suspension, cette coloration doit être accompagnée de phénomènes de polarisation comparables à ceux qui caractérisent la lumière du ciel. C'est, en effet, ce que j'ai observé sur l'eau du lac de Genève, dont la belle couleur est bien connue, et, sans vouloir tirer de là une conclusion absolue, il me paraît que cette analogie entre la lumière du ciel et celle de l'eau présente quelque intérêt.

I. — L'appareil (*fig. 11*) dont je me suis servi pour constater ce fait se compose d'une sorte de lunette OL, dont le tube en fer-blanc, noirci à l'intérieur, de 1^m,05 de longueur, est formé de deux parties. L'une, LK, est cylindrique et d'un diamètre de 0^m,055 environ; l'autre, KO, est un peu conique, de moindre diamètre et plus courte que LK. Les deux pièces se raccordent en K par une vis et un cuir rendant la fermeture hermétique. — Cette division du tube en deux pièces a pour but de rendre plus

commode le transport de l'instrument : en effet, la pièce KO peut s'ajuster en sens inverse en étant introduite dans l'intérieur de la partie OL, en sorte que la longueur de l'instrument démonté n'est plus que de 0^m,55. — Le tube de la lunette est fermé en L par une lame de verre à faces parallèles, monté sur un anneau en laiton qui se visse au bout du tube en fer-blanc. Un cuir rend la fermeture hermétique, de sorte que l'on peut plonger l'extrémité objective de la lunette dans l'eau sans que celle-ci pénètre à l'intérieur. — L'oculaire est formé d'un prisme de Nicol, ajusté à frottement doux en O. On peut, à volonté, y ajouter du côté intérieur une lame de quartz, lorsqu'on veut obtenir les couleurs de la lumière polarisée.

Fig. 11.



L'observateur, placé dans un bateau, plonge l'extrémité L de la lunette dans l'eau, et regarde au travers du nicol; il reçoit la lumière de coloration bleue renvoyée par les couches inférieures à la surface de l'eau. En tournant le nicol, ou bien la lunette entière autour de son axe, il peut analyser la lumière et reconnaître si elle est polarisée.

Soit MN la surface de l'eau, et SI un rayon solaire qui se réfracte suivant IR; tous les autres rayons qui péné-

trent dans l'eau seront parallèles à IR, si la surface MN est parfaitement unie.

En visant avec la lunette dans une direction perpendiculaire à IR, et en faisant tourner le prisme de Nicol, on reconnaît une polarisation bien marquée dont le plan qui passe par l'axe de lunette est parallèle à IR. — La position la plus commode pour l'observation est celle où l'on place la lunette dans le plan d'incidence comme l'indique la figure. Le phénomène se manifeste aussi bien dans d'autres directions perpendiculaires à IR; seulement, l'observation devient de moins en moins facile à mesure que l'on s'écarte du plan d'incidence, parce qu'il faut donner à la lunette une direction se rapprochant de l'horizontale.

En écartant de plus en plus la lunette de la direction perpendiculaire aux rayons solaires réfractés, la polarisation diminue et finit par disparaître complètement. On ne trouve aucune trace de polarisation lorsque l'on vise dans la direction parallèle à IR.

Les conditions pour la manifestation la plus marquée du phénomène sont : 1° que le soleil luise avec éclat : par un temps couvert, il n'y a plus de polarisation ; 2° que la surface de l'eau soit calme : plus elle est agitée, moins la polarisation est marquée, parce que les rayons réfractés ne sont pas parallèles ; 3° que l'eau soit profonde : si l'on voit le fond, la polarisation devient beaucoup moins sensible ; 4° que l'eau soit très-transparente : si elle tient en suspension des particules un peu grosses ou trop nombreuses, la polarisation diminue ou cesse de se manifester.

Il est facile de comprendre que le phénomène est ici plus complexe que pour la lumière du ciel.

En premier lieu, il est évident que, si la surface de l'eau est agitée, les rayons solaires, après leur réfraction, ne sont pas parallèles ; par conséquent, le phénomène sera d'autant moins marqué que l'eau sera moins calme.

C'est, en effet, ce que j'ai remarqué. La première fois que j'ai essayé mon appareil, le vent étant assez fort, je n'ai pas vu de polarisation sensible, ce qui tenait peut-être aussi à ce que, dans les jours précédents, le vent du nord avait violemment soufflé, et que, par suite, l'eau était un peu trouble. Dans deux autres jours d'observation, le lac étant très-peu agité, la polarisation était bien marquée. Enfin, un jour de calme presque parfait, elle était aussi franche que celle du ciel, qui, il est vrai, n'était pas très-bleu à ce moment.

En second lieu, les rayons solaires qui ont pénétré dans l'eau sont partiellement polarisés par réfraction, et il est facile de voir que, quand l'axe de la lunette est dans le plan vertical passant par le soleil, c'est-à-dire dans la position la plus commode pour l'observation, les rayons déjà polarisés par réfraction doivent être éteints au lieu d'être renvoyés par l'eau.

Enfin, la lumière solaire directe n'est pas la seule qui arrive dans l'eau ; il s'y joint de la lumière diffuse, qui provient de toutes les directions, et qui doit donner lieu, lorsqu'elle est renvoyée par l'eau, à une infinité de rayons polarisés dans des plans différents. Par un temps couvert, je n'ai pas obtenu de traces de polarisation.

Tels sont les faits que j'ai observés sur le lac de Genève, et qui établissent une analogie remarquable entre la lumière du ciel et celle de l'eau (1).

II. — J'ai répété ces observations sur le lac de Garde, dont l'eau présente une coloration assez analogue à celle du lac de Genève. Quoique le temps ne fût pas parfaitement calme, le phénomène de la polarisation était assez marqué pour mettre son identité hors de doute.

Sur le lac d'Annecy, dont l'eau est moins limpide que celle du lac de Genève, et par un temps qui n'était pas très-calme, la polarisation était également bien sensible.

(1) *Archives*, février 1870, t. XXXVII, p. 176.

Ces deux observations, jointes à celle de M. Hagenbach sur le lac de Lucerne, tendent à montrer que le phénomène est général pour les eaux douces.

Il en est de même pour l'eau de la Méditerranée.

Dans la rade de Gênes, à 100 mètres environ au delà de la jetée du port, l'eau est encore peu transparente et de couleur verte. En observant en cet endroit (19 avril 1870, entre 9 heures et 10 heures du matin) par un beau soleil et un temps très-calme (1), j'ai reconnu une polarisation bien marquée.

En s'avancant davantage en mer, l'eau devient plus limpide, tout en conservant sa couleur verte; le phénomène de polarisation devient plus prononcé. En dirigeant la lunette verticalement de haut en bas, la polarisation était encore sensible quoique fort affaiblie, puisque cette direction est très-inclinée sur celle des rayons solaires (2).

Le 21 avril 1850 (à 8 heures 1/2 du matin, heure de Rome), à Oneglia, en avant du port où la mer atteint vite une grande profondeur, j'ai pu répéter les observations dans des conditions beaucoup meilleures encore. L'eau était très-calme; à peine était-elle agitée par un peu de houle formant des ondes très-surbaissées et éloignées les unes des autres, mais dont la surface était complètement unie et sans aucune ride. Sa couleur était du plus beau bleu, rappelant beaucoup celle du lac de Genève, mais avec plus de transparence et moins de cette apparence un peu laiteuse que présente le lac dans les endroits profonds. En observant à la lunette, l'intensité de la lu-

(1) Toute l'étendue de la surface de la mer n'était pas unie; il y avait des places où elle était ridée: naturellement j'ai fait les observations dans les parties calmes.

(2) Dans des observations postérieures sur le lac de Genève, faites le matin avant que le soleil fût fort élevé au-dessus de l'horizon, j'ai trouvé aussi une polarisation sensible dans une direction verticale.

mière reçue par l'œil était certainement plus forte que je ne l'ai jamais observée sur le lac. Cet éclat tenait sans doute en partie à la pureté du ciel et à l'énergie de la lumière du soleil : conditions qui, à Genève, se rencontrent rarement par un temps calme. — En même temps la polarisation se manifestait avec une netteté remarquable ; en visant dans une direction verticale, elle était encore très-franche.

Ainsi l'eau de la Méditerranée présente sous ce rapport les mêmes propriétés que les eaux douces, et je ne doute pas qu'il n'en soit de même pour toute masse d'eau limpide (1).

III. — A côté de ces observations faites sur place, j'ai examiné, dans la chambre obscure, à l'aide d'un faisceau de lumière, un assez grand nombre d'échantillons d'eaux de diverses provenances. Ils ont été recueillis pour la plupart dans une série de flacons neufs, d'un litre de capacité, bouchés à l'émeri et lavés tous de la même manière, d'abord à l'acide nitrique, puis à grande eau. — Pour y introduire le liquide à examiner, lorsqu'il s'agissait d'une eau naturelle, on opérait de la manière suivante. Le flacon vide, qui avait été maintenu bouché depuis le premier lavage, était plongé dans l'eau, débouché au-dessous de la surface ; lorsqu'il était rempli, on rejetait cette première eau, on effectuait un nouveau lavage de la même manière, et on le remplissait définitivement, en ayant toujours soin de déboucher et de boucher sous l'eau pour éviter l'introduction des poussières qui flottent à la surface.

Après avoir rapporté ces flacons dans le laboratoire et les avoir laissés reposer quelque temps, on les plaçait dans la chambre obscure ; on faisait passer dans l'eau qu'ils contenaient un faisceau de lumière solaire ou oxy-

(1) Dans les lagunes de Venise, où l'eau est trouble, je n'ai pu distinguer aucune trace de polarisation.

hydrique qui formait une trace lumineuse plus ou moins visible, provenant dans mon opinion de la réflexion sur les particules solides en suspension.

