

ANNALES
DE
CHIMIE ET DE PHYSIQUE.
TOME LXXI.

**IMPRIMERIE DE E.-J. BAILLY,
Place Sorbonne, 2.**

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE,

PAR MM. GAY-LUSSAC ET ARAGO.]

TOME SOIXANTE-ONZIÈME.

PARIS,

CHEZ CROCHARD, LIBRAIRE,

RUE ET PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, N° 13.

—
1839.

ANNALES

DE

CHIMIE ET DE PHYSIQUE.

~~~~~

*Mémoire sur les Rapports entre le Pouvoir conducteur des Liquides pour les Courans électriques, et la Décomposition chimique qu'ils éprouvent ;*

PAR MM. BOTTO ET AVOGADRO.

(Memorie della reale Accademia delle Scienze di Torino, serie seconda, t. 1<sup>o</sup>.)

(EXTRAIT.)

Les découvertes de M. Faraday ont démontré, comme on sait, l'existence d'une liaison entre le pouvoir conducteur des liquides pour les courans électriques et la décomposition voltaïque, ou l'*électrolysation* jointe à la théorie des équivalens chimiques. Toutefois, une telle liaison ne serait pas tout-à-fait absolue, si, conformément aux dernières conclusions du physicien anglais,

une faible partie d'électricité pouvait passer à travers un *électrolyte*, comme dans les métaux, sans transport d'éléments aux deux pôles, ce qui établirait deux limites ou degrés d'intensité électrique transmissible par les liquides, l'un relatif à la conduction, et l'autre à l'*électrolyse*.

L'objet principal du Mémoire dont nous donnons ici l'extrait est de rendre compte de quelques nouveaux faits, qui nous ont paru devoir faire rentrer dans le cas ordinaire, où les deux effets se présentent ensemble, les exceptions remarquées par M. Faraday au principe de leur inséparabilité dans les électrolytes, ou nous porter du moins à admettre, dans les cas même où la décomposition des électrolytes par le courant n'aurait pas lieu d'une manière effective, un effet analogue produit par le courant dans les liquides, par une modification particulière qu'il imprimerait à leurs molécules, et qui ne cesserait que par la cessation du courant.

Mais ces recherches nous ont conduit en outre à comparer les courans de différentes espèces sous le rapport de la quantité, qui en constitue la force électro-dynamique, et de cette qualité particulière qu'on leur a attribuée, et qu'on a désignée par le nom d'*intensité*; et nous faisons aussi connaître dans ce Mémoire les résultats que nous avons obtenus à cet égard.

Les faits relatifs au premier de ces points se rapportent à cette espèce de polarité, dont les effets observés et étudiés par Ritter, Marianini, Becquerel, etc., se manifestent dans les métaux qui ont servi à une décomposition voltaïque, et que M. Becquerel n'hésite pas à regarder comme une preuve de cette décomposition dans

les cas même où l'action décomposante n'est rendue sensible autrement que par leur manifestation.

La première remarque relative à cette classe de phénomènes eut lieu à l'occasion de quelques expériences que l'un de nous avait entreprises dans un but particulier, sur la conductibilité des liquides, en se servant du courant magnéto-électrique d'induction. L'appareil électro-moteur qu'il employait dans ces expériences était celui-là même qui lui avait servi dans ses premières recherches sur l'induction magnéto-électrique, et qu'il a décrit dans ses publications précédentes. (Voyez *Esperienze sull' azione chimica delle correnti di G. D. Botto*, et *Biblioth univ.*, nouv. sér., t. 1, p. 205.)

Il consiste dans un aimant en forme de fer à cheval, et dans un cylindre de fer doux mobile, équarri à ses deux extrémités, enveloppé de sa spirale électro-dynamique, et qui, par des contacts et des séparations successives et rapides des pôles de l'aimant, engendre dans cette spirale des courans dirigés alternativement en sens contraire. Dans les expériences dont il s'agit ici, il n'avait besoin que d'un courant produit par un seul contact; mais il était indispensable, pour l'objet qu'il se proposait, d'avoir ce courant d'intensité constante, et il lui avait été facile de l'obtenir en disposant l'appareil de manière qu'il pût fonctionner toujours de même, au moyen d'un levier coudé, qui, par un jeu facile à comprendre, pouvait retenir le cylindre ou aimant temporaire à une petite distance des pôles de l'aimant, ou lui permettre de s'y appliquer en contact par l'action d'un ressort lorsqu'il en était dégagé. La jonction du cylindre aux pôles de l'aimant étant ainsi opérée d'une manière

toujours identique, le courant qui en résultait devait rester toujours de même force, du moins pour une même série d'expériences successives, ce qu'il aurait été difficile d'obtenir dans toute autre espèce de courant. Ce courant était transmis au liquide sur lequel il opérait par la spirale électro-dynamique et par celle d'un galvanomètre interposé dans le circuit, et dont les deux bouts libres plongeaient dans deux petits verres remplis de mercure, mis en communication par deux électrodes de platine d'égale étendue avec un troisième verre contenant le liquide soumis à l'expérience.

Or, c'est une observation qu'il a pu vérifier pour un très grand nombre de liquides, et même sur tous ceux conduisant l'électricité sur lesquels il a eu occasion d'expérimenter; que s'il dirigeait plusieurs fois de suite dans le même sens le courant magnéto-électrique à travers le liquide conducteur, l'arc parcouru par la double aiguille magnétique lors de l'impulsion due à l'action du courant allait en diminuant, tandis que la déviation devenait plus forte si, par un changement des communications, il changeait la direction du courant dans le même liquide, en faisant déboucher le courant positif par l'électrode qui avait servi d'abord à sa rentrée dans l'arc métallique. C'était là évidemment l'effet connu de l'état particulier dans lequel se constituent les lames de platine qui ont transmis le courant au liquide, et qu'on attribue généralement à des couches très minces des produits de la décomposition des liquides qui s'y déposent.

Cette première remarque conduisit l'auteur de ces expériences à l'observation suivante : Si à l'instant précis où s'effectuait la jonction de l'aimant temporaire il reti

rait du mercure d'un des bouts de la spirale, il observait constamment que l'aiguille du galvanomètre était chassée plus au loin par l'impulsion du courant que lorsque le circuit demeurait fermé. C'est à quoi il devait s'attendre si, comme il le supposait, les variations d'amplitude ci-dessus rapportées dépendaient d'une polarité accidentelle concentrée par l'électrode négatif, par suite d'une décomposition électro-chimique quelconque et d'un transport d'éléments qui en fût le résultat, le courant secondaire produit en vertu de cette polarité succédant au courant principal qui y avait donné lieu avant que l'aiguille eût fini l'excursion, qui aurait été due à la force de celui-ci, et marchant en sens contraire, devait, dans le cas de non-interruption du circuit, détruire une partie de cet effet. L'interruption du circuit, au moment même où ce courant secondaire allait se produire, devait empêcher cette action secondaire et laisser à l'effet du courant principal toute son étendue, marquée par une plus grande déviation de l'aiguille.

Le mode d'opérer qu'on vient d'indiquer manquait, à la vérité, de cette justesse qui aurait été nécessaire pour obtenir des résultats tout-à-fait comparables. En effet, il n'était pas facile de faire coïncider exactement par la simple action de la main les deux instans de la jonction de l'aimant temporaire et de l'interruption du circuit. Toutefois, un défaut de précision à cet égard ne pouvant occasionner qu'une diminution de l'effet galvanométrique définitif, loin d'infirmer les résultats observés qui tendaient à constater une augmentation, ne les rendait que plus concluans et plus décisifs.

Au reste, il était facile d'imaginer un mécanisme à

l'aide duquel on pût répéter les expériences de ce genre d'une manière plus rigoureuse, ou du moins plus uniforme; et nous allons décrire l'appareil que nous employâmes pour cet objet dans une série d'expériences, pour laquelle nous nous sommes réunis dès que la construction en fut achevée.

Au châssis mobile portant l'aimant temporaire on a annexé un appendice métallique, auquel on a attaché par un ressort d'acier une petite boule de cuivre restant naturellement en contact avec l'appendice; cette boule est en outre faiblement retenue dans sa position par un ruban d'os de baleine faisant aussi ressort, fixé au même appendice, et appuyé par son extrémité sur la boule. Ce n'est que dans cette position que la boule peut communiquer métalliquement avec l'appendice, l'extrémité supérieure du ressort d'acier en étant isolée par l'interposition d'une pièce d'ivoire, au moyen de laquelle elle y est fixée. Cette extrémité du ressort est mise de son côté en communication avec une des extrémités de la spirale électro-dynamique, tandis que l'appendice lui-même fait partie du reste du circuit. L'effet de cette disposition est facile à comprendre. Au moment très précis où l'aimant temporaire, lâché de sa détente et poussé par un ressort à boudin, vient frapper contre les pôles magnétiques, la boule métallique, en vertu de la vitesse acquise par le mouvement de l'appendice qu'elle partage, s'élance loin de celui-ci, surmontant le faible effort du ruban d'os de baleine, qui, en se redressant, vient se placer entre l'une et l'autre, et empêcher leur communication ultérieure, de laquelle dépend, selon ce que nous avons dit, la continuité du circuit. Ici donc la

jonction du cylindre de fer doux aux pôles de l'aimant et l'interruption du circuit s'accomplissent exactement au même instant, qui peut être supposé celui où cesse le courant d'induction.

Or les résultats obtenus par cette manière d'opérer n'ont fait que confirmer l'exactitude des observations précédentes sur la différence d'amplitude entre la déviation de l'aiguille que donne le courant quand le circuit demeure fermé et celle qui a lieu lorsque le circuit est interrompu de la manière ci-dessus indiquée. Cette différence allait jusqu'à 10, 15, ou même 20 degrés, selon la nature des liquides employés et les circonstances où l'on opérait.

Il est bon d'observer que l'induction magnétique n'étant pas rigoureusement instantanée, même dans le fer doux, une partie de l'effet inductif magnétique et électrique doit ici encore rester perdue lors de l'interruption du circuit, même lorsque celle-ci s'effectue au moment de la jonction de l'aimant temporaire, comme on vient de le dire, et que par conséquent si, malgré une telle perte, l'effet galvanométrique résultant en est plus considérable, il faut bien qu'une autre cause électromotrice secondaire, dont l'action contraire détruisait une partie de cet effet, venant à cesser en même temps par l'interruption du circuit, il y ait plus que compensation à la portion du courant principal que cette interruption peut intercepter.

Il nous a paru tout naturel de supposer que ce courant, contraire en direction au courant principal et détruisant une partie de son action sur le galvanomètre dans le cas de non-interruption, était d'origine électro-

chimique, et dû à quelque modification du liquide et de la surface des électrodes qui y sont plongés. Mais on pouvait croire aussi que le fait dont il s'agit avait quelque rapport avec cette espèce d'induction découverte par M. Faraday, qui se manifeste dans un circuit lors de son interruption, en sorte qu'il dût avoir lieu indépendamment de la présence du liquide dans le circuit et de toute modification qu'on pût supposer y avoir lieu.

Pour voir quelle part un effet de ce genre pouvait avoir dans le phénomène, nous avons dirigé le courant magnéto-électrique dans un circuit entièrement métallique, en supprimant le liquide avec les deux électrodes et complétant le circuit de la spirale électro-magnétique et du galvanomètre au moyen d'un très long fil de cuivre, afin d'affaiblir convenablement le courant et d'obtenir des déviations de l'aiguille comparables à celles des expériences avec interposition du liquide. Or nous trouvâmes que, dans cette circonstance, l'amplitude de la déviation répondant au cas où le circuit était interrompu à l'instant de la jonction de l'aimant temporaire, au lieu d'être plus considérable, était généralement moindre que celle obtenue lorsque le circuit demeurait fermé. Cela prouvait bien clairement que l'interruption, loin d'augmenter l'effet du courant; y causait une perte, qu'on ne peut attribuer qu'à la suppression de l'action directe successive que ce courant aurait continué à exercer pendant le temps très court de la durée de l'induction magnétique, comme nous l'avons remarqué plus haut, et qu'en conséquence l'accroissement d'effet, qui avait lieu au contraire par l'interruption du circuit lorsqu'un liquide en faisait partie, était réellement dû à la

suppression d'un courant en sens opposé, analogue à celui qui se produit par le transport des élémens séparés de l'électrolyte, comme nous l'avions d'abord supposé. Maintenant, ce phénomène d'un courant secondaire en sens opposé, qui suit le courant magnéto-électrique lors de l'interposition d'un conducteur humide dans le circuit, nous paraît mettre hors de doute, comme nous l'avons annoncé d'abord, la décomposition voltaïque du liquide, ou du moins une action équivalente à cette décomposition, même dans les cas où nul produit appréciable déposé aux deux pôles n'en atteste la réalité. C'est pourquoi nous avons cru devoir donner quelque extension à l'application de ce procédé expérimental aux différens liquides, après nous être assuré, en opérant sur l'eau acidulée, que quelque faible que fût le courant transmis à travers cet électrolyte, pourvu qu'il fût sensible au galvanomètre le plus délicat, le courant secondaire, tendant à diminuer l'effet du courant principal dans le cas de non-interruption du circuit, l'était également.

Nous avons essayé particulièrement les liquides qui ont paru à M. Faraday pouvoir transmettre l'électricité à la manière des métaux sans électrolytation tant que l'intensité du courant n'excédait pas certaines limites; et nous eûmes la preuve que l'électrolytation, ou un effet analogue, avait effectivement lieu même dans ces cas.

Nous disons *l'électrolytation* ou *un effet analogue*, car la production du courant secondaire en direction opposée, succédant au courant d'induction, et qui est constatée par nos expériences, pourrait être attribuée à la rigueur, non à une décomposition effective du liquide

par laquelle ses élémens de nature opposée auraient été déposés sur les électrodes, mais à un simple déplacement de ces élémens dans l'intérieur du liquide et à ses surfaces de contact avec les électrodes, et à la tendance de ces élémens à revenir à leur position naturelle après la cessation du courant principal, tendance de laquelle il résulterait un courant dans la même direction que l'aurait produit l'action électrochimique des nouveaux composés que ces élémens auraient pu former dans le cas d'une véritable décomposition du liquide. Cette manière de voir serait très propre à rendre raison de l'instantanéité de l'effet produit à cet égard par le courant d'induction principal et de l'action contraire qui y succède; mais nous ne prétendons rien préjuger sur ce point, et nous nous contentons ici d'exposer les faits que chacun pourra interpréter de la manière qu'il croira la plus probable.

Notre Mémoire renferme les résultats détaillés des expériences sur les différens liquides que nous avons annoncés.

Mais on pouvait maintenant opposer au fait général, que ces expériences tendent à établir, que peut-être le courant électro-magnétique était par sa nature doué à un assez haut degré de cette qualité qu'on a appelée *intensité* d'un courant, et que ce n'est qu'en raison de cette qualité que ce courant peut produire des effets chimiques sur les liquides, quelque faible qu'il puisse être relativement à la quantité de fluide qui le constitue.

Et en effet, puisqu'il est aujourd'hui reconnu que les courans d'induction, lorsqu'on en rend l'action successive en les dirigeant un grand nombre de fois dans le même sens à travers un liquide, à l'aide de ces appa-

reils qu'on a appelés *commutateurs*, produisent la décomposition du liquide, on ne peut leur refuser en général l'intensité nécessaire pour cet effet ; et ce n'est que dans des circonstances particulières et déterminées que cette qualité pourrait être considérée comme diminuée au point de ne pouvoir plus servir à la décomposition des liquides, comme Faraday a cru l'observer pour quelques cas des courans hydro-électriques.

Cette considération nous a conduits, comme nous avons dit, à entreprendre une série d'expériences sur cette qualité des courans qu'on a désignée par le nom d'*intensité*, comparativement à leur force électro-dynamique dépendante de la quantité du fluide dont ils sont formés.

Nous nous sommes proposé de déterminer par ces expériences, 1° quel est en général le degré de cette qualité qu'on peut attribuer aux courans électro-magnétiques comparativement aux courans hydro-électriques ; 2° de quelles circonstances cette qualité peut dépendre dans les premiers de ces courans, pour voir si on ne pouvait pas en diminuer indéfiniment le degré, et rendre par là ces courans comparables aux plus faibles courans hydro-électriques, auxquels M. Faraday a supposé la capacité d'être transmis sans décomposer le liquide qui sert à les conduire.

Le mot *intensité*, appliqué à un courant électrique en tant qu'on le distingue de sa force électro-dynamique, ne peut avoir d'autre sens déterminé et capable d'être soumis à l'expérience que celui de la faculté de pouvoir surmonter plus ou moins facilement les obstacles qui s'opposent à sa transmission à travers les conducteurs impar-

faits, tels que le sont en général les liquides comparativement aux métaux. Le moyen qui se présente naturellement, pour déterminer le degré de cette faculté dans un courant de nature donnée, est en conséquence de réduire les courans qu'on veut comparer sous ce point de vue à la même force dynamique, c'est-à-dire à produire le même degré de déviation sur l'aiguille magnétique d'un galvanomètre, dans des circonstances semblables, lorsqu'on leur fait parcourir un circuit métallique, et d'examiner combien il se perd respectivement de cette force dans les deux courans qu'on compare entre eux lorsqu'on les fait ensuite passer l'un et l'autre à travers une couche donnée d'un corps humide, interposée dans le circuit.

C'est donc d'expériences de ce genre que nous avons cru devoir nous occuper relativement aux courans magnéto-électriques d'induction, et nous avons cherché d'abord quel était le degré de cette faculté dans ces courans selon les différentes circonstances dans la grandeur et l'application de la force magnétique temporaire qui donnait lieu à leur production.

On fit usage, pour ces expériences, dans l'appareil avec l'aimant en fer à cheval dont nous avons parlé plus haut, d'une ancre de fer doux, qui était environnée de plusieurs hélices ou spirales de fils de cuivre, revêtus de soie, et dont les bouts étaient disposés de manière qu'on pouvait à volonté les employer séparément ou les réunir en plus ou moins grand nombre, soit par leurs pôles homonymes, de manière à en former des spirales de même longueur, mais composées chacune de plusieurs fils; ou bien par leurs pôles contraires, de manière à en former

des spirales simples d'un plus ou moins grand nombre de tours. Lorsque les forces de ces courans, transmis par des circuits entièrement métalliques, dont on voulait examiner comparativement la transmissibilité à travers un conducteur humide, ou les déviations qu'ils produisaient dans l'aiguille du galvanomètre, étaient différentes, on les réduisait d'abord à la même force en introduisant dans le circuit du plus fort une longueur suffisante de fil métallique, pour en rendre l'effet dynamique égal à celui de l'autre, et on essayait ensuite de faire passer ces deux courans par le conducteur humide pour voir quelle était la diminution ultérieure de force qu'ils en éprouvaient.

Le liquide qu'on employait pour cela était un mélange d'acide sulfurique et d'eau, à peu près dans la proportion qui donne le maximum de faculté conductrice entre des électrodes de platine de quelques centimètres carrés de surface, et à quelques millimètres de distance entre eux.

Nous n'employâmes d'abord que le courant d'induction instantané, produit par un seul contact de l'ancre de fer doux avec l'aimant. Mais pour parvenir à des résultats plus décisifs, nous avons cru ensuite indispensable de chercher à obtenir un courant d'induction continu, ou du moins une succession de courans agissant à de petits intervalles de temps l'un après l'autre, et toujours dans le même sens, de manière à produire par leur moyen, sinon une déviation constante, du moins des oscillations de la moindre étendue possible de l'aiguille du galvanomètre autour d'un point déterminé dans l'échelle des déviations, condition qu'il nous était d'ail-

leurs nécessaire de remplir pour résoudre l'autre partie de la question que nous nous étions proposée, savoir, la comparaison de l'intensité des courans d'induction produits par un aimant avec les courans continus produits par un appareil hydro-électrique. Nous fîmes usage pour cela de l'appareil connu sous le nom de *machine magnéto-électrique*, dans lequel les courans successifs, produits en sens opposés par les alternatives du contact et de sa destruction, sont dirigés dans le même sens au moyen d'un système de bascules, ou *commutateur*, qui change à chaque fois les communications, et qui est mis en jeu par le mouvement même de la machine. Le point autour duquel l'aiguille du galvanomètre interposé dans le circuit oscillait par cette succession de courans devait dépendre de la force de ceux-ci, tandis que l'amplitude des oscillations de part et d'autre de ce point était d'autant moindre que la succession des courans se faisait plus rapidement et avec plus de précision par le jeu du commutateur.

Les résultats définitifs des différentes expériences que nous avons faites ainsi, et dont on trouve les détails dans notre mémoire relativement à l'effet des différentes circonstances sur les courans d'induction, pour en augmenter ou diminuer l'intensité dans la signification que nous lui donnons ici, c'est-à-dire en prenant pour sa mesure la transmission plus ou moins facile des courans par les conducteurs humides ou imparfaits, ont été les suivans : 1<sup>o</sup> cette intensité est en général moindre dans les courans d'induction produits par les aimans que dans les courans hydro-électriques produits même par un seul couple, platine et zinc, et avec de l'eau faiblement aci-

dulée : la combinaison de ce résultat avec ceux que nous avons exposés plus haut tend à prouver qu'il y a décomposition de l'eau , ou modification d'un genre analogue par les courans transmis à travers un conducteur humide , quelque faibles que ces courans soient en intensité , ce qui était le but principal pour lequel nous avons entrepris ces expériences ; 2° cette intensité s'accroît avec le nombre de tours des spirales enveloppées autour de l'ancre , et sur lesquelles s'exerce la force inductrice des aimans ; 3° cette même intensité ne paraît pas dépendre de la force plus ou moins grande de l'action magnétique qui produit les courans d'induction , quoique cette force augmente la force galvanométrique des courans.

Quant à l'accroissement du nombre de spirales réunies par leurs pôles homologues , de manière à représenter une spirale de même longueur et d'un même nombre de tours , mais composée d'un certain nombre de fils , ce qui revient essentiellement à l'emploi d'un fil unique d'une plus grande section , nous avons trouvé qu'un tel accroissement n'augmente pas même la force du courant indiquée par la déviation de l'aiguille dans un circuit entièrement métallique lorsque , comme dans notre cas , la section et la longueur du fil passant par le multiplicateur restent constantes et comparables à celles du fil de chacune des spirales enveloppées à l'ancre , ce qui s'explique naturellement par le partage de chaque courant partiel en une portion qui suit le fil du multiplicateur et une autre portion qui revient ou rétrograde par les autres spirales , ou plutôt par la plus grande facilité que le courant total trouve à rétrograder en partie par la somme

des sections des fils réunis de la spirale composée, au lieu de passer en entier par le fil du multiplicateur ; car nous nous sommes assuré, d'ailleurs, que la circonstance de la proximité de deux spirales formant des circuits fermés séparément l'un à côté de l'autre ne tendait aucunement à diminuer l'effet inductif produit sur chacune d'elles, comme on aurait pu le soupçonner.

D'après cela, nous nous sommes demandé, à la fin de notre mémoire, si ce qu'on a appelé *intensité* d'un courant était une qualité réelle par laquelle les différens courans se distinguent l'un de l'autre, indépendamment de leur force absolue, et si la facilité plus ou moins grande avec laquelle ces courans traversent les conducteurs humides ou imparfaits n'était pas plutôt une suite de l'obstacle plus ou moins fort que le reste du circuit oppose à leur rétrogradation, comme M. Peltier l'a avancé ; et nous avons fait remarquer qu'aucun des résultats auxquels nous sommes parvenu n'était, en effet, contraire à cette manière de voir.

---

### *Quelques faits résultant de la Réflexion des Ondes sonores ;*

PAR M. N. SAVART.

Si, pendant qu'un bruit se fait entendre, on s'approche d'un objet propre à le réfléchir, on peut remarquer qu'un son se détache du milieu de ce bruit, et que

le son ainsi produit varie d'acuité avec la distance qui se trouve entre l'oreille et le corps réfléchissant, de telle sorte qu'il devient de plus en plus grave lorsque cette distance augmente, et de plus en plus aigu quand cette même distance diminue.

Plusieurs circonstances facilitent l'observation de ce phénomène :

Il faut éviter qu'aucun corps d'une étendue considérable ne se trouve entre l'observateur et la source du bruit, afin que celui-ci parvienne avec le plus d'intensité possible ;

Il convient de prendre pour surface réfléchissante une paroi à peu près verticale, cette position de la surface permettant de s'en approcher et de s'en éloigner commodément ; un mur, un battant de porte, un carreau de vitre satisfont à cette condition ;

La distance de l'oreille à la paroi peut varier entre zéro et 2 ou 3 mètres ; plus loin, le son devient trop grave pour être saisi facilement ;

Quant au bruit, il suffit que sa durée soit assez longue pour permettre les observations. Tels sont ceux qui vont être cités :

Le bruit d'une voiture roulant sur le pavé ;

Le bruit d'une chute d'eau ;

Le bruit que fait la vapeur en s'échappant avec force par un orifice ;

Un roulement de tambours ;

Le bruit d'un ou de plusieurs arbres dont les branches et les feuilles sont agitées par le vent ;

Le bruit formé par la réunion de tous les bruits qui se font dans une grande ville ;

Le bruit de la mer. Celui-ci fournit des sons d'une intensité fort remarquable.

L'habitude de distinguer au milieu du bruit les sons produits par la réflexion ayant été acquise, on a cherché quelle relation pouvait exister entre leurs différens degrés d'acuité et les distances correspondantes de l'oreille à la paroi réfléchissante.

Pour cela, on a fait choix d'une muraille plane et verticale, et l'on a placé dans une direction qui lui était normale une règle divisée, ayant une de ses extrémités, celle qui portait le zéro, appuyée contre le mur. Cette règle, dont l'objet était de donner les distances de l'oreille au plan, a été fixée dans la position qui vient d'être indiquée, et se trouvait ainsi dirigée vers le point d'où provenait le bruit; ensuite, faisant face à la règle, on en a approché la tête de manière à présenter une oreille du côté du mur, tandis qu'on tenait bouchée l'oreille opposée. Au moyen d'une équerre, dont un des côtés glissait le long de la règle et dont l'autre s'appuyait à la tête, derrière le pavillon de l'oreille ouverte, on obtenait la distance de cet organe au mur, distance indiquée par la division correspondante au pied de l'équerre.

Ayant nommé arbitrairement *ut*, le son entendu à l'unité de distance, on a déterminé, à l'aide de cet appareil, les distances auxquelles on entendait les autres sons de la gamme diatonique. Les résultats obtenus sont transcrits dans les deux premières colonnes du tableau qui suit :

| Sons de la gamme.        | Distances mesurées de l'oreille au plan. | Longueurs d'ondes calculées, celle de $ut_1$ étant = 1. |
|--------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| $Si_{-1}$ . . . . .      | 1,07                                     | $2,00 \times \frac{8}{15} = 1,067$                      |
| $Ut_1$ (point de départ) | 1,00                                     | $1,00 \times 1 = 1,000$                                 |
| $Ré_1$ . . . . .         | 0,90                                     | $1,00 \times \frac{8}{9} = 0,889$                       |
| $Mi_1$ . . . . .         | 0,81                                     | $1,00 \times \frac{4}{5} = 0,800$                       |
| $Fa_1$ . . . . .         | 0,76                                     | $1,00 \times \frac{4}{3} = 0,750$                       |
| $Sol_1$ . . . . .        | 0,67                                     | $1,00 \times \frac{3}{3} = 0,667$                       |
| $La_1$ . . . . .         | 0,61                                     | $1,00 \times \frac{3}{5} = 0,600$                       |
| $Si_1$ . . . . .         | 0,54                                     | $1,00 \times \frac{8}{15} = 0,533$                      |
| $Ut_2$ . . . . .         | 0,50                                     | $0,50 \times 1 = 0,500$                                 |
| $Ré_2$ . . . . .         | 0,45                                     | $0,50 \times \frac{8}{9} = 0,444$                       |
| $Mi_2$ . . . . .         | 0,41                                     | $0,50 \times \frac{4}{5} = 0,400$                       |
| $Fa_2$ . . . . .         | 0,38                                     | $0,50 \times \frac{3}{4} = 0,375$                       |
| $Sol_2$ . . . . .        | 0,34                                     | $0,50 \times \frac{2}{3} = 0,333$                       |

On a mis dans la troisième colonne les longueurs des ondes produites par chacun des sons de la gamme, en partant de la supposition que l'onde de  $ut_1$  soit l'unité de longueur. Les nombres de cette troisième colonne étant sensiblement égaux à ceux qui leur correspondent dans la première, on est autorisé à conclure que la distance à laquelle l'oreille se trouve du plan réfléchissant est dans un rapport constant avec la longueur de l'onde qui appartient au son perçu à cette même distance.

Pour déterminer la valeur de ce rapport, on s'est servi d'un instrument mis au ton du diapason; on en a tiré le son  $ut_2$ , et l'on a cherché sur la règle le point où l'o-

reille entendait par réflexion le même son *ut*. Ce point s'est trouvé à 55 pouces du mur. Or, l'onde de *ut*, ayant 48 pouces, le rapport cherché est  $\frac{55}{48} = 1,146$ . D'autres expériences ont donné des résultats peu différens de celui-ci.

Quand on perçoit directement un son, on peut s'éloigner ou se rapprocher de sa source sans remarquer de modification dans le son, si ce n'est une différence d'intensité lorsque les déplacements deviennent considérables. Mais, d'après ce qui précède, on peut présumer que les sons réfléchis doivent présenter quelque autre particularité; on a donc été naturellement conduit à rechercher quelles circonstances accompagnent la réflexion d'un son unique. C'est dans ce but qu'on a entrepris les expériences suivantes :

Un timbre a été placé sur un support qui le tenait à environ 1<sup>m</sup>,30 au-dessus du sol et à la distance de 40 ou 50 mètres d'une paroi plane et verticale; l'espace était libre tout autour de ce timbre, les ondes dont il était le centre pouvaient se propager dans toutes les directions, excepté du côté de la paroi destinée à les réfléchir; on fixa à la paroi l'extrémité d'une bande flexible de métal, dont l'autre extrémité était retenue par un piquet fiché dans le sol. Ce ruban, qui avait une trentaine de mètres de longueur, était tendu suivant une horizontale perpendiculaire à la paroi et passant par le timbre. Nous désignerons cette droite par le nom d'axe de réflexion.

Pendant que le timbre, armé d'un vase renforçant, était mis en vibration au moyen d'un archet, et produisait un son d'une intensité forte et constante, on procé-

dait aux observations en promenant l'oreille le long d'une droite aussi voisine que possible du ruban.

On remarqua que le son n'avait pas la même intensité en chaque point de l'axe de réflexion; que cette intensité, nulle en plusieurs points, atteignait sa plus grande énergie en quelques autres; que les points où ces particularités se présentaient ne variant pas de position, il était possible de les marquer sur le ruban, et par suite de mesurer les intervalles qui les séparaient.

On vit ainsi que les points où l'intensité est nulle sont à peu près également espacés sur toute l'étendue de l'axe de réflexion; que l'intervalle entre deux de ces points voisins est égal à la longueur de l'onde produite par le son connu du timbre; que les points où l'intensité est la plus grande sont aussi distans entre eux d'une longueur d'onde, et se trouvent situés vers le milieu de l'espace compris entre deux points de nulle intensité, et enfin que l'intensité du son va en croissant ou en décroissant graduellement en même temps que l'oreille s'éloigne d'un point où l'intensité est nulle, ou d'un point où elle est à son maximum.

Nous donnerons le nom de *nœuds* aux points de l'axe de réflexion où l'intensité est nulle, celui de *ventres* à ceux où elle a le plus d'énergie, et celui d'*ondes* à l'intervalle de deux nœuds voisins.

Le tableau qui suit contient les résultats d'observations faites avec un timbre qui donnait le son *ut*<sub>3</sub>.

| Numéros d'ordre des nœuds. | Distances des nœuds au plan réfléchissant. | Longueurs des ondes. | Températures en degrés centigrades. |
|----------------------------|--------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 1                          | 0 <sup>m</sup> ,373                        | 0 <sup>m</sup> ,637  | 2°                                  |
| 2                          | 1 ,000                                     | 0 ,613               | Id.                                 |
| 3                          | 1 ,613                                     | 0 ,660               | Id.                                 |
| 4                          | 2 ,273                                     | 0 ,612               | Id.                                 |
| 5                          | 2 ,887                                     | 0 ,608               | Id.                                 |
| 6                          | 3 ,493                                     | 0 ,590               | Id.                                 |
| 7                          | 4 ,085                                     | 0 ,628               | Id.                                 |
| 8                          | 4 ,715                                     | 0 ,624               | Id.                                 |
| 9                          | 5 ,337                                     | 0 ,615               | Id.                                 |
| 10                         | 5 ,952                                     | 0 ,624               | Id.                                 |
| 11                         | 6 ,576                                     | 0 ,619               | Id.                                 |
| 12                         | 7 ,195                                     | 0 ,603               | Id.                                 |
| 13                         | 7 ,798                                     | 0 ,584               | Id.                                 |
| 14                         | 8 ,382                                     | 0 ,631               | Id.                                 |
| 15                         | 9 ,013                                     | 0 ,639               | Id.                                 |
| 16                         | 9 ,632                                     | »                    | Id.                                 |
| 17                         | 10 ,413                                    | 0 ,632               | Id.                                 |
| 18                         | 11 ,045                                    | 0 ,613               | 3° ,3                               |
| 19                         | 11 ,660                                    | 0 ,026               | Id.                                 |
| 20                         | 12 ,286                                    | 0 ,587               | Id.                                 |
| 21                         | 12 ,873                                    | 0 ,612               | Id.                                 |
| 22                         | 13 ,485                                    | 0 ,608               | Id.                                 |
| 23                         | 14 ,093                                    | 0 ,633               | Id.                                 |
| 24                         | 14 ,723                                    | 0 ,646               | Id.                                 |
| 25                         | 15 ,374                                    | 0 ,589               | Id.                                 |
| 26                         | 15 ,963                                    | 0 ,703               | Id.                                 |
| 27                         | 16 ,668                                    | 0 ,593               | Id.                                 |
| 28                         | 17 ,263                                    | 0 ,620               | Id.                                 |
| 29                         | 17 ,883                                    | 0 ,590               | Id.                                 |
| 30                         | 18 ,473                                    | 0 ,626               | Id.                                 |
| 31                         | 19 ,099                                    | 0 ,627               | Id.                                 |
| 32                         | 19 ,726                                    | 0 ,622               | Id.                                 |
| 33                         | 20 ,348                                    | 0 ,613               | Id.                                 |
| 34                         | 20 ,963                                    | 0 ,610               | Id.                                 |
| 35                         | 21 ,573                                    | 0 ,623               | Id.                                 |
| 36                         | 22 ,196                                    | 0 ,640               | Id.                                 |
| 37                         | 22 ,836                                    | 0 ,614               | Id.                                 |
| 38                         | 23 ,450                                    | 0 ,660               | Id.                                 |
| 39                         | 24 ,110                                    | 0 ,643               | Id.                                 |
| 40                         | 24 ,735                                    | 0 ,633               | Id.                                 |
| 41                         | 25 ,410                                    | »                    | Id.                                 |

| Numéros d'ordre des ventres. | Distances des ventres au plan réfléchissant. | Distances entre deux ventres voisins. | Température. |
|------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
| 1                            | 0 <sup>m</sup> ,148                          | 0 <sup>m</sup> ,368                   | 2°           |
| 2                            | 0 ,716                                       | 0 ,642                                | Id.          |
| 3                            | 1 ,338                                       | 0 ,639                                | Id.          |
| 4                            | 1 ,997                                       | »                                     | Id.          |

La mesure des distances de l'oreille au plan réfléchissant exigerait que l'on connût la partie de l'appareil de l'ouïe où se trouve le siège de l'audition; à défaut de données précises sur ce point, on a supposé qu'elle s'opérait dans la cavité du labyrinthe, où vient s'épanouir le nerf acoustique. Cette portion de l'organe est, chez l'homme, à la profondeur d'environ un pouce, à partir de l'apophyse mastoïde, contre laquelle s'appuyait, dans nos observations, le côté de l'équerre servant à indiquer les distances. On a donc ajouté 1 pouce ou 27<sup>mm</sup> à toutes les longueurs prises directement; cette correction nécessaire a été faite avant d'inscrire les résultats sur les tableaux rapportés ci-dessus.

Il ne sera pas inutile de dire, avant d'aller plus loin, que la position du timbre, ou mieux sa distance à la paroi réfléchissante, n'a pas d'influence sensible sur les phénomènes observés. Ainsi, pendant que l'oreille était placée sur un nœud, par exemple, on pouvait faire promener le timbre dans une grande étendue de l'axe de réflexion, sans qu'il en résultât de changement pour la position de ce nœud.

Le tableau qui précède donne lieu à plusieurs observations :

1° L'onde du son  $ut_3$  ayant 24 pouces de longueur, celle du son  $ut\sharp_3$  fourni par le timbre est égale à

$$24^{po} \times \frac{24}{25} = 0^m,650 \times \frac{24}{25} = 0^m,624.$$

Les longueurs d'ondes portées dans la troisième colonne du tableau s'écartent peu en général de 0<sup>m</sup>,624; les différences sont tantôt en plus, tantôt en moins.

Si, considérant d'abord les 16 résultats obtenus à la

température de 2°, on retranche de la distance du 16<sup>e</sup>  
 nœud..... 9<sup>m</sup>,652  
 la distance du 1<sup>er</sup>..... 0<sup>m</sup>,373

---

la différence..... 9<sup>m</sup>,279  
 divisée par le nombre d'ondes comprises  
 entre ces deux nœuds, c'est-à-dire par 15,  
 donne pour la longueur moyenne de cha-  
 cune de ces 15 ondes..... 0<sup>m</sup>,6186

Une opération semblable peut être faite  
 sur les observations qui ont eu lieu à la  
 température de 5°,5 :

Le 41<sup>e</sup> nœud est à..... 25<sup>m</sup>,410  
 Si l'on en retranche la distance du 1<sup>er</sup> nœud 0<sup>m</sup>,373

---

il reste pour la longueur de 40 ondes..... 25<sup>m</sup>,037  
 et par conséquent pour la longueur moyenne  
 d'une onde à la température de 5°,5..... 0<sup>m</sup>,6259

On voit qu'en égard aux différences de température,  
 ces longueurs se rapprochent beaucoup de 0<sup>m</sup>,624.

2° On aura remarqué que, dans le calcul qui vient  
 d'être fait pour avoir la longueur moyenne des ondes  
 résultant des interférences, nous avons exclu la pre-  
 mière onde du nombre de celles qui doivent concourir à  
 la détermination de la longueur cherchée. Le motif de  
 cette exclusion est dans la différence considérable qui  
 existe entre la longueur de cette première onde et celle  
 des autres : la première n'a que 0<sup>m</sup>,373, tandis que  
 l'onde moyenne est de 0<sup>m</sup>,6186.

La particularité que nous mentionnons ici s'est pré-  
 sentée dans toutes les expériences auxquelles on a pu se  
 livrer : un timbre qui donnait le son  $la_3$ , et produisait à

la température de  $7^{\circ}$  des ondes de  $0^m,3953$  de longueur moyenne, formait une première onde de  $0^m,258$  seulement.

$3^{\circ}$  Dans chacune des ondes, la première demi-onde est plus grande que la seconde. Toutefois, le contraire a lieu dans la première onde; c'est ce qu'on voit aisément par le rapprochement de quelques-uns des résultats fournis par le timbre *ut* $\#_3$ .

| Désignation<br>des divers points. | Distances<br>des points à la paroi. | Longueurs<br>des demi-ondes. |
|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Paroi. . . .                      | $0^m,000$                           | $0^m,148$                    |
| 1 <sup>er</sup> ventre . .        | $0,148$                             | $0,225$                      |
| 1 <sup>er</sup> nœud. . .         | $0,375$                             | $0,345$                      |
| 2 <sup>e</sup> ventre . .         | $0,716$                             | $0,285$                      |
| 2 <sup>e</sup> nœud. . .          | $1,000$                             | $0,358$                      |
| 3 <sup>e</sup> ventre . .         | $1,358$                             | $0,257$                      |
| 3 <sup>e</sup> nœud. . .          | $1,615$                             | $0,382$                      |
| 4 <sup>e</sup> ventre . .         | $1,997$                             | $0,278$                      |
| 4 <sup>e</sup> nœud. . .          | $2,275$                             | » ]                          |

| Numéros d'ordre<br>des ondes. | Premières demi-ondes. | Deuxièmes demi-ondes. |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1                             | $0^m,148$             | $0^m,225$             |
| 2                             | $0,345$               | $0,285$               |
| 3                             | $0,358$               | $0,257$               |
| 4                             | $0,382$               | $0,278$               |

$4^{\circ}$  La distance du 2<sup>e</sup> ventre à la paroi réfléchissante est  $0^m,716$ . La longueur de l'onde moyenne étant  $0^m,6186$ , on trouve 1,15 pour le rapport du premier de ces nombres au second.

Si l'on se rappelle, d'un autre côté, que 1,146 est le rapport qui existe entre la distance de l'oreille au plan réfléchissant et la longueur de l'onde du son perçu à

cette distance, lorsque le son est fourni par un bruit, on conclura, ces deux nombres différant très peu l'un de l'autre, que, dans le cas d'un bruit, l'oreille de l'observateur se trouve au second ventre des ondes produites par les interférences. Ceci explique pourquoi le plus ou moins d'acuité du son entendu au milieu d'un bruit, par suite de la réflexion, dépend de la distance de l'observateur à la paroi réfléchissante.

Les faits qui précèdent ne tiennent pas à la nature du corps vibrant dont on s'est servi ; les expériences, répétées avec d'autres timbres plus graves ou plus aigus, avec des tuyaux d'orgue ou avec des cordes d'instrumens, ont conduit à des résultats semblables.

L'emploi des cordes a donné lieu à l'observation d'un autre fait, qui ne leur est pas particulier, mais qu'elles mettent en évidence d'une manière remarquable.

Si, pendant qu'une corde rend un son prolongé, on transporte l'oreille en plusieurs points de l'axe de réflexion, on entend successivement et dans un ordre régulier toutes les harmoniques que la corde peut produire.

Ce qui contribue à rendre cette expérience frappante, c'est que les harmoniques d'une corde étant des sons musicaux, l'oreille les distingue de prime abord. Aussi suffit-il de se familiariser avec les harmoniques d'un timbre, ou de tout autre corps vibrant, pour les reconnaître avec la même facilité et s'assurer de leur existence simultanée.

Ainsi, de même qu'à l'aide de la réflexion des ondes sonores, on a pu entendre tous les sons qui composent un bruit, de même et par le même moyen on parvient à

séparer et à examiner chacun des sons qui accompagnent nécessairement un son produit.

Cette observation fournit un procédé pour analyser les causes qui différencient les timbres des divers instruments.

On a vu plus haut, qu'à la température de  $5^{\circ},5$  le timbre  $ut^*_3$  produisait des ondes dont la longueur moyenne, prise sur l'ensemble de 40 ondes, était  $0^m,6259$ . En multipliant cette longueur par le nombre de vibrations que fait le timbre en une seconde, on aura la vitesse de propagation des ondes. Or, le son  $ut_3$  étant le résultat de 512 vibrations, le son  $ut\#_3$  est celui de  $512 \times \frac{25}{4} = 533,33$ . Le produit des deux nombres  $0^m,6259$  et  $533,33$  est égal à  $333^m,81$ .

La formule à l'aide de laquelle on détermine la vitesse du son  $V = 333,44 \sqrt{1 + t.0,00375}$ , donne, pour  $t = 5^{\circ},5$ ,  $V = 336^m,86$ . Celle que nous venons de trouver est plus petite de  $3^m,05$ .

S'il y a une erreur dans les données que nous avons employées, elle ne peut provenir que du nombre de vibrations attribuées au timbre, nombre qui a été conclu du son  $ut^*_3$ , et n'a pas été vérifié par des moyens directs. Dans l'évaluation suivante, cette cause d'inexactitude n'existe pas; on a déterminé, par des expériences faites avec un grand soin, le nombre de vibrations qu'exécutait en une seconde le timbre dont on s'est servi, et qui était un peu plus élevé que le son  $ut_4$ . Ce nombre a été trouvé de 1043. A la température de  $9^{\circ}$ , la longueur de l'onde moyenne, résultant de la longueur totale de 90 ondes, était  $0^m,324$ ; ce qui donne, pour la vitesse de

propagation suivant l'axe de réflexion,  $337^m,93$ . On tire de la formule citée,  $V = 339^m,01$ . Cette vitesse est encore plus grande que la nôtre, et en diffère de  $1^m,08$ .

Tout ce que nous avons dit jusqu'à présent sur la réflexion des ondes sonores, suppose que l'observateur soit placé entre les corps en vibration et la paroi réfléchissante. On va, pour compléter ces recherches, considérer le cas où le son est produit entre l'observateur et la surface réfléchissante.

Rien n'est plus aisé que de réaliser cette dernière supposition; il suffit, par exemple, de froisser entre les doigts un morceau de papier, et pendant que le bruit confus qui résulte de ce froissement a lieu, d'approcher d'une paroi quelconque la main qui tient le papier. On remarque alors qu'un son se fait distinguer au milieu du bruit, et que son acuité varie avec la distance de la main au plan réfléchissant. Les sons aigus répondent aux petites distances, et les sons graves aux grandes.

Ici, comme on voit, la position de l'observateur, ou plutôt de l'oreille, devient indifférente, et l'on n'a à considérer que celle du corps vibrant; les rôles ont changé.

Si, au lieu de papier ou de tout autre corps produisant du bruit, on prend un timbre en vibration, et qu'on l'approche à diverses distances d'une paroi plane, on ne cessera pas d'entendre le son du timbre; mais on pourra observer qu'à une certaine distance particulière à chaque timbre le son acquiert un maximum d'intensité. On a mesuré cette distance pour trois timbres différens qui rendaient les sons  $mi_3$ ,  $la_3$  et  $ré_5$  :

| Sons des timbres.         | Distances des timbres à la paroi. |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Mi <sub>3</sub> . . . . . | 200 millimètres.                  |
| La <sub>3</sub> . . . . . | 150 »                             |
| Ré <sub>5</sub> . . . . . | 55 »                              |

Ces distances font voir que les sons graves sont renforcés par la présence du plan à des distances plus grandes que les sons aigus. Il paraît donc évident que si, dans l'expérience de la feuille de papier, un son différent est entendu à chacune des distances qui séparent le papier de la paroi, c'est que ce son est renforcé par le voisinage de la paroi.

Ainsi les surfaces planes jouissent de la propriété de renforcer les sons, et forment en quelque sorte une classe particulière de vases renforçans.

Il était intéressant d'examiner comment des vases qui, de leur nature, ont trois dimensions, peuvent en perdre deux sans pour cela perdre la propriété que nous considérons actuellement.

C'est à quoi l'on est parvenu en prenant successivement des vases ou tubes dont les diamètres allaient en augmentant de grandeur, et en cherchant quelle profondeur il fallait leur donner pour qu'ils renforçassent le son d'un timbre; ces tubes étant munis de fonds mobiles, on arrivait facilement à cette détermination.