J'ai décrit dans un mémoire précédent (1) les résultats de mes observations faites de la même manière sur différents échantillons d'eau dont la plupart avaient subi une purification artificielle. J'avais remarqué en particulier que la trace lumineuse est d'autant moins apparente que les corpuscules en suspension sont plus rares et plus difficilement visibles.

Quelques-uns des échantillons que j'avais précédemment observés ont été comparés avec les eaux naturelles recueillies plus tard, et je vais citer les résultats de ces observations, en faisant remarquer que tous ces liquides sont relativement assez troubles si on les examine peu de temps après qu'ils ont été recueillis ou qu'ils ont été agités de nouveau. Ils se clarifient par un repos plus ou moins prolongé.

L'eau du lac de *Garde* et celle du lac d'*Annecy* se clarifient notablement par le repos ; elles présentent alors un grand rapport avec celle du lac de Genève, soit pour la visibilité de la trace lumineuse, soit pour l'apparence des particules visibles en suspension. La couleur de la trace est bleue quand on emploie un faisceau de lumière solaire concentré par une lentille à long foyer.

L'eau du lac *Michigan*, que je dois à l'obligeance de MM. J. Odier et Delafontaine, après un repos prolongé, m'a paru un peu moins claire que l'eau du lac de Genève : la comparaison est un peu difficile, parce que le flacon dans lequel l'eau du lac Michigan m'a été apportée est d'un verre assez différent de celui des autres flacons. — On distingue de nombreuses particules en suspension.

(1) Sur l'illumination des corps transparents. (*Archives*, février 1870, t. XXXVII, p. 129.)

De l'eau recueillie dans une crevasse (puits) du glacier d'*Aletsch* (1) donne lieu, même après un repos prolongé, à une trace plus blanche et beaucoup plus visible que celle des échantillons ci-dessus. Les particules en suspension sont très-nombreuses. Cette eau présente assez de rapport avec de l'eau que j'avais obtenue par la fusion de neige (décrite dans mon précédent mémoire, p. 119), et qu'un repos de plus de dix mois ne paraît pas avoir améliorée.

L'eau de la *Méditerranée* recueillie à Oneglia, et qui immédiatement après le voyage contenait assez de particules en suspension, s'est beaucoup clarifiée par le repos. Au bout de quelques semaines de tranquillité, elle donnait une trace lumineuse difficilement visible, si le faisceau lumineux n'était pas intense, et d'une belle couleur bleue quand les rayons solaires étaient concentrés avec une lentille. Cette eau était sensiblement supérieure en pureté à l'eau du lac de Genève reposée; elle contenait des particules en moins grand nombre, mais plus grosses, un peu filamenteuses, probablement d'origine organique. Au commencement de septembre dernier, c'est-à-dire plus de quatre mois après qu'elle avait été recueillie, elle avait encore la même supériorité. Mais quelques semaines plus tard, elle avait un peu perdu de sa pureté. Ce changement vient probablement d'une modification de substances organiques contenues ou dissoutes dans l'eau de mer (2).

(1) J'avais espéré pouvoir recueillir de l'eau du Märjelen-See et d'en étudier la polarisation sur place; mais ce lac s'était vidé cette année et n'était plus représenté que par une flaque d'eau bourbeuse.

(2) M. Tyndall a aussi examiné et comparé, à l'aide de la lumière électrique, l'eau de la Méditerranée avec celle du lac de Genève (*Nature*, 20 octobre 1870, et *Archives*, décembre 1870, p. 343). Il paraît trouver que cette dernière est plus pure et donne une trace lumineuse d'un plus beau bleu. Je ne suis pas arrivé tout à fait aux mêmes résultats, mais je pense que ces petites différences n'ont pas

L'eau de la *mer Rouge*, dont je dois un échantillon à l'obligeance de M. Raoul Pictet, était très-trouble au moment de son arrivée. Elle s'est, à la longue, beaucoup clarifiée par le repos; il s'est formé au fond du flacon un dépôt d'une couleur brunâtre. Finalement elle est arrivée à un degré de pureté assez voisin de celui de l'eau des lacs (1).

L'eau recueillie dans les *lagunes de Venise* (près de Porto di Lido, dans un endroit où elle est relativement plus claire que dans le reste des lagunes) était complètement trouble après le voyage. Le repos l'a améliorée, il s'est fait un léger dépôt sur le fond et sur les parois du flacon, ce qui gêne un peu la comparaison avec d'autres échantillons. On reconnaît cependant facilement que la trace lumineuse est beaucoup plus visible que dans les cas précédents; quand elle est produite par un faisceau de lumière solaire concentrée, sa teinte est verdâtre et tout autre que celle des eaux plus pures.

J'ai fait (le 1^{er} septembre 1870) un examen comparatif de ces diverses eaux et de quelques-unes de celles que j'ai précédemment décrites dans mon mémoire déjà cité, et qui n'avaient pas été agitées depuis plusieurs mois. Je suis arrivé à les ranger dans l'ordre suivant, en commençant par celle qui donne la trace lumineuse la moins visible :

une grande importance et qu'elles peuvent facilement s'expliquer par le fait, soit de modifications que l'eau subit avec le temps, soit de différences suivant le jour et l'endroit où elle a été prise, etc. Ainsi l'eau du lac de Genève qu'a examinée M. Tyndall, et que j'avais recueillie pour lui, a été prise dans le lac un jour où il présentait une transparence très-exceptionnelle, à la suite d'une période de calme. Il est donc possible qu'elle eût un degré de pureté plus grand que celle qui m'a servi de terme de comparaison. D'autre part, l'eau de la Méditerranée que j'ai examinée a été recueillie dans des conditions remarquablement favorables.

(1) Le fait de la pureté de l'eau de la Méditerranée et de la clarification prononcée que le repos a produit dans l'eau de la mer Rouge peut être rapproché d'une observation de M. Schlösing, qui a reconnu que la présence de sels en dissolution facilite la précipitation de l'argile. (*Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, 20 juin 1870.)

1. Eau distillée par évaporation superficielle (1) entre 40 et 50°.
 2. id. id. id. id. (2) 100° } presque
 3. id. id. id. id. (3) } égales.
 4. Eau de la mer Méditerranée.
 5. Eau du lac de Genève,
 6. Eau du lac de Garde,
 7. Eau du lac d'Annecy,
 8. Eau de la mer Rouge,
 9. Eau du lac Michigan.
- } presque égales.
10. Eau distillée par ébullition dans un alambic ordinaire (après un repos de plusieurs mois).
 11. Eau des lagunes de Venise (Porto di Lido).
 12. Eau de neige (4),
 13. Eau du glacier d'Aletsch, } presque égales.
 14. Eau qui a été maintenue longtemps à 100° dans un vase de verre (5).

Pour tous ces liquides, la lumière émise par la trace présente les phénomènes de polarisation connus.

Deux mois plus tard, un nouvel examen portant sur les échantillons n^{os} 4 à 8, a conduit à les ranger dans le même ordre, la supériorité de l'eau de la Méditerranée étant toutefois un peu moins marquée.

On a ensuite agité les flacons et on les a observés de nouveau presque immédiatement après; on a trouvé l'ordre suivant :

Eau de la Méditerranée,	}	peu différentes.
Eau du lac de Genève,		
Eau du lac de Garde,		
Eau du lac d'Annecy.		
Eau de la mer Rouge.		

Une nouvelle comparaison faite trois heures après a donné :

- | |
|--|
| (1) Décrite dans mon mémoire, <i>loc. cit.</i> , p. 147, sous la lettre <i>d</i> . |
| (2) id. id. id. p. 147, sous la lettre <i>b</i> . |
| (3) id. id. id. p. 147, sous la lettre <i>c</i> . |
| (4) id. id. id. p. 149. |
| (5) id. id. id. p. 151. |

Eau de la Méditerranée.	} peu différentes.
Eau du lac de Gardé,	
Eau du lac de Genève,	
Eau de la mer Rouge,	
Eau du lac d'Annecy,	

Après dix-huit heures de repos on a trouvé :

Eau de la Méditerranée.	} presque égales, notablement inférieures aux précédentes.
Eau de la mer Rouge (plus rapprochée de la Méditerranée que des suivantes).	
Eau du lac de Gardé,	
Eau du lac de Genève,	
Eau du lac d'Annecy,	

L'eau de la Méditerranée a donc conservé dans tous les cas sa supériorité. On remarquera aussi que les eaux douces se clarifient moins rapidement par le repos que les eaux de mer ; ces dernières contiennent des flocons ou pellicules, sans doute organiques, qui se déposent facilement.

IV. — En faisant passer, dans de l'eau douée d'un grand pouvoir d'illumination, un faisceau de lumière solaire décomposé par un prisme, la trace lumineuse présente alors toutes les nuances du spectre juxtaposées. J'ai reconnu précédemment (1) que, dans ce cas, la lumière émise latéralement est encore polarisée, quelle que soit sa réfrangibilité (2).

(1) Mémoire cité, p. 432.

(2) J'ajoutai que si dans ces conditions on regarde la trace, le rayon visuel étant dirigé parallèlement aux arêtes du prisme, on distingue toutes les couleurs du spectre ; mais que si le rayon visuel est dirigé perpendiculairement aux arêtes du prisme, alors les différentes couleurs se superposent et la trace paraît blanche, ce qui donne une démonstration nouvelle de la recomposition de la lumière blanche.

Cette démonstration peut être réalisée sous la forme d'une brillante expérience facile à répéter dans un cours.

Dans la salle obscure on introduit par une petite ouverture *circulaire* un faisceau horizontal de lumière solaire, électrique ou oxyhydrique. Sur un écran on projette un spectre à l'aide d'une len-

Je me suis demandé si de même, dans la lumière renvoyée par les couches intérieures d'une grande masse d'eau, toutes les espèces de rayons sont polarisées.

Pour résoudre cette question, je me suis servi de la même lunette en la modifiant de la manière suivante : on a enlevé la moitié conique du tube de fer-blanc et on l'a remplacé par un tube cylindrique en laiton beaucoup plus court, s'ajustant au reste de la lunette et portant le prisme de Nicol à son extrémité tournée du côté objectif. Dans l'autre extrémité de ce tube en laiton, qui est garnie de drap à l'intérieur, s'engage à frottement doux, un spectroscopie à vision directe d'Hofmann, dans lequel la fente ordinaire à largeur variable est remplacée par une fente fixe placée à l'intérieur du collimateur.

En regardant à travers l'appareil ainsi modifié, on voit le spectre de la lumière de l'eau. Il est suffisamment visible si la fente n'est pas trop étroite ($0^{\text{mm}},2$); on y distingue les raies principales du spectre solaire, et l'on observe que les rayons rouges sont en petite proportion.

En maintenant le spectroscopie immobile, et en faisant tourner la partie objective de la lunette, y compris le

gille et du système de prismes d'un spectroscopie à vision directe, qui produit la dispersion sans déviation des rayons moyens. Ce système de prisme doit être mobile autour de son axe. Si les arêtes des prismes sont verticales, le spectre projeté est horizontal; en tournant les prismes de 90° , le spectre tourne aussi et devient vertical. Supposons l'appareil dans cette dernière position, et sur le passage des rayons, entre le prisme et l'écran, plaçons une cuve rectangulaire dont les parois sont formées de glaces (par exemple un aquarium de chambre). Remplissons-la d'eau que l'on a rendue légèrement louche par l'addition de quelques gouttes d'acétate de plomb, ou d'eau de Cologne, etc. Alors la trace du faisceau devient très-visible, et l'observateur, regardant latéralement la cuve, voit ces rayons divergents et présentant toutes les couleurs du spectre juxtaposées. En faisant tourner le système de prismes de 90° , la trace se rétrécit et paraît blanche; en même temps sur l'écran on continue à voir toutes les couleurs du spectre qui est projeté horizontalement.

nicol, autour de l'axe de l'instrument, les rayons polarisés provenant de l'eau seront alternativement éteints ou transmis. — En opérant ainsi sur le lac de Genève, j'ai observé que toutes les parties du spectre subissent une extinction partielle, c'est-à-dire que tous les rayons, quelle que soit leur réfrangibilité, sont partiellement polarisés. Cette observation est assez délicate ; il faut opérer par un temps très-beau et très-calme pour que la polarisation soit bien franche et le bateau parfaitement immobile.

On peut se servir du même appareil pour répéter l'observation sur la lumière polarisée du ciel ; on arrive au même résultat sans aucune difficulté.

V. — Comme M. Tyndall, j'ai attribué ce phénomène de polarisation de la lumière de l'eau, à la présence de particules en suspension dans le liquide. M. Hagenbach, dans l'intéressant travail que j'ai déjà cité (1), sans précisément contester cette manière de voir, a indiqué une autre cause à laquelle il pourrait être rapporté, à savoir la réflexion par l'eau elle-même. « Il est évident, dit-il, que l'eau d'un lac, surtout lorsque le soleil darde ses rayons sur elle, ne peut point présenter une masse homogène, mais qu'elle se compose, par suite des variations de température auxquelles elle est soumise, de couches de densités différentes. Par ce fait il doit se produire des réflexions intérieures, et la lumière réfléchie sera polarisée dans le plan de réflexion. »

Comme j'ai déjà eu l'occasion de le dire (2), l'influence que peut exercer la réflexion sur les couches d'inégale densité mérite certainement d'être examinée ; mais je ne pense pas que ce soit là la cause principale du phénomène qui nous occupe.

On peut comprendre de deux manières le rôle que jouerait la réflexion par l'eau.

(1) Voyez *Archives*, février 1870, t. XXXVII, p. 176.

(2) *Ibid.*, p. 180.

En premier lieu, on peut admettre que l'eau d'un lac se trouve composée de couches horizontales d'inégale densité. Par un temps absolument calme, les surfaces de séparation de ces diverses couches seraient rigoureusement planes, et, dans ce cas, la réflexion sur ces surfaces ne pourrait produire la polarisation dans un plan passant par le soleil, sauf dans la position où la lunette se trouve dans le plan d'incidence des rayons. Mais comme il y a toujours un peu de mouvement à la surface supérieure, et que les ondulations, on le sait, se transmettent dans les couches profondes, on peut admettre que les couches de séparation de couches d'inégale densité ne sont pas planes, mais bien ondulées comme la surface supérieure. — C'est là, si je ne me trompe, ce que suppose M. Hagenbach, car il donne comme preuve, à l'appui de sa manière de voir, le fait que le faisceau de lumière venant de l'intérieur se comporte exactement de même que le faisceau réfléchi par la surface supérieure de l'eau, en ce qui concerne soit la direction du plan de polarisation, soit la variation du degré de polarisation avec la direction.

J'ai trouvé ce fait exact dans la plupart des cas ; cependant, il y a souvent des exceptions : par exemple, quand on vise avec la lunette dans une direction parallèle aux rayons solaires, il y a polarisation dans un plan vertical pour la lumière réfléchie par la surface supérieure, tandis que le faisceau provenant de l'intérieur n'est pas polarisé. Mais il serait inutile d'insister sur ces exceptions : elles ne nous fourniraient aucun argument de quelque valeur : le phénomène de la polarisation par réflexion sur la surface supérieure est, du reste, très-compiqué et variable suivant les circonstances atmosphériques.

Je me bornerai à faire les objections suivantes à l'hypothèse dont nous nous occupons : 1° Si la lumière renvoyée par l'eau intérieure provenait de réflexion sur des couches d'inégale densité, horizontales, mais ondulées,

ne devrait-on pas avoir beaucoup plus de lumière dans le plan vertical passant par le soleil, de même qu'à la surface supérieure de l'eau on observe une traînée lumineuse dans la direction du soleil? Or je n'ai jamais observé quelque chose de semblable. — 2° Par un temps très-calme, le phénomène de la polarisation ne devrait-il pas être beaucoup moins marqué, sauf dans le plan d'incidence? Il m'a toujours semblé, au contraire, que plus le calme est complet, plus la polarisation est prononcée. — 3° Enfin, je rappelle ici une expérience que j'ai déjà citée précédemment (1). Dans un long tube de verre, terminé par des glaces parallèles, rempli d'eau et exposé horizontalement à la lumière solaire, son axe étant perpendiculaire aux rayons, on reconnaît, en regardant par une des extrémités, que la lumière renvoyée à angle droit de la direction des rayons solaires est polarisée dans un plan parallèle à ces rayons. — Des couches horizontales d'inégales densités ne peuvent expliquer la polarisation dans ce cas-là.

Mais en second lieu, on pourrait concevoir autrement la disposition des couches d'inégales densités, et supposer qu'elles sont tout à fait irrégulières, comme ce qui a lieu lorsqu'on chauffe de l'eau ou qu'on mélange deux liquides de pesanteur spécifique différente. Ainsi, dans l'expérience que je viens de citer en dernier lieu, ce serait l'échauffement produit par la radiation solaire qui déterminerait des différences de température de tous les points, et par conséquent une réflexion de la lumière dans toutes les directions.

Je ne pense pas non plus qu'il en soit ainsi, ou au moins que cette non-homogénéité puisse être la cause prépondérante de l'illumination du liquide.

En effet, en essayant de rendre l'eau encore moins homogène, soit en la chauffant, soit en y faisant dis-

(1) Voyez *Archives*, février 1870, t. XXXVII, p. 180.

soudre un sel par la superficie, je n'ai pas vu l'illumination se modifier sensiblement, tout au moins pas plus que lorsque, par une simple agitation qui met en mouvement les particules les plus grossières, on introduit de petites bulles d'air dans le liquide.

D'autre part, si la chaleur des rayons solaires déterminait des différences de densité suffisantes pour expliquer le phénomène, en faisant passer un faisceau lumineux dans un tube un peu long et suivant son axe, l'illumination devrait être beaucoup plus prononcée près de l'extrémité par laquelle entre le faisceau que près de l'extrémité opposée, puisque la chaleur serait absorbée par les premières couches d'eau qu'elle traverse. Or ce n'est pas là le résultat que donne l'expérience.

X. - Sur l'illumination des corps transparents

Par M. J.-L. SORET.

Dans les recherches que j'ai faites, soit avant, soit après la publication des notes de M. Lallemand, j'ai eu l'occasion de vérifier une grande partie des expériences qui y sont décrites. Je suis constamment parvenu aux mêmes résultats; ainsi je ne conteste point les faits d'observation. Mais je cesse d'être d'accord avec M. Lallemand, en ce qui concerne l'explication théorique de ces faits; je crois toujours que la cause générale et prépondérante des phénomènes d'illumination réside dans la présence des particules hétérogènes répandues dans le milieu transparent.

Avant d'exposer les raisons sur lesquelles j'appuie cette opinion, j'indiquerai quelques objections que me paraît soulever l'idée d'une propagation du mouvement vibratoire de l'éther dans toutes les directions.

En premier lieu, cette idée semble contraire à la manière dont on explique, dans la théorie des ondulations, le fait que *la lumière se propage en ligne droite* dans un milieu homogène. Dans toutes les directions qui s'écartent sensiblement de celle du rayon, il doit y avoir annulation par interférence des vibrations de l'éther, quelle que soit la densité de ce dernier.

De plus, même en admettant que le principe ne fût pas rigoureusement exact, et qu'une quantité sensible de lumière fût renvoyée latéralement dans les milieux où l'éther est plus condensé, il semble que l'intensité de l'illumination devrait croître régulièrement avec la densité de l'éther, c'est-à-dire à mesure que l'on opère sur

des corps de plus en plus réfringents. Or, l'eau, dont l'indice de réfraction est 1,33, a, suivant M. Lallemand, un coefficient d'illumination faible, mais cependant notable; ce coefficient est plus ou moins sensible pour le crown-glass dont l'indice est de 1,52 environ; il devient nul pour le sel gemme et le quartz dont l'indice est 1,54; il est très-considérable pour le flint-glass, dont l'indice a une valeur de 1,57 et au-dessus.