Voici les résultats qu'on a obtenus pour les trois timbres désignés plus haut :

| Diamètres<br>des<br>vases renforçans. | Profondeur des vases pour |                    |                    |
|---------------------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|
|                                       | le timbre $mi_3$ .        | le timbre $la_3$ . | le timbre $ré_3$ . |
| 15 <sup>mm</sup>                      | »                         | 205 <sup>mm</sup>  | 70 <sup>mm</sup>   |
| 29                                    | 261 <sup>mm</sup>         | 178                | 61                 |
| 61                                    | 259                       | 162                | 48                 |
| 84                                    | 254                       | 150                | »                  |
| 106                                   | »                         | »                  | 37                 |
| 107                                   | »                         | 140                | »                  |
| 115                                   | 210                       | »                  | »                  |
| 124                                   | »                         | 152                | 35                 |
| 148                                   | »                         | 151                | 35                 |
| 166                                   | »                         | 150                | »                  |
| 180                                   | »                         | 150                | »                  |
| 206                                   | »                         | 150                | »                  |
| 253                                   | 201                       | »                  | »                  |
| 348                                   | 200                       | 150                | 35                 |

On voit qu'en même temps que le diamètre des tubes augmente, leur profondeur diminue, et que cette loi se maintient jusqu'à ce que le diamètre ait atteint une certaine limite, passé laquelle le décroissement de la profondeur devient inutile, c'est-à-dire qu'à partir de cette limite la paroi du vase n'a plus d'influence, et qu'alors celui-ci est comme réduit à un plan.

Ces mêmes expériences conduisent encore à ce résultat : les profondeurs des tubes où les parois commencent à ne plus servir au renforcement, sont précisément égales aux distances qui doivent séparer un corps vibrant d'une surface plane quand celle-ci renforce le son produit.

### *Résumé.*

Lorsque des ondes sonores, partant d'un corps en vibration, viennent frapper une surface plane et sont ensuite réfléchies suivant un axe dirigé vers leur point de

départ, il se forme le long de cet axe, par la rencontre des ondes directes et des ondes réfléchies, ou en d'autres termes, par suite des interférences, comme un système d'ondes qui semblent privées du mouvement de transport, c'est-à-dire que l'oreille, en parcourant les divers points de cette droite, y reconnaît des nœuds, des ventres et des points intermédiaires où l'intensité du son augmente à mesure qu'on s'approche davantage d'un ventre.

Cette immobilité des points remarquables des ondes permet d'en noter la position sur l'axe de réflexion, et l'on reconnaît alors, en mesurant la longueur des ondes fixes, qu'elle est égale à celle des ondes directes; de telle sorte que le produit de cette longueur par le nombre de vibrations que fait le corps en un temps donné, est égal à l'espace que parcourrait une onde directe dans le même temps.

Néanmoins, la première onde, celle qui est formée près de la paroi réfléchissante, fait exception à cette règle; on la trouve de beaucoup plus petite que toutes les autres.

Le système d'ondes que nous venons de mentionner n'est pas le seul que produise un corps vibrant; il existe à la fois autant de ces systèmes que le corps a d'harmoniques, et chacun d'eux est soumis aux mêmes lois que le premier. Les interférences n'ont donc lieu que pour les ondes de même longueur.

Ce qu'on observe relativement aux harmoniques en petit nombre d'un corps en vibration, s'observe aussi pour tous les sons simultanés qui composent un bruit.

On tire de ces faits les moyens d'analyser un son, de

reconnaître le plus ou moins de pureté dont il jouit, et peut-être d'assigner les causes auxquelles il faut attribuer le timbre qui lui est propre:

Ces moyens s'appliquent également à l'analyse d'un bruit.

Enfin, les surfaces planes ont la propriété de renforcer un son quelconque; mais il faut pour cela que le corps vibrant se trouve à une distance déterminée de la surface, distance variable avec le degré d'acuité du son; d'où il suit que, si l'on approche progressivement d'une surface plane un corps bruyant, chacun des sons qui concourent à la formation du bruit sera entendu séparément.

---

### *Recherches sur la Production de la Phosphorescence et sur diverses Propriétés de l'Étincelle électrique;*

PAR M. EDMOND BECQUEREL.

#### § 1. — *Phosphorescence produite par l'étincelle électrique éclatant dans l'air à diverses pressions.*

Boyle est, je crois, le premier qui ait cherché à observer la phosphorescence des substances organiques sous le récipient d'une machine pneumatique. Il a vu qu'à mesure que l'air était raréfié la lueur émise par le bois et les poissons phosphorescens diminuait, et qu'elle cessait

enfin quand on avait fait le vide ; il en conclut que l'air était nécessaire à la production du phénomène. Dessaigne a remarqué en outre que dans l'acte de la phosphorescence des corps organisés, il y a production d'acide carbonique, et que ces corps ne peuvent devenir lumineux que dans les milieux où la formation de cet acide est possible ; mon père en a tiré la conséquence que les corps organisés devenaient phosphorescens très probablement par suite de la réunion des électricités dégagées dans les réactions lentes de leurs parties constituantes sur les agens extérieurs. D'un autre côté, on sait que les substances minérales brillent dans l'air comme dans le vide barométrique, après avoir été préalablement exposées pendant quelque temps à la lumière du jour ; entre autres les pyrophores de Canton, de Bologne, le diamant, etc. .

Pour voir si la lueur émise par les substances phosphorescentes diminue plus rapidement dans le vide que dans l'air, j'ai mis des coquilles d'huîtres calcinées dans deux capsules différentes, et les ayant exposées à la lumière du jour, je les ai placées, l'une sous le récipient d'une machine pneumatique, l'autre à côté de la cloche à l'air libre. En faisant le vide rapidement dans la cloche, je n'ai pas vu la phosphorescence des coquilles diminuer sensiblement ; et au bout d'un quart d'heure, l'intensité de la lumière émise par les coquilles contenues dans les deux capsules était la même ; autant que j'ai pu en juger par une simple comparaison. Afin de m'assurer si la lumière électrique agissait de même que la lumière solaire pour rendre les corps phosphorescens dans le vide, une lame de chaux sulfatée a été placée de

manière à la fermer exactement sur une ouverture pratiquée à la partie supérieure d'une cloche dont on raréfia l'air après y avoir placé, à quelques centimètres au-dessous de la lame, une capsule remplie de coquilles calcinées.

En excitant alors au-dessus de la chaux sulfatée, dans l'air, une étincelle provenant de la décharge d'une batterie de dix-huit boccas, les coquilles furent fortement illuminées. En laissant entrer l'air dans la cloche et excitant une seconde décharge de la batterie, chargée au même degré que précédemment, les coquilles ne devinrent pas sensiblement plus brillantes que la première fois.

On avait employé la chaux sulfatée, parce que cette substance, d'après les recherches de mon père et de M. Biot, laisse passer presque totalement la propriété phosphorigénique de l'étincelle électrique. Les coquilles d'huîtres dont j'ai fait usage avaient été calcinées avec du sulfure de calcium : ce pyrophore, comme on le sait, donne par insolation et par l'étincelle électrique une lumière verte jaunâtre excessivement vive.

Dans les expériences précédentes, l'étincelle électrique avait éclaté dans l'air ; je voulus voir ce qui se passait quand elle était produite dans le vide. Après avoir placé une capsule remplie de coquilles d'huîtres sous le récipient d'une machine pneumatique, on fit passer à quelques centimètres de leur surface, dans l'air raréfié, la décharge de la batterie ; les coquilles furent illuminées faiblement ; plusieurs décharges produisirent le même résultat. En laissant rentrer un peu d'air sous la cloche et faisant passer de nouveau la décharge, les co-

quilles devinrent plus phosphorescentes ; enfin , en faisant rentrer tout l'air sous la cloche , les coquilles après l'étincelle furent très phosphorescentes. Cette expérience , recommencée plusieurs fois avec des coquilles et de la chaux sulfatée verte , a donné les mêmes résultats.

Pour prévenir l'objection que les coquilles devenaient plus phosphorescentes en raison de l'excitabilité produite par une série d'étincelles , je me suis procuré du phosphore de Bologne peu phosphorescent ( sulfate de baryte calciné ) ; en le plaçant sous la cloche et excitant à plusieurs centimètres de distance , successivement dans l'air à la pression ordinaire et dans l'air raréfié , des décharges de la batterie chargée toujours à 60° de l'électromètre à balles , ce pyrophore ne devenait phosphorescent d'une manière appréciable que quand l'étincelle éclatait à travers l'air à la pression ordinaire , tandis qu'il restait presque obscur quand la décharge traversait l'air raréfié.

Afin de pouvoir comparer avec assez de précision la lueur phosphorescente des coquilles quand l'étincelle éclate dans l'air à la pression ordinaire et dans l'air raréfié ou comprimé , j'ai fait usage de l'appareil suivant , représenté ( fig. 1 ). *AB*, *CD*, sont deux ballons en verre percés de trous dans lesquels sont passées des tiges de cuivre *ab*, *cm*, *nd*, *ef*, destinées à transmettre la décharge dans l'air extérieur. Les deux tiges *cm*, *nd* communiquent entre elles , et *ef* est en rapport avec le sol ; de telle sorte qu'en établissant une communication entre la tige *ab* et l'intérieur du ballon , l'étincelle éclate en même temps dans les deux ballons.

*ab* passant dans une boîte à cuirs peut être enfoncée

ou retirée jusqu'à ce que l'étincelle, éclatant en même temps dans les ballons, rende les coquilles placées en B et D également phosphorescentes; on adapte alors une pompe pneumatique au ballon CD et l'on raréfie l'air; puis, en excitant une décharge entre les tiges en cuivre, on voit après l'étincelle les coquilles placées en D dans l'air raréfié beaucoup moins lumineuses que celles qui sont en B dans l'air à la pression ordinaire. Si au lieu de raréfier l'air dans CD, on le comprime au moyen d'une pompe de compression, à trois ou quatre atmosphères, en opérant une décharge sans avoir dérangé le système des tiges, on voit, au contraire, que les coquilles qui sont en D dans l'air comprimé sont plus phosphorescentes que celles qui sont en B dans l'air à la pression ordinaire.

D'après ces expériences, il n'est plus permis de douter que la pression de l'air n'influe sur la production du phénomène. Comme cette pression n'agit pas sur les coquilles pour les rendre phosphorescentes, c'est donc l'étincelle qui est modifiée. On peut conclure des faits rapportés ci-dessus que lorsqu'on décharge une batterie chargée toujours au même degré, l'étincelle qui en résulte, quand cette décharge a lieu dans l'air à une pression moindre ou plus grande que la pression atmosphérique, est tellement modifiée que sa radiation communique aux différentes substances une phosphorescence moindre ou plus grande que celle qui a lieu à la pression ordinaire.

On savait depuis long-temps qu'en faisant passer des étincelles dans le vide, leur lumière est bien moins intense que dans l'air à la pression ordinaire; et Davy a

montré que moins il y avait de particules matérielles dans les milieux traversés par l'étincelle, plus la lumière de ces mêmes étincelles diminuait d'intensité. Mais je ferai remarquer que lorsqu'on fait passer des décharges de très fortes batteries dans le vide pneumatique, la lumière de l'étincelle qui en résulte paraît aussi vive que dans l'air à la pression ordinaire.

Le défaut de moyens pour comparer les lumières de cette nature est cause que je n'ai pu comparer le degré d'intensité de leur phosphorescence; c'est par le même motif qu'en mettant dans un des ballons de l'acide carbonique à la pression ordinaire au lieu d'air, l'effet que l'on a obtenu sur les coquilles après la décharge était sensiblement le même que dans l'air à la même pression; cependant il y a une différence entre l'étincelle qui éclate dans l'air ou dans l'acide carbonique, différence provenant de la nature du gaz, comme l'a observé M. Faraday, mais elle est telle qu'elle ne se manifeste pas d'une manière appréciable pour rendre inégalement les coquilles phosphorescentes.

## § 2. — *Sur la phosphorescence par élévation de température.*

Canton, un des physiciens qui se sont le plus occupés de la phosphorescence des minéraux par élévation de température, a remarqué que son pyrophore ne devient phosphorescent par la chaleur qu'autant qu'il a été préalablement exposé aux rayons solaires: cette propriété se retrouve encore dans plusieurs pyrophores artificiels en substituant aux rayons solaires l'étincelle électrique,

comme l'a fait Pearsal. Il paraît donc que la radiation de la lumière solaire ou celle de la lumière électrique agit sur les coquilles en leur donnant un nouveau mode d'arrangement moléculaire ; dans ce cas, comme le pense mon père, les électricités dégagées se combinent et forment la lueur phosphorescente. Les corps bons conducteurs ne seraient jamais phosphorescents, comme le montre l'expérience, parce que les électricités dégagées par l'action des rayons solaires se réuniraient immédiatement au contact avant d'avoir acquis une certaine tension.

Une preuve que la phosphorescence est due à un nouveau mode d'arrangement moléculaire, c'est que les diverses variétés de chaux fluatée ne sont phosphorescentes par la chaleur qu'autant qu'elles sont colorées, bien qu'elles aient toutes la même composition chimique. Pearsal en soumettant de la chaux fluatée blanche à des décharges électriques, lui a communiqué une teinte violacée de manière à lui donner l'aspect de la fluorine violette naturelle ; elle est alors, de même que celle-ci, phosphorescente par la chaleur.

On sait que si après avoir exposé des coquilles à la lumière on les porte dans l'obscurité, elles s'éteignent peu de temps après et redeviennent lumineuses par élévation de température. J'ai voulu savoir si un abaissement très grand de température diminuerait la phosphorescence des coquilles ; le résultat a confirmé mes prévisions. Ayant pris des coquilles phosphorescentes par insolation, une partie fut placée dans une capsule plongée dans un mélange réfrigérant à  $-20^{\circ}$ , et l'autre dans une capsule à la température ordinaire ; on vit alors es

coquilles dont on avait abaissé la température perdre leur phosphorescence plus rapidement que les autres. Ayant mis des coquilles d'huîtres calcinées dans deux capsules différentes, l'une à la température ordinaire, l'autre dans un mélange réfrigérant, puis exposées pendant peu de temps à la lumière solaire et reportées dans une chambre obscure, elles donnèrent sensiblement même un quart d'heure après la même lueur; mais les coquilles étant devenues obscures, si on met celles qui sont dans un mélange réfrigérant dans une capsule à la température ordinaire, alors elles redeviennent phosphorescentes pour s'éteindre bientôt; si on élève alors la température, la lueur reparait.

Que l'on prenne une pelle chauffée à 100 ou 200° à peu près, et que l'on projette dessus des coquilles nouvellement calcinées, puis qu'on les expose ainsi à l'action des rayons solaires et qu'on les rentre immédiatement dans l'obscurité, elles présentent alors une lueur phosphorique de peu de durée; quand la pelle est chauffée à la température rouge, alors les coquilles exposées à la lumière ne sont plus phosphorescentes.

On voit par cette alternative de phosphorescence et de non-phosphorescence à diverses températures, que les corps sont excités par la radiation d'une manière différente suivant cette température, et que plus celle-ci est basse, plus les corps sont excitables quand on les porte ensuite à la lumière.

§ 3. — *Action des décharges électriques sur les fils d'un très petit diamètre.*

Nairne a trouvé un fait auquel on n'a peut-être pas fait assez attention. Voici en quoi il consiste : si on fait passer une forte décharge électrique à travers un fil très fin de fer ou d'argent, qui soit assez long pour rougir seulement, on trouve après la décharge que sa longueur a diminué sans que son poids ait changé : cet effet indique une contraction dans le fil et une augmentation de diamètre. En répétant cette expérience sur des fils de platine de  $0^{\text{mm}},072$  de diamètre, j'ai observé aussi une diminution de longueur ; mais après plusieurs décharges, cet effet se complique d'un autre dont je parlerai plus loin.

Au lieu d'étendre le fil entre les pinces d'un excitateur universel, j'ai suspendu une des extrémités à une pince, et à l'autre j'ai attaché une petite balle de plomb d'un poids suffisant pour tendre légèrement le fil ; cette balle reposait sur un support en cuivre, à pied mobile, qu'on pouvait élever ou abaisser à volonté ; cette disposition n'avait pour but que de prévenir la rupture du fil par sa diminution de longueur quand il était tendu entre les deux pinces de l'excitateur universel. En faisant passer dans un fil de  $0^{\text{mm}},072$  de diamètre en platine la décharge de la batterie de dix-huit boccas chargée à  $60^{\circ}$  de l'électromètre à balles, on a obtenu les résultats suivans :

| Longueur primitive du fil. | Longueurs du fil après les décharges : |                           |                           |                           | Diminution du fil pour chaque décharge. | Rapport de la diminution à la longueur. |
|----------------------------|----------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                            | après la 1 <sup>re</sup> .             | après la 2 <sup>e</sup> . | après la 3 <sup>e</sup> . | après la 4 <sup>e</sup> . |                                         |                                         |
| 85 <sup>c</sup> ,5         | 84 <sup>c</sup> ,5                     | 83 <sup>c</sup> ,5        | 82 <sup>c</sup> ,2        | 80 <sup>c</sup> ,5        | 0 <sup>c</sup> ,96                      | 0,0117                                  |

Avec un autre fil de même diamètre on a obtenu :

| Longueur primitive des fils. | Longueur après une décharge. | Diminution.        | Rapport de la diminution à la longueur. |
|------------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------------|
| 70 centim.                   | 68 <sup>c</sup> ,5           | 0 <sup>c</sup> ,75 | 0,0107                                  |

On voit donc que dans l'air pour des fils de 0<sup>mm</sup>,072 de diamètre, la diminution moyenne est de 0,0112.

Avec des fils de 0<sup>mm</sup>,093 de diamètre en platine, on a eu :

| Longueurs primitives des fils.           | Longueurs après deux décharges.           | Diminutions pour une décharge.           | Rapports des diminutions aux longueurs. | Diminution moyenne. |
|------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|
| 51 <sup>c</sup> ,5<br>49 <sup>c</sup> ,5 | 50 <sup>c</sup> ,9<br>49 <sup>c</sup> ,05 | 0 <sup>c</sup> ,5<br>0 <sup>c</sup> ,225 | 0,0038<br>0,0046                        | 0,0052              |

Si l'on compare les diminutions moyennes pour ces deux fils, on a  $\frac{107}{82} = 2,06$ , et le rapport inverse des diamètres est 1,20, dont le cube est 2,19, ou à peu près le rapport  $\frac{107}{82}$ ; on peut donc regarder les diminutions de longueurs des fils de platine très fin comme sensiblement proportionnelles aux rapports inverses du cube des diamètres des fils.

En soumettant à l'expérience un fil d'argent de  $0^{\text{mm}},112$  de diamètre, on a eu avec les décharges de la batterie chargée toujours à  $60^{\circ}$  de l'électromètre à balles :

| Longueur primitive du fil. | Longueur après trois décharges. | Diminution pour une décharge. | Rapport de la diminution à la longueur. |
|----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|
| $20^{\circ},7$             | $20^{\circ},4$                  | 1 millim.                     | 0,0048                                  |

J'ai voulu rechercher si la diminution de longueur des fils avait lieu dans l'air raréfié comme dans l'air à la pression ordinaire ; avant d'indiquer les résultats de mes expériences, je rappellerai le fait suivant annoncé par M. Harris (*Transactions philosophiques*, année 1834), et dont j'ai vérifié l'exactitude : dans le vide ou dans l'air raréfié, les fils très fins se fondent plus difficilement que dans l'air à la pression ordinaire. On peut donc employer dans le vide des fils moins longs que dans l'air. J'ai disposé dans le vide pneumatique un fil de platine de  $0^{\text{mm}},072$  de diamètre, de manière que sa partie supérieure fût tenue dans une pince, et sa partie inférieure attachée à un petit poids en plomb que l'on pouvait amener à reposer sur un socle en cuivre en abaissant ou élevant la pince qui était fixée à une tige rodée passant dans le récipient de la machine. Voici les résultats que j'ai obtenus en faisant passer dans le vide fait à une pression de  $5^{\text{mm}}$  la décharge de la batterie de dix-huit bocaux, à travers des fils de  $18^{\circ},3$  et de  $34^{\circ},5$  de longueur :

| Longueurs primitives<br>des fils. | Longueurs<br>après une décharge. | Longueurs<br>après<br>deux décharges. | Diminutions<br>moyennes pour une<br>décharge. | Rapport<br>de la diminution<br>à la longueur. | Moyenne. |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|
| 18 <sup>c</sup> , 5<br>34 , 5     | 18 <sup>c</sup><br>34, 2         | »<br>33 <sup>c</sup> , 7)             | 0 <sup>c</sup> , 3<br>0 , 4                   | 0,016<br>0,011                                | 0,0135   |

On voit à l'inspection de ce tableau que la diminution moyenne est à peu près de 0,013 de la longueur du fil ; or, pour un fil de platine de même diamètre on a trouvé 0,011 pour cette diminution dans l'air à la pression ordinaire ; on peut donc conclure de là que la pression de l'air n'influe pas sur la production du phénomène, puisque les nombres obtenus par les diminutions dans le vide et dans l'air ne diffèrent entre eux qu'aux millièmes, et que l'on ne peut pas toujours donner à la batterie exactement la même charge.

Quand un fil de platine, par exemple de 0<sup>mm</sup>,072 de diamètre, est soumis à des décharges électriques, et qu'il rougit sans fondre, on remarque qu'à la troisième ou quatrième décharge il ne reste pas droit comme précédemment, mais qu'il devient ondulé ; si l'on continue à y faire passer plusieurs décharges, par exemple huit à dix, alors le fil présente l'aspect indiqué (fig. 11). On remarque, en outre, qu'à mesure que les décharges se succèdent, les parties ondulées augmentent de grandeur sans jamais disparaître pour faire place à d'autres ; en diminuant ensuite un peu la longueur du fil et faisant pas-

ser une nouvelle décharge , il ne se forme pas non plus de nouvelles ondulations , mais les précédentes augmentent encore , et cela quelle que soit la force de la décharge. Si on tient le fil tendu pendant le passage de l'étincelle , il ne devient pas ondulé ; en opérant sur un fil de platine d'un diamètre plus considérable , je n'ai pu obtenir la production du phénomène. Je n'ai pas besoin d'ajouter qu'en faisant rougir les fils de platine au moyen de la flamme d'une lampe à alcool , ces effets ne sont pas produits.

L'augmentation de diamètre des fils très fins s'explique très bien par la force expansive de l'étincelle électrique ; mais il n'en est pas de même de cette espèce d'ondulation du fil ; cette disposition tient-elle à un mouvement vibratoire des molécules du fil perpendiculairement à sa longueur , lequel serait produit par la décharge électrique , comme la diminution de longueur des fils semble l'indiquer , ou bien dépend-elle de la contraction du fil ? C'est ce qu'on ne peut décider à présent. .

---

*Système d'Expériences à l'aide duquel la théorie de l'Émission et celle des Ondes seront soumises à des épreuves décisives;*

PAR M. ARAGO.

Je me propose de montrer dans cette Note comment il est possible de décider, sans équivoque, si la lumière se compose de petites particules émanant des corps rayonnans, ainsi que le voulait Newton, ainsi que l'ont admis la plupart des géomètres modernes; ou bien si elle est simplement le résultat des ondulations d'un milieu très rare et très élastique, que les physiciens sont convenus d'appeler *éther*. Le système d'expériences que je vais décrire ne permettra plus, ce me semble, d'hésiter entre les deux théories rivales. Il tranchera *mathématiquement* (j'emploie à dessein cette expression), il tranchera mathématiquement une des questions les plus grandes et les plus débattues de la philosophie naturelle.

Au reste, ma note est l'accomplissement d'une sorte d'engagement que je pris envers l'Académie dans un des derniers comités secrets.

Je venais d'exposer l'admirable méthode à l'aide de laquelle M. Wheatstone a abordé le problème de la vitesse de l'électricité dans les conducteurs métalliques; je terminais à peine l'énumération des importans résultats que cet ingénieux physicien a obtenus, lorsque plusieurs de nos confrères, dont le nom peut faire autorité en pareille

matière, prétendirent que mon rapport était beaucoup trop approbatif. En la supposant bien constatée, la limite inférieure assignée par M. Wheatstone à la vitesse de l'électricité n'aurait, disait-on, aucune influence notable sur les progrès des sciences; d'ailleurs, des limites du même ordre et même plus étendues pourraient être déduites indirectement de divers phénomènes électriques ou magnétiques. Quant à la méthode des miroirs rotatifs, elle ne semblait susceptible d'être appliquée qu'aux seules questions déjà étudiées par l'inventeur. J'essayai de réfuter cette dernière opinion; je crois, moi, que le nouvel instrument, convenablement modifié, conduirait à des résultats dont M. Wheatstone ne s'était pas avisé; j'avais déjà entrevu que, même en le supposant renfermé dans les bornes étroites d'un petit appartement, il pourrait servir à mesurer les vitesses comparatives de la lumière se mouvant à travers l'air ou à travers un liquide. Je ne tardai pas à apprendre, sans que j'eusse presque le droit de m'en étonner ou de m'en plaindre, que mon assertion n'avait rencontré que des incrédules. Je vais cependant la justifier aujourd'hui dans toutes ses parties.

### *Principe de la méthode.*

Faisons tomber un rayon lumineux sur un miroir plan poli; il se réfléchira, comme tout le monde sait, en formant avec la surface du miroir un angle de réflexion exactement égal à l'angle d'incidence.

Imaginons maintenant que le miroir vienne à tourner de la quantité  $\alpha$  autour du point de sa surface où la réflexion s'est opérée; si ce mouvement, par exemple,

augmente de la quantité  $a$  l'ancien angle d'incidence, il diminuera d'autant l'ancien angle de réflexion. Celui-ci, après le déplacement du miroir, sera donc plus petit que le premier de la quantité  $2a$ ; ainsi, il faudra l'augmenter de  $2a$  pour le rendre égal au nouvel angle d'incidence; ainsi, cet angle augmenté de  $2a$  donnera la direction du rayon réfléchi dans la seconde position du miroir; ainsi, le rayon incident restant le même, un mouvement angulaire  $a$  du miroir occasionne un mouvement angulaire double dans le rayon réfléchi.

Ce mode de raisonnement s'appliquerait tout aussi bien au cas où le mouvement du miroir s'étant opéré en sens contraire, aurait diminué le premier angle d'incidence. Le principe est donc général; c'est, au reste, celui de tous les instrumens nautiques à réflexion.

La réflexion sur des miroirs plans peut servir à jeter des rayons lumineux donnés dans toutes les régions de l'espace, sans cependant altérer leurs positions relatives; deux rayons qui étaient parallèles entre eux avant de se réfléchir sont encore parallèles après leur réflexion; ceux qui primitivement étaient inclinés l'un sur l'autre de  $1'$ , de  $10'$ , de  $20'$ , etc., etc., forment précisément les mêmes angles après que la réflexion les a déviés.

Au lieu d'un seul rayon, prenons-en maintenant deux, horizontaux, partant de deux points voisins situés dans la même verticale. Admettons que leur direction les amène sur deux points de la ligne médiane (également verticale) d'un miroir plan vertical; supposons que ce miroir tourne sur lui-même, uniformément et d'une manière continue, autour d'un axe vertical dont le prolongement coïncide avec la ligne médiane qui vient d'être mentionnée.

La direction suivant laquelle les deux rayons horizontaux se réfléchiront dépendra évidemment du moment où ils atteindront le miroir, puisque nous avons supposé qu'il tourne. Si les *deux* rayons sont *partis* simultanément des deux points rayonnans contigus, ils arriveront aussi simultanément au miroir ; leur réflexion s'opérera au même instant ; conséquemment comme si cette surface, quant à eux, était immobile : leur parallélisme primitif ne s'en trouvera donc pas altéré.

Pour que les rayons, qui primitivement étaient parallèles, divergeassent après leur réflexion, il faudrait que l'un d'eux arrivât au miroir plus tôt que l'autre ; il faudrait que dans son trajet du point rayonnant à la surface réfléchissante et tournante, la marche de ce rayon fût accélérée ; ou bien, car le résultat serait précisément le même, il faudrait, la vitesse du premier rayon restant constante, que celle du second éprouvât une diminution ; il faudrait enfin que les deux rayons vinsent se réfléchir l'un après l'autre, et dès lors sur deux positions distinctes du miroir formant entre elles un angle sensible.

Suivant la théorie de l'émission, la lumière se meut dans l'eau notablement plus vite que dans l'air. Suivant la théorie des ondes, c'est précisément le contraire : la lumière marche plus vite dans l'air que dans l'eau. Faisons en sorte qu'avant d'arriver au miroir, un des deux rayons, le rayon supérieur, par exemple, ait à traverser un tube rempli d'eau. Si la théorie de l'émission est vraie, ce rayon supérieur sera accéléré dans sa marche ; il arrivera au miroir le premier ; il se réfléchira avant le rayon inférieur ; il formera avec lui un certain angle, et le sens de la déviation sera tel que le rayon inférieur pa-

raîtra plus avancé que l'autre , qu'il semblera avoir été entraîné plus vite par le miroir tournant.

Tout restant égal, admettons un moment la vérité du système des ondes. Le tube d'eau retardera alors la marche du rayon supérieur; ce rayon arrivera au miroir réfléchissant après le rayon inférieur; il se réfléchira, non plus le premier, comme tout à l'heure, mais le second; mais sur une position de la face polie réfléchissante, plus avancée que celle d'où le rayon inférieur s'était réfléchi un instant plus tôt; ces deux rayons formeront entre eux le même angle que dans l'autre hypothèse; seulement, et on doit bien le remarquer, la déviation aura lieu précisément en sens inverse; le rayon supérieur sera maintenant le plus avancé, toujours dans le sens de la rotation du miroir.

En résumé, deux points rayonnans placés l'un près de l'autre et sur la même verticale brillent instantanément (1) en face d'un miroir tournant. Les rayons du point supérieur ne peuvent arriver à ce miroir qu'en traversant un tube rempli d'eau; les rayons du second point

(1) Une instantanéité presque mathématique de la lumière qui doit être placée en face du miroir tournant serait nécessaire, comme on a paru le croire, à la réussite de l'expérience projetée, que cette expérience pourrait encore s'exécuter. M. Wheatstone a prouvé en effet que la lumière de l'étincelle électrique qui s'élançe d'un conducteur fortement chargé ne dure pas un millionième de seconde. Au surplus d'aussi courtes apparitions ne seront nullement indispensables. Pourvu que la lumière n'ait pas une durée égale au temps que le miroir emploie à faire un tour sur lui-même; en d'autres termes, pourvu que les images aperçues sur le miroir tournant soient simples; pourvu qu'elles ne résultent pas, à raison de la durée de la sensation oculaire, d'une sorte de superposition de plusieurs images successives, l'observation des déviations relatives des rayons supérieur et

atteignent la surface réfléchissante sans avoir rencontré dans leur course aucun autre milieu que l'air. Pour fixer les idées, nous supposerons que le miroir, vu de la place que l'observateur occupe, tourne de droite à gauche. Eh bien ! si la théorie de l'émission est vraie, si la lumière est une matière, le point le plus élevé *semblera à gauche* du point inférieur. *Il paraîtra à sa droite*, au contraire, si la lumière résulte des vibrations d'un milieu éthéré.

Au lieu de deux seuls points rayonnans isolés, supposons qu'on présente instantanément au miroir une ligne lumineuse verticale. L'image de la partie supérieure de cette ligne se formera par des rayons qui auront traversé l'eau; l'image de la partie inférieure résultera de rayons dont toute la course se sera opérée dans l'air. Sur le miroir *tournant*, l'image de la ligne unique *semblera brisée* : elle se composera de deux lignes lumineuses verticales, de deux lignes qui ne seront pas sur le prolongement l'une de l'autre.

inférieur sera facile; or personne ne doutera de la possibilité de produire avec des diaphragmes tournans des lignes lumineuses ou de simples points rayonnans qui, vus du miroir réfléchissant, dureront moins d'un millième de seconde.

On ne s'est pas moins trompé en supposant que l'objet lumineux observé doit avoir ses dimensions transversales presque infiniment petites. Admettons, si l'on veut, que cet objet soit terminé par deux vives arêtes verticales; malgré l'élargissement du diamètre horizontal de l'image, qui est inévitablement lié à la durée de l'apparition de l'objet, l'une de ces lignes terminales sera nette et offrira pour la mesure des déviations un terme de comparaison, un repère tout aussi exact que si elle était isolée.

L'image rectiligne supérieure est-elle moins avancée que celle d'en bas ? paraît-elle à sa gauche ?

*La lumière est un corps.*

Le contraire a-t-il lieu ? l'image supérieure se montre-t-elle à droite ?

*La lumière est une ondulation !*

Tout ce qui précède est théoriquement ou plutôt spéculativement exact. Maintenant, et c'est ici le point délicat, il reste à prouver que malgré la prodigieuse rapidité de la lumière, que malgré une vitesse de près de 80000 lieues par seconde, que malgré la petite longueur que nous serons forcés de donner aux tubes remplis de liquide, que malgré les vitesses de rotation bornées qu'auront les miroirs, les déviations comparatives des deux images (vers la droite ou vers la gauche) dont j'ai démontré l'existence, deviendront perceptibles dans nos instrumens.

*Quelle vitesse de rotation peut-on donner à un miroir ?*

J'admettrai que le miroir fait sur lui-même 1000 tours par seconde.

1000 tours par seconde pourront paraître un nombre considérable ; mais il n'y a pas à disputer là-dessus : cette vitesse a été réalisée et dépassée. Le miroir dont se servait M. Wheatstone faisait déjà 800 tours par seconde.

S'il y a des limites aux vitesses de rotation dont peut être animé un très petit miroir, un miroir de trois à quatre centimètres de large, c'est à cause de l'échauffement des tourillons et de leur prompt détérioration. Notre ingénieux confrère M. Gambey, à qui je soumet-

tais le problème, m'a d'un seul mot montré qu'il serait possible de vaincre toutes les difficultés; qu'on pourrait aller bien au-delà des vitesses qui jusqu'ici n'ont pas été dépassées; qu'on arriverait à les doubler, à les tripler, à les quadrupler même, si c'était nécessaire, sans avoir rien à craindre de l'échauffement ou de la détérioration des axes. Pour obtenir une vitesse double, une vitesse de 2000 tours par seconde, il suffirait de faire reposer l'appareil rotatif actuel sur un tourillon doué lui-même d'une vitesse de 1000 tours. En superposant dans les mêmes conditions trois ou quatre axes tournant dans une direction commune, on arriverait à des vitesses de rotation absolues de 3 et de 4000 tours par seconde, sans que les vitesses relatives des pièces en contact surpassassent celle de 1000 tours, à l'action de laquelle, comme l'expérience l'a montré, des axes peuvent résister.

J'entre, au surplus, bien surabondamment dans ces explications sur la possibilité de réaliser les vitesses de 4 à 5000 tours par seconde, car je n'en aurai pas besoin, car j'arriverai au but avec les seules vitesses de 1000 tours, car j'ai avisé à un autre moyen d'accroître les déviations angulaires qu'il s'agit d'apprécier. Ce moyen est la multiplication des miroirs.

Je l'ai déjà expliqué, si deux rayons parallèles arrivent l'un après l'autre sur un miroir rotatif, ils forment entre eux, après leur réflexion, un certain angle que j'appellerai  $\alpha$ ; mais rien n'est changé dans leurs premières *relations de distance*: entre le plus avancé de ces deux rayons réfléchis et le suivant, il y aura exactement le même intervalle qu'entre les rayons directs; s'ils tombent donc sur un second miroir, tournant dans un sens con-

venable avec la vitesse du premier, une nouvelle quantité  $\alpha$  s'ajoutera à la précédente déviation ; l'angle des deux rayons aura doublé ; à l'aide d'un troisième, d'un quatrième miroir, etc., etc., cet angle pourra être porté à  $3\alpha$ , à  $4\alpha$ , etc., etc. La réflexion sur des faces planes devient ainsi un moyen d'amplification angulaire, ce qui, par parenthèse, peut au premier coup d'œil sembler assez paradoxal.

*De la visibilité des images dont les positions relatives doivent conduire à la solution de la question proposée.*

Des images formées par voie de réflexion, sur des miroirs tournant avec d'excessives vitesses, dureront naturellement très peu. Or, ne pourrait-il pas se faire qu'au-dessous d'une certaine durée d'apparition notre œil fût insensible à l'action de la lumière même la plus intense ? Ce doute ne saurait être résolu *à priori* ; mais heureusement, dans ses recherches électriques, M. Wheatstone a vu nettement les images d'étincelles, reflétées par le miroir tournant, et qui dureraient moins d'un millionième de seconde. Je n'emploierais pas, si c'était nécessaire, de plus grandes vitesses de miroirs que le physicien anglais ; sur ce point-là encore, la possibilité de mon expérience se trouve complètement établie, dût-on, à la rigueur, n'opérer qu'avec des lumières électriques ; car j'ai prouvé, il y a un grand nombre d'années, que les rayons de toute origine, ceux du soleil et ceux d'un ver luisant, les rayons d'une étoile et ceux du bois pourri, etc., etc.,

se réfractent exactement de la même quantité et doivent, dès lors, avoir des vitesses égales.

*Verra-t-on la lumière à travers les épaisseurs de liquide que l'expérience projetée nécessitera ?*

Bouguer expérimenta sur la lumière d'un *faible flambeau* qui traversait un canal en bois rempli d'eau, d'environ dix pieds de long. Ce canal était, en outre, bouché par deux plans de verre d'une médiocre qualité. Pendant son trajet à travers les deux plans de verre et les dix pieds d'eau, la lumière s'affaiblissait dans le rapport de 14 à 5. Elle conservait donc à sa sortie plus du tiers de son intensité primitive.

L'eau (de mer), prise au milieu du port du Croisic, n'avait pas été filtrée avec tout le soin convenable. Bouguer estime qu'en s'entourant de toutes les précautions possibles, la lumière, après avoir traversé 10 pieds d'eau, conservait les  $\frac{3}{8}$  et même les  $\frac{5,8}{8}$  de son intensité originale.

Si 10 pieds d'eau laissent à la lumière les  $\frac{3}{8}$  de son éclat primitif  $= \frac{1}{1,7}$ ,

|    |   |   |   |                     |     |                    |
|----|---|---|---|---------------------|-----|--------------------|
| 20 | » | » | à | $\frac{91}{25}$     | $=$ | $\frac{1}{2,8}$ ,  |
| 30 | » | » | à | $\frac{97}{125}$    | $=$ | $\frac{1}{4,6}$ ,  |
| 40 | » | » | à | $\frac{81}{625}$    | $=$ | $\frac{1}{7,7}$ ,  |
| 50 | » | » | à | $\frac{243}{5125}$  | $=$ | $\frac{1}{12,9}$ , |
| 60 | » | » | à | $\frac{729}{15625}$ | $=$ | $\frac{1}{21}$ ,   |
| 70 | » | » | à | $\frac{1}{36}$ ,    |     |                    |
| 80 | » | » | à | $\frac{1}{60}$ .    |     |                    |

Bouguer rapporte, au surplus, que dans la zone torride il a vu quelquefois le fond de la mer, quand il était

de *sable blanc*, jusqu'à des profondeurs de 100 à 120 pieds.

*Détails numériques destinés à prouver que sans dépasser les limites de vitesse et de longueur de tuyau liquide que nous venons de nous imposer, on pourra rendre sensibles les différences des déviations angulaires qu'éprouveront deux systèmes de rayons, primitivement parallèles, en arrivant au miroir tournant, les uns à travers l'air, les autres au travers d'un liquide.*

Afin d'éviter, dès le début, toute contestation, je supposerai qu'on vise au miroir avec une bonne lunette, et je porterai jusqu'à l'énorme quantité d'une *minute de degré* l'angle dont les deux images devront être respectivement écartées l'une de l'autre, pour que l'observateur soit certain qu'il y ait eu déviation.

. Une déviation d'une *minute de degré* résultera de réflexions opérées sur deux positions du miroir inclinées l'une à l'autre d'une *demi-minute*. Ainsi, voyons d'abord combien de temps un miroir qui fait mille tours par seconde emploie à décrire une demi-minute.

Dans mille circonférences il y a 360000 degrés. En multipliant 360000 par 60, on aura le nombre de minutes contenues dans mille circonférences. Le produit est 21600000. Ainsi, dans une seconde de temps, le miroir parcourt 21600000 minutes de degré. Donc, une *minute* de degré est décrite en  $\frac{1}{21\ 600\ 000}$  de seconde de temps et une *demi-minute* dans une durée moitié moindre, ou en  $\frac{1}{43\ 200\ 000}$  de seconde.

Deux rayons qui tomberont parallèlement sur le miroir tournant formeront donc entre eux, après leur réflexion, un angle d'une minute de degré, si l'un des deux est arrivé au miroir  $\frac{1}{45\ 200\ 000}$  de seconde plus tôt que l'autre.

Au temps substituons des longueurs. Cherchons de combien de mètres le premier rayon doit devancer le second pour qu'il s'écoule  $\frac{1}{45\ 200\ 000}$  de seconde entre les momens de leur arrivée à la surface réfléchissante.

La lumière vient du soleil à la terre en 8'13" ou en 493 secondes de temps.

Du soleil à la terre il y a 24000 rayons terrestres, ou 24000 fois 6366000 mètres.

En 1" la lumière parcourt donc  $\frac{24\ 000 \times 6\ 366\ 000}{493}$  mètres =  $48 \times 6\ 366\ 000$  mètres.

De là résulte encore qu'en  $\frac{1}{45\ 200\ 000}$  de seconde, ou pendant le temps que le miroir emploie à tourner sur lui-même d'une demi-minute de degré, la lumière parcourt  $\frac{48 \times 6\ 366\ 000}{45\ 200\ 000}$  mètres. Cette fraction vaut 7<sup>m</sup>,07 : en nombre rond 7 mètres.

Ainsi, il faut et il suffit que deux rayons de lumière parallèles, après s'être réfléchis à la surface d'un miroir tournant sur le pied de mille tours en une seconde, fassent entre eux un angle d'une minute, que l'un précède l'autre de 7 mètres.

Jusqu'ici nous avons été dans les préliminaires de l'expérience projetée. Munis de toutes ces données, entrons maintenant dans l'examen des deux théories de la lumière.

Suivant la théorie de l'émission, la lumière, *inévitavelmente*, se meut plus vite en traversant un liquide qu'en

traversant l'air, et cela dans le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction. Si la lumière est une ondulation, elle *doit*, au contraire, se *mouvoir moins vite* dans le liquide que dans l'air, et suivant le rapport inverse des mêmes sinus.

Des liquides ou d'autres milieux réfringens fournissent donc les moyens de hâter la marche de la lumière, de porter des rayons à la surface d'un miroir plus vite qu'ils n'y seraient arrivés, pourvu que la théorie de l'émission soit vraie. Leur interposition produira tout l'opposé ; elle amoindrira la vitesse des rayons, elle les fera arriver à la surface réfléchissante plus tard que s'ils avaient continué à se mouvoir dans l'air, en admettant que la lumière soit le résultat d'une ondulation.

Un faisceau de rayons à peu près parallèles partis simultanément d'un point éloigné, ou rendus artificiellement parallèles à l'aide d'une lentille, se dirige vers le miroir tournant. Un tuyau parallèle à ces rayons et rempli d'eau se trouve placé sur leur trajet. Le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction, pour le passage de la lumière de l'air dans l'eau, ou, ce qui revient au même, suivant la théorie de l'émission, le rapport de la vitesse de la lumière dans l'eau à la vitesse de la lumière dans l'air, est celui de 1336 à 1000, sensiblement égal au rapport de 4 à 3. Les espaces parcourus étant directement comme les vitesses, pendant que la lumière franchit toute la longueur du tube rempli d'eau, elle ne parcourt dans l'air que les  $\frac{3}{4}$  de cette même longueur. Ce sera la différence de ces deux quantités, c'est-à-dire  $\frac{1}{4}$  de la longueur du tuyau d'eau, qui devra être égale à 7 mètres si l'on veut que les deux rayons se réfléchissent sous

l'angle d'une minute. La longueur totale du tuyau sera donc égale à 28 mètres (1).

Une vive lumière se verrait certainement à travers 28 mètres d'eau ; mais, enfin, si l'image semblait trop faible, on recourrait à deux miroirs rotatifs conjugués, et alors  $\frac{8}{3}$  ou 14 mètres d'eau correspondraient à la même déviation angulaire d'une minute.

Avec trois miroirs, 9 mètr.  $\frac{1}{3}$  conduiraient au résultat. A l'aide de quatre, il suffirait de 7 mètres.

Dans les mêmes hypothèses, si l'on admettait que la déviation d'une demi-minute sera sensible, les longueurs des tuyaux d'eau nécessaires deviendraient :

|                                           |                    |
|-------------------------------------------|--------------------|
| Pour un seul miroir rotatif à mille tours | 14 <sup>m</sup> ,0 |
| Pour deux . . . . .                       | 7 <sup>m</sup> ,0  |
| Pour trois . . . . .                      | 4 <sup>m</sup> ,7  |
| Pour quatre . . . . .                     | 3 <sup>m</sup> ,5  |

Chacun de ces nombres pourra encore être réduit à moitié si, comme cela est probable, la lunette permet d'apercevoir des séparations angulaires d'un quart de minute.

Choisissons un milieu plus réfringent que l'eau, par exemple le *carbure de soufre* à l'égard duquel le rapport des vitesses dans l'air et dans le liquide est celui de 1000 à 1678. Le même calcul donnera (pour une rotation de mille tours d'un seul miroir et une déviation d'une mi-

(1) Un calcul semblable fait dans le système des ondes ne donnerait que 21 mètres pour la longueur du tuyau d'eau qui correspondrait à une même déviation d'une minute.

|                                                |                        |
|------------------------------------------------|------------------------|
| nute) une longueur de tuyau égale à . . . . .  | 17 <sup>m</sup> ,4 (1) |
| Avec deux mille tours ou deux miroirs on a     | 8 <sup>m</sup> ,7      |
| Avec trois mille tours ou trois miroirs. . . . | 5 <sup>m</sup> ,8      |
| Avec quatre mille tours ou quatre miroirs.     | 4 <sup>m</sup> ,4      |

Ces longueurs de tuyau seront réduites respectivement à 8<sup>m</sup>,7; à 4<sup>m</sup>,4; à 2<sup>m</sup>,9 et à 2<sup>m</sup>,2, en ne cherchant que des déviations angulaires d'une *demi-minute*. Si, enfin, comme on doit le penser, on discerne bien des déviations d'un *quart de minute*, ces mêmes longueurs, en employant un, deux, trois et quatre miroirs rotatifs à mille tours, se réduiront respectivement à 4<sup>m</sup>,4; à 2<sup>m</sup>,2; 1<sup>m</sup>,5; à 1<sup>m</sup>,1.

---

Toute cette série de nombres établit la possibilité de l'expérience projetée; tous montrent que des phénomènes de déviation deviendront un moyen décisif de choisir en connaissance de cause entre la théorie de l'émission et celle des ondes. Peut-être ne sera-t-on pas fâché de voir que le même résultat pourrait être obtenu à l'aide de l'observation d'une seule image.

De nombreuses observations d'étoiles changeantes m'ont prouvé que dans les espaces célestes et aussi, à fort peu près, dans l'atmosphère, les rayons de différentes couleurs se meuvent avec la même rapidité. De là, en admettant le système de l'émission, résulte nécessairement la conséquence qu'en traversant un liquide, les

---

(1) Dans la théorie des ondes, la longueur de carbure de soufre nécessaire à la déviation d'une minute ne serait pas de 11 mètres.