Dans son mémoire, il est vrai, M. Lallemand cherche à expliquer le fait que le quartz ou le sel gemme ne s'illuminent pas d'une manière sensible, en admettant que *le coefficient d'illumination est complémentaire du coefficient de transmission*, et que *l'absorption partielle d'une radiation simple par une épaisseur déterminée d'un milieu résulte de la propagation latérale du mouvement vibratoire qui lui correspond*. Mais alors ce n'est plus la densité de l'éther, mais bien la nature du corps, d'où dépend cette propagation latérale. Les corps qui s'illuminent jouiraient ainsi d'une propriété spéciale: les radiations absorbées n'y produiraient pas une élévation de température comme c'est habituellement le cas; mais elles seraient immédiatement réémises sous la forme de rayons visibles. Cette propriété se rapprocherait beaucoup de la fluorescence: elle en différerait seulement par le fait qu'il n'y aurait pas de changement ou au moins pas de changement notable de réfrangibilité, et par des caractères de polarisation n'existant pas dans la lumière émise par les corps fluorescents ordinaires. — On verra toutefois, plus bas, que M. Lallemand ne renonce pas à admettre une influence directe de la densité de l'éther.

Je désire encore faire ici une réserve: comme l'auteur du mémoire reproduit plus haut, j'ai trouvé qu'en opérant sur les corps fluorescents, tels que le verre d'uranet différents autres verres, la lumière émise transversalement n'est pas polarisée; mais je ne suis pas certain

que l'inverse soit toujours vrai, et que de l'absence de polarisation on puisse légitimement conclure à la fluorescence du milieu transparent.

EXPÉRIENCES.

Je vais maintenant rapporter les expériences que j'ai faites sur ce sujet, et qui me paraissent montrer que l'illumination des corps transparents doit être attribuée à la présence de corpuscules répandus dans le milieu.

I. — Dans cette hypothèse, il est évident que plus un liquide non fluorescent sera dépouillé de particules hétérogènes, moins son pouvoir d'illumination sera considérable, et que si l'on parvient à une élimination complète des particules, un faisceau lumineux ne produira plus de trace visible latéralement.

J'ai fait en ce sens de nombreux essais sur l'eau, et j'ai constamment trouvé que lorsque ce liquide s'illumine, il contient manifestement des particules en suspension. Pour les voir, il suffit, en opérant dans une chambre obscure, de faire tomber un faisceau de lumière oxyhydrique, ou mieux de lumière solaire, sur le liquide placé dans un ballon ou un flacon de verre ; en donnant à l'eau un léger mouvement giratoire, et en observant à la loupe la trace lumineuse, on voit passer dans le faisceau des particules plus ou moins ténues près de sa sortie du flacon.

Plus ces corpuscules sont rares et difficilement visibles, moins l'éclat de la trace lumineuse est apparent.

L'eau fraîchement distillée, *ordinaire*, c'est-à-dire distillée par *ébullition*, contient des particules nombreuses et relativement assez grossières ; elle est même souvent inférieure, sous ce rapport, à l'eau du lac de Genève que l'on a laissée reposer quelques jours après l'avoir recueillie avec soin.

J'ai cherché à obtenir de l'eau plus claire par divers

procédés; voici ceux qui m'ont donné les meilleurs résultats.

a) On a commencé par distiller, dans un appareil en verre ou en platine, de l'eau à laquelle on avait ajouté un peu de permanganate de potasse pour détruire toutes les matières organiques. Le liquide ainsi obtenu, que j'appellerai *eau de première distillation*, a été soumis à une seconde distillation dans un alambic en verre, chauffé au bain-marie, en sorte qu'il n'entraît pas en ébullition, mais que la distillation s'effectuait lentement par *évaporation superficielle*; le liquide recueilli était notablement plus clair que l'eau de première distillation. Une troisième distillation au bain-marie a donné une eau que j'appellerai l'eau *a*, dans laquelle la trace lumineuse est faible : en l'observant à la loupe, on y distingue encore un grand nombre de particules très-ténues.

Il est inutile de dire que ces manipulations doivent être faites avec une grande propreté, et en évitant le plus possible la poussière.

b) On a distillé, par évaporation superficielle, de l'eau ordinaire à laquelle on avait ajouté un peu de permanganate de potasse, dans un alambic en platine chauffé au bain-marie. L'eau *b* recueillie, comparée à l'eau *a*, donne une trace lumineuse plutôt un peu plus faible; elle contient des particules un peu plus grosses, mais plus rares (1).

c) On a pris de l'eau de première distillation, et on l'a soumise à trois nouvelles distillations consécutives par évaporation superficielle, dans un alambic muni d'un

(1) La forme du chapiteau de l'alambic en platine que j'avais à ma disposition se prêtait très-mal à la distillation par évaporation superficielle; l'eau condensée retombait presque entièrement dans la chaudière. L'opération était d'une extrême lenteur, et l'appareil n'étant pas hermétiquement fermé, il était à craindre qu'il ne s'y introduisit de la poussière; j'ai donc renoncé à faire plusieurs distillations successives.

chapiteau en cuivre étamé. Ce chapiteau, dont la forme permet de recueillir tout le liquide qui s'y condense, est disposé de manière à pouvoir être refroidi par un courant d'eau, ce qui accélère beaucoup la distillation. L'eau obtenue, examinée immédiatement après l'opération; donnait une trace lumineuse plus visible que celle de l'eau *a*: elle contenait des particules plus grosses, scintillantes et irisées. Mais plusieurs semaines de repos l'ont beaucoup améliorée: elle ne contient plus que de petites particules un peu scintillantes et difficiles à distinguer; son pouvoir d'illumination est notablement plus faible que celui de l'eau *a*.

d) De l'eau de première distillation a été placée dans un alambic en verre, relié par un raccord hermétique à un ballon en verre servant de condenseur (1). On a opéré la distillation par évaporation, en portant l'alambic à une température de 40 à 50° seulement, le ballon étant entouré de glace. Le chapiteau de l'alambic, refroidi au moyen d'eau et de glace contenues dans des sacs en caoutchouc, ne se réchauffe que très-peu au-dessus de la température ambiante. On évite ainsi l'action que l'eau, au moment de sa condensation, exerçait sur le verre si elle était à une température élevée. — La distillation s'effectue très-lentement; il faut plusieurs jours pour obtenir une quantité d'eau suffisante. Immédiatement après sa préparation, le liquide recueilli avait remarquablement peu de pouvoir d'illumination; au bout de quelques jours il a paru se gâter un peu, peut-être parce que le ballon n'était pas bouché à l'émeri. La trace lumineuse est devenue à peu près aussi visible que celle de l'eau *c*;

(1) L'appareil avait été construit de manière que l'on pût y faire le vide pour hâter la distillation; mais j'ai renoncé à ce procédé, car il est très-difficile d'éviter que la rentrée d'air, soit s'il y a des fuites, soit à la fin de l'expérience, n'amène pas de poussière dans le ballon.

on y distingue des particules un peu scintillantes, plus grosses que dans l'eau *c*, mais plus rares.

e) On peut aussi obtenir d'assez bons résultats par filtration au travers de substances à pores très-fins. Les filtres en papier ne conviennent pas sous ce rapport. Avec de l'amiante assez tassée pour que la filtration ne s'effectue que lorsqu'on fait le vide au-dessous de l'entonnoir, on obtient de l'eau très-claire; cependant elle contient toujours des particules très-scintillantes, qui sont probablement de petits fragments d'amiante. — J'ai obtenu de meilleurs résultats avec un filtre en terre poreuse. A cet effet, un petit diaphragme de pile voltaïque a été adapté comme un bouchon au col d'un flacon en verre; un peu de mastic rendait le joint hermétique et suffisamment solide. Le flacon portait une seconde tubulure latérale près du fond, par laquelle on introduisait l'eau de première distillation, en tenant le flacon renversé, de manière à le remplir presque complètement. On reliait ensuite la tubulure latérale avec une pompe foulante, puis on comprimait de l'air dans le flacon, de manière à exercer sur l'eau une pression de près d'une atmosphère; la filtration s'effectuait alors lentement. — Le liquide recueilli s'illumine à peu près au même degré que les eaux *a* et *b*. En l'examinant à la loupe, on y voit nager des particules moins fines que celles de l'eau *a* et un peu scintillantes.

f) Un repos prolongé suffit dans certains cas à rendre l'eau beaucoup plus claire. Nous avons déjà vu plus haut que l'eau *c* s'était ainsi beaucoup améliorée. Il en est de même de l'eau du lac de Genève. Ainsi divers flacons ont été directement remplis de cette eau, soit près de Genève, soit devant Evian ou Clarens; le liquide, comparé au bout de peu de jours à l'eau *a*, présentait une infériorité notable; la trace lumineuse y était beaucoup plus marquée, et l'on distinguait de nombreuses particules inégales et facilement visibles. Mais après un repos

de plusieurs mois, l'eau du lac s'est considérablement améliorée ; elle est devenue très-supérieure à l'eau *a* conservée de la même manière ; elle est cependant inférieure à l'eau *c*, dont les particules, quoique un peu plus facilement visibles, sont en moins grand nombre.

Au contraire, les eaux *a*, *b*, *e* ne paraissent pas s'être modifiées par le repos.

Il en est à peu près de même pour de l'eau que j'avais obtenue par la fusion de neige fraîchement tombée (28 octobre 1869). Quoique la neige fût très-propre, le liquide recueilli était d'abord assez trouble ; la trace d'un faisceau lumineux y était très-visible et n'était que partiellement polarisée. Un repos de quelques jours a bien rendu l'eau relativement plus limpide, les phénomènes de polarisation sont devenus complets, mais la clarification a bientôt cessé de progresser. Après trois mois de repos, cette eau a encore un grand pouvoir d'illumination et il est facile d'y distinguer une multitude de petites particules.

Il est évident que ces différences proviennent de la nature et de la densité des corpuscules en suspension qui influe beaucoup sur la facilité avec laquelle ils se déposent.

J'ajouterai ici que, dans tous les essais qui ont été mentionnés, l'eau a été examinée dans le vase même où elle avait été recueillie. Le seul fait de transvaser le liquide suffit généralement pour en modifier l'état et pour y introduire des particules ou des poussières.

L'ensemble des expériences rapportées jusqu'ici me paraît prouver : d'une part, qu'il y a une relation incontestable entre le degré auquel l'eau est susceptible de s'illuminer et la quantité de corpuscules qu'elle tient en suspension, et, d'autre part, qu'il est extrêmement difficile d'arriver à purifier entièrement un liquide de manière à lui enlever toutes les particules hétérogènes qu'il peut contenir.

II. — Inversement l'expérience montre que, lorsqu'on augmente beaucoup le nombre des particules en suspension, pourvu qu'elles soient suffisamment ténues, on augmente considérablement le pouvoir d'illumination de l'eau sans modifier les phénomènes de polarisation.

Ainsi, en prenant de l'eau *a* et en la maintenant pendant plusieurs jours à une température voisine de 100° dans un vase en verre (un alambic, par exemple), on obtient après le refroidissement un liquide qui paraît très-limpide à la lumière diffuse du jour. Mais, lorsqu'en opérant dans la chambre obscure, on y fait passer un faisceau lumineux, et qu'on l'examine à la loupe, on y distingue une multitude de particules à peu près de la dimension de celles que contient l'eau *a*, mais beaucoup plus serrées et nombreuses (1). En même temps, la trace lumineuse a pris un éclat remarquable et incomparablement plus grand que celui de l'eau ordinaire.

Or avec ce liquide, chez lequel il serait difficile de contester que la cause principale de l'illumination soit due à la présence de corpuscules en suspension, on observe tous les phénomènes de polarisation décrits par M. Tyndall et M. Lallemand.

Voici entre autres une expérience assez frappante. On fait passer dans un ballon rempli de cette eau un faisceau lumineux horizontal et polarisé par son passage au travers d'un prisme de Nicol. En regardant la trace à l'œil nu dans une direction horizontale et perpendiculaire au faisceau, et en faisant tourner le Nicol polariseur, on voit, à chaque quart de révolution, apparaître et disparaître la trace, conformément à l'expérience de M. Tyndall. Mais si, au lieu de regarder à l'œil nu, on regarde à travers un second Nicol tourné de manière que la section de ses petites diagonales soit horizontale, la trace n'est

(1) La présence de ces particules doit sans doute être attribuée à l'action connue de l'eau sur le verre.

jamais visible, quelque position que l'on donne au premier Nicol, ce qui s'accorde tout à fait avec les résultats de M. Lallemand.

De même le faisceau de lumière incident étant toujours polarisé, par exemple dans un plan horizontal, on reconnaît que, quelle que soit la direction dans laquelle on regarde la trace, la lumière émise est polarisée dans un plan comprenant le rayon visuel et les lignes droites horizontales perpendiculaires au rayon visuel, en d'autres termes dans un plan normal à l'azimut.

Le pouvoir d'illumination de ce liquide est assez considérable pour permettre de faire facilement les expériences suivantes.

On fait arriver un filet de lumière solaire sur un prisme; puis on place le ballon contenant l'eau sur le passage du faisceau de rayons divergents et diversement colorés qui sortent du prisme : la trace lumineuse présente alors toutes les nuances du spectre juxtaposées. On reconnaît que la lumière émise ainsi est encore polarisée, quelle que soit sa réfrangibilité.

Si dans ces conditions on regarde la trace, le rayon visuel étant dirigé parallèlement aux arêtes du prisme, on distingue toutes les couleurs du spectre, comme nous venons de le dire; mais si le rayon visuel est dirigé perpendiculairement aux arêtes du prisme, alors les différentes couleurs se superposent et la trace paraît blanche. Cette expérience, que l'on peut du reste répéter avec de l'eau contenant des particules quelconques en suspension, donne une démonstration nouvelle et assez élégante de la recombinaison de la lumière blanche.

Les résultats auxquels je suis arrivé avec cette eau chargée de particules en suspension par un procédé particulier, s'obtiennent facilement en introduisant dans le liquide d'autres corpuscules.

Si l'on prend de l'eau suffisamment claire, et qu'on y produise un précipité très-léger, à l'aide de réactifs conve-

nables, on reconnaît que le pouvoir d'illumination augmente considérablement et que la lumière émise transversalement présente les mêmes caractères de polarisation, *pourvu que les particules en suspension soient suffisamment ténues, et qu'elles ne soient pas trop abondantes*. C'est ce que j'ai observé dans un très-grand nombre de cas : par exemple, en versant dans de l'eau ordinaire (eau du lac de Genève) quelques gouttes d'acétate de plomb, d'azotate d'argent, d'encre de Chine délayée, etc., etc.

Il se produit souvent dans ces conditions des phénomènes de coloration remarquables, dont je me réserve de poursuivre l'étude.

Je ne rapporterai pas ici toutes les expériences que j'ai faites jusqu'ici ; je me bornerai à en donner une idée, en prenant pour exemple les précipités obtenus avec l'azotate d'argent.

On remplit un ballon d'eau du lac de Genève reposée, dont le pouvoir d'illumination est très-faible ; puis avec une tige de verre on y introduit une goutte d'une dissolution étendue d'azotate d'argent. L'eau contenant quelques traces de chlorures, il se forme un précipité, invisible à la lumière diffuse, mais qui, dans la chambre obscure, se manifeste par une augmentation notable dans l'éclat de la trace produite sur le passage d'un faisceau de lumière solaire ou oxhydrique. Les phénomènes de polarisation sont complets et semblables, à tous égards, à ceux qui ont été rappelés plus haut.

On ajoute une seconde goutte d'azotate d'argent : le pouvoir d'illumination augmente, la trace paraît bleuâtre ; sa polarisation est encore complète.

On ajoute encore de l'azotate d'argent : l'eau devient légèrement louche à la lumière diffuse. Dans la chambre obscure, la trace d'un faisceau de rayons solaires non polarisés devient beaucoup plus visible ; elle est colorée en bleu clair. Observée à angle droit avec un prisme de

Nicol, on reconnaît que la polarisation n'est plus complète : quand l'analyseur est tourné dans la position de plus grande extinction, la trace est encore visible et elle est alors d'un beau bleu foncé, dont la teinte se rapproche de l'indigo du spectre. — Si l'on polarise le faisceau incident dans un plan horizontal, en regardant à l'œil nu dans une direction horizontale perpendiculaire au faisceau, la trace est très-visible et bleu clair ; si, sans changer la position de l'œil, on tourne de 90° le Nicol polariseur, de manière que le plan de polarisation de la lumière incidente devienne vertical, l'extinction n'est pas complète, la trace restée visible est d'un beau bleu foncé ; examiné avec un second Nicol, on reconnaît, particulièrement quand le précipité est un peu abondant, que le résidu se compose de rayons bleus polarisés dans un plan perpendiculaire au faisceau et d'une petite quantité de lumière jaunâtre non polarisée provenant probablement de réflexions multiples.

En augmentant encore la quantité du précipité, les phénomènes de polarisation s'altèrent de plus en plus ; la trace lumineuse, d'un blanc bleuâtre à l'entrée du faisceau, se colore de plus en plus en jaune orangé, à mesure qu'elle a traversé une plus grande épaisseur de liquide (1).

Si, après avoir obtenu un très-faible précipité de chlorure d'argent dans l'eau, on expose pendant quelque temps le ballon à la lumière solaire, la nature du précipité se modifie complètement : le liquide perd sa légère teinte bleuâtre, il prend une couleur lie de vin, et devient moins transparent ; en même temps la trace lumineuse n'est presque plus polarisée.

(1) On remarquera l'analogie que présente l'ensemble des observations précédentes avec celles que M. Tyndall a faites sur les gaz contenant des substances à l'état de nuage. (Voyez *Archives*, 1869, t. XXXIV, p. 162.)

En opérant avec du quartz, j'ai observé, comme M. Lallemand, qu'un faisceau lumineux ne produit pas d'illumination lors de son passage à travers certains échantillons parfaitement purs. Cependant, en opérant sur un échantillon qui paraît très-limpide à la lumière diffuse, mais qui présente de nombreux petits défauts de cristallisation, j'ai obtenu une trace bien visible en y faisant passer un faisceau lumineux dans la chambre obscure. Or cette trace, dont l'origine réside incontestablement dans un défaut d'homogénéité de la masse transparente, présente les phénomènes de polarisation déjà si souvent mentionnés.

La conséquence de ces faits me paraît être qu'il faut bien renoncer à considérer les phénomènes d'illumination comme inconciliables avec l'hypothèse qui les attribue à des particules très-ténues répandues dans le corps transparent.

XI. — Sur la polarisation et la fluorescence de l'atmosphère

Par M. LALLEMAND.