rayons rouges marchent moins vite que les rayons violets, et précisément dans le rapport inverse des sinus de réfraction respectifs correspondant à une incidence commune. Le système des ondes exige aussi qu'il existe une différence de vitesse entre les rayons extrêmes du spectre ; seulement elle doit avoir lieu en *sens contraire* : ce sont alors les rayons rouges qui marchent le plus vite.

Cela posé, dirigeons *un faisceau de lumière blanche* sur le miroir rotatif, au travers d'un long tube rempli de carbure de soufre, liquide éminemment dispersif. Les rayons rouges, les rayons violets, tout comme les rayons intermédiaires, orangés, jaunes, verts, bleus, n'arriveront pas au miroir en même temps ; ainsi, ils seront inégalement déviés ; ainsi, ils formeront, après leur réflexion, une de ces bandes irisées que les physiciens sont convenus d'appeler des *spectres*. Jusqu'ici tout est commun entre les deux théories de la lumière ; mais la différence commencera dès qu'on portera son attention sur l'ordre dans lequel les couleurs se succéderont : cet ordre doit être inverse dans les deux systèmes. Pour savoir si la lumière est un corps ou une onde, on n'aura donc ici qu'à examiner dans quel sens le spectre réfléchi se trouve posé ; il suffira de rechercher si l'extrémité rouge est à droite ou à gauche, et cela, bien entendu, suivant le sens de la rotation du miroir.

---

Soit que dans les expériences que je me propose de faire on se serve d'étincelles électriques ou de lumières successivement cachées et découvertes à l'aide d'écrans rotatifs, comme leurs éclats ne sauraient être réglés à

des millièmes de seconde, il arrivera qu'un observateur visant au miroir dans une direction donnée et avec une lunette d'un champ borné, n'apercevra la lumière que fortuitement. Hâtons-nous d'ajouter qu'en renouvelant très souvent les apparitions lumineuses : toutes les secondes, par exemple ; qu'en faisant tourner, au lieu du miroir unique, un prisme vertical à 8 ou 12 facettes ; qu'avec le concours de plusieurs observateurs, placés dans des positions différentes et armés chacun de sa lunette, on ne pourra manquer d'avoir des apparitions nombreuses et décisives des rayons réfléchis. Au reste, ce sont des détails sur lesquels je n'insisterai pas davantage aujourd'hui. Je réserverai de même, pour une autre communication, l'exposition du système d'expériences à l'aide duquel on rendra sensible et l'on mesurera, jusqu'à un certain degré, la *vitesse absolue* de la lumière, sans recourir aux phénomènes célestes.

---

*Recherches sur l'Influence de la Nourriture des Vaches, sur la Quantité et la Constitution chimique du Lait;*

PAR MM. BOUSSINGAULT ET LIE BEL.

Les expériences qui font le sujet de ce mémoire ont été entreprises dans la vue de constater si les alimens consommés par les vaches influent d'une manière appré-

ciable sur la production du lait et sur sa composition chimique.

Les opinions des agriculteurs relatives à cette question sont des plus diverses, et en les discutant on s'aperçoit que le plus souvent ces opinions ne sont fondées que sur des observations imparfaites. Par exemple, dans les recherches de ce genre, on s'est presque toujours borné à jauger le lait, sans tenir compte des changemens qui pouvaient subvenir dans sa constitution. Cela est si vrai, que nous ne possédons pas encore une analyse complète du lait de vache.

Nos recherches ayant été dirigées vers un but purement pratique et dans l'intérêt de notre laiterie, nous nous sommes limités à étudier l'influence des fourrages que nous donnons ordinairement aux vaches.

Les analyses ont été exécutées par la méthode que M. Péligot a suivie dans son travail sur le lait d'ânesse, et qui consiste à traiter successivement l'extrait de lait obtenu au bain-marie par un mélange d'alcool et d'éther et par l'eau. Toutes les dessiccations ont eu lieu à 110°. Le caséum obtenu a été incinéré pour doser les sels terreux qui se trouvent toujours unis à cette substance.

Le régime alimentaire auquel sont soumises les vaches de Bechelbronn varie nécessairement avec les saisons; mais on peut admettre que chaque tête reçoit par jour l'équivalent de 15 kilogrammes de foin; durant l'hiver, la ration se compose de ce dernier fourrage uni à des racines ou à des tubercules. Au printemps, le foin est remplacé progressivement par le trèfle, et peu à peu au régime d'hiver succède une nourriture entièrement verte.

Les expériences que nous allons rapporter ont été

faites sur une vache du pays qui avait vêlé depuis deux cents jours et qui portait de nouveau.

*Expérience 1<sup>re</sup>.*

Ration pour 24 heures, 15 kilogrammes de foin.

En 7 jours, la vache a donné 38<sup>li</sup>,88 de lait = 5<sup>li</sup>,6 par jour.

20 grammes de lait ont fourni :

|                         | Pour 100 de lait.    |      |
|-------------------------|----------------------|------|
| Caséum . . . . .        | 0 <sup>gr</sup> ,606 | 3,0  |
| Beurre . . . . .        | 0,890                | 4,5  |
| Sucre de lait . . . . . | 0,930                | 4,7  |
| Cendres du caséum       | 0,024                | 0,1  |
|                         | <hr/>                |      |
|                         | 2 <sup>gr</sup> ,450 | 12,3 |

*Expérience 2<sup>e</sup>. (207 jours après le part.)*

Ration : navets, ki. 82,15 équivalant à 13ki,5 de foin.

Paille hachée, ki. 7,5 équivalant à ki. 1,5 de foin.

En 8 jours, on a recueilli 48<sup>li</sup>,0 de lait = 6<sup>li</sup>,0 pour 24 heures.

La vache a mangé la racine avec appétit; mais le volume de la ration étant probablement trop considérable, il est resté chaque jour environ 5 kilog. de navets.

20 grammes de lait ont donné :

|                         | Pour 100 de lait. |      |
|-------------------------|-------------------|------|
| Caséum . . . . .        | 0,606             | 3,0  |
| Beurre . . . . .        | 0,840             | 4,2  |
| Sucre de lait . . . . . | 1,010             | 5,0  |
| Cendres du caséum . . . | 0,045             | 0,2  |
|                         | <hr/>             |      |
|                         | 2,501             | 12,4 |

*Expérience 3°. (215 jours après le part.)*

Ration : betteraves champêtres , 54 kilog. équivalant à ki. 13,5 de foin.

Paille hachée, kil. 7,5 équivalant à kil. 1,5 de foin.  $\frac{1}{2}$

En 14 jours, on a recueilli lit. 78,2 de lait = lit. 5,58 pour 24 heures.

20 grammes de lait ont donné :

|                    | Pour 100 de lait. |      |
|--------------------|-------------------|------|
| Caséum.....        | 0,677             | 3,4  |
| Beurre .....       | 0,800             | 4,0  |
| Sucre de lait..... | 1,073             | 5,3  |
| Cendres du caséum. | 0,050             | 0,2  |
|                    | <hr/>             |      |
|                    | 2,600             | 12,9 |

*Expérience 4°. (229 jours après le part.)*

Ration : pommes de terre crues, 38 kilo. équivalant à ki. 13,5 de foin.

Paille hachée, kil. 7,5 équivalant à kil. 1,5 de foin.

En 11 jours, la vache a produit lit. 54,61 de lait = lit. 4,96 pour 24 heures.

La vache ne s'est pas bien trouvée de ce régime ; elle est devenue très échauffée, et a laissé la moitié de la paille hachée. Dans l'alimentation ordinaire, les tubercules sont unis au foin, et entrent dans la ration pour un demi-équivalent. Les vaches cessent alors de ressentir les mauvais effets des pommes de terre crues.

20 grammes de lait ont donné :

|                         | Pour 100 de lait. |      |
|-------------------------|-------------------|------|
| Caséum. . . . .         | 0,670             | 3,4  |
| Beurre. . . . .         | 0,802             | 4,0  |
| Sucre de lait. . . . .  | 1,180             | 5,9  |
| Cendres du caséum . . . | 0,050             | 0,2  |
|                         | <hr/>             |      |
|                         | 2,702             | 13,5 |

*Expérience 5<sup>e</sup>. (240 jours après le part.)*

Ration : foin 15 kilog.

Dans la dernière expérience, on a vu que la quantité de lait qui s'était maintenue entre lit. 6 et lit. 5,6 s'est abaissée à lit. 4,9. Pour juger si cette diminution était réellement due au changement de régime, la vache a été remise à la ration de foin, sous l'influence de laquelle on avait obtenu lors de la première expérience lit. 5,6 de lait.

En 30 jours, on a recueilli lit. 106,87 de lait = lit. 3,56 pour 24 heures.

On voit donc que la baisse observée dans les produits en lait ne saurait être attribuée aux pommes de terre qui ont été données comme fourrage dans l'expérience quatrième.

*Expérience 6<sup>e</sup>. (270 jours après le part.)*

Ration : pommes de terre crues et salées.

A la ration de l'expérience quatrième on a ajouté 70 grammes de sel en poudre.

La vache a mangé avec beaucoup d'appétit les tubercules salés. Toute la paille hachée a été consommée.

Les pommes de terre avec cette dose de sel n'ont produit aucun effet fâcheux ; néanmoins, le lait a continué à décroître.

En 20 jours, on a obtenu lit. 68,06 de lait = lit. 3,4 pour 24 heures.

*Expérience 7<sup>e</sup>. (290 jours après le part.)*

Ration : topinambours, 37 kil. équivalant à 15 kil. de foin.

En 12 jours, on a eu lit. 42,90 de lait = lit. 3,5 pour 24 heures.

20 grammes de lait ont donné :

|                        | Pour 100 de lait. |      |
|------------------------|-------------------|------|
| Caséum.....            | 0,652             | 3,3  |
| Beurre.....            | 0,700             | 3,5  |
| Sucre de lait.....     | 1,100             | 5,5  |
| Cendres du caséum..... | 0,048             | 0,2  |
|                        | <hr/>             |      |
|                        | 2,500             | 12,5 |

*Expérience 8<sup>e</sup>. (302 jours après le part.)*

Dans leur ration ordinaire, les vaches reçoivent une petite quantité de tourteau de colza. On s'est proposé dans cette expérience de doubler l'équivalent de nourriture par une addition convenable de tourteau.

La vache a reçu 15 kilo. de foin.

Id. id. 3 kilo. de tourteau, équivalant à 15 de foin.

La vache n'a consommé en sus des 15 kilo. de foin que kil. 1,5 de tourteau ; c'est-à-dire qu'elle n'a pu pren-

dre qu'un équivalent et demi de nourriture ; encore est-il survenu le neuvième jour une rétention d'urine qui mit fin à l'expérience.

En 8 jours, on a eu lit. 20,60 de lait = lit. 2,8 pour 24 heures.

20 grammes de lait ont donné :

|                       | Pour 100 de lait. |      |
|-----------------------|-------------------|------|
| Caséum.....           | 0,670             | 3,4  |
| Beurre .....          | 0,720             | 3,6  |
| Sucre de lait.....    | 1,200             | 6,0  |
| Cendres du caséum ... | 0,050             | 0,2  |
|                       | <hr/>             |      |
|                       | 2,640             | 13,2 |

On a pu remarquer que depuis le commencement de cette première série d'expériences, la quantité de lait rendu par la vache a progressivement diminué. Cette diminution ne saurait être attribuée au régime, puisqu'en remettant la vache aux mêmes alimens qui lui avaient été donnés précédemment, on n'en obtenait plus le lait qui avait été recueilli d'abord sous leur influence ; la diminution continuait. L'éloignement de l'époque à laquelle la vache a vélé paraît être la cause dominante, sinon unique, de la décroissance du lait (1). Cette cause est tellement prononcée qu'elle peut masquer la légère influence qu'exerce probablement le régime alimentaire.

---

(1) Nous devons rappeler ici que la vache soumise à l'observation avait été saillie et portait ; un décroissement aussi rapide dans le produit en lait ne s'observerait probablement pas chez une vache qui ne serait pas dans cette condition.

*Composition du lait pris immédiatement après le vèlage.*

Après la huitième expérience, la vache fut laissée en repos et reçut pour ration l'équivalent de 15 kilogrammes de foin, en pommes de terre, foin, tourteau et paille hachée.

La vache vêla le 18 mai, après 43 jours de sevrage.

Le veau pesa au moment de sa naissance k. 49,5. Après avoir bu, son poids s'est élevé à 51 k., le veau ayant pris kil. 1,5 de lait; mais avant de lui présenter le pis, on avait trait un litre de lait pour le soumettre à l'analyse. La pesée eut lieu le matin, et comme le veau tétait deux fois par jour, il faut doubler la quantité de lait jaugée; ainsi la vache, dans les vingt-quatre heures qui ont suivi le vèlage, a donné environ 5 litres de lait.

Le lait trait immédiatement après le part, et avant que le veau eût tété, était très épais, mucilagineux, d'une odeur, d'une saveur peu agréables, coagulable en partie par la chaleur.

20 grammes de lait ont donné par l'évaporation au bain-marie et une dessiccation complète un extrait qui a pesé gr. 4,320. Cet extrait présentait l'apparence de la gomme arabique; la masse vitreuse était couverte d'un enduit butireux peu abondant. Cet extrait a fourni :

|                        | Pour 100 de lait. |       |
|------------------------|-------------------|-------|
| Caséum albumineux ...  | 3,019             | 15,0  |
| Beurre.....            | 0,519             | 2,6   |
| Sucre de lait.....     | 0,720             | 3,6   |
| Cendres du caséum .... | 0,065             | 0,3   |
|                        | <hr/>             | <hr/> |
|                        | 4,323             | 21,5  |

( 73 )

Cette analyse a été répétée; on a obtenu le même résultat; le caséum trouvé a été 15,2 pour 100 de lait.

*Lait après treize jours de part.*

La vache recevait un régime de foin et de tubercules.

|                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| Le 31 mai, le veau pesait à jeun | 59 <sup>k</sup> ,5 |
| Après avoir tété.....            | 63 ,2              |
|                                  | <hr/>              |
| Poids du lait consommé. ...      | 3 <sup>k</sup> ,7  |

En doublant cette quantité, on trouve que le veau prenait alors en 24 heures kil. 7,4 de lait. Soit lit. 7,4.

*Lait après vingt-quatre jours de part.*

La vache recevait un régime mixte, foin et trèfle vert.

|                                    |                    |
|------------------------------------|--------------------|
| Le 11 juin, à jeun, le veau a pesé | 71 <sup>k</sup> ,7 |
| Après avoir tété.....              | 77 ,0              |
|                                    | <hr/>              |
| Lait consommé.....                 | 5 <sup>k</sup> ,3  |

Ce qui porte à lit. 10,6 le lait fourni par la vache. 20 gram. de lait ont donné :

|                         | Pour 100 de lait. |      |
|-------------------------|-------------------|------|
| Caséum.....             | 0,605             | 3,0  |
| Beurre.....             | 0,693             | 3,5  |
| Sucre de lait.....      | 0,896             | 4,5  |
| Cendres du caséum ..... | 0,050             | 0,2  |
|                         | <hr/>             |      |
|                         | 2,244             | 11,2 |

*Lait trente-cinq jours après le part.*

A cette époque, la vache consommait environ 63 kil. trèfle vert.

|                             |                    |
|-----------------------------|--------------------|
| A jeun, le veau a pesé..... | 80 <sup>k</sup> ,5 |
| Après avoir tété.....       | 86 ,5              |
|                             | <hr/>              |
| Lait consommé .....         | 6 <sup>k</sup> ,0  |

Par conséquent la vache donnait dans un jour 12 litres de lait.

20 gram. de lait ont donné :

|                     | Pour 100 de lait. |      |
|---------------------|-------------------|------|
| Caséum.....         | 0,620             | 3,1  |
| Beurre.....         | 1,121             | 5,6  |
| Sucre de lait.....  | 0,832             | 4,2  |
| Cendres du caséum . | 0,052             | 0,3  |
|                     | <hr/>             |      |
|                     | 2,625             | 13,2 |

Ce lait présente une proportion de beurre bien supérieure à celle trouvée dans les analyses antérieures. Nous aurons l'occasion d'observer dans les analyses qui vont suivre un changement également brusque, mais en sens différent, dans la proportion de la matière grasse du lait.

La quantité de 12 litres de lait, produit de 24 heures, n'a pas été dépassée, et bientôt après le volume du lait a diminué graduellement.

## DEUXIÈME SÉRIE.

Dans cette seconde série d'expériences, nous examinons si la nourriture verte influe d'une manière aussi prononcée qu'on le croit généralement sur la production du lait, et en particulier sur l'augmentation de la matière butyreuse. Nos observations ont été faites sur une vache d'origine suisse, considérée comme bonne laitière. Cette vache avait vêlé depuis 176 jours et portait de nouveau.

*Expérience 1<sup>re</sup>. Lait produit sous l'influence du régime d'hiver.*

La ration se composait de 15 kilog. de pommes de terre et de kil. 7,5 de foin.

La vache se trouvait depuis long-temps à ce régime ; mais on a seulement jaugé le lait pendant six jours. Pendant ce temps, on a obtenu lit. 64,92 de lait = lit. 9,3 pour 24 heures.

20 gram. de lait ont donné :

|                       | Pour 100 de lait. |      |
|-----------------------|-------------------|------|
| Caséum.....           | 0,660             | 3,3  |
| Beurre.....           | 0,950             | 4,8  |
| Sucre de lait .....   | 1,022             | 5,1  |
| Cendres du caséum ... | 0,059             | 0,3  |
|                       | <hr/>             |      |
|                       | 2,691             | 13,5 |

*Expérience 2<sup>e</sup>. (182 jours après le part.)*

Régime mixte : foin kil. 7,5 , trèfle vert 30 kil.

Du 20 au 30 mai, la vache a fourni lit. 106,28 de lait  
= lit. 8,9 pour 24 heures.

20 gram. ont donné :

|                       | Pour 100 de lait. |      |
|-----------------------|-------------------|------|
| Caséum.....           | 0,798             | 4,0  |
| Beurre .....          | 0,912             | 4,5  |
| Sucre de lait.....    | 0,806             | 4,0  |
| Cendres du caséum ... | 0,060             | 0,3  |
|                       | <hr/>             |      |
|                       | 2,576             | 12,8 |

*Expérience 3<sup>e</sup>. (193 jours après le part.)*

Régime vert : ration de 63 kilo. de trèfle.

Du 1<sup>er</sup> au 11 juin, la vache a produit lit. 108,2 de  
lait = lit. 9,8 pour 24 heures.

20 gram. de lait ont donné :

|                       | Pour 100 de lait. |      |
|-----------------------|-------------------|------|
| Caséum.....           | 0,804             | 4,0  |
| Beurre .....          | 0,444             | 2,2  |
| Sucre de lait.....    | 0,947             | 4,7  |
| Cendres du caséum ... | 0,060             | 0,3  |
|                       | <hr/>             |      |
|                       | 2,255             | 11,2 |

La faible proportion de beurre trouvée par cette analyse nous a engagé à la répéter.

20 gram. du même lait ont donné gr. 0,470 de beurre  
= 2,35 pour 100.

*Expérience 4<sup>e</sup>. (204 jours après le part.)*

Régime vert : trèfle en fleurs 63 kilog.

Du 12 au 30 juin, la vache a donné lit. 148,17 de lait  
= lit. 7,8 pour 24 heures.

20 gram. de lait ont produit :

|                        | Pour 100 de lait. |      |
|------------------------|-------------------|------|
| Caséum.....            | 0,730             | 3,7  |
| Beurre.....            | 0,706             | 3,5  |
| Sucre de lait.....     | 1,045             | 5,2  |
| Cendres du caséum..... | 0,052             | 0,2  |
|                        | <hr/>             |      |
|                        | 2,533             | 12,6 |

Il semble résulter de ces expériences, que le trèfle vert n'augmente pas la production du lait chez les vaches. En effet, sous l'influence du régime d'hiver et du régime mixte, la vache a donné en moyenne lit. 9,1 par 24 heures. Avec le régime vert, on a seulement obtenu lit. 8,5. Il faut bien se garder cependant d'attribuer la diminution du lait à l'usage du fourrage vert, puisque nous avons reconnu que sa décroissance est une conséquence de l'ancienneté du part.

Si l'on met à part le lait pris immédiatement après le vêlage, comme ayant une composition tout-à-fait exceptionnelle, on trouve, en consultant le tableau placé à la fin de ce mémoire, que la constitution chimique du lait a peu varié durant le cours des expériences rapportées ci-dessus. Le caséum présente des différences qui atteignent rarement un centième. Les proportions de la matière grasse du lait offrent, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, des variations assez brusques. Enfin, on

croit reconnaître que la quantité de sucre de lait est d'autant plus considérable que le lait a été recueilli à une époque plus éloignée du part.

En définitive, ce travail nous permet d'établir que la nature des alimens consommés n'exerce pas une influence bien marquée sur la quantité et la constitution chimique du lait ( nous ne disons pas sur sa qualité ), si les vaches reçoivent les équivalens nutritifs de ces différens alimens. Il est bien évident que si le poids des rations n'était pas calculé d'après celui des équivalens, on observerait des variations dans le produit en lait; mais alors ces variations auraient pour cause l'augmentation ou la diminution de la matière nutritive. On sait, par exemple, que les vaches qui pendant l'hiver sont réduites à une simple ration de paille hachée cessent presque entièrement de produire, et l'on comprend qu'en présence de pareils faits on ait été porté à attribuer le retour et l'abondance du lait aux fourrages verts du printemps, tandis que cet effet est très probablement produit par l'augmentation réelle de la ration alimentaire.

Dans les établissemens où l'on suit un système d'assolement raisonné, de manière à assurer pour l'hiver une nourriture saine et abondante au bétail, la différence, si elle existe, des produits de l'hiver à ceux de l'été, est en tout cas beaucoup moins sensible. C'est ce qui ressort du tableau suivant, dans lequel nous donnons pour une année, le lait fourni mensuellement par huit vaches toujours en rapport. Dans la dernière colonne du tableau se trouve indiqué le régime alimentaire consommé pendant chaque mois.

| Mois.     | Lait fourni par 8 vaches en un mois. | Lait par vache en 24 heures. | Alimens consommés.                           |
|-----------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------|
| Janvier   | 1363 litr.                           | 5,5                          | Foin, betteraves, pommes de terre, tourteau. |
| Février   | 1488                                 | 6,6                          | Id.                                          |
| Mars      | 1878                                 | 7,6                          | Id.                                          |
| Avril     | 1656                                 | 6,9                          | Id.                                          |
| Mai       | 1690                                 | 6,8                          | Foin, trèfle vert.                           |
| Juin      | 2129                                 | 8,9                          | Trèfle vert à discrétion.                    |
| Juillet   | 1969                                 | 7,9                          | Id.                                          |
| Août      | 1851                                 | 7,4                          | Trèfle vert, regain de foin.                 |
| Septembre | 1895                                 | 7,9                          | Id.                                          |
| Octobre   | 1664                                 | 5,4                          | Navets, betteraves, regain de foin.          |
| Novembre  | 1612                                 | 5,5                          | Foin, pommes de terre, betteraves.           |
| Décembre  | 1664                                 | 5,4                          | Id., tourteau.                               |

### Résumé des observations et des analyses.

#### PREMIÈRE SÉRIE.

| Jours écoulés depuis le part. | Lait rendu en 24 heures. | Matières solides dans 400 de lait. | Alimens reçus équivalant à 15 kilogr. de foin. | Composition du lait. |         |                |               |      | Remarques.                   |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|---------|----------------|---------------|------|------------------------------|
|                               |                          |                                    |                                                | Caséum.              | Beurre. | Sucre de lait. | Sels terreux. | Eau. |                              |
| 1                             | 5,0                      | 21,6                               | Pommes de terre, foin.                         | 15,1                 | 2,6     | 5,6            | 0,5           | 78,4 | Lait pris après le part (1). |
| 13                            | 7,5                      | »                                  | Idem.                                          | »                    | »       | »              | »             | »    |                              |
| 24                            | 10,6                     | 11,2                               | Foin, trèfle vert.                             | 5,0                  | 5,5     | 4,5            | 0,2           | 88,8 |                              |
| 35                            | 12,0                     | 15,1                               | Trèfle vert.                                   | 5,1                  | 5,6     | 4,2            | 0,3           | 86,9 |                              |
| 200                           | 5,6                      | 12,5                               | Foin.                                          | 5,0                  | 4,5     | 4,7            | 0,1           | 87,7 |                              |
| 207                           | 6,0                      | 12,4                               | Navets.                                        | 5,0                  | 4,2     | 5,0            | 0,2           | 87,6 |                              |
| 215                           | 5,6                      | 12,9                               | Betteraves.                                    | 5,4                  | 4,0     | 5,5            | 0,2           | 87,1 |                              |
| 229                           | 5,0                      | 13,5                               | Pommes de terre.                               | 5,4                  | 4,0     | 5,9            | 0,2           | 86,5 |                              |
| 240                           | 5,6                      | »                                  | Foin.                                          | »                    | »       | »              | »             | »    |                              |
| 270                           | 5,4                      | »                                  | Pommes de terre.                               | »                    | »       | »              | »             | »    |                              |
| 290                           | 5,5                      | 12,5                               | Topinambours.                                  | 5,5                  | 5,5     | 5,5            | 0,2           | 87,5 |                              |
| 502                           | 2,8                      | 13,2                               | Foin et tourteau.                              | 5,4                  | 5,6     | 6,0            | 0,2           | 86,8 | Ration = 1 1/2 équivalent.   |

#### DEUXIÈME SÉRIE.

|     |     |      |                        |     |     |     |     |      |
|-----|-----|------|------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| 176 | 9,5 | 13,5 | Pommes de terre, foin. | 5,5 | 4,8 | 5,1 | 0,5 | 86,5 |
| 182 | 8,9 | 12,8 | Foin, trèfle vert.     | 4,0 | 4,5 | 4,0 | 0,5 | 87,2 |
| 193 | 9,8 | 11,2 | Trèfle vert.           | 4,0 | 2,2 | 4,7 | 0,5 | 88,8 |
| 204 | 7,8 | 12,6 | Trèfle en fleur.       | 5,7 | 5,5 | 5,2 | 0,2 | 87,4 |

(1) Le lait a été pris avant que le veau eût tété; il y avait 45 jours que la vache n'avait pas été traitée. Le caséum contenait probablement de l'albumine, fait déjà constaté par M. Lassaing.

*Mémoire sur un nouveau Condensateur électrique;*

PAR M. PÉCLET.

Le nouveau condensateur se compose de trois plateaux en verre dépoli dont les surfaces ont été usées avec soin les unes contre les autres et qui sont entièrement recouvertes de feuilles d'or collées avec de l'albumine. L'un de ces plateaux que je désignerai par A est fixé à un électromètre ordinaire à feuilles d'or ; sa surface supérieure est couverte de vernis. Le second, que je désignerai par B, est posé sur le premier ; il est verni sur ses deux faces ; une petite tige de cuivre dorée avec soin et non vernie est fixée horizontalement en un point de sa circonférence ; il porte à son centre, comme le plateau mobile des condensateurs ordinaires, une tige de verre qui sert à le mouvoir. Enfin, sur ce dernier plateau se trouve un troisième plateau C, percé à son centre d'un orifice à travers lequel passe la tige du plateau B ; le plateau C est verni en dessous seulement, et son orifice central est garni d'un tube de verre qui enveloppe la tige du plateau B, mais d'une moindre hauteur.

Voici de quelle manière on se sert de cet appareil. On touche le plateau supérieur avec le métal dont on veut reconnaître l'action sur l'or, et on met le plateau B en communication avec le sol ; on supprime cette communication, on soulève le plateau C et on touche le plateau A ; on répète cette manœuvre un certain nombre de

fois ; enfin , au moyen de la tige du plateau B , on sou-  
lève à la fois les plateaux B et C ; les feuilles d'or de l'é-  
lectromètre divergent d'autant plus que le nombre des  
contacts a été plus grand.

La cage qui renferme les lames d'or est formée de  
glaces parallèles , et elle est posée sur un trépied à vis  
garni d'un côté d'une plaque verticale percée d'un petit  
trou , et de l'autre d'une portion de cercle divisé vertical  
dont le centre est à la même hauteur que le trou de la  
plaque et l'extrémité supérieure des lames d'or : c'est en  
regardant par le trou de la plaque qu'on observe la dé-  
viation.

Pour donner une idée de la puissance de cet appareil,  
je rapporterai deux séries d'expériences. En touchant le  
plateau supérieur avec un fil de fer après 1 , 2 , 3 , 4 , 5  
et 10 contacts , les feuilles d'or ont été écartées de  $9^{\circ} \frac{2}{3}$  ,  $20^{\circ}$  ,  
 $25^{\circ}$  ,  $31^{\circ}$  ,  $41$  et  $88^{\circ}$ .

En touchant le plateau supérieur avec un fil de pla-  
tine , un seul contact n'a produit qu'une faible déviation,  
qui s'est élevée à  $15^{\circ}$  après trois contacts et à  $53^{\circ}$  après  
20.

Les expériences avec le platine ont été faites en em-  
ployant un fil de platine qui venait d'être rougi dans la  
flamme d'alcool , et en lavant les mains avec de l'eau dis-  
tillée. Je m'étais assuré d'avance en effectuant un grand  
nombre de contacts successifs , dans lesquels je touchais  
le plateau supérieur avec le doigt , que les plateaux ne  
recélaient point d'électricité.

Le fait nouveau du développement de l'électricité par  
le contact de l'or et du platine , a été aussi constaté direc-  
tement au moyen d'un condensateur simple d'une ex-

trême sensibilité obtenue en donnant aux couches de vernis une épaisseur convenable et en rendant leurs surfaces parfaitement planes.

Au moyen du condensateur double et du condensateur ordinaire, j'ai reconnu que tous les métaux sur lesquels j'ai opéré étaient positifs par rapport à l'or, et que ces métaux rangés dans l'ordre de leur faculté électromotrice, par rapport à l'or, se plaçaient ainsi qu'il suit :

Zinc,  
 Plomb,  
 Étain,  
 Bismuth,  
 Antimoine,  
 Fer,  
 Cuivre,  
 Argent,  
 Platine.

Les effets produits par le bismuth, l'antimoine et le fer diffèrent si peu les uns des autres, que je n'ai pu les classer qu'en prenant les moyennes d'un grand nombre d'expériences.

Il est évident, d'après les dispositions de l'appareil, que la quantité d'électricité mise en liberté, qui fait diverger les lames d'or, est proportionnelle au nombre des contacts; or, il résulte de nombreuses expériences que jusqu'à 20° environ, la déviation est proportionnelle aux nombres des contacts; ainsi jusqu'à cette limite la déviation est proportionnelle aux quantités d'électricité. Il serait facile de faire une table qui donnerait les quantités d'électricité correspondantes aux déviations qui dépassent

20°, puisque ces quantités sont proportionnelles aux nombres des contacts.

Les condensateurs simples ou multiplicateurs ne peuvent point cependant servir à déterminer les rapports des effets produits par le contact de l'or et des différens métaux, attendu que ces rapports varient notablement avec l'épaisseur des couches de vernis des plateaux, comme je m'en suis assuré en comparant les résultats d'expériences faites avec différens appareils.

L'instrument que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie, étant d'une sensibilité en quelque sorte indéfinie, offre à la physique un nouveau moyen d'investigation qui, je l'espère, contribuera à éclaircir les phénomènes singuliers qui se produisent dans le contact des corps.

---

*Mémoire sur l'Influence de l'Action chimique dans la production de l'Électricité par le Frottement ;*

PAR M. L. PÉCLET.

Dans un Mémoire de Wollaston, publié en 1800 et inséré dans le seizième volume des *Annales de Physique et de Chimie*, ce célèbre physicien, après avoir cité des expériences qui tendraient à faire considérer la production de l'électricité voltaïque comme due à l'oxidation d'un des métaux, et avoir démontré par d'ingénieuses expériences l'identité de l'électricité voltaïque et

de celle qui résulte du frottement , cherche à établir que pour cette dernière, l'oxidation de l'enduit des coussins est la cause de la production de l'électricité ; il s'appuie sur l'inefficacité des amalgames de platine et d'argent, la grande puissance des amalgames très oxidables d'étain et de zinc, et dit ensuite :

« Pour savoir enfin positivement si l'oxidation contribue au développement de l'électricité, je montai un petit cylindre, avec des coussins et ses conducteurs, dans un vase tellement disposé, que je pouvais à volonté changer l'air qu'il contenait. Après avoir essayé son degré d'énergie dans l'air ordinaire, j'y substituai l'acide carbonique, et je trouvai que tout développement d'électricité était suspendu. Il revint aussitôt que l'on introduisit dans le vase de l'air atmosphérique. »

Dans une note de M. Gay-Lussac, relative au passage que je viens de rapporter, il est dit : « On obtient de l'électricité avec des amalgames très oxidables, dans une atmosphère d'acide carbonique, pourvu que ce gaz soit privé de la plus grande partie de son eau hygrométrique. »

M. Becquerel, dans son *Traité sur l'électricité* (t. II, p. 131), rapporte l'expérience de Wollaston, mais ne fait aucune mention de la note de M. Gay-Lussac et insiste, sans cependant se prononcer, sur ce que, dans un certain nombre de cas, la porphyrisation, qu'il assimile au frottement, et le simple frottement dans d'autres cas, produisent des décompositions chimiques.

Comme on obtient de l'électricité par le frottement de corps qui sont sans action les uns sur les autres, et sur lesquels il est absolument impossible d'admettre une action chimique de la part de l'air, par cela seul il était

probable que Wollaston avait été induit en erreur par une dessiccation insuffisante de l'acide carbonique sur lequel il avait opéré, et la note de M. Gay-Lussac en donne la certitude. Mais il était important de reprendre ces expériences, et de déterminer s'il y a identité ou une différence quelconque dans les effets du frottement quand on opère dans l'air, ou un gaz sans action sur les corps frottés.

Ce sont ces expériences qui forment l'objet de ce Mémoire. Je pense qu'elles résolvent complètement la question.

Lorsqu'on dégage de l'électricité par le frottement, dans un gaz quelconque, le gaz peut agir de deux manières sur les effets observés : il peut agir comme corps plus ou moins bon conducteur, ou comme intervenant directement dans la production ; il fallait donc commencer par comparer la conductibilité de l'air et de différens gaz.

Pour cela, j'ai fait construire deux balances de Coulomb, de même forme, de même grandeur, aussi identiques que possible dans toutes leurs parties. Dans chacune d'elles, à la hauteur du levier, le verre était percé d'un orifice dans lequel était mastiqué un petit tube de verre, renfermant une tige de cuivre, terminée par des boules métalliques égales. L'intérieur du vase communiquait au dehors par deux tubes dont l'un s'élevait jusqu'à son sommet et l'autre seulement jusqu'à une petite distance du fond. Ces tubes étaient destinés à changer le gaz renfermé dans les vases. Le tube destiné à l'introduction des gaz communiquait avec un large tube extérieur rempli de chlorure de calcium, de 60 centimètres

de longueur. Un de ces appareils communiquait avec une soufflerie, l'autre avec un appareil destiné à produire de l'acide carbonique. Avant de procéder aux expériences, je m'étais assuré que les deux appareils avaient la même force de torsion; en donnant aux boules extérieures les mêmes charges électriques, les boules mobiles étaient repoussées sensiblement à la même distance angulaire, et restaient, à très peu près, le même temps pour revenir au contact. Pour donner aux deux boules fixes des balances la même charge, je me servais de deux boules métalliques égales, fixées aux extrémités de deux tiges de verre recouvertes de gomme-laque; une des deux boules était chargée directement, et en mettant les deux en contact, l'électricité se répartissait également entre elles, après quoi on les mettait simultanément en communication avec les boules extérieures des deux balances.

Les expériences ont été faites de la manière suivante. On a fait passer dans une des balances un courant d'air sec, et dans l'autre un courant d'acide carbonique également desséché. On analysait de temps en temps le gaz qui sortait de la cloche où l'on faisait passer ce dernier gaz, et lorsque le gaz sortant ne renfermait plus que  $\frac{1}{11}$  environ de son volume d'air, on donnait aux boules extérieures des balances des charges égales, et l'on observait les écarts à différentes époques. Voici les résultats d'une de ces expériences :

| Temps comptés<br>à partir de l'origine de<br>la répulsion. | Déviations<br>dans la balance<br>pleine d'air. | Déviations dans la balance<br>pleine<br>d'acide carbonique. |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 45"                                                        | (22° à 35°)                                    | (24° à 26°)                                                 |
| 105"                                                       | (20° à 25°)                                    | (22° à 26°)                                                 |
| 135"                                                       | 18°                                            | 19°                                                         |
| 150"                                                       | 0°                                             | 3°                                                          |

Les chiffres renfermés dans les parenthèses indiquent les limites des oscillations. Plusieurs autres ont donné sensiblement les mêmes résultats ; et en changeant la balance dans laquelle on faisait passer l'acide carbonique, je me suis assuré que le même appareil donnait toujours les plus grandes déviations. Ainsi, l'inégalité très petite des résultats devait être attribuée à l'inégalité des appareils, et j'ai admis que les facultés conductrices de l'air et de l'acide carbonique sont sensiblement les mêmes.

Il semble qu'il était inutile de faire passer un courant d'air sec dans un des appareils, et qu'il aurait suffi d'y introduire des capsules pleines de chlorure de calcium. C'est ce que j'avais pensé d'abord ; mais j'obtins ainsi des résultats bien différens de ceux que je viens de rapporter. La déviation était beaucoup plus grande dans l'acide carbonique que dans l'air, et le temps pour revenir au contact était 4' 8" dans l'acide carbonique, et seulement 3' 5" dans l'air. Je pensai alors que cette différence pouvait provenir de ce que l'acide carbonique était plus sec que l'air ; je répétai les expériences en desséchant également les deux gaz ; j'obtins alors sensiblement les mêmes résultats pour chacun d'eux.

D'après ces expériences, l'acide carbonique et l'air ayant sensiblement la même faculté conductrice, s'il

existe une différence dans la quantité d'électricité développée par le frottement dans ces deux gaz, cette différence ne pourra provenir que d'une action directe du gaz dans la production de l'électricité.

Pour effectuer le frottement dans différents gaz, je me suis servi d'une cloche reposant par sa partie inférieure sur un socle en bois monté sur trois pieds; au centre du socle se trouvait une boîte à étoupes, traversée par une tige en fer, portant au-dessus du socle un cylindre de verre concentrique, et en dessous une roue dentée conique engrenant avec une autre d'un plus grand diamètre, mobile à l'aide d'une manivelle. Sous la cloche se trouvait un coussinet fixe enduit d'or mussif, et du côté opposé un peigne métallique communiquant à un fil de cuivre qui sortait de la cloche et se prolongeait jusqu'à un électroscope placé dans une cloche dont l'air était desséché par du chlorure de calcium. A travers le socle passaient deux tubes de verre destinés l'un à amener le gaz desséché, l'autre à le faire sortir. En opérant sur de l'air de la cloche préalablement desséché pendant douze heures par du chlorure de calcium, et sur l'acide carbonique complètement desséché, et qu'on avait fait passer dans le vase pendant un temps assez long pour que le gaz de la cloche ne renfermant plus que  $\frac{1}{18}$  d'air environ, en donnant à la manivelle des vitesses dans les rapports de 1, 2 et 4, les indications de l'électroscope ont été pour l'air successivement de (25 à 28°), (30 à 35°) et (40 à 45°), et pour l'acide carbonique (30 à 35°), 45° et 95°.

Mais en faisant passer dans la cloche un courant d'air préalablement desséché, j'ai obtenu exactement les mê-

mes résultats que pour l'acide carbonique. Dans ces expériences , j'ai presque toujours observé des oscillations dans les indications de l'électroscope, parce que le cylindre mobile n'était pas parfaitement rond , et par suite que dans une révolution la distance de sa surface aux pointes était variable ; j'ai aussi observé que toutes les fois que l'air extérieur était humide , les indications de l'électroscope s'élevaient à mesure que la vitesse augmentait , et d'autant plus que l'air était plus humide , parce que je n'avais point pris dans cet appareil les précautions nécessaires pour soustraire les conducteurs extérieurs à l'action de l'air ; car j'ai démontré , dans un Mémoire que j'ai eu l'honneur d'adresser à l'Académie , il y a deux ans , que quand on s'oppose à la déperdition de l'électricité par les conducteurs , la tension de l'électricité développée par le frottement est indépendante de la vitesse.

Les expériences que je viens de rapporter ne m'ont cependant point paru suffisantes , parce que l'acide carbonique renfermait une petite quantité d'air. Alors , pour éviter toute objection , j'ai fait construire un appareil semblable à celui que j'ai décrit , mais de plus petites dimensions , et disposé de manière qu'on peut y faire le vide et le remplir de différens gaz desséchés. J'ai opéré sur l'air , sur l'hydrogène et sur l'acide carbonique ; pour ces deux derniers les expériences n'ont été faites qu'après que l'appareil a été vidé et rempli successivement six fois. Toujours et pour tous ces gaz j'ai obtenu les mêmes résultats.

D'après cela , il ne doit plus y avoir le moindre doute sur l'erreur de Wollaston , et je pense qu'il est mainte-

nant bien démontré que dans la production de l'électricité par le frottement l'action de l'air sur les enduits plus ou moins oxidables des frottoirs n'a aucune influence.

---

*De la Force chimique du Courant électrique , et de ses Rapports avec le mode de Combinaison des Corps décomposés ;*

PAR M. CH. MATTEUCCI.

PREMIÈRE PARTIE.

Les découvertes dernièrement faites sur l'électricité voltaïque, nous ont mis à même de résoudre un grand nombre de questions relatives au développement de cette électricité et à ses propriétés électro-chimiques. Je citerai comme une des plus importantes le rapport constant découvert entre la quantité d'électricité développée et mesurée par la quantité du métal électro-positif dissous, et les produits électro-chimiques, c'est-à-dire l'hydrogène, dont la quantité *équivalente* au zinc dissous, se trouve transportée sur le métal électro-négatif. — Ce principe découvert et établi par les célèbres recherches de Faraday, et annoncé aussi à peu près dans le même temps dans un petit mémoire que j'ai publié dans le n° de janvier 1835, des *Annales de Physique et de Chimie*, et auquel j'étais parvenu par des expériences bien différentes de celles de Faraday, fut suivi de la dé-

couverte non moins fondamentale des équivalens électro-chimiques; c'est-à-dire que des quantités équivalentes chimiquement des différens métaux développent, lorsque ces métaux s'oxydent, une quantité d'électricité constamment la même, et douée du même pouvoir chimique. La propriété qu'on a distinguée sous le nom d'intensité électro-chimique ou force électrolytique de Faraday, n'a pas été également étudiée. Faraday établit que le pouvoir du courant de décomposer une certaine combinaison ne dépend pas de la quantité d'électricité développée, mais de cet autre élément qu'on a appelé intensité, et qui est, suivant lui, relatif à l'intensité de l'action chimique *électro-générante*. — C'est ainsi qu'il dispose en série des combinaisons suivant l'intensité plus ou moins grande qu'il reconnaît nécessaire dans l'action chimique qui développe l'électricité, et qui est employée pour les décomposer. Il apporte en preuve que, tandis qu'il trouve impossible de décomposer certaines combinaisons tout en augmentant la surface du couple, il y parvient en ajoutant au liquide une goutte d'acide et en conservant la même surface au couple. — Il ne suffit donc pas, suivant Faraday, d'augmenter la quantité du fluide électrique développé, pour que le courant devienne capable d'opérer une certaine décomposition chimique : il faut qu'il soit développé par une action chimique d'une certaine intensité. Le but des recherches contenues dans ce mémoire, c'est de montrer que, soit dans le cas d'une pile élémentaire, soit dans celui d'une pile composée d'un plus ou moins grand nombre de couples, le courant acquiert toujours une force électro-chimique plus grande, c'est-à-dire qu'il

devient capable de décomposer des combinaisons plus intimes par le seul accroissement de la *quantité du fluide électrique développé et mis en circulation*, et qu'il arrive qu'une augmentation de surface du métal dissous n'a pas toujours pour effet la circulation d'une plus grande quantité d'électricité, tandis que cette circulation plus grande peut être opérée par un changement dans le liquide qui excite le courant et rend plus grande la portion qui circule, sans que pour cela la quantité totale de l'électricité développée soit accrue.

Je décrirai d'abord l'appareil très simple que j'ai employé dans toutes ces expériences. Un flacon ordinaire, capable de contenir quatre à cinq onces d'eau, était préparé avec un excellent bouchon de liège bien couvert de vernis. Une lame de zinc distillé, ou bien de zinc ordinaire amalgamé à défaut du premier, large de 3 centimètres et haute de 4, soudée à un fil de cuivre, se trouvait ajustée au bouchon; une lame de platine également large, soudée aussi à un fil de cuivre, y était également ajustée. Les deux fils de cuivre qui sortaient du flacon, bien scellés dans ce bouchon, étaient couverts de vernis, surtout dans le point de leur soudure aux lames. Un tube de verre de trois millimètres de diamètre, plié en U, était aussi fixé au centre du bouchon, de manière à avoir l'une des branches dans le flacon et l'autre en dehors. On conçoit très aisément qu'après avoir bien rempli le flacon du liquide et luté le bouchon, si du gaz vient à se développer dans l'intérieur, il déplacera une portion du liquide qui, en sortant du tube, peut être recueilli dans une cloche graduée, et indiquer par là la quantité de gaz développée.

Après avoir préparé une vingtaine de ces petits flacons avec leurs piles, j'ai pu tenter les expériences que je vais rapporter. — Le liquide que j'ai employé le plus ordinairement dans ces piles était de l'eau distillée acidulée par de l'acide sulfurique à 66°, de manière à marquer  $1 \frac{1}{2}^{\circ}$  ou  $2^{\circ}$  à l'aréomètre. Il faut tenir compte du peu de gaz qui est développé sur la lame de zinc sans que le circuit soit fermé, ce qui arrive surtout avec le zinc amalgamé. Je rappellerai d'abord un principe déjà établi par le galvanomètre et confirmé par des recherches directes de Faraday : quel que soit le nombre des couples d'une pile, si le circuit électrique est fermé par un fil métallique assez gros, le gaz hydrogène développé est le même pour chaque couple, et égal aussi à celui qui serait développé par un couple élémentaire dont les deux lames seraient réunies par un même fil métallique. Il importe maintenant de bien établir que ce principe cesse de se vérifier lorsque le circuit électrique est fermé d'une manière imparfaite. J'établis la circulation du courant de mes piles à travers un liquide contenu dans un flacon pareil à celui des piles, avec la seule différence qu'il y a deux lames de platine au lieu d'une de zinc et une de platine. C'est un flacon dans lequel les deux électrodes sont deux lames de platine égales à celles des couples, et également éloignées l'une de l'autre. Une circulation incomplète entre les deux lames d'un couple, peut être établie aussi par un arc métallique, en employant des fils longs et extrêmement minces. Lorsque la circulation de l'électricité de la pile est établie d'une manière imparfaite, le principe déjà rapporté doit être modifié de la manière suivante : la quantité d'électricité

développée et circulant dans chaque couple augmente avec le nombre de ces couples ; elle est d'autant supérieure à celle qui serait développée par un seul couple que le nombre des élémens est plus grand. Cette quantité d'électricité circulante qui décompose un certain liquide, donne des produits égaux et sur la lame (platine) des couples et sur la lame électrode correspondante : enfin, tout changement apporté dans les conditions du liquide décomposé, c'est-à-dire dans la distance entre les électrodes, leur étendue, la nature du liquide, etc., est à l'instant exprimé par un changement correspondant dans la quantité d'électricité développée et circulant entre chaque couple, et mesuré par l'hydrogène dégagé sur la lame platine de la pile ; en un mot, c'est toujours la même quantité d'hydrogène qui est développée sur la lame platine des couples et sur l'électrode négatif. — Je décrirai quelques unes des expériences faites pour établir ces résultats. Un de mes couples élémentaires fut réuni d'abord par des fils de cuivre longs de 3 décimètres, et ayant  $\frac{1}{8}$  de millimètre de diamètre. En tenant le circuit fermé pendant 30' j'ai obtenu les résultats suivans ;

Avec deux fils, l'hydrogène développé a été de 26 cc., avec trois de 34 cc., et avec quatre de 38 cc. En changeant le nombre des couples et en faisant passer le courant par une solution de iodure de potassium, les résultats sont les suivans :

Avec un seul couple, le gaz hydrogène dégagé dans 10' sur la lame platine du couple est de 2 cc. ; avec deux couples, le gaz dégagé sur la même lame platine du premier couple devient dans 3' de 5 cc. ; avec trois cou-

ples il devient en 2' de 7 cc., et avec quatre couples il est de 13 cc. dans 1'. En réduisant à l'unité de temps, on a les nombres 0,2 cc., 1,6 cc., 3,5 cc., 13 cc. Si au lieu d'avoir un liquide décomposable, on en emploie un autre qui ne le soit pas, la quantité d'hydrogène développée reste constante, même en augmentant le nombre de couples; il faut, pour qu'elle change, parvenir au nombre de couples auquel a lieu la décomposition du liquide. Si au lieu d'employer une solution d'acide sulfurique, on y ajoute quelques gouttes d'acide nitrique, on voit les gaz dégagés sur les électrodes augmenter très rapidement, mais toujours un dégagement égal a lieu sur la lame platine des couples. On pourrait aussi parvenir aux mêmes résultats en tenant compte du zinc dissous, comme je l'avais fait dans un travail déjà cité, mais certainement cette méthode ne mérite pas autant de confiance que celle-ci. — Il me reste maintenant à expliquer comment la quantité d'électricité développée et circulant dans chacun des couples augmente avec leur nombre.

Nous admettons avec M. de la Rive, que l'électricité libre dans les deux couples extrêmes d'une pile est celle qui circule en partie par l'arc intermédiaire et en partie par la pile même. Cette dernière portion du courant a dans la pile une direction opposée au courant de chaque couple, et en détruit, par conséquent, une quantité correspondante. Augmenter le nombre des couples, c'est rendre plus mauvais conducteur l'intérieur de la pile; et c'est par conséquent affaiblir la portion du courant qui se décharge dans la pile dans une direction opposée aux courans élémentaires. — Examinons maintenant un autre cas dans lequel nous parvenons à augmenter la

force chimique du courant : c'est celui que j'ai découvert dernièrement et décrit dans le mémoire publié dans le cahier de novembre 1837 des *Annales de Chimie et de Physique*. Il consiste à diminuer la surface des lames qui transmettent le courant dans le liquide. Il suffit de la plus simple considération pour ne voir dans ce fait qu'une nouvelle preuve du principe que nous avons établi. Ce n'est pas qu'en rétrécissant la surface des lames qui transmettent le courant dans le liquide, on augmente la quantité totale d'électricité circulante : au contraire, on doit la diminuer ; mais la quantité qui se présente à un filet liquide pris pour unité, est bien plus grande lorsque les lames sont plus étroites.

Examinons enfin le cas rapporté par Faraday, d'un couple zinc et platine qui décompose un certain électrolyte quand on ajoute à la solution d'acide sulfurique quelques gouttes d'acide nitrique, tandis que cela n'arrive pas en augmentant la quantité de l'acide sulfurique ou en augmentant l'étendue de la lame zinc. Faraday admet qu'on augmente de cette manière l'intensité de l'action chimique électro-générante, et par là la force chimique du courant, tandis que cela n'arrive pas en augmentant la quantité d'électricité développée. — Il faut avouer qu'il est bien difficile de comprendre comment une action chimique plus intense n'est pas accompagnée par une plus grande quantité d'électricité développée, puisque celle-ci est mesurée par la quantité de métal dissous par l'action chimique. J'ai commencé par répéter l'expérience de Faraday ; un de mes couples élémentaires était déchargé à travers une solution d'iode de potassium : la décomposition avait lieu, et tou-

jours d'une manière plus intense sur des fils de platine, que sur des lames larges de deux ou trois centimètres. Le courant de la même pile fut ensuite transmis à travers une solution de nitrate d'argent très concentrée et mêlée à du nitrate de cuivre. Il n'y eut dans ce cas, ni sur les lames, ni sur les fils, trace de décomposition. J'ajoutai une plus grande quantité d'acide sulfurique au liquide de la pile, sans obtenir aucune trace de décomposition. Quelques gouttes d'acide nitrique ajoutées, produisent immédiatement la décomposition du nitrate, confirmation, pour ce point, du fait avancé par Faraday. Je fis usage ensuite de piles élémentaires d'une très grande étendue; je pris une lame de zinc qui avait un mètre carré de surface et une lame égale de cuivre; je plongeai ces deux lames dans une cuve contenant le liquide employé dans la petite pile: je vis la solution du nitrate d'argent décomposée soit sur les lames, soit sur les fils. J'ai employé encore une pile élémentaire plus étendue. Dans une chaudière de cuivre dont la surface était de 2m. c., je plongeai, à la distance de trois centimètres, une lame de zinc qui avait une surface concentrique à celle du cuivre, et à peu près la même étendue; j'employai pour liquide de l'eau de puits qui n'était pas acidulée: la solution de nitrate d'argent était également décomposée. Voilà donc deux exemples qui montrent que l'augmentation dans l'étendue des surfaces de la pile donne au courant une intensité électro-chimique plus grande. On peut comprendre très aisément comment, dans l'expérience de Faraday, une augmentation qui n'est pas trop grande ne donne pas une plus grande force électro-chimique. Rappelons ici que cette force

dépend uniquement de la quantité d'électricité qui est mise en circulation, quantité qui est liée intimement avec l'étendue de la lame négative, avec sa nature plus ou moins attaquable par le liquide, et avec la conductibilité et l'électrolytation plus ou moins facile de ce liquide. En augmentant la surface du métal attaqué dans une pile qui ne se décharge pas par un conducteur métallique, on ne fait que développer une plus grande quantité d'électricité qui se recompose sur la surface même du métal positif, sans augmenter sensiblement la portion qui circule.

Voyons enfin en quoi consiste l'action de l'acide nitrique. D'abord, je fais observer qu'en employant une solution d'acide nitrique sans l'acide sulfurique dans un de mes couples, je n'obtiens jamais la décomposition du nitrate d'argent. Une seule goutte d'acide sulfurique ajoutée à la solution nitrique, suffit pour que cette décomposition ait lieu. En comparant les résultats obtenus avec différentes solutions d'acide sulfurique plus ou moins concentrées, et des solutions nitro-sulfuriques, on trouve, même en faisant passer le courant par un arc métallique, de grandes différences dans la quantité d'électricité qui est mise en circulation. J'ai tenu le circuit électrique fermé pendant deux minutes, avec trois de mes piles élémentaires, formant chacune un circuit séparé. Dans la première, la solution était de l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique qui marquait 5°; dans la seconde était une solution très concentrée du même acide; dans la troisième était la première solution, à laquelle on avait ajouté quelques gouttes d'acide nitrique. Les quantités d'hydrogène développées et transportées

sur la lame de platine ont été de 26 pour la première, 44 pour la seconde, et 55 pour la troisième.

Malheureusement je n'ai pu, avec des piles élémentaires, faire passer le courant à travers de l'eau et en obtenir la décomposition : les produits ne sont pas mesurables. On conçoit très aisément que les différences que nous avons trouvées lorsque le courant est transmis par un arc tout métallique, doivent être d'autant plus grandes que l'arc est moins bon conducteur. En employant des piles composées d'un certain nombre de couples, nous avons déjà vu s'accroître considérablement la quantité d'électricité mise en circulation par l'effet de quelques gouttes d'acide nitrique ajoutées à l'eau acidulée par l'acide sulfurique. L'action de l'acide nitrique se réduit donc à laisser circuler une plus grande proportion de l'électricité développée, et cela par la perte moins grande qu'il fait subir au courant électrique dans son passage du liquide au platine, et surtout en rendant le liquide plus aisément décomposable par le courant électrique.

## SECONDE PARTIE.

L'objet de cette seconde partie de mon travail sur la force chimique du courant voltaïque, c'est d'établir les rapports qui existent entre l'action décomposante du courant électrique et l'état de combinaison dans lequel se trouvent les élémens séparés par ce courant. J'entends par état de combinaison, le nombre relatif des équivalens chimiques dans lequel ces élémens se trouvent, et l'ordre de la combinaison décomposée, en distinguant avec les chimistes les combinaisons binaires de premier,

de second et de troisième ordre. Je partagerai ce travail en trois sections dont les deux premières composent le second mémoire.

I<sup>re</sup> SECTION. — *De la décomposition voltaïque opérée simultanément sur deux combinaisons mêlées ensemble.*

Toutes les fois que le courant électrique passe à travers un liquide composé de plusieurs combinaisons mêlées ensemble, on trouve aux pôles des produits différens et variables. Ces produits ont été distingués en *primitifs* et *secondaires*. Les produits secondaires sont dus à l'action chimique exercée quelquefois entre les produits primitifs eux-mêmes, quelquefois encore à l'action de ces produits sur la matière même des pôles ou électrodes, et plus souvent à l'action de ces produits primitifs sur les substances dissoutes dans le liquide parcouru par le courant. C'est en dirigeant convenablement ces actions, en choisissant la substance des pôles à propos, en disposant des corps différens sur la route du courant, en réglant la force du courant suivant les circonstances, que M. Becquerel est parvenu à nous donner une foule de produits, si remarquables par l'analogie qu'ils ont avec ceux que présente la nature.

C'est surtout après les travaux de Faraday qu'on est parvenu à établir d'une manière très rigoureuse l'existence de ces produits secondaires. Il faut pour cela faire passer le courant à travers de l'eau contenue dans un appareil propre à recueillir et à mesurer les gaz développés, et dans le même temps à travers une solution dans l'eau de la substance dont on veut déterminer la nature

des produits séparés aux pôles. Toutes les fois que l'hydrogène, par exemple, développé dans l'eau au pôle négatif est précisément dans la même quantité que l'hydrogène séparé au pôle du même nom dans la solution, on peut conclure que les produits du pôle positif dans cette même solution sont secondaires, s'ils ne consistent pas dans de l'oxygène dont la quantité soit équivalente à celle de l'hydrogène. C'est en soumettant des combinaisons binaires anhydres à l'état de fusion au passage du courant dans le même temps que de l'eau, que M. Faraday a découvert l'action chimique *définie* du courant électrique, et a tiré de là la loi des équivalens électrochimiques. J'étais parvenu à ce même résultat en employant, au lieu des combinaisons binaires anhydres à l'état de fusion, des solutions salines à base d'oxide métallique. Nous verrons par la suite de ce travail que cette méthode pouvait aussi conduire à la découverte de cette loi.

Pour commencer l'étude de l'action du courant électrique qui fait le sujet de cette section, j'ai commencé par bien m'assurer s'il y avait effectivement des composés qui, mêlés ensemble sans se combiner, fussent capables de se laisser décomposer directement par le courant électrique. Quelques expériences que nous devons encore à Faraday m'ont guidé dans ces recherches. C'est à la page 98 de son septième mémoire qu'il expose les résultats obtenus en faisant passer le courant à travers de l'acide hydrochlorique, ou des chlorures dans le même temps qu'à travers de l'eau. Il obtint dans ces premiers liquides de l'hydrogène au pôle négatif, et au pôle positif un mélange de chlore et d'oxygène dont les proportions variaient suivant la proportion dans laquelle l'acide

hydrochlorique était mêlé à l'eau. Après quelques considérations il semble admettre la décomposition directe de l'acide hydrochlorique et des chlorures, opérée dans le même temps que celle de l'eau dans laquelle ils sont dissous. Enfin, il avoue lui-même que ces expériences ne suffisent pas, et que le sujet mérite d'être étudié d'une manière plus étendue. C'est là mon point de départ. — La pile que j'ai employée dans ces recherches est celle décrite dernièrement dans le tome 5, page 300, de l'ouvrage de Becquerel. Le courant est transmis dans les liquides par des lames de platine, préparées de manière à avoir une même étendue, c'est-à-dire hautes de deux centimètres et larges de six millimètres. L'appareil dont j'ai fait usage pour recueillir et mesurer les gaz développés par l'eau a été quelquefois le même qu'a employé Faraday, et quelquefois un autre que j'appelle *voltaïmètre à déplacement*. C'est tout simplement le voltaïmètre que j'ai déjà décrit dans la première partie. — Le liquide que j'emploie dans le voltaïmètre est de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique de la même densité que celle qu'a employée Faraday (1,336). L'autre liquide est contenu dans une capsule au fond de laquelle sont fixées, avec de la cire à cacheter, deux lames de platine disposées parallèlement l'une à l'autre, et s'élevant perpendiculairement au fond de la capsule. Lorsque la capsule est pleine de liquide, on en remplit deux cloches graduées, qu'on renverse ensuite sur les deux lames. Mes premières recherches ont été dirigées dans le but d'établir si l'acide hydrochlorique, les chlorures, les iodures, l'acide hydriodique, mêlés à l'eau, donnaient des produits directs de décomposition par le courant, et si par conséquent ces corps étaient décomposés

séparément et dans le même temps que l'eau avec laquelle ils étaient mêlés. Je crois inutile de rapporter ici les résultats numériques obtenus en faisant ces expériences : je ferai cela plus tard. Je me borne à en tirer les conséquences principales, qui suffisent pour résoudre la question que je me suis proposée. 1° Lorsque le liquide *électrolysé* est composé en grande partie d'acide hydrochlorique, hydriodique, de chlorures, et d'iodures et d'une très petite quantité d'eau, on ne trouve que du chlore ou de l'iode au pôle positif; l'hydrogène développé au pôle négatif donne une quantité d'acide hydrochlorique, hydriodique, de chlorure et d'iodure décomposés, équivalente précisément à la quantité d'eau décomposée dans le voltaïmètre. 2° En augmentant la proportion de l'eau relativement à celle des combinaisons de chlore et d'iode que nous avons nommées, ou en faisant usage d'eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique (1° B.) au lieu d'eau pure, on obtient tout de suite une quantité d'oxygène au pôle positif avec l'iode ou le chlore, et cette quantité d'oxygène est d'autant plus grande que la proportion de l'eau est plus abondante. 3° En rendant plus grande la force chimique de la pile, la proportion de l'oxygène devient proportionnellement plus grande. 4° La quantité d'hydrogène séparée au pôle négatif dans les solutions qui contiennent l'acide hydrochlorique, hydriodique, etc., est différente de celle qu'on obtient au pôle du même nom dans l'eau du voltaïmètre; elle est moindre lorsque les solutions sont saturées des combinaisons de chlore et d'iode, et que la force de la pile n'est pas bien grande; le contraire a lieu dans les cas opposés. — Les expériences principales dont nous allons rapporter les résultats numériques, établissent non seu-

lement les conséquences que nous avons tirées, mais déterminent aussi la loi qui règle la décomposition directe et simultanée des deux combinaisons mêlées ensemble, et nous donnent d'une manière rigoureuse l'ordre dans lequel ces combinaisons se laissent décomposer par le courant électrique. Je rapporterai d'abord trois expériences faites avec l'acide hydrochlorique : l'oxygène seul est mesuré au pôle positif, vu qu'il m'a paru impossible d'avoir justement le volume du chlore développé, à cause de la portion qui se dissout dans le liquide. Le peu qui reste à l'état gazeux est absorbé par du mercure. La pile employée était de 60 couples de la construction citée : le courant parcourait dans le même temps l'eau du voltaïmètre et le liquide chargé d'acide hydrochlorique. Ce liquide était, dans la première expérience, composé de 1 d'acide à 100 d'eau en volume. J'ai obtenu 32,4 cent. cubes de mélange gazeux dans le voltaïmètre, et dans l'autre liquide 21,4 cent. cubes d'oxygène. Enfin, j'ai préparé un second liquide composé de 10 d'acide avec 100 d'eau en volume, et j'ai obtenu pour 25,5 cent. cubes de mélange gazeux dans le voltaïmètre, 17,4 cent. d'hydrogène et 1,2 cent. cubes d'oxygène. Enfin j'ai fait un mélange de 1 d'acide avec 100 d'eau légèrement acidulée par de l'acide sulfurique (2° B.) et j'ai obtenu pour 38 cent. cubes de mélange gazeux, 21,3 centimèt. cubes d'hydrogène et 5 cent. cubes d'oxygène. — En employant l'acide hydriodique au lieu de l'acide hydrochlorique j'obtiens les résultats suivans : je mêle en proportion égale en volume une solution d'acide hydriodique qui marque 3° B. avec de l'eau acidulée par l'acide sulfurique qui marque 1° B., et j'ai avec la pile précédente pour 16 cent. cubes de mélange gazeux dans le voltaïmètre,

12 cent. cubes d'hydrogène et 2 cent. cubes d'oxygène : l'iode dans ce cas se montre au pôle positif, comme le chlore, et se dissout dans le liquide. En mêlant les mêmes liquides dans la proportion de 2 d'eau acidulée avec 1 d'acide hydriodique, j'obtiens pour 9,8 cent. cubes de mélange gazeux, 6,5 cent. cubes d'hydrogène et 1 cent. cube d'oxygène. J'ai fait encore un grand nombre d'expériences avec les iodures de potassium : dans ce cas, au lieu de potassium, on a au pôle négatif une quantité d'hydrogène qui lui est équivalente. Je prends d'abord une solution d'iodure de potassium qui marque 3° B., et j'obtiens avec la même pile pour 16,2 centim. cubes de mélange gazeux dans le volaïmètre 9,5 centim. cubes d'hydrogène et 1 cent. cube d'oxygène. Je mêle cette solution avec une quantité égale en volume d'eau acidulée par de l'acide sulfurique qui marque 2° B., et j'obtiens pour 17,4 cent. cubes de mélange gazeux, 13 cent. cub. d'hydrogène et 5 cent. cub. d'oxygène. J'emploie ensuite la même pile réduite à 30 couples, et j'ai pour 12,5 cent. de mélange gazeux, 10 cent. cubes d'hydrogène et 2 centim. cubes d'oxygène. Pour mieux comparer ces résultats en tenant compte de la force chimique de la pile, je note au volaïmètre le temps employé à produire un volume déterminé de gaz. Je prends un liquide composé d'un volume d'une solution d'iodure de potassium qui marque 3° B., mélangé avec deux volumes d'eau acidulée par de l'acide sulfurique (1° B.). Le courant que j'ai employé m'a donné 1 cent. cube en 240" : j'obtiens pour 8,2 cent. cubes de mélange gazeux, 5,6 cent. cubes d'hydrogène et 1 cent. cube d'oxygène. En rendant plus acide la solution liquide de la pile, j'obtiens dans les mêmes circonstances 1 cent. cube en 40", c'est-à-dire une force

chimique six fois plus forte. J'ai dans ce cas, pour 9,7 cent. cubes de mélange, 6,7 cent. cubes d'hydrogène et 2 cent. cubes d'oxygène. Je rapporte encore deux expériences : je prends une solution d'iodure de potassium qui marque 5° B., et j'obtiens avec la pile de 60 couples pour 19 cent. cubes de mélange gazeux dans le voltaïmètre, 12 cent. cubes d'hydrogène et 1 cent. cube d'oxygène dans la solution. Je mêle cette solution d'iodure avec le double d'eau acidulée qui marque 2° B., et j'ai pour 30 cent. cubes du mélange gazeux, 22 cent. cubes d'hydrogène et 7,3 cent. cubes d'oxygène.

Si par un simple calcul on rapporte les quantités d'hydrogène et d'oxygène obtenues dans les solutions de chlore et d'iode employées, à un volume déterminé de mélange gazeux obtenu dans l'eau du voltaïmètre, on voit apparaître les conséquences que nous avons déjà rapportées. C'est en partant de ces conséquences qu'on parvient à découvrir la loi qui règle la décomposition simultanée et directe des deux combinaisons mêlées ensemble. Je prendrai une des expériences décrites pour faire voir comment, dans ce cas, on peut la déduire ; il sera facile de répéter pour toutes les autres les mêmes raisonnemens et les mêmes calculs. Nous avons dans une expérience 19 cent. cubes de mélange gazeux, c'est-à-dire 10,12 milligr. d'eau en poids ; dans la solution d'iodure, nous avons 12 cent. cubes d'hydrogène et 1 cent. cube d'oxygène. Je prends 2 cent. cubes d'hydrogène et 1 cent. cube d'oxygène, et j'ai 3 cent. cubes d'un mélange gazeux qui pèse 1,61 milligr. ; les 10 cent. cubes d'hydrogène qui nous restent sont équivalens à 147,8 milligr. d'iodure de potassium décomposé, qui peuvent se réduire à 8 milligr. d'eau. Nous avons donc 9,61 milligr.

d'eau décomposée, ce qui est à peu près la quantité d'eau décomposée dans le voltaïmètre. — Dans d'autres expériences, on trouve ces nombres encore plus rapprochés. La loi de cette décomposition directe et simultanément opérée par deux combinaisons mêlées ensemble, est très simple : l'action chimique du courant est toujours définie; si deux combinaisons mêlées ensemble sont décomposées par le courant directement, la quantité de deux combinaisons qui est décomposée est équivalente à la quantité qu'on obtient en décomposant séparément une seule par un courant de même force.

En opérant sur des combinaisons de chlore avec des métaux qui ne décomposent pas l'eau à l'état naissant, c'est-à-dire lorsqu'ils se trouvent dans l'eau séparés par le courant, tels que le platine, l'or, le cuivre même, on parvient au même résultat. On voit, dans ce cas même, plus distinctement la décomposition *directe* et séparée des chlorures et de l'eau. Ainsi, lorsque le courant est très faible et les solutions très concentrées, on n'a pas d'hydrogène au pôle négatif, le métal seul y apparaît; si le courant devient plus intense, et si l'on ajoute de l'eau à la solution, le métal se développe avec de l'hydrogène, et ces deux produits donnent, en eau et en chlorure décomposé, un nombre qui équivaut chimiquement à l'eau décomposée dans le voltaïmètre. Je dois encore faire remarquer que les très légères différences qu'on observe entre la quantité d'eau décomposée au voltaïmètre et celle qui se trouve en sommant l'eau décomposée directement et l'eau équivalente à l'iodure ou au chlorure décomposé, ont toujours lieu dans le même sens. Si la quantité d'iodure ou de chlorure décomposé est plus grande que celle de l'eau, ce qui arrive dans les solutions

très concentrées et avec les courans faibles, la quantité d'eau décomposée dans le voltaïmètre est légèrement plus grande que celle qu'on trouve en sommant les deux combinaisons décomposées ; le contraire a lieu lorsque la quantité d'eau décomposée directement devient plus grande que la quantité d'eau équivalente à l'iodure ou au chlorure décomposé.

Une dernière conséquence, qui résulte encore des expériences que nous avons rapportées, consiste dans la facilité inégale que possède le courant de décomposer les différentes combinaisons. Toutes les fois qu'en augmentant la force chimique de la pile on voit augmenter la proportion d'une certaine combinaison qui est décomposée, comparativement à une autre avec laquelle elle se trouve mêlée, il faut en conclure que la première est moins décomposable que la seconde. Nous concluons de là que l'iodure de potassium, l'acide hydriodique, hydrochlorique, les chlorures, l'eau acidulée par l'acide sulfurique, sont des combinaisons qui se suivent dans l'ordre de leur facilité à être décomposées.

## II° SECTION. — *De la décomposition voltaïque opérée sur des combinaisons binaires de second ordre.*

En parlant des dernières découvertes faites en électrochimie, nous avons dit que lorsqu'on décompose par le courant les combinaisons binaires de premier ordre (oxides, iodures, chlorures, etc.) à l'état de fusion, on obtient une quantité décomposée de ces combinaisons qui est justement équivalente à la quantité d'eau qui dans le même temps est décomposée dans le voltaïmètre par le même courant ; par là on obtient les nombres équi-

valens des métaux qui sont à l'état d'oxide, de chlorure, etc. J'ai voulu étudier ce qui arrivait lorsque ces combinaisons binaires de premier ordre devenaient de second ordre; il m'a été extrêmement difficile d'en trouver, car il fallait en avoir qui fussent facilement fusibles. J'en ai choisi deux de préférence; et quoiqu'on eût pu désirer en avoir un plus grand nombre, toutefois les résultats obtenus sont si constans et exacts qu'ils suffisent à établir quelle est la loi à laquelle obéissent ces combinaisons. Je commence par l'acétate de plomb. On sait ce qui arrive à l'acétate neutre de plomb lorsqu'on le chauffe: d'abord il se fond dans son eau, et cette eau perdue il se solidifie; en continuant à chauffer, il se fond de nouveau, et dans cet état on a de l'acétate de plomb neutre et tout-à-fait anhydre. Si l'action de la chaleur se prolonge, il perd une partie de son acide, et il finit par se solidifier lorsqu'il se trouve réduit à l'état d'acétate tribasique. J'ai donc soumis l'acétate neutre de plomb anhydre, dans l'état de fusion, au courant électrique de ma pile de 60 couples, et dans le même temps ce courant passait par l'eau acidulée du voltaïmètre; du gaz et une couche brun-rougeâtre se forment au pôle positif; au pôle négatif on voit des lamelles de plomb. Lorsque l'expérience est finie, on lave dans de l'eau distillée chaude la lame négative, et si on craint que du plomb ait pu tomber dans l'acétate, on dissout tout l'acétate dans de l'eau. J'ai répété cette expérience bien des fois en changeant la force de la pile, en prolongeant plus ou moins l'expérience; j'ai obtenu constamment un même résultat. Pour 6 cent. cubes de mélange gazeux obtenu dans le voltaïmètre, qui représentent 3,2214 milligr. d'eau décomposée, j'ai 37 milligr. de plomb au pôle négatif; ce

résultat donne 1287 pour le nombre équivalent du plomb, très peu différent du nombre adopté par les chimistes. — Si, au lieu d'employer du sel fondu, je fais passer le courant par une solution d'acétate de plomb dans l'eau, j'obtiens exactement la même quantité de plomb pour la même quantité d'eau décomposée dans le voltamètre. J'ai pris des solutions plus ou moins concentrées, et les résultats ont été constamment les mêmes; au pôle positif il se dépose, comme dans l'acétate fondu, du gaz et une couche de peroxide. Le gaz, c'est de l'oxygène pur, et sa quantité est à peu près  $\frac{1}{10}$  du mélange gazeux du voltamètre; le résultat m'a paru indépendant de la force du courant et de l'état plus ou moins saturé de la solution. La quantité de peroxide m'a paru aussi être la même dans le sel fondu que dans le sel dissous, et dans les cas dans lesquels j'en ai déterminé le poids, j'ai trouvé qu'il était au poids du plomb comme 5 : 3.

Je ferai encore, à propos de la décomposition de l'acétate de plomb, une remarque qui sera développée dans une autre occasion. Si on fait passer le courant dans de l'acétate qui se trouve depuis quelque temps en fusion, et qui est par là près de se changer en acétate tribasique, on a au pôle négatif une quantité de plomb d'autant moindre par rapport à celle qu'on obtient lorsque le sel est encore neutre, que la décomposition est plus avancée, — Le second sel que, à l'état anhydre et de fusion, j'ai pu soumettre au passage du courant, c'est le nitrate d'argent bien pur. L'expérience se fait de la même manière; il y a un grand dégagement de gaz nitreux au pôle positif, et de l'argent se porte au pôle négatif. Si l'on craint que l'argent ne se dissolve, on le recueille en lavant la lame avec de l'eau distillée, à laquelle on a ajouté un peu

d'ammoniaque, et le sel est dissous en entier. Je trouve, pour 6 cent. cubes de mélange gazeux dans le voltai-  
mètre, 39 milligr. d'argent. Ce nombre donne pour équivalent de l'argent 1356 cent. cubes, qui est à peu près le nombre adopté par les chimistes. Ce même résultat s'obtient en employant le nitrate d'argent dissous dans l'eau, au lieu de nitrate fondu, et il est toujours indépendant de la force du courant et de la densité de la solution. Dans le nitrate dissous, on trouve au pôle positif de belles aiguilles noires, qui sont de l'oxide d'argent; c'est un produit remarquable et qui mérite un examen plus approfondi.

Des expériences tentées dans le même but sur les borates neutres de plomb et de zinc m'ont donné les mêmes résultats. Je les décrirai dans le troisième mémoire, étant obligé d'y revenir.

Nous pouvons conclure des expériences rapportées dans cette section que le courant électrique exerce la même action sur une combinaison binaire, soit qu'elle se trouve à l'état de combinaison binaire de premier ordre, soit qu'elle soit à l'état de combinaison binaire de second ordre; en un mot, un oxide fondu est décomposé par le courant, comme cet oxide même l'est étant combiné avec un acide. On peut aussi admettre que les produits obtenus dans les solutions aqueuses de ces sels ne sont pas nécessairement des produits secondaires.

Ravenne, 15 mars 1839.

---

| Jours. | 9 heures du matin. |                  |                      | Midi.           |                  |                      | 3 heures du soir. |                  |                      | 9 heures du soir. |                  |                      | Thermomètre. |        |                                   | ÉTAT DU CIEL A MIDI. | VENTS A MIDI. |
|--------|--------------------|------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|-------------------|------------------|----------------------|-------------------|------------------|----------------------|--------------|--------|-----------------------------------|----------------------|---------------|
|        | Barom.<br>à 0°.    | Therm.<br>extér. | H <sub>g</sub><br>mm | Barom.<br>à 0°. | Therm.<br>extér. | H <sub>g</sub><br>mm | Barom.<br>à 0°.   | Therm.<br>extér. | H <sub>g</sub><br>mm | Barom.<br>à 0°.   | Therm.<br>extér. | H <sub>g</sub><br>mm | Maxim.       | Minim. |                                   |                      |               |
| 1      | 755,53             | -16,6            | 752,71               | 21,3            | 751,45           | -22,6                | 751,26            | 18,2             | 751,26               | 18,2              | 751,26           | 18,2                 | +25,7        | -12,1  | Nuageux.                          | N. E.                |               |
| 2      | 752,98             | -16,9            | 752,65               | 20,1            | 752,14           | -21,0                | 752,92            | 16,0             | 752,92               | 16,0              | 752,92           | 16,9                 | +22,2        | -11,7  | Serein.                           | N. E.                |               |
| 3      | 753,52             | -16,5            | 753,04               | 17,9            | 753,52           | -19,4                | 753,58            | 14,2             | 753,58               | 14,2              | 753,58           | 15,0                 | +21,9        | -9,0   | Beau.                             | N. E.                |               |
| 4      | 753,23             | -14,4            | 752,48               | 17,4            | 750,99           | -19,8                | 750,20            | 15,6             | 750,20               | 15,6              | 750,20           | 16,9                 | +20,8        | -8,5   | Quelques nuages.                  | N. N. E.             |               |
| 5      | 748,41             | -16,2            | 747,61               | 19,2            | 746,60           | -20,0                | 747,17            | 17,4             | 747,17               | 17,4              | 747,17           | 18,5                 | +21,1        | -13,5  | Couvert.                          | N. N. O.             |               |
| 6      | 750,15             | -18,8            | 750,71               | 17,4            | 750,16           | -20,8                | 752,05            | 17,1             | 752,05               | 17,1              | 752,05           | 19,8                 | +21,8        | -15,0  | Gouttes de pluie.                 | N. E.                |               |
| 7      | 754,55             | -20,5            | 755,31               | 22,5            | 755,05           | -22,5                | 751,89            | 19,8             | 751,89               | 19,8              | 751,89           | 20,0                 | +24,5        | -11,7  | Serein.                           | N. E.                |               |
| 8      | 751,05             | -22,5            | 750,50               | 24,5            | 749,00           | -23,7                | 749,48            | 18,1             | 749,48               | 18,1              | 749,48           | 20,6                 | +26,5        | -14,5  | Beau.                             | N. E.                |               |
| 9      | 747,80             | -20,4            | 747,98               | 22,0            | 746,90           | -22,2                | 745,87            | 18,4             | 745,87               | 18,4              | 745,87           | 20,7                 | +25,7        | -12,8  | Voilé.                            | N. E.                |               |
| 10     | 747,42             | -14,2            | 747,91               | 15,9            | 748,15           | -17,2                | 751,00            | 14,0             | 751,00               | 14,0              | 751,00           | 18,6                 | +23,7        | -15,0  | Eclaircies.                       | N. E.                |               |
| 11     | 754,90             | -15,4            | 755,55               | 15,6            | 754,59           | -17,7                | 756,15            | 11,6             | 756,15               | 11,6              | 756,15           | 18,5                 | +18,5        | -10,4  | Beau.                             | N. N. E.             |               |
| 12     | 753,55             | -9,6             | 753,58               | 9,7             | 753,43           | -10,2                | 756,40            | 7,8              | 756,40               | 7,8               | 756,40           | 12,9                 | +19,0        | -6,0   | Nuageux.                          | N. N. O.             |               |
| 13     | 754,29             | -9,1             | 755,80               | 9,8             | 755,90           | -12,6                | 749,84            | 8,9              | 749,84               | 8,9               | 749,84           | 12,9                 | +12,9        | -5,6   | Couvert.                          | N. N. O.             |               |
| 14     | 745,77             | -10,5            | 744,91               | 6,4             | 745,92           | -7,0                 | 745,40            | 4,6              | 745,40               | 4,6               | 745,40           | 11,0                 | +11,0        | -5,8   | Pluie continuelle.                | N. O.                |               |
| 15     | 744,70             | -8,8             | 745,96               | 12,5            | 745,82           | -11,0                | 745,66            | 6,2              | 745,66               | 6,2               | 745,66           | 12,0                 | +12,0        | -4,5   | Couvert.                          | N. O.                |               |
| 16     | 745,55             | -6,2             | 747,52               | 5,8             | 748,58           | -8,7                 | 751,86            | 6,2              | 751,86               | 6,2               | 751,86           | 9,8                  | +9,8         | -4,2   | Couvert.                          | N. O.                |               |
| 17     | 757,91             | -8,5             | 758,17               | 11,1            | 758,36           | -15,2                | 759,75            | 11,0             | 759,75               | 11,0              | 759,75           | 14,0                 | +14,0        | -1,9   | Beau.                             | N. E.                |               |
| 18     | 761,44             | -14,6            | 760,85               | 14,9            | 759,95           | -16,3                | 760,29            | 11,3             | 760,29               | 11,3              | 760,29           | 18,1                 | +18,1        | -4,1   | Beau.                             | N. E. calme.         |               |
| 19     | 760,85             | -17,0            | 761,05               | 19,5            | 761,04           | -18,5                | 761,66            | 14,5             | 761,66               | 14,5              | 761,66           | 19,7                 | +19,7        | -6,0   | Couvert.                          | N. O.                |               |
| 20     | 759,45             | -18,1            | 762,14               | 20,2            | 761,59           | -20,8                | 760,96            | 17,2             | 760,96               | 17,2              | 760,96           | 22,5                 | +22,5        | -10,1  | Couvert.                          | N. N. E.             |               |
| 21     | 759,58             | -18,6            | 758,44               | 20,4            | 757,07           | -22,0                | 758,57            | 16,5             | 758,57               | 16,5              | 758,57           | 25,4                 | +25,4        | -12,0  | Beau.                             | N. O.                |               |
| 22     | 754,08             | -15,1            | 755,60               | 13,6            | 754,25           | -12,4                | 757,02            | 8,4              | 757,02               | 8,4               | 757,02           | 16,0                 | +16,0        | -7,0   | Couvert.                          | N. O.                |               |
| 23     | 753,52             | -8,6             | 759,55               | 11,7            | 758,95           | -11,8                | 758,25            | 7,9              | 758,25               | 7,9               | 758,25           | 12,6                 | +12,6        | -5,6   | Couvert.                          | N. O.                |               |
| 24     | 755,94             | -10,4            | 755,75               | 10,2            | 754,93           | -11,8                | 755,55            | 8,9              | 755,55               | 8,9               | 755,55           | 15,5                 | +15,5        | -6,1   | Couvert.                          | N. O.                |               |
| 25     | 757,19             | -9,0             | 757,55               | 9,8             | 757,97           | -10,8                | 759,66            | 8,5              | 759,66               | 8,5               | 759,66           | 10,7                 | +10,7        | -6,1   | Couvert.                          | N. O.                |               |
| 26     | 760,70             | -9,4             | 760,65               | 11,7            | 760,77           | -12,8                | 760,90            | 10,8             | 760,90               | 10,8              | 760,90           | 15,0                 | +15,0        | -4,0   | Couvert.                          | N. N. E.             |               |
| 27     | 760,97             | -15,5            | 760,54               | 16,4            | 759,88           | -17,8                | 760,42            | 15,8             | 760,42               | 15,8              | 760,42           | 18,9                 | +18,9        | -5,0   | Nuageux.                          | N. N.                |               |
| 28     | 760,80             | -14,0            | 759,75               | 17,8            | 759,10           | -20,0                | 759,11            | 16,8             | 759,11               | 16,8              | 759,11           | 20,9                 | +20,9        | -7,5   | Beau.                             | N. E.                |               |
| 29     | 758,06             | -18,5            | 758,42               | 20,7            | 758,42           | -22,7                | 756,12            | 19,5             | 756,12               | 19,5              | 756,12           | 25,7                 | +25,7        | -11,1  | Beau.                             | N. E.                |               |
| 30     | 754,75             | -21,4            | 755,95               | 24,1            | 759,76           | -23,4                | 755,14            | 20,0             | 755,14               | 20,0              | 755,14           | 26,6                 | +26,6        | -14,8  | Nuageux.                          | N. E.                |               |
| 31     | 752,54             | -21,2            | 751,77               | 23,4            | 750,95           | -25,0                | 752,04            | 18,5             | 752,04               | 18,5              | 752,04           | 26,6                 | +26,6        | -15,4  | Nuageux.                          | N. E.                |               |
| 1      | 751,54             | -17,7            | 750,92               | 19,9            | 750,15           | -21,1                | 750,54            | 16,9             | 750,54               | 16,9              | 750,54           | 22,2                 | +22,2        | -11,7  | Moyenne du 1 <sup>er</sup> au 10. | Pluie en centimètres |               |
| 2      | 754,10             | -11,8            | 754,94               | 19,5            | 755,85           | -15,6                | 754,79            | 10,0             | 754,79               | 10,0              | 754,79           | 18,0                 | +18,0        | -8,5   | Moyenne du 11 au 20.              | Cour. . . . . 5,382  |               |
| 3      | 757,55             | -14,5            | 757,01               | 16,6            | 756,85           | -17,5                | 757,16            | 15,5             | 757,16               | 15,5              | 757,16           | 18,7                 | +18,7        | -8,4   | Moyenne du 21 au 31.              | Ferrasse . . . 5,052 |               |
|        | 754,42             | -14,6            | 754,17               | 16,5            | 755,65           | -17,0                | 754,96            | 15,5             | 754,96               | 15,5              | 754,96           | 18,7                 | +18,7        | 8,5    | Moyennes du mois . . .            | + 15,6               |               |

*Analyses comparées des Alimens consommés et des Produits rendus par une Vache laitière ; recherches entreprises dans le but d'examiner si les animaux herbivores empruntent de l'azote à l'atmosphère ;*

PAR M. BOUSSINGAULT.

On reconnaît généralement aujourd'hui que le régime alimentaire des animaux doit contenir une certaine proportion de nourriture azotée. La présence de l'azote, constatée dans un grand nombre de végétaux employés comme alimens, a fait admettre que les herbivores puissent dans leur nourriture l'azote qui entre dans leur constitution.

Dans le cas le plus ordinaire de l'alimentation, l'individu qui consomme les alimens, n'augmente pas son poids moyen ; c'est ce qui arrive toutes les fois qu'un animal adulte est soumis à la *ration d'entretien*. On a constaté, par exemple, qu'un homme régulièrement nourri, reprend son poids normal à certaines époques de chaque jour. Les agriculteurs savent très bien qu'à l'aide d'une proportion de nourriture justement calculée, on donne à un cheval les forces nécessaires au travail que l'on en exige, en évitant ainsi que l'animal augmente en chair.

Il est à peu près certain que, dans de semblables circonstances, la matière élémentaire contenue dans les ali-

mens consommés, doit se retrouver en totalité dans les déjections, les sécrétions et les produits des organes respiratoires. Ainsi, dans cette conjoncture, l'azote, pas plus qu'aucun des autres éléments, n'est assimilé; si l'on entend par assimilation l'addition des principes introduits par la nourriture, aux principes déjà existans dans le système. Mais il y a évidemment assimilation, en ce sens que la matière élémentaire des alimens entre et se fixe dans l'organisme, en s'y modifiant, pour remplacer, pour se substituer à celle qui en est journellement expulsée par les forces vitales.

Durant l'alimentation d'un jeune animal, ou bien lors de l'engrais du bétail, les choses se passent différemment; ici il y a évidemment fixation définitive d'une partie de la matière organique comprise dans la nourriture, puisque les individus augmentent rapidement en poids et en volume.

En admettant, comme je l'ai fait, qu'un animal soumis à la ration d'entretien rend, dans les différens produits résultant de l'action vitale, une quantité de matière organique, précisément égale et semblable à celle qu'il perçoit par ses alimens; j'ai supposé, avec presque tous les physiologistes, que les animaux ne fixent dans leur organisation aucun des principes de l'air qu'ils respirent. S'il en est autrement, la supposition que j'ai faite est décidément erronée, et l'égalité que j'ai admise entre la matière organique qui entre dans le corps d'un animal recevant la ration d'entretien et celle qui en sort, ne saurait avoir lieu.

Toutes les recherches des physiologistes s'accordent pour établir que le carbone de l'acide carbonique de

l'air n'est point assimilé durant la respiration. On sait, au contraire, que les animaux en versent continuellement dans l'atmosphère; mais les opinions sont loin d'être aussi unanimes sur le rôle de l'azote. Les uns prétendent que les animaux expirent plus de ce gaz qu'ils n'en inspirent; d'autres admettent entre le gaz inspiré et le gaz expiré une égalité parfaite; enfin, il en est qui ont conclu de leurs expériences une absorption manifeste d'azote.

La question de savoir si les animaux empruntent directement de l'azote à l'atmosphère, ne doit pas être envisagée comme ayant un intérêt purement physiologique; c'est encore, dans mon opinion, une question intéressante de la physique du monde.

L'azote est un élément essentiel à l'existence de tout être vivant; qu'il appartienne d'ailleurs à l'un ou l'autre règne, Si l'on recherche quelle peut être la source de ce principe qui se rencontre dans les herbivores, on la trouve tout naturellement dans les végétaux qui lui servent d'alimens; si l'on s'enquiert ensuite de l'origine prochaine de l'azote qui est dans les plantes, on la découvre dans les engrais provenant particulièrement de débris animaux; car les plantes, pour prospérer, doivent recevoir par leurs racines une nourriture azotée. On arrive de cette manière à concevoir, que ce sont les végétaux qui fournissent l'azote aux animaux, et que ces derniers le restituent au règne végétal, lorsque leur existence est accomplie; on croit reconnaître, en un mot, que la matière organisée vivante tire son azote de la matière organisée morte. Toutefois, il est bon de remarquer que cette dernière conclusion tend à établir que la ma-

tière vivante est limitée à la surface du globe , et que sa limite est posée par la quantité d'azote actuellement en circulation dans les êtres organisés. Mais la question doit être considérée d'un point de vue plus général , en demandant quelle est l'origine de l'azote qui entre dans la constitution de la matière organique prise dans son ensemble.

Si nous examinons quels sont les gisemens de l'azote, nous trouvons, en plaçant en dehors les êtres organisés ou leurs débris, qu'il n'y en a véritablement qu'un seul ; et ce gisement c'est l'atmosphère. Il est donc extrêmement probable que les êtres organisés ont emprunté leur azote à l'atmosphère, comme ils lui ont emprunté le carbone. Cependant, les physiologistes qui ont étudié les fonctions que les plantes et les animaux exercent aux dépens du milieu aériforme qui les enveloppe, n'ont pas réussi à constater cet emprunt d'azote ; et pour découvrir comment par une action très lente, mais suffisamment prolongée, certaines plantes peuvent prendre de l'azote à l'air, j'ai dû employer une méthode qui apporte dans ce genre de recherches une précision que l'on ne peut espérer des procédés manométriques. Le travail que je publie en ce moment a pour objet d'examiner, à l'aide des mêmes moyens, si les animaux herbivores sont doués de la même faculté.

Pour arriver à la solution de la question que j'avais en vue, il fallait nécessairement faire porter mes observations sur un animal soumis rigoureusement à la ration d'entretien ; car une des conditions exigées par ce genre de recherches, est que le poids normal de l'individu ne varie pas pendant la durée de l'expérience. J'ai pour ce

motif choisi de préférence une vache laitière, parce que la sécrétion du lait s'oppose au développement des dispositions que l'animal pourrait avoir à engraisser.

Pour reconnaître si un animal adulte, dont le poids normal ne s'accroît pas par le régime, fixe dans son organisation une partie de l'azote qu'il respire avec l'air atmosphérique, il suffit de comparer la quantité et la nature de la matière élémentaire qui entre comme aliment, avec la quantité et la nature de la matière élémentaire qui sort avec les produits, par les voies urinaires, digestives, et par la sécrétion du lait.

Malheureusement, dans l'état actuel de la chimie physiologique, nous ne possédons aucune des données qui sont indispensables pour établir cette comparaison. Nous ignorons encore la composition des alimens et des fourrages les plus usuels; nous n'en savons pas beaucoup plus sur les produits d'origine animale; ceux de la vache, dont nous aurions besoin ici, sont à peine examinés. A la vérité, M. Berzélius a analysé le lait de vache; mais ce lait, séparé de sa crème, devait être privé de beurre, et d'une forte proportion de caséum (1). L'analyse de l'urine remonte à une époque déjà fort ancienne, puisqu'elle est due à Rouelle. Enfin, les excréments de la vache n'ont point été analysés.

Mais, en supposant même que toutes ces analyses ne laissassent rien à désirer, et que la composition de chaque principe immédiat fût parfaitement établie, il fau-

(1) Je ne cite pas l'analyse du lait de vache faite par Luiscius et Bondt, parce que cette analyse est évidemment inexacte, ainsi que je le démontrerai dans un travail particulier.

draît encore, pour arriver à un résultat précis, que ces analyses eussent été faites sur des produits issus d'un même sujet, alimenté d'ailleurs depuis long-temps avec une nourriture dont la composition eût été préalablement déterminée.