L'étude assidue que je viens de faire de la polarisation atmosphérique m'a conduit à la considérer comme un cas particulier du phénomène de l'illumination des corps transparents par la lumière naturelle. On sait, en effet, que si l'on place un ballon de verre sphérique, rempli d'un liquide incolore, sur le trajet d'un faisceau de rayons solaires rendus convergents par une lentille à long foyer, les molécules du liquide disséminent la lumière dans toutes les directions; et, tandis que le rayon incident ou transmis est neutre, les rayons disséminés par le liquide sont entièrement polarisés dans une direction normale au faisceau, et partiellement dans une direction oblique. Ces phénomènes s'expliquent simplement en admettant, comme Fresnel l'a démontré, que le mouvement vibratoire de l'éther est normal au rayon lumineux; et si l'on suppose, en outre, que cette illumination du milieu transparent est due à une simple propagation latérale du mouvement lumineux, il résulte de là que le cercle enveloppe des trajectoires elliptiques à orientation variable, qui caractérisent le mouvement d'une particule éthérée dans la lumière naturelle, apparaît de profil à l'observateur quand il vise normalement au rayon, et suivant une ellipse dont le grand axe reste constant, tandis que le petit axe varie avec l'inclinaison de la ligne de visée sur le filet lumineux. La proportion de lumière polarisée doit varier comme le sinus carré de l'angle que fait le rayon visuel avec l'axe du faisceau, ce qu'il est facile de vérifier avec le polarimètre d'Arago.

La polarisation de l'air s'explique de la même manière ; tous les physiciens ont pu constater, après Arago, que la polarisation est maximum dans un plan normal au rayon solaire, et décroît à mesure que la ligne de visée s'éloigne de ce plan. Il est vrai que la proportion de lumière polarisée devrait rester constante quand le polarimètre est dirigé suivant les diverses génératrices d'un cône droit dont l'axe est le rayon solaire lui-même, ce que l'expérience est loin de vérifier ; mais il faut tenir compte de l'impureté des couches inférieures de l'atmosphère et des réflexions diffuses ou spéculaires, dont les particules solides ou liquides qu'elle tient en suspension sont le siège. Ces particules, qui interviennent activement dans la formation des points neutres, comme je l'indiquerai tout à l'heure, n'ont aucune influence sur le phénomène principal de la polarisation atmosphérique. Il suffit, pour arriver à cette conviction, de remarquer que, lorsqu'une étroite ouverture se produit au sein d'épais nuages enveloppant tout l'horizon, le ciel, à travers cet hiatus, est aussi fortement polarisé que par un temps serein ; et pourtant, dans ce cas particulier, l'illumination est due aux couches d'air pur situées au delà des nuages. Il en est de même quand le ciel est entièrement voilé par de légers cirrus ; le polariscope accuse encore une polarisation énergique, alors que la couche d'air subnébuleuse n'est pas directement éclairée par les rayons solaires ; d'un autre côté, il arrive souvent qu'un nuage isolé, bas et épais, ne donne que de très-faibles signes de polarisation, et quelquefois même n'en donne aucune trace ; bien que la couche d'air qui le sépare de l'observateur soit directement illuminée et se trouve d'ailleurs dans une direction favorable.

Nous sommes donc conduits à admettre que la polarisation de l'atmosphère est le résultat d'une dissémination moléculaire, due sans doute à une condensation particulière de l'éther autour de chaque molécule aérienne.

A ce point de vue, la lumière atmosphérique polarisée devrait être blanche, et c'est, en effet, ce qu'indiquent les couleurs complémentaires du polariscope à lunules. Lorsque les deux images sont en partie superposées, elles reproduisent de la lumière qui, par contraste, paraît sensiblement blanche. Jusqu'à ce jour, pourtant, les physiciens avec Arago ont regardé le bleu du ciel comme étant polarisé; il devrait alors se partager inégalement entre les deux images, suivant la position de l'analyseur, et les couleurs complémentaires du quartz différeraient beaucoup, dans certains cas, de celles qu'il donne de la lumière blanche. C'est ce qu'on vérifie aisément avec un polariscope dirigé vers une partie du ciel où la teinte bleue est intense et un polarimètre qui vise au travers d'un large tube, dans une région nuageuse dont on polarise partiellement la lumière avec la pile de glaces, de manière à réaliser des conditions identiques. Si les quartz des deux appareils proviennent d'une même lame subdivisée, et ont par conséquent des épaisseurs égales; si, d'un autre côté, les sections principales des deux prismes analyseurs sont également inclinées sur le plan de polarisation de la lumière incidente, on reconnaît que les teintes de la double image sont différentes dans les deux appareils, et, pour les identifier, il suffit de placer devant l'œil qui vise au travers du polarimètre un verre coloré en bleu clair, ou mieux encore une auge étroite renfermant un liquide bleu, dont on peut graduer la teinte par dilution. Lorsque, à l'aide de cet artifice, l'identité des couleurs a été réalisée, elle se maintient pour toutes les nouvelles positions que l'on donne aux deux analyseurs: le bleu du ciel est donc neutre et se partage également entre les deux images.

J'attribue la couleur bleue de l'atmosphère à un phénomène de fluorescence quinique ou hypochromatique, c'est-à-dire avec changement de réfrangibilité due à une absorption partielle des rayons chimiques ou ultra-vio-

lets. La plupart des liquides incolores et des solutions salines possèdent, à des degrés divers, cette espèce de fluorescence qu'on observe aisément avec des rayons ultra-violetés polarisés, ou plus simplement encore en observant avec un biprisme de Biot le liquide illuminé par de la lumière naturelle. Lorsque la section principale du prisme est normale au faisceau lumineux, l'image extraordinaire ne s'éteint pas complètement et renferme toujours la moitié de la lumière neutre due à la fluorescence. Cette image est le plus souvent colorée en bleu clair, et cette nuance persiste quand on interpose sur le trajet du faisceau un verre violet foncé. On reconnaît ainsi que la fluorescence quinique est une propriété presque générale des substances incolores et diaphanes. Elle est énergique, par exemple, dans les sels d'alumine les plus purs en solution aqueuse ; plus faible, quoique facilement observable, dans les sels ammoniacaux. On ne saurait nier d'ailleurs le pouvoir absorbant de l'atmosphère pour les rayons chimiques. M. Roscoe, en particulier, a prouvé combien le Soleil couchant est pauvre en rayons de cette espèce. Il serait difficile, pour le moment, d'apprécier le rôle que jouent dans cette absorption les divers éléments de l'air et la vapeur d'eau. Une étude photographique plus approfondie du spectre chimique nous édifiera peut-être un jour à cet égard.

Pour compléter ce résumé de mes recherches, il me reste à dire quelques mots des points neutres. Il en existe deux : l'un, signalé par Arago, se trouve en moyenne à 150° du Soleil, dans le vertical qui contient cet astre et l'œil de l'observateur ; le second, observé pour la première fois par M. Babinet, est à 17° environ du Soleil, dans le même plan et du même côté que le premier. Je ne cite que pour mémoire un troisième point de nulle polarisation, que M. Brewster aurait observé à 8° du Soleil, du côté opposé aux deux premiers ; je n'ai pu, en aucune occasion, en

constater l'existence. La formation des points neutres est toujours liée à deux polarisations inverses, en deçà et au delà de chacun de ces points. Arago avait reconnu, en effet, qu'au-dessous du point neutre l'air est polarisé dans un plan perpendiculaire à l'azimut solaire ; j'ai pu vérifier qu'il en est toujours ainsi pour le point neutre de M. Babinet. Ce point ne se produit bien nettement que lorsque le Soleil est voisin de l'horizon, et, si le polariscope est armé d'un biquartz à rotations opposées, la sensibilité de l'instrument permet de reconnaître la polarisation inverse qui a lieu au-dessous de ce point.

La genèse des points neutres s'explique par l'intervention des poussières et corpuscules de toute nature qui abondent dans les couches inférieures de l'atmosphère. Supposons, pour plus de simplicité, le Soleil à l'horizon et l'observateur visant du côté opposé, dans une direction horizontale. D'après les lois de l'illumination, l'air, dans cette direction, devrait être neutre au polariscope ; mais la réflexion spéculaire qui, sous diverses incidences, se produit à la surface des poussières atmosphériques, détermine la formation de deux faisceaux lumineux horizontaux, convergents, et symétriques par rapport au vertical qui contient le Soleil et l'observateur. La propagation latérale du mouvement lumineux, due à ces rayons ainsi déviés, a pour résultat de polariser horizontalement les couches d'air situées dans la région opposée au Soleil. A une certaine hauteur au-dessus de l'horizon et dans l'azimut solaire, la propagation latérale due aux rayons directs engendre une polarisation verticale, qui annule la première et donne naissance au point neutre d'Arago. Dans le cas particulier que je considère, si l'on dirige le polarimètre successivement vers tous les points de l'horizon à partir du Soleil, on constate que l'air est toujours polarisé dans un plan horizontal, et que la proportion de lumière polarisée croît graduellement

usqu'à 90°, pour décroître ensuite très-lentement et rester sensiblement constante à partir de 160°.

Le point neutre de M. Babinet est produit par la même cause et s'explique de la même manière. Le Soleil étant toujours supposé à l'horizon et le polariscope dirigé vers lui, les réflexions spéculaires formeront encore au-devant de l'observateur deux faisceaux convergents et symétriques par rapport à l'azimut solaire; mais il est évident que l'épaisseur de ces deux faisceaux dans le sens horizontal sera bien moindre dans ce cas que précédemment pour une incidence déterminée et dans une couche parallèle à l'horizon dont l'observateur est le centre.

Les poussières réfléchissantes qui concourent activement à la production des deux points neutres sont réparties dans deux secteurs supplémentaires et inégaux. Le plus petit de ces deux secteurs, d'autant plus petit que l'angle d'incidence est plus voisin de 90°, est celui qui concourt à la génération du point neutre de M. Babinet. Ce point devra donc être moins élevé au-dessus de l'horizon que celui d'Arago, comme l'indique l'expérience. Sans entrer dans des détails que ne saurait comporter cette Note, je ne puis m'empêcher de faire remarquer que ce nouveau point de vue justifie bien le déplacement du point neutre d'Arago, lorsque le ciel est en partie voilé par des nuages, et comment il est rejeté en dehors de l'azimut solaire, du côté opposé à la partie nébuleuse. Toutes les particularités du phénomène général de la polarisation de l'atmosphère et des points neutres viennent à l'appui de cette théorie, dans laquelle la réflexion et la réfraction n'interviennent que pour changer la direction des rayons solaires, sans être en aucune manière la cause efficiente de la polarisation aérienne.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
I. — Sur une nouvelle classe de réactions chimiques produites par la lumière, par M. John Tyndall . . .	1
Action de la lumière électrique	1
Nitrite d'amyle	3
Action de la lumière du soleil	5
Considérations physiques	6
Production du bleu de ciel par la décomposition du nitrite d'amyle	9
Iodure d'allyle	11
Iodure d'isoprophyle	12
Acide bromhydrique	14
Acide chlorhydrique	17
Acide iodhydrique	18
II. — Sur la couleur du ciel, la polarisation de l'atmosphère et la polarisation de la lumière par les substances nuageuses en général, par M. John Tyndall . . .	21
III. — Sur une théorie cométaire, par M. John Tyndall . .	38
Observations de M. l'abbé Raillard	45
Observations de D. E. Carpmael	46
Observations de M. Gibbs	46
Note additionnelle sur la formation et les phéno- mènes des nuages, par M. John Tyndall	48
IV. — Sur la poussière atmosphérique et les maladies, par M. John Tyndall	52
V. — Sur les matières flottantes et le rayon de lumière, par M. John Tyndall	66
Question de la génération spontanée	73
Expérience faite à Paris	74
VI. — La poussière et la fumée, par M. John Tyndall . .	77
Théorie des germes	84
Respirateurs	88
VII. — Sur les réactions chimiques produites par la lumière solaire, par M. Morren	95
Mélange d'azote et d'hydrogène	103
Acide sulfureux	104
Acide chlorhydrique	116

	Pages.
VIII. — Recherches sur l'illumination des corps transparents, par M. A. Lallemand	124
Substances non fluorescentes	125
Substances fluorescentes	130
Vérification expérimentale de l'hypothèse de Fresnel sur la direction du mouvement vibratoire dans un rayon de lumière	132
Illumination des substances solides	143
Illumination chromatique	145
Illumination des liquides à pouvoir rotatoire	148
Influence de la réfrangibilité sur le pouvoir illumi- nant	150
Fluorescence en général	151
IX. — Sur la polarisation de la lumière de l'eau, par M. J.-L. Soret	159
Lac de Genève	159
Lac de Garde	162
Lac Michigan	163
Méditerranée	165
Mer Rouge	166
Lagunes de Venise	167
X. — Sur l'illumination des corps transparents, par M. J.-L. Soret	174
Expériences	176
XI. — Sur la polarisation et la fluorescence de l'atmosphère, par M. Lallemand.	187

FIN DE LA TABLE.

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE

DU JOURNAL

LES MONDES

18, rue du Dragon, à Paris.

Les ouvrages annoncés ci-dessous seront adressés *franco par la poste*, sans augmentation de prix, à toute personne qui en enverra le montant par *lettre affranchie*, en un mandat-poste ou en timbres.

— OCTOBRE 1873 —

LES MONDES

REVUE HEBDOMADAIRE DES SCIENCES

ET DE LEURS APPLICATIONS AUX ARTS ET A L'INDUSTRIE

Par M. l'abbé MOIGNO

Paraissant tous les Jeudis, par liv. de 48 p. in-8, fig. interc. dans le texte et formant chaque année 3 forts vol. de près de 800 pages.

13^e ANNÉE

Prix des abonnements pour un an :

PARIS	25 fr.	ÉTRANGER	32 fr.
DÉPARTEMENTS	30 fr.	PAYS D'OUTRE-MER	45 fr.

La collection complète depuis son origine, janvier 1863, jusqu'au 31 décembre 1874, 12 années complètes. — 35 vol. grand in-8°, avec figures, brochés ; prix : 275 fr. — Chaque année, composée de 3 vol., se vend séparément 25 fr. (à l'exception de la 8^e année, qui n'a que 2 vol., et dont le prix n'est que de 17 fr.).

COSMOS, revue encyclopédique hebdomadaire du progrès des sciences et de leur application aux arts et à l'industrie, par M. l'abbé MOIGNO. — Depuis son origine, juillet 1852, jusqu'au 31 décembre 1862, 21 vol. grand in-8°, brochés : 125 fr.

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES
PUBLIÉES PAR M. L'ABBÉ MOIGNO.

—
PREMIÈRE SÉRIE
—

- I. **SUR LA RADIATION**, par M. John Tyndall, traduit de l'anglais.
Brochure in-18 jésus. 1 fr. 25
- II. **SUR LA FORCE DE COMBINAISON DES ATOMES**, par M. A.-W. Hofmann; traduit de l'anglais, avec un aperçu de philosophie chimique.
In-18 jésus.. 1 fr. 25
- III. **ANALYSE SPECTRALE DES CORPS CÉLESTES**, par M. William Huggins, traduit de l'anglais. In-18 jésus. 1 fr. 50
- IV. **LA CALORESCENCE — INFLUENCE DES COULEURS ET DE LA CONDITION MÉCANIQUE SUR LA CHALEUR RAYONNANTE**, par M. John Tyndall, traduit de l'anglais. In-18 jésus. 1 fr. 50
- V. **LA FORCE ET LA MATIÈRE. — LA FORCE. — DEUX CONFÉRENCES** de M. Tyndall, traduites de l'anglais, avec appendice sur la nature et la constitution intime de la matière. In-18 jésus. 1 fr. 50
- VI. **LES ÉCLAIRAGES MODERNES. Conférences** de M. l'abbé Moigno. — Éclairage aux huiles et essences de pétrole. — Éclairage au magnésium. — Éclairage au gaz oxhydrogène. — Éclairage à la lumière électrique. — Régulateur de la pression du gaz. — In-18 jésus. 2 fr.
- VII. **SEPT LEÇONS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE**, par Augustin Cauchy, avec un appendice sur les rapports de la science avec la foi.
In-18. 1 fr. 50
- VIII. **PHYSIQUE MOLÉCULAIRE. Ses conquêtes, ses phénomènes et ses applications.** In-18 jésus. 2 fr. 50
- IX. **SIX LEÇONS SUR LE CHAUD ET LE FROID**, faites à un jeune auditoire pendant les vacances de Noël, par M. J. Tyndall, traduites de l'anglais. In-18 jésus. 2 fr.
- X. **FARADAY INVENTEUR**, par M. John Tyndall, traduit de l'anglais.
In-18 jésus. 2 fr.
- XI. **SACCHARIMÉTRIE OPTIQUE, CHIMIQUE ET MELASSIMÉTRIQUE**, in 18 jésus. 3 fr. 50
- XII. **MELANGES DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE PURES ET APPLIQUÉES.** In-18 jésus. 3 fr. 50
- XIII. **SCIENCE ANGLAISE. Son bilan en août 1868. Réunion de Norwich.**
In-18 jésus. 2 fr. 50
- XIV. **SCIENCE ANGLAISE. Son bilan en 1869. Réunion à Exeter de l'Association britannique pour l'avancement des sciences.** in-18 jésus de 416 pages. 3 fr. 50
- XV. **LES ALIMENTS**, quatre Conférences faites à la Société des Arts de Londres, par M. le docteur Letheby, traduites de l'anglais. In-18 jésus. 3 fr.

- XVI. ESQUISSE HISTORIQUE DE LA THÉORIE DYNAMIQUE DE LA CHALEUR**, par M. Peter Guthrie Tait, professeur à l'Université d'Edimbourg. Traduite de l'anglais. Un vol. in-18 jésus, 3 fr. 50.
- XVII. CONSTITUTION DE LA MATIÈRE et ses mouvements, nature et cause de la pesanteur**, par le P. Leray, de la congrégation des Eudistes, avec une préface par M. l'abbé Moigno. In-18 jésus, orné de figures, 2 fr.
- XVIII. THÉORIE DU VÉLOCIPÈDE. — SUR LES LOIS DE L'ÉCQUELEMENT DE LA VAPEUR**, par M. Macquorn Rankine, professeur à l'Université de Glasgow. Traduction par M. J.-B. Viollet, revue par M. l'abbé Moigno. Br. in-18 jésus. 1 fr. 25
- XIX. LES MÉTAMORPHOSES CHIMIQUES DU CARBONE. Leçons faites à un jeune auditoire dans Royal-Institution**, par M. William Odling. In-18 jésus. 2 fr.
- XX. GÉOLOGIE DES ALPES ET DU TUNNEL DES ALPES**, par M. Elie de Beaumont. *Nouvelles observations géologiques sur les roches anthracifères des Alpes*, par M. Sismonda, traduit de l'italien par M. l'abbé Moigno. Un volume in-18 jésus, orné d'une carte géologique du Tunnel des Alpes. 2 fr.
- XXI. LES PHÉNOMÈNES ET LES THÉORIES ÉLECTRIQUES**, programme d'un cours en sept leçons, par M. le professeur Tyndall, traduit de l'anglais. In-18 jésus. 1 fr. 50
- XXII. LA LUMIÈRE**, notes d'un cours de neuf leçons. — Sur le Rôle scientifique de l'Imagination, par M. John Tyndall, professeur à Royal-Institution, traduit de l'anglais par M. l'abbé Raillard, revu par M. l'abbé Moigno, accompagné d'un Appendice sur l'arc-en-ciel, par M. l'abbé Raillard. In-18 jésus de 184 pages. 2 fr.
- XXIII. RECHERCHES SUR LES AGENTS EXPLOSIFS MODERNES et sur leurs applications récentes, recueillies et résumées par M. l'abbé Moigno.** In-18 jésus de 144 pages. 2 fr.
- XXIV. RELIGION ET PATRIE vengées de la fausse science et de l'envie haineuse**, par M. l'abbé Moigno. In-18 jésus de 144 pages. 1 fr. 50
- XXV. SURSATURATION. — I. Des solutions gazeuses. — II. Des solutions de vapeurs. — III. Des solutions salines**, par Charles Tomlinson. Traduit de l'anglais sous la direction de M. l'abbé Moigno. In-18 jésus de 160 pages. 2 fr.
- XXVI. ÉLÉMENTS DE THERMODYNAMIQUE**, par J. Moutier, ancien élève de l'École polytechnique. In-18 jésus. 2 fr. 50
- XXVII. SUR LA FORCE DE LA POUDRE et des Matières explosives**, par M. Berthelot, professeur au Collège de France. 2^e édition. In-18 jésus. 3 fr. 50
- XXVIII. OPTIQUE MOLÉCULAIRE. — Effets de précipitation, de décomposition, d'illumination, produits par la lumière; recueillis et résumés par M. l'abbé Moigno.** In-18 jésus de 208 pages. 2 fr. 50