La difficulté d'isoler et de doser les différens principes immédiats de l'organisme animal, l'incertitude qui règne encore sur la composition du plus grand nombre de ces principes, sont autant de causes qui m'ont porté à faire usage d'une méthode qui pût se passer des données que j'ai énumérées.

J'emploie uniquement l'analyse dernière. Je compare la composition élémentaire des alimens à la composition élémentaire des sécrétions et des déjections. Cette méthode permet d'évaluer par différence la matière élémentaire qui s'échappe dans l'acte de la respiration et de la transpiration. C'est, comme on voit, la marche analytique que j'ai déjà appliquée avec quelque succès à une recherche délicate de physiologie végétale. J'ai l'intime conviction que l'analyse élémentaire, introduite dans l'étude des phénomènes de la vie, peut lui faire faire des progrès rapides.

La vache sur laquelle les observations ont été faites, a été isolée dans une stalle de l'étable, dont le sol est disposé de manière à recueillir sans perte les excréments et l'urine. Chaque jour, durant le dosage, les produits de vingt-quatre heures ont été pesés et mesurés; puis on les conservait dans une cave dont la température est de 9°,5. Le lait a été mesuré matin et soir à six heures.

La vache a reçu pour nourriture, toutes les vingt-quatre heures, 16 kilogrammes de pommes de terre, et

7k,500 de regain de foin de prairie, de qualité excellente, et comparable, sous le rapport nutritif, au meilleur foin de trèfle. Avant d'être soumise à l'expérience, la vache avait été nourrie pendant un mois avec ce même régime. Après ce temps, on a trouvé que son poids normal n'avait pas varié d'une quantité appréciable; circonstance qui permet d'admettre que ce poids est resté également invariable pendant les trois jours que le dosage a duré.

La vache a bu dans la stalle, afin d'éviter de la conduire à l'abreuvoir. En trois jours elle a consommé 180 litres d'eau. Un litre de cette eau a donné, par l'évaporation, 0,834 gr. de sels terreux. Voici quels ont été les produits rendus par la vache pendant les trois jours de dosage :

| Dates.             | Lait. | Densité. | Urine. | Densité. | Excréments. |
|--------------------|-------|----------|--------|----------|-------------|
|                    | litr. |          | litr.  |          | kil.        |
| Du 19 au 20 mai.   | 8,50  | 1,035    | 6,60   | 1,034    | 26,25       |
| Du 20 au 21.       | 8,00  | 1,036    | 7,21   | 1,033    | 28,93       |
| Du 21 au 22.       | 8,26  | 1,034    | 9,99   | 1,034    | 30,06       |
| En trois jours.    | 24,76 |          | 23,80  |          | 85,24       |
| Moyenne pour 24 h. | 8,25  |          | 7,951  |          | 28,415      |

### *Analyses des alimens.*

#### **Pommes de terre.**

Par une dessiccation à 110° dans le vide sec, 1 de tubercule s'est réduit à 0,278.

1 de tubercule sec a laissé 0,050 de cendre.

- 0,298 de matière sèche ont donné : acide carbonique  
0,471, eau 0,162 = C 43,72, H 6,00.
- 0,322 ont donné : acide carbonique 0,516, eau 0,165 =  
C 44,35, H 5,65.
- 0,633 ont donné : azote 6<sup>cc</sup>,0, therm. 8°, bar. 0<sup>m</sup>,744 =  
azote 1,12.
- 1,108 ont donné : azote 12<sup>cc</sup>,0, th. 7°, bar. 0<sup>m</sup>,731 =  
azote 1,27.

|                    |       |
|--------------------|-------|
| Carbone.....       | 44,1  |
| Hydrogène.....     | 5,8   |
| Oxigène.....       | 43,9  |
| Azote.....         | 1,2   |
| Sels et terre..... | 5,0   |
|                    | <hr/> |
|                    | 100,0 |

Les 15 kilogrammes de pommes de terre reçus par la vache, équivalent 4170 grammes de tubercules secs, contenant :

|                    |        |
|--------------------|--------|
| Carbone.....       | 1839,0 |
| Hydrogène.....     | 241,9  |
| Oxigène.....       | 1830,6 |
| Azote.....         | 50,0   |
| Sels et terre..... | 208,5  |
|                    | <hr/>  |
|                    | 4170,0 |

#### Regain de foin.

Le regain a été analysé avant et après le dosage.

1 de regain, desséché à 110° dans le vide sec, a pesé 0,842.

1 de regain sec a laissé 0,100 de cendres.

0,299 de matière sèche ont donné : acide carbonique  
0,508, eau 0,151 = C 46,92 H 5,58.

0,351 ont donné : acide carbonique 0,600, eau 0,180 =  
C 47,26 H 5,68.

0,530 ont donné : azote 11<sup>cc</sup>,3, th. 16°, bar. 0<sup>m</sup>,740 =  
azote 2,42.

0,502 ont donné : azote 11<sup>cc</sup>,0, th. 19°,5, bar. 0<sup>m</sup>,745  
= azote 2,46.

|                    |       |
|--------------------|-------|
| Carbone.....       | 47,1  |
| Hydrogène.....     | 5,6   |
| Oxigène.....       | 34,9  |
| Azote.....         | 2,4   |
| Sels et terre..... | 10,0  |
|                    | <hr/> |
|                    | 100,0 |

La ration de regain, pesant 7500 gr., se réduit à  
6315 gr., en la supposant sèche, contenant :

|                    |        |
|--------------------|--------|
| Carbone.....       | 2974,4 |
| Hydrogène.....     | 353,6  |
| Oxigène.....       | 2204,0 |
| Azote.....         | 151,5  |
| Sels et terre..... | 631,5  |
|                    | <hr/>  |
|                    | 6315,0 |

### *Analyses des produits.*

#### **Excrémens.**

Le produit moyen en vingt-quatre heures a été  
28,313 kil.

On a évalué l'humidité, en desséchant à l'étuve trois

échantillons pris dans les excréments recueillis chaque jour.

|                            | Après dessiccation à l'étuve. |                  |
|----------------------------|-------------------------------|------------------|
| Excréments du 19 au 20 mai | 18,15 gr.                     | 2,662 gr.        |
| » du 20 au 21              | 20,00                         | 3,221            |
| » du 21 au 22              | 20,78                         | 2,980            |
|                            | <hr/>                         | <hr/>            |
| Matière humide             | 88,95                         | Mat. sèche 8,863 |

1 de matière séchée à l'étuve est devenue, après une dessiccation à 110° dans le vide sec, 0,936. Les 8,863 gr. se seraient réduits à 8,296 gr. On trouve ainsi que les 28413 gr. d'excréments humides contenaient 4000 gr. de substance sèche.

1 de matière desséchée a laissé 0,120 de cendres.

0,374 ont donné : acide carbonique 0,581, eau 0,181 =  
C 42,97 H 5,35.

0,468 ont donné : acide carbonique 0,722, eau 0,219 =  
C 42,67 H 5,17.

0,562 ont donné : azote 10<sup>cc</sup>,3, th. 12°,8, bar. c<sup>m</sup>,741  
= azote 2,11.

0,515 ont donné : azote 10<sup>cc</sup>,7, th. 13°,5, bar. c<sup>m</sup>,740  
= azote 2,39.

|                    |      |
|--------------------|------|
| Carbone.....       | 42,8 |
| Hydrogène.....     | 5,2  |
| Oxigène.....       | 37,7 |
| Azote.....         | 2,3  |
| Sels et terre..... | 12,0 |

---

  
100,0

Les 4000 grammes d'excréments secs renfermaient :

|                    |        |
|--------------------|--------|
| Carbone.....       | 1712,0 |
| Hydrogène.....     | 208,0  |
| Oxigène.....       | 1508,0 |
| Azote.....         | 92,0   |
| Sels et terre..... | 480,0  |
|                    | <hr/>  |
|                    | 4000,0 |

## Urine.

Le produit moyen en vingt-quatre a été de 7<sup>l</sup>,93 ; la densité étant 1,034, ce volume devait peser 8200 gr.

595 centimètres cubes, pris proportionnellement aux diverses quantités recueillies chaque jour, ont laissé, après une évaporation au bain-marie, un résidu qui, desséché dans le vide, a pesé 72,090 gr. Les 7<sup>l</sup>,93 eussent donné, par conséquent, 960,8 gr. d'extrait sec.

1 d'extrait d'urine a laissé 0,40 de cendres.

0,540 d'extrait ont donné : acide carbonique 0,532,  
eau 0,122 = C 27,26 H 2,50.

0,490 ont donné : acide carbonique 0,482, eau 0,119  
= C 27,20 H 2,67.

0,567 ont donné : azote 18<sup>cc</sup>,0, th. 16°, barom. 0<sup>m</sup>,736  
= azote 3,58.

0,606 ont donné : azote 21<sup>cc</sup>,0, th. 16°, bar. 0<sup>m</sup>,736,  
= azote 3,93.

|                |       |
|----------------|-------|
| Carbone.....   | 27,2  |
| Hydrogène..... | 2,6   |
| Oxigène.....   | 26,4  |
| Azote.....     | 3,8   |
| Sels.....      | 40,0  |
|                | <hr/> |
|                | 100,0 |

Les 960,8 gr. d'extraits d'urine contenaient :

|                |       |
|----------------|-------|
| Carbone.....   | 261,4 |
| Hydrogène..... | 25,0  |
| Oxigène.....   | 253,7 |
| Azote.....     | 36,5  |
| Sels.....      | 384,2 |
|                | <hr/> |
|                | 960,8 |

#### Lait.

La vache a donné 81,25 de lait en vingt-quatre heures; la densité étant 1,035, ce lait devait peser 8538,8 gr.

Dans trois expériences, 20 gr. de lait évaporé au bain-marie ont laissé un extrait qui, desséché à 110° dans le vide sec, a pesé de 2,690 gr. à 2,700; soit 2,695 gr.

Le lait recueilli en vingt-quatre heures devait renfermer 1150,6 gr. d'extrait sec.

1 d'extrait a laissé 0,0495 de cendres.

0,304 ont donné : acide carbonique 0,602, eau 0,236 =  
C 54,77 H 8,58.

0,3115 ont donné : acide carbonique 0,612, eau 0,241  
= C 54,35 H 8,57.

0,528 ont donné : azote 18<sup>cc</sup>,0, th. 15°, bar. 0<sup>m</sup>,736 =  
azote 3,87.

0,332 ont donné : azote 11<sup>cc</sup>,3, th. 15°,5, bar. 0<sup>m</sup>,738  
= azote 3,99.

|                    |       |
|--------------------|-------|
| Carbone.....       | 54,6  |
| Hydrogène.....     | 8,6   |
| Oxigène.....       | 27,9  |
| Azote.....         | 4,0   |
| Sels et terre..... | 4,9   |
|                    | <hr/> |
|                    | 100,0 |

L'extrait de lait contenait :

|                    |        |
|--------------------|--------|
| Carbone.....       | 628,2  |
| Hydrogène.....     | 99,0   |
| Oxigène.....       | 321,0  |
| Azote.....         | 46,0   |
| Sels et terre..... | 56,4   |
|                    | <hr/>  |
|                    | 1150,6 |

Je résume, dans le tableau placé à la fin de ce mémoire, le résultat des analyses.

En consultant ce tableau, on reconnaît que la quantité de matière organique contenue dans les produits est moindre que celle qui a été introduite par les alimens; la différence est due à la portion de cette matière qui s'est échappée par la respiration et la transpiration.

L'azote des produits diffère de 27 gr. en moins de l'azote des alimens; cette différence n'est peut-être pas assez considérable pour que, sur l'autorité d'une seule expérience, on puisse affirmer que la perte soit réellement due à la dissipation de ce principe. Mais le sens de cette différence rend au moins extrêmement probable que l'azote de l'air n'a pas été assimilé, pendant l'acte de la respiration. Résultat entièrement conforme à celui déjà obtenu par les plus habiles observateurs.

L'oxigène et l'hydrogène, qui manquent dans la somme des produits, n'ont pas disparu exactement dans les proportions voulues pour former de l'eau, l'hydrogène en excès pèse 19,8 gr.; il est vraisemblable que cet hydrogène s'est transformé en eau en se brûlant pendant la respiration aux dépens de l'oxigène de l'air.

La perte en carbone s'élève à 2111,8 gr. En négligeant la quantité de ce principe qui a pu s'échapper par la transpiration cutanée, on trouve qu'il a dû se former 7999 gr. d'acide carbonique, dont le volume à 0°, et sous la pression de 0<sup>m</sup>,76, serait de 4052 litres. Tel est le volume de gaz acide carbonique qui aurait été produit en vingt-quatre heures par la vache soumise à l'observation ; il résulterait de là qu'une vache peut vicier environ 19 mètres cubes d'air dans un jour.

Les expériences des physiologistes établissent qu'un homme produit, en respirant, 745 à 850 litres d'acide carbonique en vingt-quatre heures. A ce compte une vache laitière en produirait cinq fois autant.

Enfin, il paraît qu'en vingt-quatre heures la vache a perdu, par la transpiration pulmonaire et cutanée, près de 33 litres d'eau.

| Eau reçue par la vache en 24 heures.                      |        | Eau rendue par la vache en 24 h. |        |
|-----------------------------------------------------------|--------|----------------------------------|--------|
|                                                           | kil.   |                                  | kil.   |
| Avec pommes de terre,                                     | 10,350 | Avec excréments,                 | 24,413 |
| Avec le regain,                                           | 1,183  | Avec urine,                      | 7,259  |
| Directement,                                              | 60,000 | Avec lait,                       | 7,588  |
| Eau entrée,                                               | 72,015 | Eau sortie,                      | 59,040 |
|                                                           |        | Eau entrée,                      | 72,015 |
| Eau sortie durant la transpiration pulmonaire et cutanée, |        |                                  | 32,975 |

## Alimens consommés par la vache en 24 heures.

| Alimens.         | Poids à l'état humide. | Poids à l'état sec. | Carbone.      | Hydrogène.   | Oxigène.      | Azote.       | Sels et terre. |
|------------------|------------------------|---------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|----------------|
| Pommes de terre, | 18000                  | 4170                | 1859,0        | 241,9        | 1850,6        | 50,8         | 208,5          |
| Regain,          | 7500                   | 6315                | 2974,4        | 555,6        | 2204,0        | 151,5        | 651,5          |
| Eau,             | 60000                  | »                   | »             | »            | »             | »            | 50,0           |
| <b>Somme,</b>    | <b>82500</b>           | <b>10485</b>        | <b>4813,4</b> | <b>595,5</b> | <b>4054,6</b> | <b>201,5</b> | <b>889,0</b>   |

Report des totaux de la première partie de ce tableau,

## Produits rendus par la vache en 24 heures.

| Produits.                     | Poids à l'état humide. | Poids à l'état sec. | Carbone.      | Hydrogène.   | Oxigène.      | Azote.       | Sels et terre. |
|-------------------------------|------------------------|---------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|----------------|
| Excrémens,                    | 23415                  | 4000,0              | 1712,0        | 208,0        | 1303,0        | 92,0         | 480,0          |
| Urine,                        | 8200                   | 960,8               | 261,4         | 28,0         | 255,7         | 56,5         | 384,2          |
| Lait,                         | 8359                   | 1180,6              | 622,2         | 90,0         | 521,0         | 46,0         | 56,4           |
| <b>Somme,</b>                 | <b>45152</b>           | <b>6141,4</b>       | <b>2604,6</b> | <b>352,0</b> | <b>2082,7</b> | <b>174,5</b> | <b>920,6</b>   |
|                               | <b>82500</b>           | <b>10485,0</b>      | <b>4813,4</b> | <b>595,5</b> | <b>4054,6</b> | <b>201,5</b> | <b>889,0</b>   |
| <b>Différence,</b>            | <b>37348</b>           | <b>4574,6</b>       | <b>2211,8</b> | <b>263,5</b> | <b>1981,9</b> | <b>27,0</b>  | <b>51,6</b>    |
| <b>Sens de la différence,</b> | <b>—</b>               | <b>—</b>            | <b>—</b>      | <b>—</b>     | <b>—</b>      | <b>—</b>     | <b>+</b>       |

*Analyses comparées des Alimens consommés et des Produits rendus par un Cheval soumis à la ration d'entretien ; suite des recherches entreprises dans le but d'examiner si les herbivores prélèvent de l'azote à l'atmosphère ;*

PAR M. BOUSSINGAULT.

L'expérience dont j'ai l'honneur de présenter les résultats à l'Académie, fait partie de la suite de recherches que j'ai entreprises, pour décider si les animaux herbivores prélèvent directement de l'azote sur l'atmosphère.

Le cheval sur lequel les observations ont été faites, avait été nourri depuis trois mois avec la ration alimentaire qui a été donnée pendant la durée du dosage. Dans les trois mois, le poids du cheval n'a pas augmenté d'une manière appréciable.

Toutes les vingt-quatre heures le cheval recevait :

|             |      |       |
|-------------|------|-------|
| Foin.....   | kil. | 7,500 |
| Avoine..... |      | 2,270 |

Durant les trois jours que le dosage a duré, le cheval a bu 48 litres d'eau. 1 litre de cette eau a laissé 0,834 gr. de résidu.

Les produits recueillis pendant le dosage ont été :

|                               |      |       |       |      |      |         |       |
|-------------------------------|------|-------|-------|------|------|---------|-------|
| 10 au 11 octobre : excréments | kil. | 14,15 | Urine | lit. | 1,50 | Densité | 1,061 |
| 11 au 12 »                    | »    | 14,82 | »     | 0,85 | »    | 1,067   |       |
| 12 au 13 »                    | »    | 15,80 | »     | 1,40 | »    | 1,066   |       |

*Analyses des alimens.***Foin.**

Par une dessiccation à  $110^{\circ}$  dans le vide sec, 1 gr. de foin consommé a perdu, dans une première expérience, 0,136 d'eau, et dans une seconde 0,140.

1 gr. de foin sec a laissé, cendre 0,090.

0,265 ont donné : acide carbonique 0,436, eau 0,118  
= C 45,5 H 4,9.

0,300 ont donné : acide carbonique 0,500, eau 0,140  
= C 46,1 H 5,1.

0,516 ont donné : azote  $7^{\text{cc}},0$ , th.  $10^{\circ}$ , bar.  $0^{\text{m}},745$  =  
azote 1,50.

0,600 ont donné : azote  $8^{\text{cc}},0$ , th.  $12^{\circ}$ , bar.  $0^{\text{m}},739$  =  
azote 1,51.

**Composition du foin.**

|                |       |
|----------------|-------|
| Carbone.....   | 45,8  |
| Hydrogène..... | 5,0   |
| Oxigène.....   | 38,7  |
| Azote.....     | 1,5   |
| Cendres.....   | 9,0   |
|                | <hr/> |
|                | 100,0 |

En 24 heures le cheval recevait : foin kil. 7,50, ou 6465 gr. supposé sec, contenant :

|                     |        |
|---------------------|--------|
| Carbone.....        | 2961,0 |
| Hydrogène.....      | 323,2  |
| Oxigène.....        | 2502,0 |
| Azote.....          | 97,0   |
| Sels et terres..... | 581,8  |
|                     | <hr/>  |
|                     | 6465,0 |

**Avoine.**

1 gr. d'avoine a perdu eau 0<sup>gr</sup>,151.

1 gr. d'avoine sèche a laissé cendre 0,0398.

0,345 ont donné : acide carbonique 0,628, eau 0,198 =  
C 50,3 H 6,3.

0,366 ont donné : acide carbonique 0,676, eau 0,213 =  
C 51,1 H 6,4.

0,569 ont donné : azote 10<sup>cc</sup>,7, th. 7<sup>o</sup>, bar. 0<sup>m</sup>,743 =  
azote 2,24.

En 1836, j'ai trouvé pour l'azote de l'avoine 2,22.

**Composition de l'avoine.**

|                |       |
|----------------|-------|
| Carbone.....   | 50,7  |
| Hydrogène..... | 6,4   |
| Oxigène.....   | 36,7  |
| Azote.....     | 2,2   |
| Cendres.....   | 4,0   |
|                | <hr/> |
|                | 100,0 |

Le cheval consommait par jour 2270 grammes d'avoine, qui, sèche, ont pesée 1927 grammes, contenant :

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Carbone.....        | 977,0 |
| Hydrogène.....      | 123,3 |
| Oxigène.....        | 707,2 |
| Azote.....          | 42,4  |
| Sels et terres..... | 77,1  |

---

1927,0

### *Analyses des produits.*

| Urine.                |                          | Pris pour l'analyse. |     |
|-----------------------|--------------------------|----------------------|-----|
| Du 10 au 11 octobre : | urine lit. 1,80 gr. 1392 | 200 c. cub.          |     |
| Du 11 au 12 »         | » » 907                  | 107                  |     |
| Du 12 au 13 »         | » » 1492                 | 187                  |     |
| En trois jours        |                          | 3991                 | 494 |

Ces 494 centimètres cubes ont donné un extrait qui, desséché dans le vide sec, a pesé 65,10 gr. Les 3<sup>lit.</sup>,85 d'urine recueillis en trois jours eussent donné 835,30 gr. d'extrait sec.

La stalle dans laquelle le cheval était placé pendant l'expérience a été lavée; les eaux de lavages réunies avaient un volume de 3<sup>lit.</sup>,75, et une densité de 1,012.

250 cent. cubes de cette eau ont donné un extrait d'urine qui, séché dans le vide sec à 110°, a pesé 4,626 gr. Les 3<sup>lit.</sup>,75 eussent donné 69,390 d'extrait sec. L'extrait sec obtenu en soixante-douze heures est donc en totalité de 704,7 gr., ou 301,6 gr. en vingt-quatre heures.

2<sup>sr</sup>,061 d'extrait sec d'urine a laissé 1,011 de cendres.

Si l'on calculait les analyses qui vont suivre avec la cendre trouvée directement, on commettrait une erreur assez grave, qui porterait entièrement sur l'oxigène. En effet, les sels alcalins à acides organiques qui se trouvent dans l'urine du cheval, comme l'hyppurate et le lactate

de soude, fournissent par l'incinération des carbonates alcalins. Le poids de l'acide carbonique du carbonate de potasse est évidemment de trop dans le poids des cendres. Pour le retrancher, j'ai dosé l'acide carbonique des cendres.

0,990 de cendres ont donné 0,256 gr. d'acide. Les 1,011 en contenaient par conséquent 0,261 gr. D'après cela, le poids des cendres se réduit à 0,750 gr., ou 36,4 pour 100.

Toutefois, il existe encore une erreur dans cette évaluation des cendres, parce que l'extrait d'urine contient une petite quantité de carbonates; mais cette erreur, d'ailleurs fort peu importante, n'influe nullement sur le dosage de l'azote.

C'est pour ne pas avoir tenu compte de cette source d'erreur que j'ai trouvé, dans mes expériences sur la vache, un excès considérable de matières salines et terreuses dans les produits. C'est vraisemblablement à la même négligence que Vauquelin doit d'avoir obtenu dans les excréments des poules une quantité de substances terreuses beaucoup plus considérable que celle qui avait été introduite avec les alimens.

Les excréments du cheval peuvent également contenir des sels alcalins à acides organiques, et donner par l'incinération un *excès de cendres*; mais je me suis assuré que l'erreur que l'on peut commettre est de nature à être négligée.

05<sup>r</sup>,343 d'extrait d'urine ont donné : acide carbonique (1)  
0,445, eau 0,119 = C 35,9 H 3,8.

---

(1) L'oxide de cuivre employé dans ces analyses renferme de l'oxide antimonique.

0<sup>gr</sup>,685 ont donné : acide carbonique 0,895, eau 0,238  
 = C 36,2 H 3,9.

0<sup>gr</sup>,828 ont donné : azote 84<sup>cc</sup>, th. 11<sup>o</sup>,8, bar. 0<sup>m</sup>,766  
 = azote 12,2.

0<sup>gr</sup>,390 ont donné : azote 42<sup>cc</sup>, th. 13<sup>o</sup>,0. bar. 0<sup>m</sup>,766  
 = azote 12,8.

#### Composition de l'extrait d'urine.

|                |       |
|----------------|-------|
| Carbone.....   | 36,0  |
| Hydrogène..... | 3,8   |
| Oxigène.....   | 11,3  |
| Azote.....     | 12,5  |
| Cendres.....   | 36,4  |
|                | <hr/> |
|                | 100,0 |

D'après cette analyse, les 302 grammes d'extrait sec d'urine, recueillis en vingt-quatre heures, renferment :

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Carbone.....        | 108,7 |
| Hydrogène.....      | 11,5  |
| Oxigène.....        | 34,1  |
| Azote.....          | 37,8  |
| Sels et terres..... | 109,9 |
|                     | <hr/> |
|                     | 302,0 |

#### Excrémens.

Chaque jour on a pris pour l'analyse des échantillons proportionnels. 61,0 d'excrémens frais, après une dessiccation complète terminée dans le vide sec à 110<sup>o</sup>, ont pesé 15,090.

Les 14<sup>k</sup>,25 d'excrémens, produit moyen rendu par

le cheval en vingt-quatre heures, eussent pesé secs 3525 grammes.

1,0 gr. d'excrémens secs ont laissé 0,163 de cendres.

0,397 ont donné : acide carbonique 0,556, eau 0,190 =

C 38,8 H 5,0.

0,796 ont donné : acide carbonique 1,115, eau 0,379

= C 36,8 H 5,2.

0,565 ont donné : azote 10<sup>cc</sup>,3, th. 11<sup>o</sup>,5, bar. 0<sup>m</sup>,755

= azote 2,17.

0,561 ont donné : azote 10<sup>cc</sup>,7, th. 12<sup>o</sup>,5, bar. 0<sup>m</sup>,755

= azote 2,25

#### Composition des excrémens du cheval.

|                |      |
|----------------|------|
| Carbone.....   | 38,7 |
| Hydrogène..... | 5,1  |
| Oxigène.....   | 37,7 |
| Azote.....     | 2,2  |
| Cendres.....   | 16,3 |

---

100,0

Les 3525 grammes contenaient :

|                     |        |
|---------------------|--------|
| Carbone.....        | 1364,2 |
| Hydrogène.....      | 179,8  |
| Oxigène.....        | 1328,9 |
| Azote.....          | 77,6   |
| Sels et terres..... | 574,5  |

---

3525,0

Je résume dans le tableau joint à ce mémoire les résultats précédens. On peut voir que le cheval n'a pas rendu dans les déjections la totalité de l'azote perçu avec les alimens ; le poids de l'azote en moins s'élève à 24 gr.

en vingt-quatre heures. On se rappellera que j'ai observé un fait semblable dans mes expériences sur la vache.

L'oxygène et l'hydrogène qui ont disparu, ne sont pas exactement dans les proportions voulues pour faire de l'eau ; on remarque un excès d'hydrogène de 23 gr. ; dans les expériences sur la vache on est encore arrivé à ce même résultat.

Le carbone perdu en vingt-quatre heures, et qui a dû s'échapper par la respiration et la transpiration, s'élève à 2465,0 gr. ; quantité qui équivaut à 8918 gr. d'acide carbonique ; soit en volume 4584 litres sous la pression de 0<sup>m</sup>,76 et à 0. Tel serait, d'après l'analyse élémentaire, le volume d'acide carbonique produit par un cheval en vingt-quatre heures. Pour une vache laitière, l'analyse a indiqué pour ce volume, sous les mêmes conditions et dans le même temps, 4052 litres.

Les recherches que j'ai faites sur la vache et le cheval semblent donc établir que l'azote de l'air n'est point assimilé pendant l'acte de la respiration des herbivores, résultats auxquels M. Dulong est arrivé également par des considérations d'un ordre différent.

Dans une nouvelle suite de recherches, j'examinerai, toujours à l'aide de l'analyse, si les insectes, les mollusques sont aptes à fixer l'azote de l'atmosphère.

| Eau reçue par le cheval en 24 h.                       |          | Eau rendue par le cheval en 24 h. |          |
|--------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------|----------|
| Avec le foin,                                          | 1058 gr. | Avec l'urine,                     | 1028 gr. |
| Avec l'avoine,                                         | 448      | Avec les excréments,              | 10725    |
| Directement,                                           | 16000    |                                   |          |
| Somme,                                                 | 17378    | Somme,                            | 11753    |
| Total de l'eau reçue par le cheval en 24 heures,       |          |                                   | 17378    |
| Eau sortie par la transpiration pulmonaire et cutanée, |          |                                   | 5625     |

Alimens consommés par le cheval en 24 heures.

Produits rendus par le cheval en 24 heures.

| Alimens.                                               | Alimens consommés par le cheval en 24 heures. |                     |          |            |          |        |                 | Produits.  | Produits rendus par le cheval en 24 heures. |                     |          |            |          |        |                 |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|----------|------------|----------|--------|-----------------|------------|---------------------------------------------|---------------------|----------|------------|----------|--------|-----------------|
|                                                        | Poids à l'état humide.                        | Poids à l'état sec. | Carbone. | Hydrogène. | Oxigène. | Azote. | Sels et terres. |            | Poids avec humidité.                        | Poids à l'état sec. | Carbone. | Hydrogène. | Oxigène. | Azote. | Sels et terres. |
| Foin,                                                  | 7500                                          | 6465                | 2961,0   | 323,2      | 2502,0   | 97,0   | 581,8           | Urine,     | 1530                                        | 302                 | 108,7    | 11,5       | 34,1     | 57,8   | 109,9           |
| Avoine,                                                | 2270                                          | 1927                | 977,0    | 123,3      | 707,2    | 42,4   | 77,1            | Excrémens, | 14250                                       | 3525                | 1564,4   | 179,8      | 1528,9   | 77,6   | 571,6           |
| Eau,                                                   | 16000                                         | »                   | »        | »          | »        | »      | 13,3            | »          |                                             |                     |          |            |          |        |                 |
| Somme,                                                 | 25770                                         | 8592                | 3938,0   | 446,5      | 3209,2   | 139,4  | 672,2           | Somme,     | 15380                                       | 3827                | 1472,9   | 191,3      | 1563,0   | 115,4  | 684,5           |
| Report des totaux de la première partie de ce tableau, |                                               |                     |          |            |          |        |                 |            | 25770                                       | 8592                | 3938,0   | 446,5      | 3209,2   | 139,4  | 672,2           |
|                                                        |                                               |                     |          |            |          |        |                 |            | 10190                                       | 4565                | 2463,1   | 255,2      | 1846,2   | 24,0   | 12,5            |
|                                                        |                                               |                     |          |            |          |        |                 |            | —                                           | —                   | —        | —          | —        | —      | +               |
|                                                        |                                               |                     |          |            |          |        |                 |            |                                             |                     |          |            |          |        |                 |

*Lettre de M. BERZÉLIUS à M. PELOUZE.*

Stockholm, le 15 juillet 1839.

Vous me permettrez peut-être de revenir encore une fois à la théorie des substitutions de M. Dumas, surtout après le nouveau développement que cet habile chimiste vient de lui donner, développement qui, selon lui, menace de renverser la théorie chimique en général, et principalement les idées électro-chimiques. Vous vous rappelez que dans une lettre précédente, j'ai énoncé l'opinion que l'application qu'on a faite de la théorie des substitutions en considérant le chlore qui remplace l'hydrogène comme jouant le même rôle que ce dernier, est contraire aux principes de la science, et j'ai cité à ce sujet quelques exemples qui, selon moi, le prouvent d'une manière non équivoque. En vous priant de communiquer le contenu de cette lettre à l'Académie des Sciences, j'espérais que M. Dumas voudrait bien expliquer sous quel point de vue il envisage la théorie en question ; il s'est, en effet, prêté à ce désir, et cela d'une manière qui, sauf quelques détails étrangers à la question, m'a entièrement satisfait.

Dans les Comptes rendus de 1838 (1<sup>er</sup> semestre, p. 699 et suivantes), M. Dumas a désavoué cette manière d'entendre la théorie des substitutions : « Si l'on me fait dire que l'hydrogène est remplacé par du chlore de telle manière que celui-ci joue le même rôle que l'hydrogène,

on me prête, dit M. Dumas, une opinion contre laquelle je proteste ; car elle est en opposition avec tout ce que j'ai énoncé sur ces matières. La théorie des substitutions ne fait qu'énoncer le rapport simple entre l'hydrogène et le chlore qui le remplace à volume égal. C'est une loi empirique qui ne mérite notre attention qu'aussi long-temps qu'elle se maintiendra, et si quelqu'un lui a donné plus de valeur, ce n'est pas ma faute. »

Cette déclaration de M. Dumas est en parfaite harmonie avec ma manière de voir ; ce qui a conduit à la méprise de son opinion, c'est probablement la dénomination impropre de *théorie des substitutions*, puisqu'une loi empirique n'est pas une théorie, et le mot substitution a été long-temps employé en chimie pour signifier le remplacement d'un corps par une autre substance qui joue le même rôle que ce corps. Aussi M. Dumas vient-il de le changer contre un autre très bien choisi, *métalepsie*, qui signifie remplacement.

Dans les Comptes rendus de 1839 (1<sup>er</sup> semestre, p. 909), M. Dumas a donné plus tard un nouveau développement à cette théorie ; mais entièrement opposé à ce qui vient d'être dit. Il a fait la belle découverte que l'acide acétique cristallisable,  $C^4 H^6 O^3 \underline{H}$ , exposé à la lumière solaire dans une atmosphère de chlore sec, se décompose peu à peu, et que son hydrogène est entièrement remplacé par un égal volume de chlore. Il en résulte un nouvel acide composé de  $C^4 Cl^6 O^3, \underline{H}$ , dont il a décrit quelques unes des propriétés.

Les conséquences que M. Dumas tire de ce fait sont les suivantes : le chlore en remplaçant l'hydrogène atome

pour atome *joue le même rôle que l'hydrogène*; il en résulte un acide acétique qui ne diffère de l'autre que parce qu'il contient six atomes de chlore au lieu de 6 at. d'hydrogène, et il lui donne pour cette raison le nom d'*acide chloracétique*. Il jouit des mêmes propriétés que l'acide ordinaire, de manière qu'en connaissant celles du dernier on connaît également celles de l'acide chloracétique. Cela tient à ce que les propriétés d'un corps dépendent plutôt du type de la composition que des caractères particuliers de l'élément qui a été échangé. En chimie organique, dit-il, il existe certains types qui se conservent alors même qu'à la place de l'hydrogène qu'ils renferment, on vient à introduire des volumes égaux de chlore, de brome ou d'iode. Il en infère qu'il y a en chimie deux grands principes conducteurs, qui sont l'*isomorphisme* en chimie minérale et la *substitution* en chimie organique. Il suppose que ces deux principes dérivent de la même cause et qu'ils pourront avec le temps se généraliser sous une expression commune.

M. Dumas ajoute que ni l'isomorphisme ni la théorie des substitutions ne sont en harmonie avec les idées électro-chimiques, et comme ces dernières n'ont pas, d'après lui, la propriété de se plier aux faits, qu'elles ne les expliquent pas et ne les laissent pas prévoir, il expédie la théorie électro-chimique, en disant: « Il faut bien en convenir, il n'en est rien. »

Il y a donc là une révolution complète dans l'état de la chimie.

Quand des questions aussi grandes sont agitées, l'amour du vrai dans la science doit provoquer un mûr examen des thèses de l'auteur d'une telle révolution,

pour nous engager à nous mettre de son côté s'il a raison, à nous opposer à lui s'il a tort.

Un des grands avantages de la théorie des substitutions sur les idées électro-chimiques paraît être que le type de composition conserve les mêmes propriétés après l'échange de l'hydrogène contre le chlore.

Examinons donc le petit nombre de propriétés de l'acide chloracétique que M. Dumas nous a fait connaître en les comparant à celles de l'acide acétique. Nous verrons que ces deux acides diffèrent infiniment plus entre eux que l'acide formique, par exemple, de l'acide acétique.

| ACIDE ACÉTIQUE.                                           | ACIDE CHLORACÉTIQUE.                                               |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Odeur forte et piquante ;                                 | Odeur presque nulle ;                                              |
| Liquide à la températ. ordinaire ;                        | Solide à la températ. ordinaire ;                                  |
| Fusible vers 10° ;                                        | Fusible vers 86° ;                                                 |
| Point d'ébullition à environ 100° ;                       | Point d'ébullition vers 200° ;                                     |
| Poids spécifique 1,06 ;                                   | Poids spécifique 1,617 ;                                           |
| Sel potassique déliquescent ;                             | Sel potassique inaltérable à l'air.                                |
| Éther très fluide, d'une odeur éthérée, surnageant l'eau. | Éther oléagineux, d'une odeur de menthe, tombant au fond de l'eau. |

Ces deux acides n'ont donc d'autre ressemblance que celle qui appartient aux acides en général, et l'on pourrait dire que l'acide chloracétique ressemble autant à l'acide sulfurique qu'à l'acide acétique. Ainsi le type ne conduit pas à prévoir les propriétés particulières d'un acide dans lequel l'hydrogène serait remplacé par du chlore.

Jetons maintenant un coup d'œil sur la composition de l'acide chloracétique. M. Dumas le considère comme formé de 3 atomes d'oxygène et d'un atome d'un radical

composé de 4 atomes de carbone et de 6 atomes de chlore. Pour examiner cette composition, il est naturel de nous demander si nous ne connaissons pas d'autre corps d'une composition analogue, et si la manière de voir de M. Dumas leur est également applicable, car il est évident qu'une explication qui ne conviendrait pas à d'autres composés du même genre, devrait être rejetée.

L'acide chloracétique est composé de carbone uni à la fois à du chlore et à de l'oxygène. Nous connaissons une classe nombreuse de combinaisons pareilles ; cette classe se partage en trois sous-divisions d'après les radicaux combinés avec le chlore et avec l'oxygène : nous allons les considérer l'une après l'autre.

1° *Radicaux simples électro-positifs.* Cette sous-division est très nombreuse et très connue : elle est composée des muriates basiques de l'ancienne théorie sur la nature du chlore. L'opinion générale qui n'a pas été contestée, est que ces corps sont composés d'un chlorure et d'un oxide. On les décompose et les recompose à volonté.

En faisant application de la nouvelle manière de voir de M. Dumas à la composition  $\text{Pb Cl} + 3 \text{Pb}$ , on devrait l'exprimer par  $\text{Pb}^4 \text{Cl}^2 + 3\text{O}$ , dans laquelle  $\text{Pb}^4 \text{Cl}^2$  serait un radical composé de plomb et de chlore.

Je suis persuadé que M. Dumas protesterait contre cette extension de ses vues ; cependant, si elles sont vraies, il faut nécessairement la faire, et, pour être conséquent, il faut aller encore plus loin et considérer les sels des oxacides comme des oxides d'un radical composé de celui de l'acide et de celui de la base, le sulfate de potasse, par exemple, comme  $\text{K S} + 4\text{O}$ .

2<sup>o</sup> *Radicaux simples électro-négatifs.* Le nombre des combinaisons connues de cette classe est très limité. On les considère sous deux points de vue différens. M. Henry Rose, qui a découvert la combinaison de chrome appartenant à cette classe, la considère comme composée de  $\text{Cr Cl}^3 + 2\overset{\text{..}}{\text{Cr}}$ , et cette manière de voir a généralement prévalu. Plus tard on a cependant proposé de la considérer comme de l'acide chromique dans lequel un équivalent de chlore est substitué à un équivalent d'oxygène. Cette manière de voir est plus simple; mais il est facile de prouver qu'elle est inexacte, car le chlorure de chrome se laisse remplacer par d'autres chlorures, et l'on a plusieurs exemples de sels formés d'un atome d'un chlorure quelconque et de 2 atomes d'acide chromique; puis l'hypothèse précédente n'admet qu'un seul nombre relatif d'atomes de chlore et d'oxygène, tandis que nous savons qu'il en existe plusieurs. Par conséquent, la seule explication admissible, même dans cette classe de corps, est de les considérer comme composés d'un chlorure et d'un oxide.

Voici l'énumération des combinaisons de cette espèce connues jusqu'à présent :

| Radical.            | Formule.                                           | Auteurs.                     |
|---------------------|----------------------------------------------------|------------------------------|
| Soufre . . . . .    | $\text{S Cl}^3 + \overset{\text{..}}{\text{S}}$    | Regnault.                    |
| Id. . . . .         | $\text{S Cl}^3 + \overset{\text{..}}{\text{S}}$    |                              |
| Carbone . . . . .   | $\text{C Cl}^3 + \overset{\text{..}}{\text{C}}^*$  | Dumas (acide chloracétique). |
| Id. . . . .         | $\text{C Cl}^3 + \overset{\text{..}}{\text{C}}$    | J. Davy (phosgène).          |
| Molybdène . . . . . | $\text{Mo Cl}^3 + 2\overset{\text{..}}{\text{Mo}}$ | H. Rose.                     |
| Tungstène . . . . . | $2\text{W Cl}^3 + \overset{\text{..}}{\text{W}}$   | Bonnet.                      |
| Id. . . . .         | $\text{W Cl}^3 + 2\overset{\text{..}}{\text{W}}$   | H. Rose.                     |
| Chrome . . . . .    | $\text{Cr Cl}^3 + 2\overset{\text{..}}{\text{Cr}}$ | Id                           |

Vous voyez donc que l'acide chloracétique de M. Dumas n'est autre chose qu'une combinaison de l'acide oxalique avec un chlorure de carbone correspondant à l'acide oxalique même. Nous reviendrons à ses caractères acides.

### 3° Radicaux composés.

| Radical.        | Formule.                                    | Auteurs.                                  |
|-----------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Acétyle         | $2C^2 H^6 Cl^3 + C^4 H^6 O^3$               | Malaguti (éther chloré).                  |
| Formyle         | $C^2 H^2 Cl^3 + C^2 H^2 O^3$                | Laurent (acétate méthylique avec chlore). |
| Benzoïle        | $C^{14} H^{10} Cl^3 + 2C^{14} H^{10} O^3$   | Liebig et Wöhler (chlorure de benzoïle)   |
| Elayle (1)      | $C^2 H^4 Cl + C^2 H^4 O$                    | F. d'Arcet (chloréthéral).                |
| $C^3 H^4$       | $C^3 H^4 Cl^2 + C^3 H^4 O^2$                | Kane (chloral méthylique).                |
| $C^6 H^3$       | $C^6 H^3 Cl^3 + C^6 H^3 O^2 *$              | Laurent (acide chlorophénisique.)         |
| $C^6 H^4$       | $C^6 H^4 Cl^2 + C^6 H^4 O^2 *$              | Id. (acide chlorophénésique).             |
| $C^7 H^3$       | $C^7 H^3 Cl^2 + C^7 H^3 O^5 *$              | Piria (chlorure de salicine).             |
| $C^{14} H^{10}$ | $C^{14} H^{10} Cl^5 + 4C^{14} H^{10} O^5 *$ | Id. (id.).                                |
| $C^{14} H^6$    | $C^{14} H^6 Cl^3 + C^{14} H^6 O^3 + N H^3$  | Id. (chlorosamide).                       |

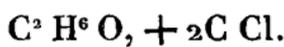
Les combinaisons marquées par un astérisque jouissent de la propriété de s'unir aux bases sans abandonner le chlorure combiné avec elles, semblables à cela aux acides végéto-sulfurique, végéto-nitrique, etc., etc., dans la composition desquels peuvent entrer beaucoup de substances différentes. Ces combinaisons sont au nombre de cinq : vous voyez donc que l'acide chloracétique n'offre pas le seul exemple d'un composé de cet ordre, et que,

---

(1) Nom que j'ai donné au corps  $C^2 H^4$  dans l'huile des chimistes hollandais et dans les sels étherés de platine.

pour nous expliquer ses propriétés, nous ne sommes nullement forcés de l'isoler des autres combinaisons analogues et de fonder à son sujet de nouvelles vues contraires au système général des connaissances chimiques.

L'éther chloré de M. Malaguti peut être considéré sous deux points de vue différens. Tel qu'on l'obtient directement avec l'éther et le chlore, il est très probable qu'il est composé, comme il a été dit plus haut, d'un atome d'acide acétique et de 2 atomes de chlorure de carbone correspondant au radical même de cet acide. Mais lorsqu'on décompose, par exemple, le benzoate éthylique par du chlore, il paraît que la substance qui se produit alors, et qui se maintient en combinaison avec l'acide benzoïque, présente la formule que j'ai donnée dans une lettre précédente, savoir :



J'ajouterai encore quelques exemples de combinaisons de chloroxides avec d'autres corps; ces exemples ne concernent toutefois que le chloroxide de carbone, Pour abréger, E sera =  $C^4 H^{10}$ , éthyle; Me =  $C^3 H^6$ , méthyle; F =  $C^2 H^2$ , formile.

|                                                                     |                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| $(C \underline{Cl}^2 + \ddot{C}) + (S \underline{Cl}^2 + \ddot{S})$ | A. Marcet et moi (sulfure de carbone traité par l'acide nitromuriatique). |
| $(C \underline{Cl}^2 + \ddot{C}) + \dot{E} \ddot{C}$                | Dumas (éther chloroxicarbonique).                                         |
| $(C \underline{Cl}^2 + \ddot{C}) + \dot{Me} \ddot{C}$               | Id. (chlorocarbonate méthylique).                                         |
| $(C \underline{Cl}^2 + \ddot{C}) + F \underline{Cl}$                | (Chloral).                                                                |
| $(C \underline{Cl}^2 + \ddot{C}) + F^2 \underline{Cl}$              | Kane (chloral méthylique).                                                |

Dans le dernier on peut aussi considérer le radical

comme étant  $C^4 H^4$ , c'est-à-dire celui des acides citrique, tartrique et succinique.

Vous voyez donc que, pour éviter la révolution qui menace les idées électro-chimiques, il ne faut que mettre les symboles de la formule de l'acide chloracétique dans un ordre un peu différent de celui de M. Dumas, et que par ce petit changement la nouvelle combinaison rentre dans une classe de corps déjà connue.

Nous sommes à une époque où une théorie chimique des combinaisons organiques se laisse entrevoir ; mais si au lieu de lui permettre de se développer à mesure que notre expérience s'étend, on veut la baser sur des faits isolés, considérés sans égards pour leurs relations avec le système de nos connaissances en général, et en donnant des explications sans harmonie avec les principes de la science, et si, en outre, on veut en conclure que ce défaut d'accord doit faire rejeter comme erronés des principes bien constatés d'ailleurs, on ne réussira jamais à trouver la vérité.

Voilà à peu près ce que j'ai cru nécessaire de dire à cette occasion pour la défense des idées électro-chimiques.

Avant de finir, j'ajouterai quelques mots relatifs à la discussion sur les métamorphoses organiques produites par la chaleur, discussion dans laquelle MM. Dumas, Péligot et Payen se sont prononcés contre ma manière de voir.

M. Dumas trouve que je me suis trompé, parce qu'il a trouvé une combinaison éthylique dont fait partie l'acide citrique métamorphosé. L'existence de cette com-

binaison ne prouve rien de plus, rien de moins que l'existence des autres combinaisons métamorphosées.