- XXIX. L'ARCHITECTURE DU MONDE DES ATOMES, dévoilant la structure des composés chimiques et leur cristallogénie, par M. Marc-Antoine Gaudin, calculateur du bureau des Longitudes. Un volume in-18 jésus, avec 100 fig. 5 fr.
- XXX. ÉTUDE SUR LES ÉCLAIRS, par Paul Perrin, ancien élève de l'École polytechnique. In-18 jésus, broché. 2 fr. 50
- XXXI. MANUEL PRATIQUE MILITAIRE DES CHEMINS DE FER, par M. Élie Issalène, capitaine d'infanterie. In-18 jésus avec fig. 2 fr. 50
- XXXII. INSTRUCTION SUR LES PARATONNERRES, adoptée par l'Académie des Sciences. Un vol. in-18 jésus, avec 58 fig. 2 fr. 50
- XXXIII. TABLES BAROMÉTRIQUES ET HYSOMÉTRIQUES POUR LE CALCUL DES HAUTEURS, précédées d'une instruction sur l'usage des tables, par M. R. Radau. In-18, broché. 1 fr.
- XXXIV. LES PASSAGES DE VÉNUS SUR LE DISQUE SOLAIRE, considérés au point de vue de la détermination de la distance du Soleil à la Terre. — Passage de 1874. — Notions historiques sur les passages de 1761 et 1769, par Edmond Dubois, examinateur-hydrographe de la marine. Un vol. in-18 jésus, avec fig. 3 fr. 50
- XXXV. MANUEL ÉLÉMENTAIRE DE PHOTOGRAPHIE AU COLLODION HUMIDE, avec fig.; par Dumoulin. 1 fr. 50
- XXXVI. PREMIÈRES LEÇONS DE PHOTOGRAPHIE, par Perrot de Chaumeux. In-18 j., avec fig., 2^e édit., revue et augmentée. 1 fr. 50
- XXXVII. MÉTHODES CHIMIQUES POUR LA RECHERCHE DES FALSIFICATIONS. L'essai, l'analyse des matières fertilisantes, par Ferdinand Jean, chimiste, essayeur du commerce. 1 vol. in-18 j. 3 fr. 50
- XXXVIII. L'ASTRONOMIE PRATIQUE ET LES OBSERVATOIRES EN EUROPE ET EN AMÉRIQUE, depuis le milieu du xvii^e siècle jusqu'à nos jours; par André et Rayet. In-18 jésus, avec belles figures dans le texte et planches en couleur. — I^{re} Partie: Angleterre; 1874. 4 fr. 50. — II^e Partie: Écosse, Irlande et colonies anglaises; 1874. 4 fr. 50. — III^e Partie: Amérique. (Sous presse.) — IV^e Partie: Europe continentale. (Sous presse.)
- XXXIX. LES MINES DANS LA GUERRE DE CAMPAGNE. — Exposé des divers procédés d'inflammation des mines et des pétards de rupture. — Emploi de préparations pyrotechniques et emploi de l'électricité, avec 51 fig. dans le texte; par le capitaine Picardat. 2 fr. 50
- XL. ESSAI SUR LES PILES, par A. Callaud. (2^e édition.) In-18 jésus avec figures. 2 fr. 50
- XLI. MATIÈRE ET ÉTHER. Indication d'une méthode pour établir les propriétés de l'éther, par X. Kretz, ingénieur en chef des manufactures de l'État. In-18 jésus. 1 fr. 50
- XLII. L'UNITÉ DYNAMIQUE des forces et des phénomènes de la nature, ou l'atome tourbillon, par M. Félix Marco, prof. de physique au lycée, à Turin. In-18 jésus. 2 fr. 50
- XLIII. PHYSIQUE ET PHYSIQUE DU GLOBE. — Divers mémoires de MM Tyndall, Carpentier, Ramsay, Raphaël de Rossi et Félix Platteau. In-18 jésus. 2 fr. 50
- XLIV. LA GRANDE PYRAMIDE, pharaonique de nom, humanitaire de fait; ses merveilles, ses mystères et ses enseignements, par M. Piazzi Smyth, trad. de l'anglais par M. l'abbé Moigno. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

Saint-Denis. — Imp. Ch. LAMBERT, 17, rue de Paris.

LES MONDES

REVUE HEBDOMADAIRE DES SCIENCES

ET DE LEURS APPLICATIONS AUX ARTS ET A L'INDUSTRIE

Paris, 25 fr. — Départements, 30 fr. — Etranger, 32 fr.
Pays d'outre-mer, 45 fr.

- SUR LA RADIATION, par M. John Tyndall, traduit de l'anglais. Br in-18 jésus. 1 f. 25
- SUR LA FORCE DE COMBINAISON DES ATOMES, par M. A.-W. Hofmann, traduit de l'anglais, avec un aperçu de philosophie chimique. In-18. 1 fr. 25
- ANALYSE SPECTRALE DES CORPS CÉLESTES, par M. William Huggins, traduit de l'anglais. In-18. 1 fr. 50
- LA CLAUROSCENCE — INFLUENCE DES COULEURS ET DE LA CONDITION MÉCANIQUE SUR LA CHALEUR RAYONNANTE, par M. John Tyndall, traduit de l'anglais. In-18. 1 f. 50
- LA FORCE ET LA MATIÈRE. — LA FORCE. — DEUX CONFÉRENCES de M. Tyndall, traduites de l'anglais, avec appendice sur la nature et la constitution intime de la matière. In-18. 1 fr. 50
- LES ÉCLAIRAGES MODERNES. Conférences de M. l'abbé Moigno. — Éclairage aux huiles et essences de pétrole. — Éclairage au magnésium. — Éclairage au gaz oxyhydrogène. — Éclairage à la lumière électrique. — Régulateur de la pression du gaz. In-18 jésus. 2 fr.
- SEPT LEÇONS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE, par Augustin Cauchy, avec un appendice sur les rapports de la science avec la foi. In-18. 1 fr. 50
- PHYSIQUE MOLÉCULAIRE. Ses conquêtes, ses phénomènes et ses applications. In-18. 2 fr. 50
- SIX LEÇONS SUR LE CHAUD ET LE FROID, faites à un jeune auditoire pendant les vacances de Noël, par M. J. Tyndall, traduites de l'anglais. In-18. 2 fr.
- FARADAY INVENTEUR, par M. John Tyndall, traduit de l'anglais par M. l'abbé Moigno. In-18 jésus. 2 fr.
- SACCHARIMÉTRIE OPTIQUE, CHIMIQUE ET MÉLASSIMÉTRIQUE. In-18. 3 fr. 50
- MÉLANGES DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE PURES ET APPLIQUÉES. In-18. 3 fr. 50
- SCIENCE ANGLAISE. Son bilan en août 1868. Réunion de Norwich. In-18. 2 fr. 50
- SCIENCE ANGLAISE. Son bilan en 1869. Réunion à Exeter de l'Association britannique pour l'avancement des sciences. In-18 jésus de 416 pages. 3 fr. 50
- LES ALIMENTS, quatre Conférences faites à la Société des Arts de Londres, par M. le docteur Letheby, traduites de l'anglais. In-18 jésus. 3 fr.
- ESQUISSE HISTORIQUE DE LA THÉORIE DYNAMIQUE DE LA CHALEUR, par M. Peter Guthrie Fair, professeur à l'Université d'Edimbourg. Traduite de l'anglais par M. l'abbé Moigno. Un vol. in-18 jésus. 3 fr. 50
- CONSTITUTION DE LA MATIÈRE et ses mouvements, nature et cause de la pesanteur, par le P. Leray, de la congrégation des Eudistes, avec une préface par M. l'abbé Moigno. Un vol. in-18 jésus, orné de figures. 2 fr.
- THÉORIE DU VÉLOCIPÈDE. — SUR LES LOIS DE L'ÉCOULEMENT DE LA VAPEUR, par M. Macquorn Rankine, professeur à l'Université de Glasgow. Traduction par M. J.-B. Viollat, revue par M. l'abbé Moigno. Br. in-18 jésus. 1 fr. 25
- LES MÉTAMORPHOSES CHIMIQUES DU CARBONE. Leçons faites à un jeune auditoire dans Royal-Institution, par M. William Odling. In-18 jésus. 2 fr.
- LES PHÉNOMÈNES ET LES THÉORIES ÉLECTRIQUES, programme d'un cours en sept leçons, par M. le professeur Tyndall. In-18 jésus. 1 fr. 50
- LA LUMIÈRE, notes d'un cours de neuf leçons. — Sur le rôle scientifique de l'imagination, par M. John Tyndall, professeur à Royal-Institution, traduit de l'anglais par M. l'abbé Raillard, revu par M. l'abbé Moigno, accompagné d'un appendice sur l'arc-en-ciel. In-18 jésus de 184 pages. 2 fr.