M. Payen a fait voir que l'amylate de plomb, chauffé à  $130^{\circ}$ , ne donne plus d'eau entre  $130$  et  $180^{\circ}$ , sans être partiellement décomposé. C'est précisément ce que j'ai prouvé moi-même. Je n'ai pas examiné ce qui passe avant  $130^{\circ}$ . Je m'en suis rapporté à cet égard aux données renfermées dans le mémoire sur l'amidon publié par cet habile chimiste.

M. Péligot qui considère, je ne sais pour quelle raison, comme une attaque contre lui, l'explication que j'ai donnée d'une observation qu'il a faite, et dont j'ai constaté l'exactitude, M. Péligot tâche de prouver que j'ai allégué des faits inexacts. Je suis persuadé que M. Péligot a obtenu les résultats qu'il cite contre ma manière de voir; mais je le prierai d'en croire autant des miens. La question se réduit alors à trouver les conditions sous lesquelles un corps métamorphosé par la chaleur est régénéré par l'action de l'eau, et celles sous lesquelles il ne l'est pas. Une étude approfondie des métamorphoses organiques décèlera probablement ces conditions. J'y reviendrai peut-être tôt ou tard.

Votre ami dévoué,

JAC. BERZÉLIUS.

*Sur les Phénomènes de la Fermentation et de la Putréfaction, et sur les causes qui les provoquent;*

PAR M. J. LIEBIG.

(Extrait du *Traité de Chimie organique*; Paris, chez Crochard et compagnie.)

Les phénomènes qui accompagnent les altérations spontanées des matières organiques, c'est-à-dire celles qui sont dues à des causes inconnues, peuvent être déduits d'un certain nombre de principes que j'essaierai de développer d'après l'état actuel de la science.

L'expérience démontre que le degré d'affinité des élémens organiques l'un pour l'autre est bien différent : le carbone, l'hydrogène, l'azote et l'oxygène ne s'attirent pas avec la même intensité. On sait qu'en brûlant un corps composé de carbone et d'hydrogène, l'hydrogène est oxidé le premier, tandis que le carbone ne s'oxide que lorsque la quantité d'oxygène est plus grande que celle qu'il faut pour transformer tout l'hydrogène en eau. Si l'oxygène suffit exactement pour brûler l'hydrogène, le carbone se dépose à l'état de noir de fumée.

Lorsqu'on brûle un composé d'azote et de carbone à l'air ou dans l'oxygène, le carbone seul se combine avec ce dernier, tandis que l'azote se dégage; dans très peu de cas il se forme un oxide d'azote. Le carbone et l'azote sont donc bien plus éloignés l'un de l'autre par rapport à leur

affinité pour l'oxigène que le carbone et l'hydrogène.

Si, dans des circonstances convenables, le carbone rencontre en même temps de l'hydrogène et de l'oxigène, il se combine avec ce dernier en donnant naissance à un ou plusieurs oxides.

Le carbone décompose l'eau lorsqu'il se trouve en contact avec elle à une chaleur rouge; d'un côté il se forme de l'oxide de carbone et de l'acide carbonique, tandis que de l'autre l'hydrogène est mis en liberté (L. Gmelin, Bunsen). Quand on n'observe pas de dégagement d'hydrogène dans ces sortes de décomposition, le carbone se partage alors entre l'oxigène et l'hydrogène qui lui ont été présentés, et outre les oxides de carbone, il se produit des hydrogènes carbonés.

L'azote a plus d'affinité pour l'hydrogène que le carbone; car si l'on présente de l'hydrogène à une combinaison de carbone et d'azote et que la proportion d'hydrogène soit précisément telle qu'elle puisse former de l'ammoniaque avec l'azote, on n'obtient pas d'hydrogène carboné.

Quelle que soit la forme sous laquelle les élémens organiques entrent dans la composition d'un corps, ils conservent toujours le caractère chimique que nous venons d'énoncer; ils présentent constamment une tendance inégale à former des combinaisons plus ou moins intimes.

Ces élémens, en s'unissant dans les proportions les plus variées, donnent naissance aux molécules organiques composées. La molécule la plus simple d'un composé inorganique renferme deux équivalens d'un élément; dans toutes les circonstances, celle d'un composé orga-

nique en contient au moins trois. Ainsi, par exemple, la molécule de cyanogène renferme deux équivalens de carbone et 1 équivalent d'azote.

Une molécule composée d'une substance organique renferme en général un plus grand nombre d'atomes ou d'équivalens qu'une molécule composée d'un corps inorganique; cependant il existe à cet égard de grandes différences. Ainsi la molécule du sucre de raisin cristallisé renferme 36 équivalens, tandis que celle de l'acide acétique cristallisé n'en contient que douze; la molécule d'amygdaline est représentée par 90 équivalens. Les molécules des substances animales sont encore bien plus complexes que celles des corps que je viens de citer.

Dans une molécule organique deux ou plusieurs élémens ou équivalens d'éléments se trouvent à l'état de *radicaux composés*; ces radicaux affectent une forme particulière, et c'est de leur forme ainsi que de leur composition que découlent les caractères chimiques que les substances organiques présentent. Dans toute molécule organique il faut donc considérer deux espèces d'attraction :

1° *L'affinité du radical composé de carbone et d'azote, de carbone et d'hydrogène, d'azote et d'hydrogène pour l'oxygène ou pour les autres radicaux simples ou composés avec lesquels il est combiné.*

2° *L'affinité extrêmement différente de chaque élément en particulier pour les autres éléments.*

La tendance des éléments à s'unir en raison du degré de cette affinité spéciale pour former des combinaisons plus simples et plus intimes, est contre-balancée par l'affinité du radical. L'affinité prépondérante de ce ra-

dical imprime au composé organique son caractère particulier, en ce qu'elle en maintient les principes constitutifs dans un ordre déterminé que l'affinité spéciale des élémens tend constamment à détruire.

Pour éviter des répétitions, je désignerai par *différence chimique* l'influence qu'exercent ces affinités spéciales sur l'existence de la molécule organique.

Il résulte de la constitution particulière des molécules organiques qu'elles renferment en elles-mêmes une cause perturbatrice qui les dissocie aussitôt que, par l'intervention de certaines autres causes, la tendance des élémens à former des combinaisons plus simples, suivant leurs affinités spéciales, c'est-à-dire la différence chimique de ces élémens surpasse l'affinité du radical.

Les transformations que les molécules organiques subissent par l'influence de causes étrangères, et qui amènent un nouvel arrangement dans leurs élémens, sont généralement désignées par *métamorphoses organiques*. Elles se distinguent des autres décompositions en ce que tous les élémens de la molécule qui se métamorphose prennent part au nouveau groupement, sans qu'il s'en sépare un seul.

Les affinités spéciales des élémens d'une molécule organique augmentent avec le nombre des équivalens d'élémens qui représentent cette molécule, et c'est en raison du nombre, de l'hétérogénéité et de la différence chimique de ces élémens que s'accroît également la facilité avec laquelle la molécule peut se métamorphoser.

Une molécule organique qui ne renferme que deux élémens ne peut éprouver qu'une seule espèce de métamorphose sans que l'un des élémens se sépare. Ou bien,

plusieurs molécules simples d'un même composé s'unissent et forment une molécule complexe d'un ordre plus élevé ; telle est, par exemple, la transformation du cyanogène en paracyanogène ; ou bien une molécule complexe se scinde en plusieurs molécules simples d'un ordre inférieur.

Dans les molécules d'une composition bien simple qui renferment trois élémens, l'affinité du radical surpasse ordinairement les affinités spéciales des élémens. Les combinaisons de ce genre présentent un caractère chimique défini ; elles sont ou acides ou basiques, ou bien incapables de se combiner avec d'autres corps, c'est-à-dire elles sont neutres.

Les molécules plus complexes dans lesquelles l'affinité du radical est contre-balancée par les affinités élémentaires, ne possèdent pas de caractère chimique bien tranché ; les corps ainsi constitués se comportent comme acides avec les bases fortes ou comme bases avec les acides énergiques.

Les métamorphoses se manifestent, lorsque l'équilibre d'affinité du radical pour les élémens, ou les autres radicaux avec lesquels il est combiné, se trouve détruit par suite de l'augmentation de la différence chimique des élémens de ce radical.

L'équilibre d'affinité est détruit :

a) *Lorsque deux ou plusieurs élémens du radical éprouvent un changement de cohésion par l'action de la chaleur.*

b) *Lorsqu'ils se trouvent en contact avec un autre corps qui ne se combine pas avec eux.*

c) *Lorsque les élémens de l'eau s'y ajoutent.*

d) *Ou enfin lorsque plusieurs de ces causes agissent simultanément.*

Les métamorphoses qui résultent de l'action de ces diverses causes peuvent être de deux sortes : ce sont des *polymorphoses* lorsqu'une molécule complexe se découple en deux ou plusieurs molécules d'une composition égale ou différente, ou bien des *symmorphoses* lorsque deux ou plusieurs molécules simples s'unissent pour former une molécule d'un ordre plus élevé.

Voici quelques exemples de symmorphose :

1° 3 équivalens de cyanogène s'unissent pour former un équivalent de paracyanogène.

2° 3 équivalens d'hydrure de cyanogène donnent un équivalent d'hydrure de paracyanogène.

3° 3 équiv. d'acide cyanique forment 1 équiv. d'acide cyanurique.

4° 3 équiv. de chlorure de cyanogène gazeux donnent 1 équiv. de chlorure de cyanogène solide.

5° 3 équiv. de cyanogène et 1 équiv. d'azote forment 1 équiv. de mellone.

6° 2 équiv. d'acide cyanhydrique et 1 équiv. de cyanure de fer forment 1 équiv. d'acide ferrocyanhydrique.

7° 3 équiv. d'aldéhyde donnent 1 éq. de métaldéhyde.

8° L'hydrate d'acide cyanique se transforme en cyanmélide.

9° Le cyanate d'ammoniaque se convertit en urée, etc., etc.

La molécule d'une substance non azotée peut se métamorphoser par l'action de la chaleur de deux manières :

a) Le carbone se combine à la fois à l'oxygène et à l'hydrogène, et on obtient d'un côté un oxide de carbone

et de l'autre un ou plusieurs hydrogènes carbonés, qui renferment tout l'hydrogène de la substance. Ainsi, par exemple, l'acide acétique se décompose en acide carbonique et acétone, l'acide méconique en acide carbonique et acide coménique ou pyroméconique. *b)* Il se forme de l'eau et une combinaison qui contient tout le carbone. C'est de cette manière que se comporte l'acide malique qui se décompose en eau et acide formique ou équisétique, de même le formiate d'ammoniaque qui donne de l'eau et de l'acide cyanhydrique.

Lorsque l'action de la chaleur donne naissance à de l'eau et à de l'acide carbonique à la fois, il se sépare du carbone, et les autres élémens se groupent en une foule de nouveaux composés. C'est là le résultat de la décomposition qu'on désigne généralement sous le nom de *distillation sèche*.

En examinant de plus près ce qui se passe dans la distillation sèche, il est aisé de remarquer que tous les produits se forment en vertu du même mode d'association; on voit toujours le carbone s'unir à la fois à l'hydrogène et à l'oxygène. Les derniers produits que l'on obtient sont d'un côté l'acide carbonique et l'oxide de carbone, et de l'autre des hydrogènes carbonés gazeux, liquides ou solides. S'il y a eu excès de carbone, il reste un dépôt de charbon. Dans la plupart des cas, lorsqu'il se forme de l'eau, on n'obtient pas d'acide carbonique, mais un oxide d'un hydrogène carboné, et ce n'est que par la décomposition de ce dernier à une température plus élevée que se produit de l'acide carbonique et un résidu de charbon. Ainsi, lorsqu'on fait passer des vapeurs d'alcool à travers un tube chauffé au rouge obscur, on ob-

tient de l'aldéhyde, de l'eau, du gaz oléiant et de l'hydrogène protocarboné. Le sucre fournit de l'eau et du caramel. Les matières azotées donnent des oxides de carbone ou bien des carbures d'hydrogène oxidés, de l'ammoniaque et des hydrogènes carbonés.

La distillation sèche est donc une espèce de combustion qui s'opère au sein même d'une substance organique, et par suite de laquelle une partie de son carbone brûle aux dépens de la totalité ou d'une partie de son oxygène, et le reste des élémens se groupe en de nouveaux composés.

Plus une molécule organique renferme d'atomes, plus les produits qui se forment par la distillation sèche sont nombreux et variés. Ainsi le bois donne, outre l'acide carbonique et l'acide acétique, comme produit le plus remarquable, de l'esprit de bois et un grand nombre de carbures d'hydrogène.

La nature chimique des composés, qui prennent naissance par l'action de la chaleur sur les corps organiques, dépend presque uniquement de la faculté que ces produits possèdent de se gazéifier à une certaine température et de se soustraire ainsi à toute altération ultérieure. Dans ces décompositions la chaleur agit à la manière d'une affinité prédisposante, et il faut bien les distinguer des métamorphoses proprement dites, où cette cause n'intervient pas.

Dans la décomposition de l'acide acétique par la chaleur, le corps qui se métamorphose possède le même état que les produits, l'acide carbonique et l'acétone. C'est une métamorphose pure.

Il est évident que lorsque les élémens de l'eau inter-

viennent dans la décomposition d'un corps dont l'équilibre moléculaire est détruit, ou que l'on empêche les produits volatils de se dégager en exposant, par exemple, en vase clos, des matières organiques dans l'eau à une température élevée, les élémens du corps en décomposition, en subissant une métamorphose, doivent encore se partager dans le même ordre que nous avons établi plus haut.

L'acide oxalurique se convertit à 100° en acide oxalique et urée; l'oxamide chauffée dans l'eau à 220° s'assimile les élémens de 2 at. d'eau (Henry). Dans l'un et l'autre cas il se forme donc d'une part des oxides de carbone, qui renferment la totalité ou au moins la plus grande partie de l'oxygène, et de l'autre une combinaison azotée qui contient tout l'hydrogène. L'asparagine se transforme à 150° en aspartate d'ammoniaque.

L'acide urique, en se métamorphosant, s'unit aux élémens de l'eau à 200° sans dégager de gaz, et se transforme en ammoniaque et un acide jaune, insoluble dans l'eau, qui contient tout le carbone. Le sucre de canne ou l'amidon chauffés à 200°, s'assimilent les élémens de l'eau et se transforment en sucre de raisin. (Wœhler et J. Liebig.)

La métamorphose de l'acide oxalurique et de l'oxamide est absolument la même que celle de l'amidon; il y a seulement cette différence que dans le premier cas nous croyons savoir la forme que prend l'eau en s'unissant à l'oxamide, tandis que nous l'ignorons absolument pour l'amidon. L'acide oxalurique et l'oxamide donnent naissance à deux combinaisons d'un autre ordre et capables de s'unir de nouveau, tandis que le sucre ne produit rien de semblable. C'est par suite de la destruction

de l'équilibre, de l'augmentation de la différence chimique des élémens et de l'élévation de température en présence de l'eau, dont les parties constituantes prennent part au nouveau groupement des élémens, que l'oxamide et l'acide oxalorique éprouvent une métamorphose, l'amidon et le sucre de canne une symmorphose.

Dans toutes ces décompositions on peut remplacer la température élevée *par des affinités chimiques*, peu importe que les corps agissans puissent ou non se combiner avec le nouveau produit ou avec une de ses parties constituantes.

Le sucre de canne, dissous dans l'acide sulfurique faible, se transforme à la température ordinaire en sucre de raisin.

En faisant bouillir un mélange de 100 parties d'amidon, 600 parties d'eau et 10 parties d'acide sulfurique, on obtient au bout de sept heures du sucre de raisin ; à 120° la même métamorphose s'accomplit déjà dans quelques minutes, et à 109° elle s'opère dans l'espace de trois heures, si, au lieu de prendre 10 parties d'acide sulfurique, on n'en emploie qu'une partie.

L'acide méconique en contact avec l'acide chlorhydrique chaud se décompose instantanément en acide coménique et acide carbonique ; l'alloxane se transforme en acide oxalique, alloxantine et acide oxalorique ; la salicine en contact avec l'acide sulfurique faible donne de la salirétine et du sucre de raisin, la phlorizine produit de la phlorétine et du sucre de raisin. L'asparagine traitée par un acide donne de l'aspartate d'ammoniaque, l'oxamide sous la même influence produit de l'oxalate d'ammoniaque.

On explique ordinairement les métamorphoses de

l'oxamide et de l'asparagine par la prédisposition que possède l'acide pour l'ammoniaque; mais on sait que  $\frac{1}{1000}$  d'acide oxalique peut déjà amener cette transformation, tandis que l'azotate de chaux ne la provoque pas, quoique dans ce dernier cas deux affinités soient mises en jeu, celle de l'acide azotique pour l'ammoniaque et celle de l'acide oxalique pour la chaux.

Dans toutes les circonstances l'équilibre des attractions élémentaires d'une combinaison organique est détruite par l'affinité prédisposante ou par l'action des acides, des alcalis et de certains autres corps. Du nouveau groupement des élémens, il résulte alors des produits dont les propriétés chimiques sont contraires à celles du corps réagissant, et qui par conséquent en arrêtent l'action en se combinant avec lui.

Les acides énergiques provoquent la formation de l'eau ou d'un corps basique; les bases fortes obligent, pour ainsi dire, les élémens du corps soumis à leur action de constituer un acide, et dans ce cas, le plus souvent, les élémens de l'eau prennent part à la formation de ce dernier.

Ces sortes de décompositions sont tout-à-fait identiques avec celles qu'éprouvent certaines combinaisons inorganiques sous la même influence. Pour les composés organiques il y a seulement cette différence, que le nombre des produits auxquels ils peuvent donner naissance et la facilité avec laquelle ils subissent une métamorphose, augmentent en raison du nombre d'atomes contenus dans une molécule organique, et de la différence chimique des élémens de cette molécule.

Pour les molécules inorganiques, ou pour celles des corps organiques qui présentent une composition assez

simple, la décomposition est liée à une condition déterminée (acide oxalique et acide sulfurique concentré); pour les molécules organiques complexes, au contraire, les produits varient suivant la nature, la concentration du corps réagissant et la température à laquelle l'action s'accomplit.

La diversité des transformations et des produits qui en résultent, est le moyen le plus sûr pour apprécier la complexité de la molécule d'une substance organique; car tous les principes sur lesquels on s'appuie en chimie minérale, lorsqu'il s'agit de déterminer la molécule d'un corps, en cherchant, par exemple, la quantité de substance qui s'unit à un équivalent de base, perdent entièrement leur valeur si l'on veut les appliquer aux composés organiques. C'est ainsi qu'on ignore tout-à-fait le poids atomique de l'alloxane, de même la véritable formule du sucre est encore douteuse et ne saurait être établie d'une manière positive à l'aide des règles actuellement admises.

Il est clair que la facilité avec laquelle une molécule organique se décompose, doit s'accroître avec la quantité d'oxygène qu'elle renferme, parce qu'avec la masse d'oxygène augmente également l'affinité de cet élément pour les élémens qui constituent le radical; à mesure que cette quantité d'oxygène devient plus faible, cette facilité à se décomposer doit donc également diminuer (amméline, mélamine, acide stéarique, etc.).

L'intensité avec laquelle les parties constituantes des composés connus se trouvent maintenues en combinaison est extrêmement variée. Il y a des combinaisons qui résistent aux affinités les plus énergiques, d'autres au contraire qui se dissocient par les plus légères atteintes

portées à l'équilibre de leurs affinités élémentaires , par un changement de température peu sensible , ou par la moindre altération de l'état électrique.

Mais comme dans la nature la température varie constamment et qu'une indifférence d'attraction est impossible entre des combinaisons chimiques hétérogènes , il en résulte que dès que deux corps différens viennent à se toucher , une certaine action chimique est mise en jeu. De plus , comme deux corps ne sauraient être comprimés , frappés , frottés ou seulement touchés sans changer d'état électrique , on voit que ce sont là des causes suffisantes pour amener la perturbation de l'équilibre dans des combinaisons où l'attraction des élémens est déjà extrêmement faible.

L'eau oxigénée , le persulfure d'hydrogène , l'acide nitrosulfurique et plusieurs autres composés appartiennent à cette classe de corps ; ils se décomposent peu à peu spontanément par les plus légers changemens de température , et cette décomposition lente devient instantanée lorsqu'on touche ces corps avec du charbon bien divisé , du platine et une foule d'autres corps solides , sans que ces derniers éprouvent aucune espèce d'altération.

C'est à tort qu'on a attribué ce genre de décomposition à une cause particulière ; car , si l'on ne veut pas admettre que c'est tantôt le frottement ou le choc qui développe la force catalytique dans les fulminates d'argent et de mercure , et dans l'argent fulminant de Berthollet ; tantôt la chaleur de la main , ou une température un peu plus élevée qui la provoque dans l'oxide de chlore et l'acide chloreux , cette force ne peut pas non plus agir dans la décomposition du persulfure d'hydrogène

ou de l'eau oxigénée ; car il y a dans ces décompositions uniquement cette différence, que pour l'un des cas elles s'opèrent dans un corps solide, pour l'autre dans un gaz, et enfin, pour ceux que l'on attribue à la force catalytique, dans un liquide.

J'ai indiqué précédemment les conditions sous lesquelles se produisent les métamorphoses des molécules organiques, et relaté les principes d'après lesquels leurs élémens se groupent, dans les cas qui diffèrent des décompositions chimiques ordinaires.

Il me reste maintenant à appeler l'attention des savans sur une cause d'action chimique, dont on n'a pas tenu compte jusqu'à présent, et qui est la source des phénomènes de métamorphose qu'on désigne ordinairement sous le nom de *corruption*, de *putréfaction* et de *fermentation*.

*Cette cause est la faculté que possède un corps en décomposition ou en combinaison, c'est-à-dire en action chimique, d'éveiller la même action dans un autre corps, qui se trouve en contact avec lui, ou de le rendre apte à subir l'altération qu'il éprouve lui-même.*

Cette manière d'agir peut être comparée à un corps en combustion (en action chimique), dont le contact avec un autre corps suffit pour y provoquer la même action.

La faculté que possède un corps en décomposition ou en combinaison d'éveiller dans un autre corps des attractions qui n'étaient d'abord pas en jeu, ou bien d'en augmenter l'attraction élémentaire à un tel degré que ces élémens donnent lieu à des combinaisons nouvelles, est une propriété caractéristique, une manifestation spéciale de l'attraction chimique dont les effets sont semblables à ceux d'une cause particulière. *Dans un corps en*

*combustion cette cause est, comme on sait, la température élevée.*

Je pourrais citer un grand nombre d'expériences à l'appui de la généralité de cette cause ; je me contenterai d'en énumérer les suivantes.

Le platine, à lui seul, ne peut pas décomposer l'acide azotique, tandis qu'un alliage de platine et d'argent s'y dissout facilement. L'argent communique ainsi au platine une propriété qu'il ne possédait pas à l'état isolé ; l'un et l'autre métal s'emparent de l'oxygène en décomposant l'acide azotique.

Le peroxide de manganèse, l'oxide d'argent, le peroxide de plomb et d'autres oxides encore, décomposent l'eau oxigénée en se désoxidant eux-mêmes. En effet, en même temps que l'oxygène de l'eau oxigénée devient libre, il se dégage tout l'oxygène de l'oxide d'argent, la moitié de l'oxygène du peroxide de plomb, et, en présence d'un acide, la moitié de l'oxygène du peroxide de manganèse ; tous ces corps éprouvent cette décomposition dans des liquides étendus, dont la température ne s'élève pas d'une manière sensible (1).

L'azote ne brûle pas dans l'oxygène ; mais lorsqu'il est mélangé d'hydrogène et qu'on allume le mélange à l'air ou dans l'oxygène, l'hydrogène et l'azote brûlent en formant de l'eau et de l'acide azotique.

(1) Quelle que soit la cause qui provoque la décomposition de l'eau oxigénée, il est bien avéré qu'à elle seule elle n'amène pas la décomposition de l'oxide d'argent ni celle du peroxide de manganèse ; c'est l'action chimique, la perturbation qu'éprouvent les élémens de l'eau oxigénée qui se communique à ces oxides et les rend aptes à subir le même genre de décomposition.

L'eau n'est pas décomposée par le cuivre avec le concours de l'acide sulfurique ; à l'aide de la chaleur elle ne l'est que difficilement par le nickel, tandis que le zinc en opère la décomposition avec la plus grande facilité. L'alliage de ces trois métaux, qui, comme on sait, porte le nom de métal d'Alger ou de Maillechort se dissout aisément dans l'acide sulfurique affaibli, avec dégagement d'hydrogène. Le zinc communique ainsi au cuivre une propriété qui lui manquait absolument.

Les combinaisons organiques présentent le même genre de phénomène ; l'observation la plus curieuse a été faite à cet égard par Th. de Saussure. Dans son mémoire sur l'influence des matières fermentescentes sur un mélange d'oxygène et d'hydrogène (1), ce savant a éclairci les phénomènes de la fermentation d'une manière bien plus nette que tous ceux qui se sont occupés du même sujet avant lui. On sait que le terreau, le ligneux (le coton), la soie, les graines, imprégnés d'eau, absorbent de l'oxygène sous certaines conditions, en le remplaçant par un volume égal d'acide carbonique. Lorsqu'on introduit ces mêmes matières dans un mélange d'oxygène et d'hydrogène, il disparaît en même temps de l'oxygène et de l'hydrogène, qui s'unissent pour former de l'eau. L'altération qu'éprouve la substance organique se reporte donc sur l'hydrogène.

Les expériences que je viens de mentionner suffisent pour corroborer ce que j'ai avancé sur la cause particulière qui doit provoquer ce genre de phénomènes ; dans le cours de ce mémoire j'aurai encore l'occasion de reve-

---

(1) Bibliothèque universelle de Genève, février 1833, p. 380.

nir sur d'autres faits qui écarteront toute espèce de doute à ce sujet.

Avant d'entrer dans de plus amples développemens, je dois définir d'abord d'une manière précise les phénomènes dont l'interprétation forme l'objet du présent mémoire.

On entend en général par *érémacausie* (du grec *ἕρεμα*, peu à peu, et *καύσις*, combustion) les altérations qu'éprouvent les matières organiques à la température ordinaire ou à une température un peu plus élevée. Elles n'ont lieu que lorsque ces matières se trouvent à l'état humide; elles cessent au point de congélation de l'eau, et ne se manifestent point sans la présence de l'oxigène.

Lorsque, au moyen de l'eau, on empêche l'air d'approcher le corps qui se trouve dans cet état d'altération, ce corps entre en *putréfaction*.

L'érémacausie est une combustion à une température basse, à laquelle les élémens de la substance prennent une part inégale suivant leur affinité pour l'oxigène.

La *putréfaction* est une espèce d'érémacausie qui a lieu sans le concours de l'oxigène de l'air; c'est une combustion d'un ou de plusieurs élémens de la substance organique aux dépens de son propre oxigène, ou bien de celui de l'eau, ou bien encore aux dépens de l'oxigène de la matière organique et de l'eau à la fois.

Lorsqu'on empêche l'accès de l'oxigène et l'influence de l'humidité, on observe en même temps les phénomènes de putréfaction et d'érémacausie, et ce genre de décomposition se nomme alors *aposepsie* ou *pourriture sèche*.

On désigne par *fermentation* la putréfaction de substances végétales, qui s'accomplit sans qu'il se dégage

aucune odeur, ou au moins aucune odeur désagréable.

En considérant la manière dont se comportent les éléments organiques, il faut poser comme principe que, l'hydrogène étant l'élément le plus combustible, dans un corps composé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, qui éprouve les altérations d'éremacausie, une partie ou la totalité de l'hydrogène se combine tout d'abord et seul avec l'oxygène réagissant, en produisant de l'eau. L'oxygène de la substance reste combiné avec les autres éléments, et forme un ou plusieurs oxides moins hydrogénés, ou bien il s'unit à une partie du carbone de la substance pour produire de l'acide carbonique, qui se sépare des autres éléments. Le carbone de la substance ne se combine pas seul et directement avec l'oxygène réagissant, avant que tout l'hydrogène, qui s'y trouvait uni, soit converti en eau. (Voyez page 147.)

Dans les transformations que subissent les substances organiques par l'éremacausie, on n'observe pas de substitution de l'hydrogène par son équivalent d'oxygène.

Si la quantité d'oxygène absorbée par la substance organique est plus grande que celle qui correspond à l'eau produite, il se forme un oxide renfermant moins d'hydrogène, capable de prendre encore de l'oxygène, en donnant lieu à un degré d'oxidation supérieur.

Les principes que nous venons d'énoncer sont déduits des deux phénomènes d'éremacausie qui ont été étudiés avec le plus de soin, c'est-à-dire de la transformation de l'alcool en acide acétique et de la production de l'ulmine par les substances végétales. Il va sans dire que de nouvelles expériences sont encore nécessaires pour les vérifier et leur donner plus d'extension.

Dans l'éremacausie de l'alcool, l'oxygène enlève deux

équivalens d'hydrogène, qu'il transforme en eau ; il reste un oxide moins hydrogéné, l'aldéhyde, qui renferme tout l'oxygène de l'alcool. Lorsque l'action de l'oxygène va plus loin, l'aldéhyde absorbe 2 équivalens d'oxygène et se convertit en acide acétique. Ainsi, dans cette action, il n'y a pas de substitution dans le genre de celles que l'hydrogène éprouve par le chlore, le brôme et l'iode, et qui, selon M. Dumas, semblent s'opérer suivant les principes de l'isomorphisme.

Dans l'érémacausie du bois, pour chaque volume d'oxygène qui est absorbé, il se sépare un volume d'acide carbonique. Si la formation de ce dernier corps était la conséquence d'une oxidation directe du carbone, il faudrait qu'il restât une matière contenant plus d'hydrogène et moins de carbone ; mais cela n'a pas lieu. Il reste, au contraire, une substance qui renferme les élémens de l'eau et plus de carbone que le corps, d'où elle a pris naissance. L'oxygène absorbé s'est donc porté sur l'hydrogène, et l'acide carbonique dégagé provient du ligneux.

|                                                                        |                        |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| En représentant la composition du bois<br>par la formule.....          | $C^{36} H^{48} O^{24}$ |
| il s'en sépare par l'effet de l'érémacausie<br>24 at. d'hydrogène..... | $H^{24}$               |
| qui forment de l'eau avec 12 at. d'oxygène.                            |                        |
| Des élémens restans.....                                               | $C^{36} H^{24} O^{24}$ |
| il se sépare 6 at. d'acide carbonique....                              | $C^6 O^{12}$           |
| et il reste de l'ulmine.....                                           | $C^{50} H^{24} O^{12}$ |
| substance plus riche en carbone (1), ne contenant pas                  |                        |

(1) L'acide ulmique que M. Malaguti a analysé, et qu'il avait ob-

l'hydrogène et l'oxigène sous la forme de l'eau, quoique dans le même rapport, et capable par conséquent de subir de nouvelles transformations sous l'influence de l'oxigène. Qu'on se représente tout l'hydrogène enlevé et tout l'oxigène séparé du bois sous forme d'acide carbonique, et il restera deux tiers du carbone de la substance dans un état plus ou moins divisé.

Le premier produit de cette transformation est l'*ulmine*, le dernier est le *pourri*. Le pourri n'est autre chose que du charbon, qui, en combinaison avec de l'hydrogène et de l'oxigène, sous forme d'eau, constitue la partie essentielle des lignites (1).

Le pourri pur, tel qu'on le trouve dans les tourbes et les lignites, exerce aussi peu d'influence sur la végétation que le charbon de bois divisé ou le noir de fumée; car c'est uniquement aux dépens de l'acide carbonique dégagé par l'éremaçausie du bois et de l'ulmine que les plantes se nourrissent. Ainsi on ne peut pas juger d'une manière précise de la qualité du sol en se réglant sur la quantité de substances solubles dans la potasse qu'il renferme.

La *putréfaction* s'établit lorsque l'équilibre des attractions élémentaires d'une molécule organique complexe se trouve détruit. Elle a pour résultat un nouveau groupement des élémens, qui dépend exclusivement de l'affinité spéciale que ces derniers ont l'un pour l'autre, au-

tenu en traitant le sucre par des acides, présente exactement cette formule, plus 3 at. d'eau.

(1) Les lignites de Salzhausen, de Nauheim et de Laubach, qui sont exemptes de parties bitumineuses, contiennent de l'oxigène et de l'hydrogène dans la même proportion que l'eau.

cune espèce de prédisposition n'agissant sur eux ; elle n'a lieu qu'en présence de l'eau, dont les élémens prennent le plus souvent part aux transformations qui en sont la conséquence. A cet égard les produits de la putréfaction ressemblent absolument aux produits qui se forment par l'action de la chaleur sur les matières organiques.

Il y a cependant cette différence entre la distillation sèche et la putréfaction, que l'influence qu'exerce la volatilité ou la fixité des produits sur leur formation n'est pour rien dans le dernier cas, de sorte que proprement ces deux actions ne se ressemblent tout-à-fait que lorsque tout le carbone prend part à la métamorphose. Si l'on veut attacher à l'expression de distillation sèche l'idée d'une métamorphose, on pourrait dire que la putréfaction est une distillation sèche qui s'opère au sein de l'eau et à un degré de chaleur un peu supérieur à la température ordinaire.

Le sucre de raisin et l'acétique hydraté présentent la même composition. Le sucre, en se putréfiant, se décompose en acide carbonique et alcool; l'acide carbonique renferme  $\frac{2}{3}$  de l'oxygène, l'alcool contient tout l'hydrogène du sucre. L'acide acétique, en se métamorphosant par l'action de la chaleur, donne de l'acide carbonique et de l'acétone; dans l'acide carbonique on retrouve les  $\frac{2}{3}$  de l'oxygène, dans l'acétone tout l'hydrogène de l'acide acétique.

Un corps en érémacausie se putréfie lorsqu'il se trouve à l'abri du contact de l'air; un corps en putréfaction peut subir les effets de l'érémacausie lorsqu'il absorbe une certaine quantité de l'oxygène de l'air.

Toutes les matières antiseptiques empêchent l'éremacausie; toutes celles qui entravent l'éremacausie, telles que le sublimé corrosif, le charbon de bois, arrêtent également la putréfaction.

Les matières végétales humides se corrompent à l'air en absorbant de l'oxygène, qui s'unit à leur hydrogène. L'oxygène qu'elles renferment se combine à une partie de leur carbone et se dégage à l'état d'acide carbonique.

D'après les expériences de Th. de Saussure, l'éremacausie qu'éprouvent ces matières cesse dans une atmosphère d'hydrogène; elles entrent en putréfaction, et de même, comme si elles se trouvaient exposées à l'air, elles dégagent encore de l'acide carbonique. *Il est donc évident que ce n'est pas l'oxygène de l'atmosphère, mais bien celui que renferme la substance organique elle-même; qui occasionne la formation de l'acide carbonique.*

Lorsque le ligneux se putréfie dans l'eau, par exemple au fond des marais, il dégage de l'acide carbonique et de l'hydrogène carboné. Un atome de bois et 3 atomes d'eau renferment les élémens de 6 atomes d'acide carbonique et 6 atomes de gaz des marais.

Lorsqu'on chauffe des alimens et certaines autres substances dans un vase hermétiquement fermé jusqu'au point d'ébullition de l'eau, on peut les conserver sans qu'ils se détériorent. L'oxygène de l'air qui est renfermé dans le vase, et qui doit être considéré comme agent provocateur de l'éremacausie, et, par conséquent, de la putréfaction, entre en combinaison à une température à laquelle la putréfaction ne peut avoir lieu. Lorsqu'on vient renouveler l'accès de l'air en ouvrant le vase, l'effet

de l'éremacausie et de la putréfaction se manifeste de nouveau.

La plupart des lignites et des tourbes, qui renferment l'hydrogène et l'oxygène dans la proportion de l'eau, se sont formées sans aucun doute par suite de la pourriture sèche du ligneux ; par l'effet de l'éremacausie la totalité ou une partie de l'hydrogène s'est séparée des élémens du bois, et par celle de la putréfaction l'oxygène s'en est dégagé. Qu'on se représente maintenant cette dernière métamorphose comme s'étant opérée à une température un peu élevée et sous une forte pression, il faudrait alors que d'une part des quantités énormes d'acide carbonique eussent pris naissance, et de l'autre des dépôts de charbon renfermant une partie de l'hydrogène de la substance. Ainsi les houilles et certaines espèces de lignites sont les résidus de cette métamorphose du bois ; il est aisé de démontrer le rapport qui existe entre la composition de ces combustibles et celle du bois.

En effet, d'après les analyses de M. Regnault et celles de M. Richardson, on peut représenter la composition de la partie combustible du splint-coal de New-Castle et du cannel-coal de Lancashire par la formule  $C^{24} H^{26} O$ , ou bien par  $C^{24} H^{24} + H^2 O$  ; mais ces nombres expriment exactement la composition de l'ulmine d'où se sont séparés les élémens de 6 atomes d'acide carbonique.

Le back-coal de Caresfield, près de New-Castle, s'est formé du cannel-coal, en ce que 4 atomes de carbone et 8 atomes d'hydrogène se sont séparés des élémens de ce dernier.

Les rapports que je viens d'énoncer ne sont nécessairement autre chose que des suppositions, qui toutefois

se distinguent de celles qu'on a faites jusqu'à présent en ce qu'elles reposent sur une base définie. C'est pourtant un fait bien curieux que dans les mines de lignites le grisou n'est pas formé de gaz combustibles, mais d'acide carbonique; et que depuis le Vogelsberg jusqu'à l'Eifel, en traversant la Wetterau le long du mont Taunus, toutes ces formations de lignites sont accompagnées d'émanations d'acide carbonique qui donnent naissance à de nombreuses sources d'eaux minérales partout où, dans ces contrées, les sources d'eau douce arrivent au jour (1).

Dans les matières animales la putréfaction s'établit plus facilement que dans les substances végétales, soit parce que la différence chimique de leurs parties constituantes est plus grande, soit aussi parce que leurs molécules sont bien plus complexes que celles de ces dernières.

La différence chimique des élémens est plus grande par suite de l'affinité du carbone et de l'hydrogène pour l'oxygène d'une part, et de l'autre en raison de l'affinité exclusive de l'azote pour l'hydrogène.

(1) Des observations précises et fort intéressantes ont été faites dans ces contrées sur la formation des sources acidulées. Il y a quelques années, on remarquait dans les environs de Salzhausen une excellente source acidulée dont tous les habitans faisaient usage. Lorsque, pour la garnir, on avait fait murer les ouvertures latérales d'où se dégageaient des torrens d'acide carbonique, on n'obtenait plus depuis ce moment que de l'eau douce. A l'occasion du recurage d'une fontaine minérale, M. Wilhelmi, inspecteur des salines, remarqua que l'acide carbonique s'écoulait de canaux latéraux, tandis que la source qui venait d'en bas était de l'eau douce. M. Schapper, ingénieur en chef des mines, fit la même observation lors du recurage de la célèbre fontaine de Fachingen.

Toutes les matières azotées qui se décomposent facilement et sont par conséquent d'une constitution bien complexe, ou qui présentent une différence chimique bien grande par rapport à leurs élémens, entrent en putréfaction à la température ordinaire lorsqu'on leur présente les parties constituantes de l'eau.

Les transformations qu'éprouvent le cyanogène, l'acide cyanhydrique et l'acide cyanique, quand ils sont mis en contact avec l'eau, sont des exemples très simples de ce genre de décomposition. L'ammoniaque et l'acide formique sont les produits de la putréfaction de l'acide cyanhydrique; l'acide oxalique et l'ammoniaque, ceux de la putréfaction du cyanogène. Enfin l'acide cyanique hydraté donne dans les mêmes circonstances de l'acide carbonique et de l'ammoniaque. Le cyanate d'ammoniaque et le cyanhydrate d'ammoniaque, qui se forment en même temps que les produits mentionnés, sont le résultat de décompositions chimiques ordinaires. L'urée, l'hydrure de paracyanogène et l'acide paracyanique sont les produits d'une symmorphose.

L'ammoniaque, qui se produit dans ces métamorphoses, correspond à l'acétone ou à l'alcool dans la métamorphose de l'acide acétique ou dans la putréfaction du sucre; d'un côté se forment des oxides de carbone ou un oxide d'un hydrogène carboné, et de l'autre une combinaison azotée qui renferme la totalité ou le reste de l'hydrogène.

Il ne peut pas être question ici d'une certaine prédisposition, comme celle qui influe dans les décompositions ordinaires; la molécule organique se scinde en

deux autres molécules complexes, qui restent combinées.

La formation de l'urée par le cyanate d'ammoniaque doit s'expliquer d'après les mêmes principes. En effet, il se produit par une espèce de partage de son radical, composé de carbone et d'azote, entre l'hydrogène et l'oxygène. M. Dumas a certainement saisi le caractère chimique de l'urée de la manière la plus heureuse, en l'exprimant par une formule où le carbone se trouve uni à tout l'oxygène, et l'azote à tout l'hydrogène.

C'est d'après les mêmes principes qu'il faut s'expliquer la transformation de l'acide cyanique hydraté en cyamélide.

L'urée et la cyamélide se distinguent du bicarbonate et de l'oxalate ammoniaque tout simplement en ce que ces derniers sont des sels, c'est-à-dire des combinaisons où les principes constituans peuvent être remplacés par des oxides métalliques et des acides, tandis que nous ne connaissons aucun moyen pour séparer et remplacer l'amide par une combinaison analogue, un radical par un autre radical. L'urée et la cyamélide ne sont pas des sels, mais des combinaisons de radicaux.

Beaucoup de substances azotées, qui constituent une partie des plantes ou des animaux, subissent une altération progressive dès le moment qu'elles cessent d'appartenir à l'économie, et qu'on les met en contact avec l'eau et l'air; elles entrent d'elles-mêmes en érémacausie ou en putréfaction. On ne peut mettre ni le sang ni les sucs végétaux en contact avec l'air sans leur faire éprouver de modification; il y a absorption d'oxygène, l'ére-

macausie s'établit, et, par suite de celle-ci, la putréfaction.

Il faut distinguer plusieurs périodes dans la putréfaction de ces substances; les combinaisons qui se forment dès le commencement disparaissent vers la fin de la métamorphose. Les produits qui prennent naissance en dernier sont l'acide carbonique, l'ammoniaque, l'eau et un corps analogue à l'ulmine.

A peu d'exceptions près, les substances non azotées n'entrent pas d'elles-mêmes en putréfaction lorsqu'elles sont pures. Elles ne se métamorphosent qu'en tant qu'on les met en contact avec des corps déjà en putréfaction, ainsi avec des substances azotées. C'est ainsi qu'en introduisant dans de l'eau sucrée *des matières putréfiées*, telles que de la *chair musculaire*, de l'*urine*, de la *colle de poisson*, de l'*osmazome*, de l'*albumine*, du *fromage*, de la *glaiadine*, du *gluten*, de la *légumine*, du *sang*, on provoque la métamorphose, c'est-à-dire la putréfaction du sucre.

Il existe un certain corps qui présente cette propriété plus que tout autre, et auquel on a donné pour cette raison le nom de *ferment*. On le considère comme une combinaison chimique qui amène la décomposition de l'eau sucrée lorsqu'il se trouve en contact avec elle.

On a comparé l'action qu'exerce ce corps à l'effet que produisent sur l'eau oxigénée l'argent et le platine, qui en occasionnent la décomposition sans éprouver eux-mêmes la moindre altération; mais cette manière de voir n'est évidemment que l'expression du phénomène, elle ne nous apprend rien sur la cause qui le provoque.

Le ferment se produit par suite d'une métamorphose,

qui s'opère dans les sucres végétaux sucrés au contact de l'air, et qui se développe jusqu'à un certain degré lorsque l'accès de l'air est intercepté. Il renferme tout l'azote des substances azotées contenues dans les sucres végétaux, connues sous le nom d'albumine végétale ou de gluten ; il est donc le résultat d'une certaine altération que ces matières ont subie. Dans la plupart des cas il présente la même nature.

Lorsqu'on consulte les expériences nombreuses et importantes qui ont été faites sur ce corps par MM. Thenard, Colin et d'autres savans, on observe que c'est une substance excessivement altérable, qui se trouve dans une métamorphose continue, soit en putréfaction, soit en érémacausie ou en fermentation, ou enfin dans une décomposition quelconque.

J'essaierai maintenant d'interpréter ces expériences d'une manière plus précise ; on verra que le ferment n'est pas un agent particulier, mais qu'il excite la fermentation ou la putréfaction seulement par suite de l'altération qu'il éprouve lui-même.

*Le ferment est un corps en putréfaction et en érémacausie*, il convertit l'oxygène de l'air ambiant en acide carbonique, et dégage également de l'acide carbonique de sa propre masse (Colin) ; sous l'eau il continue à dégager de l'acide carbonique, et, au bout de quelques jours, des gaz fétides (Thenard). Il se transforme enfin en une substance ressemblant à du fromage pourri (Proust), et, arrivé à cet état, il a entièrement perdu ses propriétés actives.

Pour conserver les propriétés actives du ferment, pour l'entretenir en putréfaction, la présence de l'eau est in-

dispensable; lorsqu'on éloigne celle-ci, en exprimant le ferment, l'activité en est affaiblie et disparaît enfin entièrement par la dessication. De plus, l'activité en est encore détruite par la chaleur de l'ébullition, par l'alcool, le sel mariu, un excès de sucre, l'oxide de mercure, le sublimé corrosif, l'acide pyroligneux, l'acide sulfureux, le nitrate d'argent, les huiles essentielles, c'est-à-dire par toutes les substances qui entravent la putréfaction.

*Le corps insoluble qu'on appelle ferment n'excite pas la fermentation.* Lorsqu'on lessive convenablement de la levure de bière ou de vin avec de l'eau distillée, froide et privée d'air, en ayant soin de laisser toujours une couche d'eau sur la matière, on obtient enfin un résidu qui n'est plus susceptible de faire fermenter de l'eau sucrée. L'eau de lavage, au contraire, a acquis cette propriété; elle la perd dans l'espace de quelques heures lorsqu'on l'expose à l'air.

*La faculté que possède la partie soluble du ferment d'exciter la fermentation, n'est pas due à un effet de contact.* La levure perd instantanément sa propriété active lorsqu'on la met en contact avec l'alcool, sans que par là ce dernier l'acquière. Une décoction aqueuse de ferment, chaude et claire, mise en contact dans un vase clos avec de l'eau sucrée ne la fait pas fermenter. La fermentation se déclare, au contraire, d'une manière très vive lorsque, avant de mettre la décoction en contact avec l'eau sucrée, on l'a abandonnée à l'air pendant quelques heures (Colin); lorsqu'au contraire on l'a laissée refroidir à l'abri de l'air, aucune fermentation ne s'établit (Colin). *La partie soluble du ferment excite donc*

la fermentation par suite d'une décomposition qu'il éprouve lui-même. Par l'accès de l'air il y a absorption d'oxygène, et la décoction contient au bout de quelques heures une quantité sensible d'acide carbonique.

Deux décompositions s'accomplissent simultanément quand on laisse fermenter le sucre. Lorsque, dans une éprouvette graduée et remplie de mercure, on introduit 1 centimètre cube de levure de bière mélangée avec de l'eau, sous forme de bouillie liquide, et 10 gr. d'eau sucrée, renfermant 1 gr. de sucre pur, on trouve dans le vase, au bout de vingt-quatre heures, le tout ayant été exposé à une température de 20 à 25°, un volume d'acide carbonique, qui à 0° et 0,760<sup>mm</sup> de pression correspond à 245 — 250° centimètres cubes, c'est-à-dire à 0,485 — 0,495 grammes environ; mais les 11 c. cubes de liquide contenant un volume égal d'acide carbonique, on a en tout 255 à 259 cent. cubes, ou bien en poids 50,3 à 51,17 pour cent d'acide carbonique.

De plus, M. Thenard a obtenu de 100 parties de sucre de canne 57,5 parties d'alcool de 39° B., correspondant à 52,62 parties d'alcool absolu.

100 parties de sucre ont donc donné :

|       |                  |
|-------|------------------|
| 51,27 | acide carbonique |
| 52,62 | alcool.          |

Ensemble 103,89

Ainsi, dans l'alcool et l'acide carbonique on retrouve, aussi exactement que possible, le carbone du sucre. L'analyse du sucre de canne a prouvé d'une manière irrécusable que ce dernier renferme les élémens de 4 atomes d'acide carbonique, de 2 at. d'éther et de 1 at. d'eau.

En examinant la composition des produits de la fermentation du sucre, on trouve que l'alcool renferme  $\frac{2}{3}$ , l'acide carbonique  $\frac{1}{3}$  du carbone du sucre; mais ces produits renferment, en outre, 2 atomes d'hydrogène et 1 atome d'oxygène de plus que le sucre; il est donc évident que les élémens d'un atome d'eau ont pris part à la métamorphose.

D'après la quantité de base dont le sucre s'empare pour s'y combiner, et la composition de l'acide saccharique, produit de l'oxidation du sucre par l'acide nitrique (acide oxalhydrique de M. Guérin), on a tout lieu de croire qu'un atome de sucre renferme 12 équivalens de carbone. Aucun de ces atomes de carbone ne s'y trouve sous forme d'acide carbonique; car on obtient toute la quantité de carbone à l'état d'acide oxalique, lorsqu'on traite le sucre par du permanganate de potasse, et il est impossible de changer au moyen d'une matière oxidante de l'acide carbonique en acide oxalique. L'hydrogène ne se trouve pas dans le sucre sous forme d'éther; car en le traitant par des acides, principalement par de l'acide hydrochlorique concentré, on en retire de l'eau et un charbon brun de l'aspect du pourri, et l'on sait qu'aucune combinaison éthérée n'éprouve ce genre de décomposition.

Le sucre ne renferme donc ni de l'acide carbonique tout formé, ni de l'alcool ou de l'éther, ni aucun autre des produits nombreux qui naissent sous l'influence de certains agens étrangers. D'après sa manière de se comporter il faut le considérer comme une molécule complexe, qui peut se dédoubler en acide carbonique et alcool par suite d'un nouveau groupement de ses élémens.

Les élémens du ferment ne prennent donc aucune part à la formation des produits que donne le sucre par la fermentation, ainsi que l'expérience l'a prouvé. Il se fait tout simplement une scission dans une molécule complexe, analogue à celle qui a lieu par l'action de la chaleur sur les substances organiques, avec la différence toutefois que la fermentation s'opère au sein même de l'eau, et que les élémens de celle-ci s'assimilent aux produits formés. Pendant la fermentation du sucre, le ferment a éprouvé une altération non moins sensible, et la quantité en a diminué. Lorsqu'on introduit la partie insoluble, qui reste, après que la fermentation s'est accomplie, dans une autre portion d'eau sucrée, la quantité de ferment diminue encore par cette nouvelle action. Enfin le résidu insoluble, que l'on trouve après cette seconde fermentation, n'exerce plus aucun effet sur une nouvelle portion d'eau sucrée.

D'après les expériences de M. Thenard, 20 parties de levure de bière fraîche et 100 parties de sucre ont laissé, après avoir complètement fermenté, 13,7 parties d'un résidu insoluble. Celui-ci, mis en contact avec une nouvelle quantité de sucre, s'est réduit à 10 parties. Ce dernier résidu était blanc, présentait toutes les propriétés du ligneux et n'exerçait aucune action sur une nouvelle quantité d'eau sucrée.

Il résulte, de ce qui précède, que par la fermentation du sucre deux décompositions distinctes s'accomplissent simultanément, par suite desquelles le sucre et le ferment disparaissent tout-à-fait. Les élémens de ces corps se groupent d'une autre manière en formant de nouvelles combinaisons; celles que fournit le sucre sont connues d'une manière certaine, l'acide carbonique et l'alcool

renferment exactement les élémens du sucre , plus un atome d'eau , qui fait partie de la composition de l'alcool. Les produits auxquels le ferment donne lieu en se métamorphosant ne sont pas examinés ; on sait seulement que l'azote qu'il contient se retrouve à l'état d'ammoniaque dans la liqueur fermentée.

Le ferment est donc un corps en décomposition , en putréfaction , qui acquiert sa propriété active par son contact avec l'oxygène , en subissant lui-même les effets de l'éremacausie.

Le ferment insoluble qui a perdu ses propriétés par des lavages à l'eau exempte d'air, les reprend de nouveau lorsqu'on le laisse se putréfier (Colin).

Lorsqu'on ajoute du sucre au ferment qui se trouve en métamorphose , l'action que ce dernier éprouve se reporte sur le sucre. Si la quantité de ferment est trop faible par rapport à celle du sucre , sa putréfaction est plutôt achevée que celle du sucre ; il reste une certaine quantité de sucre non altéré , parce que la cause de la décomposition n'agit plus , c'est-à-dire qu'il n'y a plus le contact avec un autre corps en décomposition. L'état du ferment , son insolubilité dans l'eau , implique naturellement une décomposition plus lente. Si la quantité de ferment est plus grande , la putréfaction du sucre est terminée avant celle du ferment ; une portion de ferment disparaît , une autre reste et continué à se décomposer. Introduite dans une nouvelle quantité d'eau sucrée , elle excite de nouveau la fermentation jusqu'à ce qu'elle ait enfin parcouru elle-même toutes les phases de sa propre métamorphose.

Une certaine portion de ferment est nécessaire pour

faire fermenter une quantité donnée de sucre, toutefois elle n'agit pas par sa masse, mais seulement par l'effet de sa présence pendant tout le temps que le sucre se décompose jusqu'au moment où le dernier atome se transforme. Le ferment, comme provocateur de la fermentation, n'existe donc pas; la partie insoluble ne l'excite pas, et la partie soluble, qui se produit par sa décomposition, est également privée de cette propriété. Mais ces deux matières, la partie soluble et la partie insoluble l'acquièrent sitôt qu'elles éprouvent une altération par l'influence de l'air et de l'eau, altération dont le résultat final est la décomposition entière de ces substances. Ce ne sont donc pas des matières particulières qui amènent la fermentation, *mais simplement les mobiles d'une action qui s'étend au-delà de la sphère du corps en décomposition.*

J'ai signalé plus haut plusieurs faits pour mettre hors de doute l'existence d'une cause nouvelle qui engendre des décompositions et des combinaisons; et j'ai voulu démontrer que c'est la même cause à laquelle on doit attribuer les phénomènes de putréfaction, de fermentation, d'érimacausie et d'aposepsie, etc., etc.. Ce que je viens d'exposer suffit, je pense, pour prouver que ma conclusion n'est pas erronée.

Un corps organique en métamorphose amène dans d'autres molécules la destruction de l'équilibre des attractions élémentaires; les élémens disjoints se groupent alors suivant leurs attractions particulières. Par suite de ces transformations, le carbone se partage l'oxygène et l'hydrogène; lorsque les substances ne renferment pas d'azote, on obtient d'une part de l'acide carbonique et

de l'autre des hydrogènes carbonés ou des oxides d'hydrogènes carbonés; lorsque au contraire elles sont azotées, il se produit, outre l'acide carbonique, de l'ammoniaque, de l'hydrogène sulfuré et phosphoré, de l'hydrogène libre et des oxides d'hydrogènes à la fois azotés et carbonés (oxide caséique, acide caséique).

Tous les efforts qu'on pourrait tenter pour expliquer, d'après les décompositions chimiques ordinaires, l'effet des matières putrescentes sur d'autres substances, et qui consiste à exciter en elles la fermentation, seraient certainement sans succès; lorsqu'on recherche les causes de ces métamorphoses, on reconnaît toujours que c'est tout corps dont les élémens se trouvent dans l'état de métamorphose.

Les considérations qui précèdent permettent de se rendre compte d'une manière satisfaisante d'une foule de phénomènes bien connus.

Lorsqu'à de l'urine de cheval fraîche on ajoute de l'acide hydrochlorique, on obtient une quantité assez abondante d'acide hippurique; si, au contraire, on laisse l'urine se putréfier, on n'en obtient plus de trace, mais à sa place de l'acide benzoïque.

On obtient une grande quantité de nitrate d'urée lorsqu'on ajoute de l'acide nitrique à de l'urine humaine fraîche après l'avoir évaporée; l'urine putréfiée, au contraire, ne donne plus d'urée.

D'après M. Robiquet l'amygdaline, mise en contact avec du ferment et du sucre, dégage au bout de quelques mois une quantité abondante d'acide cyanhydrique. Une solution d'asparagine, telle qu'on l'obtient en traitant la racine d'althée par de l'eau de chaux à froid,

donne par l'évaporation un mucilage épais, dans lequel se dépose une grande quantité de cristaux d'asparagine; si on met la solution en contact avec du ferment, toute l'asparagine disparaît, et, lorsque la fermentation est achevée, la liqueur renferme de l'aspartate d'ammoniaque.

M. Dumas me fit part, en automne 1837, qu'il était parvenu à transformer l'urée en carbonate d'ammoniaque, en le mettant en contact avec du ferment à une température élevée. Ce fait remarquable ne fut pas publié, un médecin anglais ayant démontré immédiatement après dans l'urine d'un diabétique la présence de l'urée dont il avait déterminé le poids, après avoir détruit le sucre par la fermentation.

Lorsque je fis préparer du sucre de diabète, provenant de l'urine d'un malade à l'hôpital de Giessen, il s'est trouvé que l'eau-mère de l'urine, dans laquelle la plus grande partie du sucre avait cristallisé, donna par l'addition de l'acide nitrique une grande quantité d'urée; on la mélangea avec du ferment (1 partie de sirop pour 5 parties d'eau), et on l'abandonna à une température de 40 à 45°. Au bout de cinq jours la fermentation était terminée, et le mélange donna par la distillation de l'alcool chargé d'ammoniaque. L'eau-mère ne donna plus de nitrate d'urée par l'acide nitrique.

Des expériences que j'ai faites avec une solution sucrée en fermentation, à laquelle on avait ajouté de l'hippurate de soude, de l'urée, de l'asparagine et d'autres substances encore, font voir que ces substances disparaissent lorsqu'on laisse la fermentation s'accomplir à des températures définies; du moins à 35°, une solution

sucrée, à laquelle j'avais ajouté de l'urée (1 partie pour 32 de sucre), ne m'en donna plus après qu'elle eut fermenté.

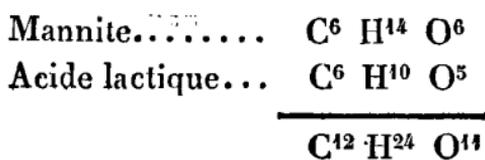
Dans ce qui précède, j'ai principalement fixé mon attention sur les cas où deux corps se métamorphosent l'un à côté de l'autre, sans que les élémens de l'un prennent part à la formation des produits, qui résultent de la décomposition de l'autre corps. Mais on peut encore citer des faits nombreux pour prouver que les conditions étant modifiées, la totalité ou une partie des élémens en activité, exercent réciproquement une action définie, et que les produits qui naissent dans ces cas dépendent nécessairement de cette réaction réciproque.

Je rappellerai d'abord la désoxidation remarquable qu'éprouve l'indigo, lorsqu'on le met en contact avec certaines substances végétales, telles que le pastel, le son, la garance et un alkali à une température définie. Le pastel du commerce se compose des feuilles putréfiées et séchées de *l'isatis tinctoria*; lorsqu'on les met en contact avec l'indigo et une quantité suffisante d'eau, il s'opère une réaction bien nette, qui a pour résultat de désoxidiser l'indigo et de le rendre soluble dans l'alkali. Si le pastel est en excès, les produits sont différens; il se dégage des gaz fétides, et, depuis ce moment, la quantité d'indigo va en diminuant. Cette action ne présente pas les caractères d'une fermentation ou d'une putréfaction proprement dite, à cause de la présence de l'alkali, qui éveille en même temps une prédisposition chimique. Cependant il est aisé de voir que l'alkali ne joue qu'un rôle secondaire; car, en se combinant avec de l'indigo, il le rend soluble, et il est à présumer qu'à l'état insoluble

l'indigo bleu ne pourrait pas se transformer en indigo désoxidé.

Ce phénomène ne prouve du reste autre chose, à mon avis, que la faculté du pastel de s'emparer de l'oxygène que l'indigo abandonne; ainsi qu'il y a désoxidation d'une substance organique par suite du contact avec une autre substance organique; qui se trouve elle-même à l'état de décomposition.

A ce propos je citerai encore un autre fait, qui, quoique bien loin d'être suffisamment développé, présente pourtant des résultats incontestables. Le jus des betteraves, des carottes et des oignons, contient une grande quantité de sucre, en même temps que certaines matières azotées; dont la composition est inconnue. Lorsqu'on abandonne le jus à la température ordinaire ou à une température de 35 à 40°, bientôt un dégagement abondant de gaz se manifeste; le sucre de canne se transforme en sucre de raisin, et on peut recueillir une quantité considérable d'acide carbonique, ainsi que de l'hydrogène et du carbure d'hydrogène (Pelouze). Du reste, moi-même je n'ai point observé ces deux derniers gaz. Lorsque la décomposition est achevée, le mélange contient une grande quantité d'acide lactique et de la mannite, et on n'y trouve nullement une proportion d'alcool équivalente à celle du sucre employé (Pelouze). L'acide lactique et la mannite ne renferment pas d'azote; ils se sont formés sans aucun doute par la décomposition du sucre, mais par suite d'une métamorphose dont les résultats sont différens de ceux que l'on observe dans la fermentation ordinaire. Ces deux produits renferment les élémens du sucre de raisin anhydre, moins un atome d'oxygène :



Le dégagement de l'hydrogène, si toutefois il se confirmera par d'autres expériences, prouve qu'il y a eu décomposition de l'eau; mais cette eau contenait du sucre, corps qui renferme l'hydrogène et l'oxygène dans la proportion pour former de l'eau, et qui, d'après toute vraisemblance, ne cède pas plus difficilement son oxygène que l'eau. Ce qui est positif, c'est qu'avant l'altération du jus il n'y avait ni acide lactique ni mannite, et que la quantité de ces substances surpasse bien la somme des principes étrangers que contenait le jus, outre le sucre.

Les matières étrangères doivent nécessairement être prises en considération dans la fermentation de certains autres suc végétaux.

Les matières azotées que renferment le miel, le jus des raisins et d'autres jus végétaux sont les seules conditions nécessaires à la putréfaction; mais, pour que l'érémausie s'établisse, il faut absolument le contact de l'oxygène, de l'air; car sans cela la décomposition n'a pas lieu. Or, l'expérience nous apprend que lorsque le jus a absorbé une petite quantité d'oxygène, il se trouble et la décomposition commence; le mélange se sature d'acide carbonique, et, du moment que ce gaz n'est plus absorbé, il se produit un dégagement de gaz. Cette période de la métamorphose doit être bien distinguée de la suivante; car, à compter de ce moment, on peut empêcher le contact de l'oxygène sans que la fermentation

cesse. Lorsque le liquide est redevenu tranquille, on n'y trouve plus de sucre; la totalité, ou au moins la plus grande partie des matières azotées qui y avaient été en dissolution, se sont déposées à l'état de levure ou de ferment. Cette matière s'est donc formée par suite d'une altération que les substances azotées dissoutes, qui sont connues sous le nom de gluten ou d'albumine, n'éprouvent pas par elles seules. Si l'on admet, ce que l'on fait ordinairement, qu'elles sont formées par suite d'une absorption d'oxygène, il faut nécessairement que l'oxygène qui a servi à les produire provienne des élémens du sucre ou de l'eau. Car ces corps se forment, comme nous l'avons dit, dès que la fermentation s'est établie, même par l'absence entière de l'air. Conséquemment on devra retrouver dans la liqueur et dans les précipités des produits plus hydrogénés ou contenant moins d'oxygène.

L'acide œnanthique, l'huile de blé et celle de pommes de terre, sont évidemment les produits d'une fermentation formés avec le concours de substances étrangères; car, avant la fermentation, on ne peut les trouver dans les jus des végétaux. D'après M. Dubrunfaut on sait, du reste, d'une manière certaine qu'on peut obtenir une quantité plus ou moins grande d'huile de pommes de terre suivant que la température, qui préside à sa formation, est plus ou moins élevée, ou que la fermentation s'accomplit plus ou moins rapidement. Pour ma part, je crois que l'on pourrait infiniment varier ces produits par l'addition de substances végétales différentes.

Les expériences de Saussure et Proust démontrent d'une manière positive que lorsque le gluten se putréfie

à l'abri de l'air, il se dégage de l'acide carbonique et de l'hydrogène pur; l'eau est donc décomposée dans ce cas, et son oxygène reste en combinaison avec un autre corps.

La fermentation du sucre, en contact avec du ferment, est donc entièrement différente de celle d'un jus végétal ou du moût de bière; dans le premier cas le ferment disparaît avec le sucre, tandis que dans le second *il se forme* pendant la métamorphose que subit le sucre.

La forme et la nature de ces précipités insolubles a suggéré à plusieurs physiologistes des vues fort singulières sur la nature de la fermentation. En effet, lorsqu'on examine au microscope de la levure de bière ou de vin délayée dans l'eau, on observe des globules diaphanes et aplatis, qui se trouvent souvent réunis sous forme de chapelots, et présentent ainsi de véritables végétations; d'autres leur ont trouvé de la ressemblance avec certains infusoires. Ce serait certes un phénomène fort extraordinaire que le gluten et l'albumine, qui n'ont jamais été observés à l'état cristallisé, pussent prendre une forme géométrique en s'altérant dans l'acte de la fermentation du moût de bière et des sucs végétaux. Mais ceci n'a pas lieu; ces substances se séparent, au contraire, comme toutes celles qui ne présentent pas de texture cristalline, sous forme de globules nageant isolément ou s'attachant les uns aux autres. L'aspect qu'ils présentent dans ce cas a séduit certains savans à voir dans le ferment des êtres organisés vivans, des plantes ou des animalcules, qui, pour se développer, s'assimilent les élémens du sucre et les rendent comme excréments sous forme d'acide carbonique et d'alcool; c'est de cette manière qu'ils expliquent la décomposition

du sucre et l'augmentation de la masse du ferment dans la fermentation du moût de bière.

Cette hypothèse se détruit d'elle-même : dans l'eau sucrée pure la soi-disant semence disparaît avec les plantes pendant la fermentation ; la fermentation s'opère, le sucre se décompose en même temps que le ferment, sans que l'on puisse remarquer la naissance ou la reproduction de la semence des plantes ou des animalcules, que ces savans envisagent comme les agens du phénomène.

Lorsque des matières animales se trouvent en putréfaction, leurs élémens se trouvent dans un conflit continu, dans un état d'équilibre détruit qui varie et se modifie sous l'influence des forces les plus faibles, de matières étrangères, d'affinités étrangères et de la chaleur. Dans un tel état la matière semble présenter le sol le plus fertile pour le développement des espèces les plus inférieures de l'échelle animale, dont les œufs, comme on sait, se répandent partout d'une manière inconcevable ; elles grandissent dans ces matières putrescentes et se multiplient par myriades, en s'assimilant les nouveaux produits formés par la putréfaction.

Certains savans envisagent la putréfaction comme une simple conséquence de la génération de ces animalcules ; c'est absolument comme si l'on voulait déduire la cause de la putréfaction et de l'aposepsie du bois, des plantes, à la nourriture desquelles sert le terreau en décomposition. Mais ces êtres ne se produisent pas dans les matières putrescentes lorsqu'on arrête la condition de leur existence, c'est-à-dire le contact de l'air, de la même manière qu'il ne se forme pas de vers dans le fromage pourri

lorsqu'on empêche les mouches. Cette opinion se détruit donc d'elle-même, si l'on considère que les animalcules périssent lorsque le corps en putréfaction disparaît, qu'après leur mort il doit y avoir une cause qui amène la destruction de leur organisation et détermine les parties constituantes de leurs muscles et de leurs organes à se grouper autrement pour former de nouveaux produits solides et gazeux. Cette cause n'est donc finalement autre chose qu'une action chimique.

Les composés organiques présentent deux espèces de phénomènes contraires et bien distincts :

1° *Ils donnent lieu à des corps doués de propriétés nouvelles, en ce que les élémens de plusieurs molécules d'un composé plus simple s'unissent en une molécule d'un ordre plus élevé.*

2° *Des molécules complexes d'un ordre plus élevé se découpent en une ou plusieurs molécules moins complexes d'un ordre inférieur, par suite de la destruction de l'équilibre des attractions élémentaires.*

*L'équilibre est détruit : 1° par la chaleur, 2° par le contact avec un corps différent, 3° par l'action d'un corps qui se trouve en métamorphose.*

---

Plusieurs de mes amis, à qui j'eus l'occasion de communiquer mes vues avant l'impression de ce mémoire, ont trouvé que même en admettant la nouvelle cause à laquelle j'ai attribué les phénomènes de fermentation et de putréfaction, cette théorie présente toujours quelque chose d'incomplet, en ce qu'on ne peut pas se rendre compte de quelle manière cette cause provoque les phénomènes, par exemple la décomposition du sucre.

C'est certainement exiger beaucoup trop d'une théorie physique que de vouloir qu'elle nous trace une image complète de la manière dont une cause agit ; nous ne pouvons jamais faire autre chose que des hypothèses pour nous figurer le mode de son action. Ces hypothèses changent suivant les idées générales d'une époque, elles peuvent être fausses, être remplacées par d'autres sans que pour cela la cause du phénomène cesse d'exister. Pour ma part j'ai évité autant que possible de faire des hypothèses, en ne m'attachant qu'aux faits.

La théorie atomique explique les proportions chimiques : cette manière de nous en rendre compte peut être entièrement fausse, sans que par cette raison 100 parties d'oxygène cessent d'être l'équivalent de 442 parties de chlore. De même nous appelons affinité la cause qui unit l'acide sulfurique à la potasse ; mais comment cette cause peut anéantir les propriétés du soufre et du mercure dans le cinabre, c'est ce que nous ignorons absolument.

Dans ce qui précède, j'ai tâché de fixer les principes d'après lesquels les élémens d'une substance organique se groupent lorsqu'elle se métamorphose ; j'ai également signalé les causes qui provoquent ce phénomène. Toutes les fois que l'équilibre des attractions élémentaires d'une molécule organique complexe est détruit, ses élémens s'unissent en de nouvelles combinaisons. Ceci a lieu en général pour les molécules bien complexes.

Parmi les causes qui peuvent ainsi amener la perturbation de l'équilibre moléculaire, j'ai surtout appelé l'attention sur une cause particulière dont on n'avait pas tenu compte jusqu'à présent. C'est, comme je l'ai prouvé, l'influence réciproque de deux corps, dont l'un se trouve en action chimique, c'est-à-dire, s'oxide, se putréfie,

fermente, ou enfin éprouve une altération quelconque.

Cette influence qu'exerce un corps sur un autre ne peut être qualifiée d'hypothèse; il faudrait absolument nier des faits évidens, des faits qui ne reposent sur aucun raisonnement.

Outre l'affinité, il existe encore beaucoup d'autres causes capables de dissocier les élémens d'un composé ou de les maintenir en combinaison, et dont on ne tient pas note ordinairement. Ainsi, par exemple, il existe dans tout composé un moment statique des forces d'attraction qui lie ensemble les élémens; l'inertie des atomes élémentaires à persister dans l'état ou dans l'endroit où ils se trouvent y agit alors comme une force particulière. Ce dernier point surtout n'exige pas de démonstration, l'inertie étant une propriété inhérente à la matière.

On peut refroidir l'acide acétique, en le tenant en repos bien au-dessous du point où il se solidifie, sans qu'il cristallise; le plus léger mouvement suffit pour qu'il se prenne instantanément en masse. Pour que les atomes puissent s'attirer et se grouper dans un ordre déterminé, il faut d'abord que l'inertie soit surmontée, c'est-à-dire les atomes doivent se trouver en mouvement.

En ajoutant de l'acide tartrique à un sel de potasse, il ne se forme pas immédiatement de précipité; mais, en agitant vivement le mélange, il se trouble à l'instant même, en déposant des cristaux de tartre.

Une dissolution d'un sel magnésien, qui n'est pas troublée par le phosphate d'ammoniaque, dépose aussitôt le double sel sur les parois du vase, à l'endroit que l'on frotte avec une baguette de verre.

Dans les décompositions que je viens de citer, le mou-

vement occasionne un nouveau groupement des atomes ; c'est-à-dire la formation d'une nouvelle combinaison. Or, pour se grouper ainsi d'une manière déterminée, il faut que les atomes jouissent déjà de cette faculté ; car sans cela le mouvement n'exercerait aucune influence sur eux (1).

L'arragonite et le spath calcaire, considérés sous le rapport de leur composition chimique, sont des corps identiques ; mais la forme cristalline différente qu'ils affectent prouve que les atomes n'y sont pas groupés de la même manière. Les atomes de l'arragonite *ne se trouvent pas dans la direction où leur attraction est la plus forte* ; car, en chauffant l'arragonite, on surmonte l'inertie de ses atomes, on les met en mouvement, et à l'instant même les cristaux éclatent avec beaucoup de force et donnent naissance à une masse pulvérulente de cristaux de spath calcaire. Les atomes de l'arragonite ont formé un corps nouveau en se rangeant d'une autre manière. Si ce nouveau mode de groupement s'était opéré dans les atomes élémentaires, l'effet de la chaleur eût été un autre, il y aurait eu métamorphose.

Dans la solution sucrée qui fermente, les atomes du sucre se trouvent en contact avec le ferment, avec un

(1) On conçoit que l'idée que le chimiste attache à l'expression *infiniment petit* ne doit pas être prise mathématiquement. Les atomes ne sont pas infiniment petits, car ils sont pesans ; ils ne sont pas visibles, sans pour cela être infiniment petits. Un million de particules infiniment petites, prises ensemble, pèsent autant qu'une particule infiniment petite, c'est-à-dire, rien. En chimie, on a constamment affaire à des masses, à des groupes qui présentent des propriétés différentes, suivant la manière dont ils sont coordonnés.

corps en putréfaction dont les atomes se trouvent dans un conflit, dans un mouvement continu.

Si les atomes du sucre étaient maintenus en combinaison avec la même force que le sont les éléments du sulfate de potasse, ils ne subiraient pas plus que ce dernier la moindre altération par le ferment ou le corps putrescent. Mais ceci n'a pas lieu. Les éléments de toutes les molécules organiques capables de se métamorphoser ne conservent leur état qu'en vertu de l'inertie qui leur est propre.

C'est facile à démontrer. La force avec laquelle les atomes d'un corps sont maintenus en combinaison s'exprime par la résistance que ce corps oppose à toute autre force qui tend à l'altérer. Or, pour les molécules organiques d'une constitution bien complexe nous ne pouvons observer aucune espèce de résistance; leurs éléments se groupent de la manière la plus variée et la plus bizarre, suivant les matières que l'on fait agir sur eux.

Ainsi de même que la chaleur trouble le moment statique des éléments de beaucoup de corps, cela peut encore s'effectuer par un corps dont les éléments se trouvent déjà eux-mêmes hors d'équilibre. Le mouvement où se trouvent ses atomes se communique aux éléments du sucre, ceux-ci cessent de persister à l'état où ils forment du sucre, et viennent se grouper d'après leurs attractions particulières. J'ai essayé de faire voir que la manière dont les éléments se groupent est la même pour toutes les métamorphoses, qu'elles soient provoquées par la chaleur, par l'affinité ou par la cause que je viens de citer, supposé toutefois qu'il n'y ait pas d'attractions

étrangères en présence, qui pourraient en modifier les résultats.

C'est là précisément le caractère des métamorphoses organiques que l'on ne saurait expliquer d'après les principes des décompositions chimiques ordinaires, qu'en n'admettant aucune différence entre le sucre et le sulfate de potasse.

Nous ne parviendrons jamais à éclaircir la nature et les réactions des composés organiques, en nous tenant exclusivement aux principes auxquels nous sommes habitués en chimie minérale, sans nous adresser à des considérations plus élevées. Il est vrai que la route qui mène à la vérité est difficile à trouver; mais en repoussant tous les efforts pour y arriver, seulement parce que nous ne saurions nous empêcher de tomber quelquefois dans des erreurs, plutôt que de nous avancer, cela ne ferait que nous éloigner toujours davantage de la vérité.

C'est dans la nature des conceptions humaines que toute hypothèse en entraîne toujours une autre qui prétend justement le contraire. Cependant lorsque deux personnes, qui sont l'une et l'autre capables de tirer des conclusions de certaines prémisses, se disputent sur un sujet plus long-temps qu'une demi-heure, ces personnes ne s'entendent pas. Ou bien les prémisses sont fausses, point sur lequel on peut alors tomber d'accord en une demi-heure, ou bien on ne veut pas s'entendre réciproquement, et alors certainement l'âge d'un homme ne suffirait pas pour prouver la vérité.

La nature organique présente beaucoup de phénomènes que nous ne pouvons encore saisir. Mais ce serait injuste que de vouloir les interpréter d'après les prin-

cipes des métamorphoses, avec lesquelles il est possible qu'ils n'aient aucun rapport, et d'exiger ainsi d'une théorie qu'elle explique tout ce qui n'a pas été expliqué jusqu'à présent. Des phénomènes de ce genre, dont la nature intime nous échappe encore, sont l'action de l'émulsine sur l'amygdaline, celle de la présure de veau sur l'albumine coagulée et le sucre, et enfin celle de la diastase sur l'amidon. J'ai développé une vue précise sur la métamorphose de l'acide acétique en acide carbonique et acétone, et celle du sucre en acide carbonique et alcool; peut-être pourra-t-elle servir un jour à expliquer la métamorphose de la pepsine et de l'émulsine dont les produits nous sont encore inconnus. C'est au temps à venir à nous en expliquer la formation.

---

### *De l'Action du Chlore sur la Quinine;*

PAR J.-J. ANDRÉ.

Le chlore gazeux mis en contact quelques instans avec de la quinine pulvérisée, la colore en rouge carmin et la rend soluble dans l'eau. La solution verdit par l'ammoniaque, à moins qu'elle n'ait été chauffée quelque temps, ce qui la brunit, ainsi que l'action trop prolongée du chlore. Le sulfate de quinine basique est moins vivement attaqué que la base elle-même.

Pour qu'il y ait coloration en rouge, quand l'eau intervient dans la réaction du chlore sur la quinine, il faut que celle-ci soit assez légère pour surnager en

grande partie le liquide, et que cependant ses molécules conservent une certaine adhérence entre elles; aussi convient-il d'employer de la quinine bien sèche, sans être pour cela déshydratée. Tout ce qui tend à mettre le plus possible l'alcali végétal en rapport direct avec un courant modéré de chlore, favorise cette coloration; tout ce qui tend à faciliter la division ou la solution de la quinine la prévient ou la détruit à mesure qu'elle apparaît.

Si le chlore continue d'arriver sans interruption pendant trois quarts d'heure à une heure dans un kilogramme d'eau contenant en suspension 5 grammes de quinine, on remarque que le liquide après la solution complète de l'alcaloïde se trouble et laisse déposer une matière blanche; au bout d'une heure et demie, toute la quinine peut être regardée comme désorganisée; elle ne verdit plus par l'ammoniaque, ce qui indiquerait qu'il en existe encore.

La matière blanche lavée pour la dépouiller d'acide chlorhydrique et séchée à l'ombre, est pulvérulente, un peu teintée de fauve, très légère, ne s'imprégnant d'eau que très difficilement, se dissolvant dans l'eau à l'aide de la chaleur, mais passant alors à l'état de matière rouge-brun. Elle est soluble dans l'alcool, et la solution, d'une saveur très amère, rougit le papier bleu de tournesol; elle précipite par le nitrate d'argent, l'acétate et le sous-acétate de plomb: les acides, même assez concentrés, l'attaquent avec difficulté; elle est très soluble dans les alcalis.

Par saturation imparfaite au moyen de la soude à l'alcool, de la liqueur qui l'a laissé déposer, on obtient une nouvelle quantité de matière blanche qui disparaît si on

veut arriver à une entière neutralité : il se dégage en outre du chlorure d'azote, reconnaissable à son odeur et au larmolement qu'il provoque. Cette seconde portion de précipité blanc est plus soluble que la précédente, elle passe plus facilement à l'état de matière rouge-brun quand elle est en contact avec des corps oxigénés : elle paraît unie à de l'hypochlorite de soude.

Si on sature complètement la solution chlorurée de quinine, à la première impression de la chaleur elle se colore en jaune, puis en brun ; d'alcaline qu'elle était, sa réaction devient acide. Par évaporation à siccité, on obtient une matière rouge-brun acide, contenant beaucoup de chlorure de sodium et de chlorhydrate d'ammoniaque. L'alcool à 33° en sépare la majeure partie des sels ; il reste alors une matière extractive presque insoluble dans l'alcool à 40°, se dissolvant bien dans l'eau, précipitant par le nitrate d'argent, l'acétate et le sous-acétate de plomb : le sulfate de fer n'y produit aucun changement, sa saveur est amère. Cette substance, comme la matière blanche, chauffée avec un peu d'hydrate de potasse, laisse dégager quelques vapeurs ammoniacales, effet qui me semble moins devoir être attribué à de l'azote qu'aurait retenu ces substances, qu'à une certaine quantité de sel ammoniacal dont on n'a pu les débarrasser.

Comment le chlore agit-il sur la quinine ? Je pense que cet agent si énergique forme aux dépens de l'eau de l'acide chlorhydrique et de l'acide chloreux, ou du sur-oxide hydrique. Celui-ci cède de l'oxigène à la matière organique qui perd d'abord sa propriété basique, puis se convertit en matière blanche résinoïde susceptible de

prendre une nouvelle quantité d'oxygène soit en se trouvant en contact avec l'air, soit avec un hypochlorite, et de se transformer alors en matière extractive rouge-brun. Une autre portion de l'acide chloreux détermine, aux dépens des élémens de l'ammoniaque contenus dans l'alcaloïde, la formation du chlorure d'azote. La décomposition ultérieure de ce dernier corps et de l'hypochlorite de soude explique suffisamment la production du chlorhydrate d'ammoniaque et du chlorure de sodium. Il doit y avoir aussi formation d'acide carbonique.

On conçoit que les phénomènes qui résultent de l'action du chlore sur la quinine peuvent s'appliquer également aux autres alcaloïdes, à cela près de quelques faits particuliers. En continuant plus long-temps la réaction, il est présumable que le chlore les convertirait en acide oxalique ou tout autre acide très oxygéné.

#### *Action du chlore et de l'ammoniaque sur la quinine.*

Lorsqu'en 1835 j'indiquai la couleur vert-émeraude comme réactif de la quinine ou de ses sels traités en solution étendue successivement par le chlore liquide et quelques gouttes d'ammoniaque, je ne pus expliquer cette coloration et son peu de stabilité; je pense être plus heureux aujourd'hui et ajouter quelques faits à cette réaction curieuse.

Ainsi l'ammoniaque versée peu à peu en agitant chaque fois dans la solution de quinine chlorurée, ne la fait pas toujours passer au vert émeraude; elle peut présenter toutes les nuances résultant du mélange du vert et du rouge dans diverses proportions, ce qui tient à la dé-

composition d'une partie de la matière verte en présence d'un excès de chlore, et à sa transformation en matière rouge dont nous parlerons plus tard. Un autre obstacle à la production de la coloration en vert émeraude, c'est la présence d'une matière brune provenant de l'action prolongée du chlore sur la quinine, mais en la détruisant par une nouvelle quantité de chlore, on rend à l'alcali végétal non désorganisé la propriété de verdir par l'ammoniaque.

La manière d'agir du chlore sur la quinine, nous l'avons exposée plus haut : ici seulement l'action est moins énergique puisqu'elle dure peu ; l'alcali végétal n'est pas entièrement désorganisé, et dans cet état d'altération, il est précipité en vert par l'ammoniaque ; mais celle-ci en contact avec le chlore se comporte comme l'aurait fait la soude ou la potasse, il y a formation d'un hypochlorite dont on connaît le peu de stabilité ; aussi en se décomposant oxygène-t-il peu à peu la matière verte à la température ordinaire, elle brunit, puis devient brun-rougeâtre. Par la chaleur, la réaction est bien plus prompte, la liqueur verte ammoniacale perd par évaporation l'ammoniaque libre qui la rendait alcaline, elle devient acide et se colore en rouge.

La matière verte s'obtient bien en traitant 2 grammes de sulfate de quinine basique par 500 grammes de chlore liquide, on laisse réagir dix minutes, puis on verse par parties à peu près égales dans une demi-douzaine de verres contenant de 5 à 6 grammes d'ammoniaque. Les précipités formés sont jetés sur le filtre ; celui-ci à peu près séché sous le vide, est traité par l'alcool à 40°, et la teinture obtenue, évaporée de la même manière à l'abri

de l'air. Malgré ces précautions, on ne peut conserver cette substance sans altération, elle finit toujours par se transformer en matière rouge; quoi qu'il en soit, elle est très soluble dans l'alcool, dans l'éther, mais moins dans l'eau; sa saveur est amère; chauffée dans l'eau, elle brunit et rougit instantanément par les acides.

Par évaporation de la quinine chlorurée et ammoniaquée, il reste une substance rouge-noirâtre adhérant fortement aux parois de la capsule. Traitée par l'alcool à 40°, qui isole presque tout le chlorhydrate d'ammoniaque formé, on obtient une solution d'un beau rouge-carmin. Les acides ne lui font pas éprouver de changement; les alcalis en précipitent une matière rouge-violacée: le chlore la décolore, et en y ajoutant de l'ammoniaque elle ne verdit plus. Ce qui semble prouver que cette substance contient encore de la quinine, c'est qu'on n'a qu'à y ajouter de la chaux délitée, puis traiter le précipité sec par de l'alcool à 36°, on obtient une solution légèrement colorée en rose, qui verdit après avoir été successivement mise en contact avec le chlore et l'ammoniaque.

La solution concentrée de matière rouge dans l'alcool à 40° laisse précipiter par l'addition d'une certaine quantité d'eau une partie de cette substance; séchée, elle est d'une couleur lie de vin tirant sur le rose, se redissolvant en rouge-carmin dans l'alcool et dans l'éther, inaltérable à l'air.

Par la soude ou la potasse, les solutions de quinine chlorurée ne verdissent pas, mais brunissent plus ou moins; la teinture alcoolique obtenue au moyen du produit évaporé n'est pas d'un aussi beau rouge.

Pour résumer ce travail , on peut voir que sous l'influence du chlore , la quinine tend à s'oxigéner de plus en plus ; qu'elle peut donner naissance à quatre composés distincts n'ayant guère qu'une propriété commune , leur saveur amère qui décèle leur origine :

1° Une matière verte , très peu stable , sorte de combinaison de quinine et d'une substance analogue aux résines ; 2° une matière rouge-carmin de même nature que la précédente , mais plus soluble , plus stable et plus oxigénée ; 3° une matière résinoïde blanche , très avide d'oxigène et très soluble dans les alcalis ; 4° une matière rouge-brun possédant tous les caractères attribués à l'extrait pharmaceutique dans sa plus grande pureté.

(Extrait du Compte rendu de l'Académie.)

---

*Lettre de M. LEFEBVRE relative à un Voyage dans le Sennaar et aux Puits artésiens des oasis d'Égypte.*

Je pars dans quelques jours pour le Sennaar , à la suite du vice-roi d'Égypte , avec mission d'exploiter les mines de cette contrée ; et , dans le désir qui m'anime de rendre mon voyage en ce pays aussi utile que possible aux progrès des sciences , je vous prie de soumettre à l'Académie la demande que je lui fais , par votre organe , d'instructions particulières sur les objets à l'égard desquels elle peut avoir à désirer des renseignemens spéciaux et sur lesquels , en conséquence , elle voudra bien

appeler plus spécialement l'attention du voyageur , qui ne négligera rien pour répondre à sa confiance.

Je suis appelé à séjourner un temps indéfini dans le pays afin d'y fonder des établissemens destinés à l'exploitation des sables aurifères qu'y a signalés notre compatriote Caillaud , et depuis mieux étudiés par une compagnie de minéralogistes allemands. Cette mission spéciale , en mettant à ma disposition beaucoup de bras et d'autres facilités mécaniques , me permettra , je n'en doute pas , de vaquer à beaucoup d'observations astronomiques , météorologiques et autres qui peuvent être d'un haut intérêt pour l'Académie , surtout en ce qu'elles s'appliqueront à des régions encore presque inconnues.

J'ose espérer qu'en m'adressant les instructions demandées et qui pourront m'être transmises , même après mon départ , par l'intermédiaire du consul-général de France à Alexandrie , l'Académie voudra bien aussi y joindre l'expédition des instrumens qu'elle jugera devoir m'être le plus utiles dans l'accomplissement de ses vues ; car je n'ai à moi qu'un cercle de réflexion , des baromètres , un baro-thermomètre et deux thermomètres à maxima et minima.

Je saisis cette occasion pour soumettre à l'Académie quelques observations recueillies sur les forages de puits artésiens pratiqués , par les anciens Égyptiens , dans les oasis d'Égypte et particulièrement dans la grande oasis de Thèbes et dans celle du Garbe (ou du couchant). Ces observations sont le fruit de l'expérience acquise pendant onze années , par notre compatriote M. Ayme , chimiste manufacturier , qui vient d'être nommé , par son

altesse le vice-roi d'Égypte , gouverneur civil et militaire de toutes les oasis , où il résidé encore.

La grande oasis de Thèbes , qu'habite surtout notre compatriote , a ving-cinq lieues de long sur deux , trois et quatre de large. Celle du Garbe , où il a aussi une fabrique d'alun , a environ vingt lieues. La configuration en est ovoïde. Ces deux oasis contiennent à peu près vingt-cinq mille arpens de terre de très bonne qualité , propre à la culture du sucre ; de l'indigo , de la garance et du coton , d'après les expériences que M. Ayme y a faites. Ces deux oasis sont , si l'on peut s'exprimer ainsi , criblées de puits artésiens , fait que M. Arago a , très à propos , cité dans l'*Annuaire* de 1834 , époque à laquelle M. Ayme m'avait communiqué ses idées sur ces puits , en grande partie comblés par les éboulemens du boisage des anciens , ainsi que par les fragmens de roches qui en constituent les parois. Depuis , aidé de mes conseils , après l'établissement que j'avais fait pour lui , en 1836 , d'un équipage de sondage , il a pu , avec cinq cents pieds de tige , déblayer et nettoyer plusieurs de ces puits , qui lui ont donné de l'eau ascendante jusqu'à la surface du sol.

Voici ce que faisaient les anciens habitans de ces contrées. Ils pratiquaient des puits carrés dont les dimensions varient de 2 à 3<sup>m</sup>,33 de côté. On les pratiquait ainsi jusqu'à la couche calcaire éloignée de la surface du sol de 20 à 25 mètres , espace constitué par des couches composées , de haut en bas , de terre végétale , d'argile , de marne , d'argile marneuse. Cette dernière roche repose sur un calcaire sous la masse duquel se trouve la nappe d'eau qui alimente tous les puits des oasis. Une

fois le puits carré creusé jusqu'au calcaire, ils en garnissaient les parois jusqu'à la surface, d'un triple boisage en bois de palmier-doum, pour prévenir les éboulements. Ce travail terminé à sec, ils foraient (on ignore si c'est par la méthode à tiges ou par la méthode chinoise) la masse calcaire que les Arabes appellent *agar el moya* (pierre de l'eau), et qui a de 100 à 133 mètres d'épaisseur, avant d'atteindre le cours d'eau souterrain qui traverse ou arrose des sables identiques à ceux du Nil, si l'on en juge du moins par ceux que rapporte la carrière. Après avoir été déblayé et nettoyé, un de ces puits a présenté un fait à peu près analogue à celui du puits d'Elbeuf; c'est qu'à 108<sup>m</sup>,33 de profondeur, l'eau a ramené dans le trou du poisson, dont M. Ayme a pu, dès lors et depuis, alimenter sa table.

Voici les précautions que prenaient les foreurs de l'antiquité. Après être arrivés sur *agar el moya*, ils foraient des trous de 4, 5 et jusqu'à 8 pouces de diamètre, appelés par les Arabes *l'algue*; ensuite, dans la crainte que le pays ne fût inondé par la grande quantité d'eau ascendante qu'aurait donné le trou de sonde, avant d'avoir atteint la couche aquifère, ils préparaient, pour recouvrir ou pour garnir l'orifice, une espèce de soupape de sûreté; faite avec un grès très dur (probablement siliceux), et à laquelle on donnait la forme d'une poire. Cette soupape était armée d'un anneau en fer qui permettait d'ouvrir entièrement ou de fermer plus ou moins l'orifice d'ascension. Ils se ménageaient ainsi la facilité de se procurer la quantité d'eau nécessaire à leurs besoins. Cette pièce piriforme est remplacée dans certains

puits par un bout de tube en bois enfoncé dans l'algue et saillant au-dessus.

La multiplicité de ces puits et leurs différens gisemens feraient croire qu'à quelque endroit qu'on pratique un puits artésien dans ces deux oasis, on est sûr d'avoir de l'eau ascendante; la quantité en est proportionnée au diamètre du trou.

Les motifs qui ont fait abandonner ces puits, sont que les boisages en étant pourris, une grande partie des bois qui les composaient se sont détachés et ont obstrué l'orifice d'écoulement. Les marnes et les autres roches qu'ils soutenaient, manquant de soutien, se sont détachées et ont comblé les interstices laissés entre les fragmens de bois; aussi a-t-il fallu depuis employer pour le curage des plongeurs qui, abusant de la crédulité des habitans, se faisaient donner quatre à cinq piastres par jour (prix exorbitant pour le pays), rapportaient peu de matière marneuse, puisqu'ils n'avaient que leurs mains pour enlever la fange provenant des éboulemens, et n'ont jamais pu nettoyer entièrement un de ces puits.

M. Ayme, malgré tous les moyens dont il dispose, se voit obligé d'abandonner cette opération, en raison des énormes dépenses qu'exige le boisage; il se propose d'en forer de nouveaux qui pourront nous faire connaître la nature du calcaire qu'ils traverseront et nous offriront sans doute quelques faits particuliers sur cet énorme courant souterrain qui parcourt le sol des oasis et qui paraît venir du Darfour.

*Mémoire sur la Propagation de la Chaleur dans les  
Liquides ;*

PAR M. C. DESPRETZ.

Lu à l'Académie le 20 décembre 1838 (1).

Rumford (1) a cherché à prouver que les liquides et les gaz ne sont pas conducteurs de la chaleur. Il expliquait la propagation de la chaleur dans ces corps par le mouvement des molécules.

Ce célèbre physicien employait une jarre cylindrique en verre, de 4,7 pouces de diamètre, et de 13,8 pouces de hauteur. Il introduisait de l'eau (2 livres environ) dans le vase, et la faisait geler, en plongeant le tout dans un mélange réfrigérant. L'eau se transformait ainsi en une couche de glace, fixée contre le fond du vase. Puis il versait avec précaution de l'eau dans le cylindre; il mesurait, après un certain temps, la quantité de glace fondue, en pesant toute l'eau contenue dans le vase.

Rumford, en couvrant la glace d'une feuille de papier, ou d'un disque mince de bois, tâchait de diminuer le poids de la glace fondue dans le moment où l'on versait l'eau; puis il enlevait le papier ou le bois, de manière à agiter le liquide le moins possible. Cette quantité était toujours plus grande que celle qui se fondait dans les instans

(1) *Compte rendu*, 1838.

(2) *Essais*, vol. II, p. 199.

suivans, par la conductibilité propre, ou, selon Rumford, par l'action des courans. Ainsi, l'effet produit par la cause perturbatrice, était supérieur à l'effet qu'on voulait mesurer; circonstance qui exclut toute espèce de probabilité pour l'exactitude de ces expériences: l'action du vase, celle de l'air extérieur augmentaient encore les causes d'erreur. Aussi, nous ne nous expliquons que par la célébrité du nom de l'auteur, l'importance qu'on a attachée à ces expériences. Le même savant a recouvert un mamelon de glace d'eau ou de mercure, et il n'a pas fondu de glace, quoiqu'il plongeât dans la partie supérieure du liquide un cylindre de fer, porté à 100 degrés. Ce n'est là qu'une question de temps; la chaleur se serait propagée si l'expérience avait eu assez de durée. Quand on applique l'action d'un quinquet à l'extrémité d'une barre carrée, formée par un métal bon conducteur, il faut, si la barre a seulement deux pieds de longueur et un pouce de côté, un temps assez considérable pour que l'influence de la source se fasse sentir à l'extrémité opposée.

Ces expériences ne prouvent donc rien contre la conductibilité propre des liquides.

Le docteur Thomas Thomson (*Journal of Nicholson*, t. 1, p. 81), en chauffant par la partie inférieure une colonne d'eau colorée, sur laquelle était de l'eau incolore et claire, a vu la chaleur se propager dans l'eau incolore, sans qu'il y eut mélange; il s'agit ici, bien entendu, d'une source de chaleur peu intense.

Nous ferons remarquer que des molécules de liquide pouvaient bien s'élever sans que l'observateur s'en aperçût. L'existence des courans, pour tous les cas où l'ap-

plication de la chaleur se fait au fond d'un vase, ne peut être douteuse aujourd'hui. Il suffit, pour la production de ces courans, que l'excès de la température soit capable de vaincre le très léger obstacle apporté par la pression et la viscosité du liquide.

Le docteur Thomson employait un vase en verre, en sorte qu'il voyait monter et descendre des fragmens très petits d'ambre, qu'il avait mis dans de l'eau colorée. Les fragmens qui acquéraient plus de légèreté par le contact du fond de l'appareil, s'élevaient à travers la couche de séparation. L'ascension est rendue plus rapide par la présence d'une légère couche d'air, qui enveloppe toujours les corps suspendus dans l'eau, quand le mélange n'a pas été porté à l'ébullition.

M. J. Murray (*Anch.*, t. 42, p. 195) a cherché à se rendre indépendant de l'action des parois. Pour cela, il a voulu faire choix d'un vase cylindrique de glace, qu'il a rempli d'un liquide à zéro, et il a plongé un corps chaud dans la partie supérieure de ce liquide. Ici l'on ne pourrait plus invoquer l'action des parois, puisque la glace fond aussitôt qu'elle acquiert une température supérieure à zéro.

M. Murray, pour se procurer un vase de glace, faisait geler de l'eau dans un moule d'étain, de manière à former un cylindre de glace de 3 pouces de diamètre intérieur, de  $3 \frac{1}{2}$  pouces de profondeur, et de  $1 \frac{1}{2}$  pouce d'épaisseur. Le réservoir du thermomètre occupait l'axe du cylindre; la tige traversait la paroi. Le physicien anglais versa de l'huile dans le cylindre de manière à couvrir le réservoir d'une couche de liquide d'un quart de pouce, et il suspendit au-dessus de l'appareil un vase

en tôle, contenant de l'eau bouillante. Le thermomètre monta de  $2^{\circ},8$  en 7 minutes.

Dans une expérience où la couche d'huile au-dessus du thermomètre était de un demi-pouce, l'élévation de température ne fut que de  $1^{\circ},5$  en 15 minutes.

L'auteur, pour prévenir l'objection qu'on pourrait tirer de la radiation du corps, a placé le corps chaud à une petite distance de la surface sans la toucher. La boule du thermomètre était couverte d'une couche d'huile d'un quart de pouce d'épaisseur; l'élévation de température a été à peine de  $0^{\circ},5$  en 5 minutes; tandis que, lorsque le contact était établi, l'élévation dans le même temps était de  $2^{\circ},2$ .

Dans d'autres expériences, le mercure a été substitué à l'huile. Mais comme le métal baissait dans le cylindre assez rapidement, cette circonstance n'a permis que de rapporter l'effet produit dans 2 ou 3 minutes. Peut-on bien compter sur des effets estimés dans un aussi petit intervalle ?

Dans les expériences, les parois du cylindre de glace étaient toujours attaquées; une partie fondait, l'eau provenant de cette fusion devait déterminer plus ou moins de mouvement dans la petite colonne liquide. Quoi qu'il en soit, M. Murray considère que les expériences prouvent la conductibilité des liquides pour la chaleur; et, de plus, que le mercure est meilleur conducteur que l'huile (1).

Ces diverses expériences, qui ne sont pas à l'abri de

(1) Voyez Bull. de la Société Philomatique, an. 9, pour une discussion qu'a faite M. Biot de toutes ces expériences.

la critique, pouvaient tout au plus servir à établir que les liquides sont conducteurs de la chaleur.

Notre travail a donné, dans le sein de la Société Philomatique, lieu à une discussion qui a été reprise dans plusieurs séances, où le nom de Fourier a été invoqué. Nous croyons donc devoir citer textuellement le passage puisé dans le mémoire de cet illustre géomètre.

« Le coefficient qui mesure la conductibilité propre de la masse (liquide), n'a point une valeur entièrement nulle ; mais ce coefficient est très petit. On a fort peu d'expériences à ce sujet. Celles que nous avons entreprises, il y a quelques années, nous ont montré que les liquides ne sont point dépourvus de la propriété de transmettre la chaleur, et que les diverses substances présentent cette propriété à des degrés assez différens. Mais il nous a toujours paru que la valeur du coefficient est fort petite, en sorte que les changemens de températures sont presque entièrement déterminés dans les liquides par les mouvemens intérieurs. L'effet de la communication n'est point nul, ou presque insensible comme le supposait le comte de Rumford ; mais il est certain qu'il n'influe que très lentement sur la distribution de la chaleur. »

Ainsi Fourier se borne à dire qu'il a entrepris des expériences sans indiquer ni le mode d'expérimentation, ni les substances soumises aux expériences, ni les résultats obtenus. Il pensait, comme d'autres géomètres, que les changemens de températures que subissent les liquides proviennent de deux causes : de la communication de molécule à molécule, et du déplacement des parties inégalement échauffées.

Quelle part a dans le phénomène chacune de ces deux causes ? Quel genre d'influence exerce l'effet de la transparence sur la communication de molécule à molécule ? C'est ce que personne ne pouvait prédire sans s'appuyer sur des expériences précises. La solution de la question était donc à trouver.

Quand on examine le sujet de près, on est naturellement porté à admettre au nombre des propriétés des liquides la faculté de conduire la chaleur comme les solides, il ne doit y avoir de différence que dans la facilité plus ou moins grande de la propagation. Je ne pense pas que cette propagation ait été prouvée par des expériences précises. Je l'admets, et je me propose dans ce travail de montrer qu'elle suit les lois qui règlent la propagation de la chaleur dans les corps solides.

On verra d'ailleurs que l'ensemble de ce travail met hors de doute la faculté conductrice des liquides.

Si l'on applique la chaleur à la partie supérieure d'une colonne d'eau, prise au-dessus de 4 degrés, qui est la température du maximum de densité, cette chaleur ne peut évidemment se propager que par voie de conductibilité. Dans cette disposition, les courans ne sont pas admissibles, puisque les parties supérieures deviennent d'autant plus légères qu'elles sont plus échauffées. Si donc l'action de la source se fait sentir de haut en bas, on sera forcé d'accorder aux liquides la propriété de conduire la chaleur.

Je suppose, pour la justesse de cette conséquence, que l'on ait démontré, par l'expérience, que les parois du vase qui renferme le liquide, ne sont pas la cause directe de la propagation.

Mon appareil consiste en un cylindre en bois, de 218<sup>mm</sup> de diamètre intérieur, et d'un mètre de hauteur. Le fond était formé par une lame de cuivre étamé; l'épaisseur de la paroi était de 28 millimètres.

J'avais percé la paroi du cylindre, de manière à pouvoir introduire horizontalement douze thermomètres. Le milieu du réservoir de chacun de ces instrumens occupait l'axe du cylindre; la longueur des réservoirs était de 70 millimètres.

La distance du thermomètre supérieur à la source était de 46 millimètres. La distance respective des six thermomètres les plus rapprochés était de 45<sup>mm</sup>, celle des six autres était doublée.

Le fond métallique était en contact avec de l'eau, à la température de l'air. Sur la partie supérieure de la colonne liquide reposait un vase, en cuivre mince, destiné à recevoir de l'eau chaude; la hauteur de ce vase était de 0<sup>m</sup>,28.

Pour ne pas faire varier la température du lieu de l'expérience, on avait disposé ce vase en cuivre de manière à ce qu'on pût verser par un tuyau l'eau bouillante de la chambre voisine. Un second tuyau reportait l'eau chaude dans cette chambre; en sorte qu'aucune vapeur, si ce n'est une très faible quantité émanée de l'intervalle de six millimètres entre le vase et le cylindre, ne paraissait dans l'atmosphère, dans laquelle était plongé l'appareil.

La première expérience, dont nous allons rapporter les résultats, a duré trente-deux heures. Pendant ce temps, on a versé, sans interruption, de cinq minutes en cinq minutes, de l'eau bouillante dans le vase en cuivre. Ainsi, la température de la source était aussi con-

stante que possible. Cette température, indiquée par un thermomètre fixé dans le vase, a fourni pour moyenne  $76^{\circ},9$ .

On a noté les températures de la colonne liquide d'heure en heure. Ce n'est qu'au bout de vingt-quatre heures que l'état de la colonne d'eau a pu être considéré comme stationnaire. On a pris les températures pendant encore six heures; c'est la moyenne de ces dernières qu'on a rapportées. On avait fixé un fond métallique, bon conducteur, pour maintenir la partie inférieure à une température constante. Mais l'influence en a été nulle; le dernier thermomètre n'a pas varié. Il n'y a que les six premiers qui aient subi une élévation de température notable. Le plus rapproché de la source présentait un excès sur l'air, égal à  $37^{\circ},59$ ; le plus éloigné des six un excès égal à  $3^{\circ},45$ .

### *Expérience.*

Durée, trente-deux heures; état des thermomètres pendant les six dernières heures, température de l'air  $8^{\circ},78$ .

|                             | Températures.   | Excès sur l'air. |
|-----------------------------|-----------------|------------------|
| 1 <sup>er</sup> thermomètre | $46^{\circ},37$ | $37^{\circ},59$  |
| 2 <sup>e</sup> »            | $33^{\circ},10$ | $24^{\circ},32$  |
| 3 <sup>e</sup> »            | $23^{\circ},46$ | $14^{\circ},68$  |
| 4 <sup>e</sup> »            | $18^{\circ},30$ | $9^{\circ},52$   |
| 5 <sup>e</sup> »            | $14^{\circ},44$ | $5^{\circ},66$   |
| 6 <sup>e</sup> »            | $12^{\circ},23$ | $3^{\circ},45$   |

On sait que, dans une barre métallique de longueur finie, les températures sont liées par la formule

$$u = Ae^{-x\sqrt{\frac{\gamma}{k}}} + Be^{x\sqrt{\frac{\gamma}{k}}}$$

et que, dans une barre de longueur infinie, cette relation est

$$u = Ae^{-x\sqrt{\frac{\gamma}{k}}}.$$

$u$  est l'excès de la température d'un point sur l'air, à une distance  $x$  de la source;  $\gamma$  est la conductibilité extérieure; et  $k$  la conductibilité intérieure;  $A$  et  $B$  sont des constantes. Ces deux relations conduisent à cette loi, savoir: si l'on prend les températures de trois points équidistans, et qu'on en retranche la température de l'espace environnant, on trouve que la somme de deux excès, divisée par l'excès intermédiaire, donne un quotient sensiblement constant; les divers quotiens sont: 2, 2; 2, 3; 2, 2; 2, 2.

Cette loi convient également à la barre de longueur finie et à la barre de longueur infinie. Mais cette dernière donne, en outre, une relation qui lui est particulière. Les différens excès, pour des points équidistans, décroissent en progression géométrique; cette dernière condition est remplie dans l'expérience actuelle. Pour la vérifier on a pris le quotient de chaque excès par l'excès qui le suit immédiatement; les résultats diffèrent très peu du nombre 1,60. Pour avoir une moyenne plus sûre, on a pris les quotiens de deux en deux, et l'on a extrait la racine carrée; on les a pris de trois en trois, et l'on a extrait la racine cubique, et ainsi de suite.

On a eu ainsi quinze nombres, dont la moyenne s'est trouvée 1,609. Ainsi, la chaleur se propage dans les li-

guides chauffés à la partie supérieure, comme dans les barres métalliques.

*Etat des thermomètres pendant la durée de l'expérience.*

Après avoir pris, à sept heures du matin, la température de la colonne liquide par les thermomètres placés à différentes hauteurs, on a commencé à verser de l'eau bouillante dans le vase en cuivre, et l'on a noté les températures à peu près d'heure en heure à dater de midi.

Les temps sont rapportés dans le tableau ci-après :

| 7 h. du matin. | 12 heures. | 1 heure 1/2. | 2 heures 1/2. | 3 heures. | 6 heures 1/2. | 8 heures. | 9 heures 1/2. | 11 heures. | 12 heures. |
|----------------|------------|--------------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|------------|------------|
| 1              | 40°,49     | 45°,32       | 45°,97        | 46°,78    | 45°,75        | 45°,05    | 45°,67        | 46°,05     | 46°,21     |
| 2              | »          | 24°,52       | 26°,74        | 27°,52    | 29°,99        | 31°,08    | 31°,42        | 31°,72     | 32°,14     |
| 3              | 9°,03      | »            | »             | 18°,78    | 20°,22        | 20°,95    | 21°,50        | 21°,97     | 22°,22     |
| 4              | »          | 10°,83       | 11°,57        | 12°,21    | 13°,77        | 14°,75    | 15°,43        | 16°,02     | 16°,53     |
| 5              | »          | »            | 9°,92         | 10°,08    | 10°,80        | 11°,59    | 12°,56        | 12°,49     | 12°,93     |
| 6              | »          | »            | 9°,53         | 9°,42     | 9°,83         | 10°,29    | 10°,47        | 10°,81     | 10°,90     |

| 1 h. du matin. | 2 heures. | 3 heures. | 4 heures 1/4. | 5 heures 1/4. | 6 heures 1/4. | 7 heures 1/4. | 8 heures. | 9 heures. | 10 h., 11 h., 12 h.,<br>1 h., 2 h. |
|----------------|-----------|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------|-----------|------------------------------------|
| 1              | 46°,62    | 46°,92    | 46°,44        | 46°,44        | 46°,20        | 46°,14        | 46°,32    | 46°,57    | 46°,57                             |
| 2              | 52°,62    | 52°,92    | 52°,98        | 53°,04        | 53°,04        | 53°,10        | 53°,16    | 53°,10    | 53°,10                             |
| 3              | 22°,44    | 22°,74    | 22°,89        | 25°,04        | 25°,19        | 25°,53        | 25°,53    | 25°,43    | 25°,46                             |
| 4              | 17°,40    | 17°,50    | 17°,30        | 17°,70        | 17°,86        | 17°,94        | 18°,02    | 17°,96    | 18°,50                             |
| 5              | 15°,48    | 15°,62    | 15°,76        | 15°,93        | 14°,07        | 14°,14        | 14°,21    | 14°,23    | 14°,57                             |
| 6              | 11°,22    | 11°,40    | 11°,37        | 11°,66        | 11°,83        | 11°,90        | 11°,96    | 12°,02    | 12°,08                             |

L'expérience a encore été continuée jusqu'à trois heures; mais il n'y a plus eu de variation.

*Nouvelles observations sur la conductibilité des liquides.*

Dans le mois de novembre dernier, j'ai eu l'honneur de lire devant l'Académie un mémoire sur la propagation de la chaleur dans l'intérieur des liquides (1). Les expériences, dont j'ai présenté les résultats à cette époque, montraient que la propagation de la chaleur, dans une colonne liquide, chauffée par la partie supérieure, suit la loi à laquelle elle est soumise dans une barre métallique.

Plusieurs savans, dont l'opinion est d'un grand poids dans la science, considérèrent cette découverte comme importante. Mais ils ajoutèrent qu'ils craignaient qu'on ne pût attribuer la propagation à l'influence de l'enveloppe.

J'ai pensé que le moyen le plus simple de lever les objections était de faire de nouvelles expériences.

Le cylindre employé dans les anciennes expériences avait 218 millimètres de diamètre et un mètre de hauteur, l'épaisseur de la paroi était de 28 millimètres. Dans ces nouvelles expériences j'ai pris un cylindre d'un diamètre intérieur à peu près double, 405 millimètres, d'une hauteur d'un mètre, et d'une épaisseur de 28 millimètres.

La disposition de l'appareil était la même, seulement

(1) *Compte rendu*, 1838, page 933.

j'avais placé un certain nombre de thermomètres à peu de distance des parois. Le centre des réservoirs de ces différens thermomètres était à 0<sup>m</sup>,05 de la paroi.

Des thermomètres occupaient, comme dans les anciennes expériences, l'axe du cylindre; tous les thermomètres étaient placés horizontalement.

J'avais, de plus, fixé dans la paroi trois thermomètres. A cet effet j'avais percé trois ouvertures obliques, de manière à traverser le milieu de l'épaisseur de la paroi. Les réservoirs étaient complètement cachés; et, pour éviter l'action de l'air extérieur, j'avais bouché avec un peu de cire l'intervalle entre la tige de chaque thermomètre et les bords de l'ouverture correspondante. Ces thermomètres étaient dans la paroi opposée à celle que traversaient les autres thermomètres. La distance respective de ces thermomètres, comme celle des thermomètres correspondans placés près de la paroi, était de 90 millimètres.

La durée d'une expérience était de soixante heures. Nous rapporterons des résultats qui montrent que la température va en décroissant du centre du liquide à la circonférence, et de cette circonférence à l'intérieur de la paroi; d'où l'on peut inférer que la chaleur se propage par le liquide et non par la paroi. Car la chaleur dans les points en contact, passe nécessairement des points les plus chauds aux points les plus froids; de plus, l'influence de la source se fait sentir à une distance plus considérable que dans le petit cylindre; ce qui a lieu également pour les corps solides.

## Thermomètres au centre.

| Distance à la source.   | Température. | A                               |                |
|-------------------------|--------------|---------------------------------|----------------|
|                         |              | 0 <sup>m</sup> ,05 de la paroi. | Dans la paroi. |
| 0 <sup>m</sup> ,091 (1) | 42°,46       | »                               | »              |
| 0 <sup>m</sup> ,156     | 35°,82       | 35°,43                          | 25°,52         |
| 0 <sup>m</sup> ,181     | 28°,05       | »                               | »              |
| 0 <sup>m</sup> ,226     | 23°,60       | 25°,20                          | 19°,45         |
| 0 <sup>m</sup> ,271     | 20°,47       | »                               | »              |
| 0 <sup>m</sup> ,316     | 18°,22       | 17°,66                          | 16°,28         |

L'état final donne encore la série que nous avons signalée dans les premières expériences.

| Températures. | Excès. | Quotiens. |
|---------------|--------|-----------|
| 42°,46        | 29°,21 | 1,42      |
| 35°,82        | 20°,57 | 1,59      |
| 28°,05        | 14°,78 | 1,45      |
| 23°,60        | 10°,53 | 1,45      |
| 20°,47        | 7°,22  | 1,44      |
| 18°,28        | 3°,05  | »         |

C'est la progression géométrique présentée par une barre infinie.

La température de l'air pendant les huit dernières heures de l'expérience a été de 13°,25.

Je voulais surtout voir, par ces nouvelles expériences, si les objections qu'on avait faites à mon premier travail étaient ou n'étaient pas fondées. Quoique le point que je voulais décider fût suffisamment mis en évidence par l'état final de l'expérience, il m'a paru néanmoins utile de faire connaître l'état variable; on en pourra tirer des

(1) Dans les premières expériences, on a rapporté la température indiquée par le thermomètre le plus voisin de la source; ici ce n'est que le second, parce qu'il est arrivé un accident au premier.

conséquences pour le mouvement progressif de la chaleur dans une masse liquide.

L'expérience a commencé à neuf heures du matin ; la température de la colonne liquide était de  $10^{\circ},88$  ; c'est la moyenne de tous les thermomètres.

Les températures ont été prises vingt fois pendant soixante heures ; la moyenne de la température de la source, qui a peu varié, a été de  $75^{\circ},71$ . Cette température était donnée par un thermomètre dont le réservoir vertical reposait sur le fond du vase.

On a versé la première eau chaude à dix heures du matin, et l'on a continué à verser la même quantité d'eau de 5 minutes en 5 minutes, jusqu'au troisième jour à neuf heures du soir.

Voici le relevé de l'expérience :

PREMIER JOUR.

| 2 heures 1/2.         |                     | 5 heures 1/2.       | 11 heures.          |
|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| à 0 <sup>m</sup> ,091 | 13 <sup>o</sup> ,80 | 19 <sup>o</sup> ,83 | 29 <sup>o</sup> ,53 |
| 0 <sup>m</sup> ,156   | 12 <sup>o</sup> ,37 | 17 <sup>o</sup> ,98 | 21 <sup>o</sup> ,79 |
| 0 <sup>m</sup> ,181   | 10 <sup>o</sup> ,97 | 12 <sup>o</sup> ,04 | 16 <sup>o</sup> ,03 |
| 0 <sup>m</sup> ,226   | »                   | »                   | 15 <sup>o</sup> ,10 |
| 0 <sup>m</sup> ,271   | »                   | 11 <sup>o</sup> ,17 | 12 <sup>o</sup> ,10 |
| 0 <sup>m</sup> ,316   | »                   | »                   | 11 <sup>o</sup> ,17 |

Le mercure des trois derniers thermomètres était caché dans le commencement de l'expérience. Le mercure n'a été visible pour le cinquième qu'à cinq heures et demie, et pour le quatrième et le sixième qu'à onze heures.

## DEUXIÈME JOUR.

|                                | 4h. 1/2. | 7h. 1/2. | 10h. 1/2. | 1h. 1/4. | 4 h. 1/2. | 6 h. 1/4. | 9 h. 50'. |
|--------------------------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>l</i> à 0 <sup>m</sup> ,091 | 56°,05   | 57°,42   | 59°,41    | 40°,19   | 41°,75    | 42°,53    | 42°,61    |
| <i>d</i> à 0 <sup>m</sup> ,156 | 25°,55   | 27°,10   | 28°,15    | 29°,41   | 30°,57    | 31°,95    | 32°,95    |
| <i>h</i> à 0 <sup>m</sup> ,181 | 19°,55   | 20°,65   | 21°,84    | 25°,01   | 24°,27    | 24°,82    | 26°,19    |
| <i>f</i> à 0 <sup>m</sup> ,226 | 15°,29   | 16°,58   | 17°,50    | 18°,47   | 19°,54    | 20°,15    | 21°,27    |
| <i>b</i> à 0 <sup>m</sup> ,271 | 15°,47   | 14°,18   | 15°,22    | 16, 00   | 16°,88    | 17°,40    | 18°,28    |
| <i>g</i> à 0 <sup>m</sup> ,516 | 12°,05   | 12°,57   | 12°,97    | 15°,69   | 14°,46    | 14°,95    | 15°,67    |

## TROISIÈME JOUR.

|                                | 4 heures. | 7 heures 45'. | 10 heures. | 11 heures 45'. | 1 heure 55'. | 2 heures 45'. | 5 heures 55'. | 6 h. 7 h. 9 h. sensiblement. |
|--------------------------------|-----------|---------------|------------|----------------|--------------|---------------|---------------|------------------------------|
| <i>l</i> à 0 <sup>m</sup> ,091 | 42°,22    | 42°,18        | 42°,65     | 42°,69         | 42°,65       | 42°,46        | 42°,46        | 42°,46                       |
| <i>d</i> à 0 <sup>m</sup> ,156 | 35°,03    | 35°,11        | 35°,57     | 35°,61         | 35°,58       | 35°,79        | 35°,82        | 35°,82                       |
| <i>h</i> à 0 <sup>m</sup> ,181 | 26°,99    | 27°,49        | 27°,74     | 27°,78         | 27°,91       | 28°,04        | 28°,04        | 28°,05                       |
| <i>f</i> à 0 <sup>m</sup> ,226 | 22°,55    | 22°,83        | 23°,08     | 23°,21         | 23°,46       | 23°,61        | 23°,55        | 25°,60                       |
| <i>b</i> à 0 <sup>m</sup> ,271 | 19°,42    | 19°,94        | 20°,10     | 20°,20         | 20°,41       | 20°,47        | 20°,42        | 20°,47                       |
| <i>g</i> à 0 <sup>m</sup> ,516 | 16°,77    | 17°,18        | 17°,51     | 17°,70         | 17°,95       | 18°,09        | 18°,15        | 18°,28                       |

Si l'on compare la première expérience avec la seconde, on trouve encore une nouvelle preuve à l'appui des conclusions tirées de la première expérience.

Il doit nécessairement exister des relations plus ou moins simples entre les diamètres des cylindres et les quotiens des progressions géométriques qu'ils fournissent dans l'état final. Il serait peut-être très difficile de parvenir à la découverte de ces relations dans la comparaison des nombres, même par de nombreux tâtonnements. Heureusement la théorie mathématique de la chaleur les donne pour des barres métalliques. On trouve

dans l'ouvrage de M. Poisson, n° 123; une équation équivalente à la suivante :

$$\frac{\log q}{\log q'} = \frac{\sqrt{D'}}{\sqrt{D}}$$

$q$  et  $q'$  étant les quotiens des progressions géométriques;  $D$  et  $D'$  les diamètres substitués aux côtés des barres.

Dans la première expérience  $D = 218$  millimètres, et  $q = 1,609$ ; dans la seconde  $D' = 405$  millimètres, et  $q' = 1,422$ .

Si l'on met ces nombres dans la formule, on trouve :

$$\frac{\log q}{\log q'} = 1,35 \text{ et } \frac{\sqrt{D'}}{\sqrt{D}} = 1,36.$$

La différence d'une unité dans le troisième chiffre est aussi petite que celles que donnent les expériences de physique les plus précises. On est donc en droit de considérer la loi comme rigoureuse.

N'est-ce pas là, en effet, une présomption favorable à nos expériences, puisque les résultats qu'elles fournissent satisfont à des lois mathématiques certaines et établies pour les corps solides. Ce qui semble devoir encore ajouter quelque importance à cette partie de notre travail, c'est que jamais on n'a eu l'occasion de soumettre cette loi mathématique à une vérification expérimentale.

La loi que nous venons de rapporter n'est donnée par théorie mathématique de la chaleur que pour des cylindres très petits. Nos expériences montrent donc que dans un cylindre de dimensions un peu grandes, la

propagation centrale se fait comme dans un cylindre très petit d'un diamètre proportionnel au diamètre du cylindre total.

Si l'on calculait rigoureusement l'expérience, on ferait intervenir l'influence de l'enveloppe. Mais comme nous obtenons une progression géométrique pour les excès, il faut en conclure que la partie du calcul relative à l'enveloppe disparaît devant celle qui appartient au liquide.

Il y a sans doute d'autres analogies à établir, telles que celles qui sont relatives à la durée de la propagation. Je les examinerai plus tard.

En résumé : 1° dans un cylindre liquide, chauffé à la partie supérieure, la chaleur se propage de manière à donner, pour les excès des températures, des points de l'axe équidistans sur la température de l'air environnant une progression géométrique ; 2° la température dans un même plan horizontal va en décroissant de l'axe à la circonférence, et de la circonférence à la paroi ; ce qui prouve que la paroi ne porte pas la chaleur dans le liquide ; 3° les expériences faites avec des cylindres de différens diamètres, satisfont à la loi qui lie ces diamètres aux quotiens des progressions géométriques pour les solides.

La conclusion naturelle et nécessaire qu'on doit tirer de ce travail, est que la propagation de la chaleur de haut en bas, dans les liquides, se fait suivant les lois qui règlent la propagation dans les corps solides, ou, en d'autres termes, le rayonnement se fait à petite distance de molécule à molécule.

---

*Analyse des Eaux d'Hamman Meskoutin (Bains-Maudits), situées à moitié chemin de Bone à Constantine;*

PAR M. LE DOCTEUR GUYON.

Ces eaux ont fourni, pour un litre de liquide, matières salines..... 1,233.

|                        |   |                  |       |
|------------------------|---|------------------|-------|
| Carbonates.....        | { | de magnésie..... | 0,090 |
|                        |   | de chaux.....    | 0,037 |
|                        |   | de fer.....      | 0,053 |
| Sulfates.....          | { | de chaux.....    | 0,197 |
|                        |   | de magnésie..... | 0,093 |
| Hydrochlorates.....    | { | de magnésie..... | 0,073 |
|                        |   | de soude.....    | 0,033 |
|                        |   | de chaux.....    | 0,167 |
| Silice.....            |   |                  | 0,013 |
| Matière organique..... |   |                  | 0,100 |
| Perte.....             |   |                  | 0,377 |
|                        |   |                  | 1,233 |

NOTA. Cette analyse ne doit être considérée que comme un essai.

Température des eaux à la source principale, celle dont la température est la plus élevée, l'instrument étant tout-à-fait immergé, 78° R.

Un thermomètre centigrade, librement suspendu au soleil, donnait alors 35°.

Alger, le 1<sup>er</sup> décembre 1838.

| Jours. | 9 heures du matin. |                  |          | Midi.           |                  |          | 3 heures du soir. |                  |          | 9 heures du soir. |                  |          | Thermomètre. |        | ÉTAT DU CIEL A MIDI.              | VENTS A MIDI.        |
|--------|--------------------|------------------|----------|-----------------|------------------|----------|-------------------|------------------|----------|-------------------|------------------|----------|--------------|--------|-----------------------------------|----------------------|
|        | Barom.<br>à 0°.    | Therm.<br>extér. | H.<br>g. | Barom.<br>à 0°. | Therm.<br>extér. | H.<br>g. | Barom.<br>à 0°.   | Therm.<br>extér. | H.<br>g. | Barom.<br>à 0°.   | Therm.<br>extér. | H.<br>g. | Maxim.       | Minim. |                                   |                      |
| 1      | 751,07             | +19,2            |          | 751,92          | +25,4            |          | 750,41            | +22,5            |          | 751,56            | +16,4            |          | +24,8        | +15,6  | Nuageux.                          | N. E.                |
| 2      | 750,59             | +19,6            |          | 750,54          | +21,4            |          | 749,68            | +20,8            |          | 749,86            | +15,4            |          | +29,5        | +15,7  | Convult.                          | N. N. O.             |
| 3      | 750,22             | +19,8            |          | 750,25          | +20,0            |          | 749,52            | +20,1            |          | 748,20            | +18,4            |          | +21,6        | +15,5  | Nuageux.                          | S. O.                |
| 4      | 746,08             | +15,6            |          | 746,52          | +15,5            |          | 746,43            | +18,7            |          | 749,71            | +19,6            |          | +18,7        | +15,2  | Pluie continue.                   | O. N. O.             |
| 5      | 752,03             | +16,4            |          | 752,08          | +18,0            |          | 752,90            | +18,7            |          | 754,67            | +14,5            |          | +18,7        | +10,5  | Nuageux.                          | O. N. O.             |
| 6      | 756,62             | +19,6            |          | 756,64          | +21,2            |          | 756,15            | +21,3            |          | 756,48            | +16,0            |          | +21,9        | +9,4   | Quelques nuages.                  | S. S. O.             |
| 7      | 754,94             | +19,8            |          | 754,94          | +22,6            |          | 755,80            | +22,9            |          | 755,84            | +20,0            |          | +24,5        | +10,8  | Voilé.                            | S. S. E.             |
| 8      | 754,58             | +16,6            |          | 755,20          | +25,3            |          | 755,12            | +21,0            |          | 755,70            | +17,5            |          | +26,8        | +16,5  | Très nuageux.                     | S. S. E.             |
| 9      | 759,29             | +18,7            |          | 760,09          | +20,5            |          | 760,21            | +22,1            |          | 761,95            | +17,2            |          | +25,0        | +14,4  | Nuageux.                          | O. S. O.             |
| 10     | 765,08             | +18,4            |          | 765,02          | +21,0            |          | 764,89            | +22,0            |          | 764,91            | +18,8            |          | +29,8        | +15,2  | Nuageux.                          | O. S. O.             |
| 11     | 765,09             | +21,0            |          | 764,98          | +21,7            |          | 764,87            | +21,8            |          | 765,09            | +18,8            |          | +25,5        | +15,2  | Convult.                          | O. S. O.             |
| 12     | 765,58             | +22,0            |          | 769,19          | +24,2            |          | 760,43            | +24,4            |          | 758,24            | +20,9            |          | +25,9        | +15,1  | Serein.                           | S. S. E.             |
| 13     | 754,24             | +27,2            |          | 755,25          | +28,2            |          | 755,29            | +29,2            |          | 751,74            | +22,9            |          | +27,0        | +16,2  | Eclaircies.                       | O. S. O.             |
| 14     | 755,51             | +22,2            |          | 752,69          | +24,0            |          | 753,72            | +23,7            |          | 751,92            | +20,9            |          | +27,9        | +18,0  | Nuageux.                          | S. O.                |
| 15     | 752,86             | +25,0            |          | 755,54          | +26,0            |          | 755,86            | +26,4            |          | 756,25            | +22,0            |          | +28,0        | +17,0  | Beau.                             | O. S. O.             |
| 16     | 759,88             | +18,2            |          | 758,57          | +25,8            |          | 758,97            | +24,0            |          | 759,53            | +21,9            |          | +26,7        | +16,2  | Nuageux.                          | O. S. O.             |
| 17     | 758,82             | +27,2            |          | 758,58          | +29,5            |          | 757,43            | +24,0            |          | 758,72            | +25,8            |          | +25,5        | +17,7  | Beau.                             | S. S. E.             |
| 18     | 753,44             | +25,6            |          | 753,55          | +23,8            |          | 754,40            | +28,9            |          | 755,03            | +19,4            |          | +50,2        | +20,1  | Nuageux.                          | N. N. O.             |
| 19     | 759,46             | +20,8            |          | 759,76          | +21,8            |          | 759,75            | +25,8            |          | 760,15            | +18,2            |          | +26,0        | +15,4  | Nuageux.                          | O. S. O.             |
| 20     | 758,71             | +25,4            |          | 756,83          | +25,4            |          | 755,90            | +27,6            |          | 755,09            | +22,9            |          | +29,0        | +15,1  | Serein.                           | S. S. E.             |
| 21     | 754,79             | +21,7            |          | 754,71          | +24,7            |          | 754,55            | +24,6            |          | 755,78            | +18,8            |          | +26,8        | +18,9  | Nuageux.                          | S. O.                |
| 22     | 751,85             | +22,5            |          | 749,99          | +25,9            |          | 748,21            | +24,0            |          | 748,28            | +15,5            |          | +24,7        | +12,6  | Nébulxux.                         | N.                   |
| 23     | 749,30             | +20,4            |          | 750,48          | +22,2            |          | 750,98            | +22,5            |          | 755,87            | +16,0            |          | +25,6        | +14,5  | Nuageux.                          | O. S. O. fort.       |
| 24     | 756,69             | +18,7            |          | 756,94          | +21,1            |          | 756,80            | +22,2            |          | 756,99            | +17,5            |          | +25,6        | +12,7  | Très nuageux.                     | O. S. O.             |
| 25     | 753,99             | +18,1            |          | 756,28          | +21,5            |          | 754,35            | +21,6            |          | 751,95            | +17,5            |          | +25,0        | +15,8  | Très nuageux.                     | S.                   |
| 26     | 747,70             | +20,0            |          | 747,20          | +22,5            |          | 747,88            | +20,0            |          | 752,42            | +14,1            |          | +24,0        | +14,1  | Très nuageux.                     | S. S. O. fort.       |
| 27     | 756,70             | +17,8            |          | 756,17          | +19,5            |          | 755,27            | +20,6            |          | 755,17            | +16,5            |          | +22,2        | +10,5  | Nuageux.                          | O. S. O.             |
| 28     | 750,75             | +17,8            |          | 750,45          | +16,7            |          | 751,79            | +16,0            |          | 755,45            | +15,6            |          | +18,8        | +11,0  | Pluie par momens.                 | S. S. O.             |
| 29     | 754,98             | +15,9            |          | 753,88          | +19,9            |          | 753,45            | +14,5            |          | 757,82            | +12,2            |          | +14,9        | +10,9  | Convult.                          | O. S. O.             |
| 30     | 759,04             | +15,8            |          | 759,67          | +15,2            |          | 760,24            | +15,0            |          | 761,98            | +14,7            |          | +14,7        | +10,5  | Convult.                          | N. N. O.             |
| 1      | 754,09             | +18,5            |          | 755,97          | +20,7            |          | 755,66            | +20,7            |          | 754,41            | +16,5            |          | +22,4        | +15,9  | Moyenne du 1 <sup>er</sup> au 10. | Pluie en centimètres |
| 2      | 758,12             | +25,1            |          | 757,65          | +26,5            |          | 757,05            | +26,5            |          | 756,66            | +21,2            |          | +27,6        | +16,2  | Moyenne du 11 au 20.              | Cour . . . 41,578    |
| 3      | 753,83             | +18,5            |          | 755,67          | +19,8            |          | 754,58            | +19,9            |          | 754,57            | +15,5            |          | +21,6        | +15,9  | Moyenne du 21 au 30.              | Terrasse . . 40,785  |
|        | 755,55             | +19,9            |          | 755,09          | +21,3            |          | 754,76            | +22,5            |          | 755,44            | +17,6            |          | +25,9        | +14,5  | Moyennes du mois . . .            | +19,1                |

*Mémoire sur la Formation des Tables des Rapports qu'il y a entre la Force d'un Courant électrique et la Déviation des aiguilles des multiplicateurs; suivi de Recherches sur les Causes de Perturbation des couples thermo-électriques et sur les moyens de s'en garantir dans leur emploi à la mesure des températures moyennes;*

PAR M. PELTIER.

---

PREMIÈRE PARTIE.

*Des tables de forces proportionnelles.*

I. L'application la plus heureuse que l'on a faite de la découverte d'OErsted, est celle qui a servi à former cet instrument délicat et obéissant, qu'on nomme communément *multiplicateur*; avant cette époque, on n'avait pour la mesure des courans électriques, que des moyens fort imparfaits, qui confondaient la *quantité* d'électricité traversant le conducteur avec son *intensité*, c'est-à-dire, avec la puissance particulière qu'acquiert une *quantité* quelconque d'électricité, de vaincre les résistances du circuit; puissance qui ne lui vient pas de qualités nouvelles, mais des obstacles placés entre les deux pôles d'un électromoteur, afin d'atténuer, ou d'arrêter la neutralisation des états positif et négatif extrêmes à travers les couples mêmes. Pour comprendre les expériences

et les faire avec succès, il est de toute nécessité de distinguer une *quantité* d'électricité que l'on ne considère que par le produit de son action, de cette même *quantité*, considérée avec la puissance de vaincre les résistances des conducteurs. Ce n'est qu'au moyen de cette distinction qu'on sentira le besoin de disposer son appareil, suivant que la source donnera une électricité étant ou n'étant pas dans les conditions propres à vaincre les obstacles interposés. Ce n'est pas qu'il y ait de différence entre une *quantité* électrique provenant d'un couple thermo-électrique, et celle provenant d'une pile hydro-électrique, il n'y en a qu'une de position et non de nature; avec un couple thermo-électrique les deux électricités peuvent facilement se neutraliser par le couple même, formé d'éléments métalliques bons conducteurs; le moindre obstacle dans le reste du circuit l'emporte sur celui de l'électromoteur, et l'équilibre se rétablit par le couple. Dans les piles hydro-électriques, au contraire, les deux états polaires ont contre leur neutralisation en retour, un obstacle puissant dans les alternatives liquides et métalliques, obstacle qui oblige les électricités extrêmes à se neutraliser, pour la plus grande partie, par la voie du circuit fermé. On n'est pas assez pénétré de cette vérité; car si elle était mieux reconnue, on se garderait bien de prendre indifféremment le premier galvanomètre venu pour mesurer les quantités provenant de sources diverses.

II. Le moyen le plus usité, avant la découverte d'OErsted, était la décomposition de l'eau; on jugeait de l'énergie d'une pile par la quantité de gaz obtenu, et l'on comparait ainsi les courans qui produisaient ces décom-

positions, sans avoir égard à la quantité réelle d'électricité produite, dont la plus grande partie se combinait en retour. En outre, ce moyen n'est propre qu'à la mesure des courans intenses provenant de piles nombreuses; dans ce cas même, il est entaché de causes d'erreur fort notables. Ainsi, pour comparer deux courans au moyen de la décomposition de l'eau ou d'une dissolution quelconque, il faut que le liquide dans l'une et dans l'autre expérience soit identiquement le même, car la plus petite différence dans la substance tenue en dissolution change tellement la conductibilité du liquide, que les résultats n'en sont plus comparables. La distance et la finesse des fils de platine qui plongent dans le liquide, sont encore des élémens dont il faut tenir compte; car avec les mêmes fils on ne peut comparer que les piles qui ont les couples égaux en surface, et qui ne diffèrent que par le nombre. La quantité d'électricité produite étant en raison directe des réactions chimiques qu'éprouvent les plaques de zinc de la pile, il faudrait donner aux conducteurs des dimensions proportionnées pour que la résistance soit égale dans les deux cas, et pour que le courant plus nombreux n'arrive pas, déjà atténué, dans l'appareil de décomposition. Aucune de ces précautions n'étant prises et beaucoup d'autres que nous ne voulons pas énumérer ici, les quantités du gaz obtenu dans un temps donné ne peuvent en aucune manière servir de mesure à la force de production. A ces défauts si évidens pour la mesure des courans énergiques, il faut y joindre celui de l'inutilité de ce moyen pour la mesure des faibles courans; c'est en vain qu'on voudrait mesurer ainsi l'électricité produite par une foule de réactions chimi-

ques ou par celle produite par la chaleur, ou par l'influence atmosphérique ; son inertie complète dans ces cas ferait conclure à une nullité d'action qui n'existe pas, et que des moyens plus délicats démontrent sur-abondamment. Tout une branche de la science électrique serait restée à jamais inconnue, si de nouveaux moyens de manifestation n'avaient été découverts et n'avaient produit des instrumens aussi sensibles qu'obéissans.

III. La découverte d'OErsted a donc été le précurseur d'une foule d'autres découvertes, non pas seulement comme cause, non pas comme procréation de faits nouveaux sortis de son sein, mais par cela seul qu'elle a donné le moyen à Schweiger de créer un instrument nouveau, qui est devenu, par les perfectionnemens successifs apportés par d'autres physiciens, d'une délicatesse presque infinie. On sait que la découverte d'OErsted consiste dans l'action qu'un courant électrique exerce sur une aiguille aimantée, en la déviant perpendiculairement au sens de sa propagation. En contournant le conducteur autour de l'aiguille, Schweiger multiplia l'action utile, et l'arc de la déviation augmenta avec le nombre de tours du conducteur. De cette réduplication de l'action primitive, ce savant nomma le nouvel instrument *multiplificateur*, parce qu'en réalité l'action première se trouve multipliée par ce retour du conducteur ; ce nom serait donc convenable, et il faudrait le conserver, si on n'envisageait cet instrument que sous le seul point de vue de la multiplication ; mais dans l'étendue de formes et d'application qu'on a donné à cet instrument, il ne multiplie pas toujours ; ainsi, lorsqu'on veut mesurer des quantités considérables d'électricité et donner au conduc-

teur-mesureur le moins de résistance possible, on ne prend qu'une seule lame de cuivre, large de 6 à 7 centimètres, épaisse d'un ou deux millimètres, qui ne fait aucune révolution autour de l'aiguille. Dans cette disposition, le nom de multiplicateur serait un non-sens, puisque l'instrument ne multiplie rien; celui de galvanomètre n'est pas plus heureux, parce que les courans galvaniques sont des courans provenant des actions chimiques, et que ces instrumens mesurent les courans provenant de toutes les sources possibles, et non ceux de telle ou telle cause productive. Le non de *rhéomètre*, *mesureur de courans*, proposé par M. Pécelet, nous paraît plus heureux, et nous l'emploierons conjointement avec les autres noms qui sont plus généralement admis.

IV. Le *rhéomètre*, ou *mesureur de courans*, doit varier dans sa construction suivant l'usage auquel on le destine; on ne peut avoir un instrument propre à toutes les recherches et qui réponde à tous les besoins. J'en ai construit qui ne sont composés que d'une lame large et épaisse, sans révolution et surmontée d'un seul barreau aimanté pesant un demi-kilogramme; puis, en passant par toute la série des points intermédiaires, j'en ai fait d'un fil de rosette pure, non magnétique, de  $0^{\text{mm}}, 1$ , et formant 3600 révolutions autour d'un châssis, ayant un système d'aiguilles à la Nobili, pesant six centigrammes, qui ne faisait qu'une oscillation en 70 secondes. Toutes ces combinaisons ont leur utilité, leur application spéciale, et c'est d'après le but qu'on se propose qu'il faut se faire ou qu'il faut commander ces appareils. Une précaution qu'il faut toujours prendre, c'est de faire ces appareils doubles, c'est-à-dire, de deux lames superposées

et isolées l'une de l'autre par une étoffe de soie, s'ils sont destinés à la mesure de grandes quantités d'électricité; ou de deux fils isolés, si l'instrument est destiné aux petites quantités. Par ce moyen, on a un instrument multiple, c'est-à-dire, qu'on peut n'employer qu'un seul fil, ou qu'on peut employer les deux fils à la fois; dans ce dernier cas, on peut encore les employer de deux manières; ou en réunissant leurs bouts homologues, ce qui double la conductibilité de l'instrument, la longueur restant la même; ou enfin en réunissant l'extrémité sortante de l'un avec l'extrémité entrante de l'autre, on double les révolutions autour du système d'aiguilles. Ce serait déjà un assez grand avantage d'avoir ainsi, en un seul instrument, trois instrumens de forces différentes, répondant à trois sortes d'expériences, pour les préférer à ceux que l'on fait d'un fil continu; mais il y a encore deux autres causes qui rendent cette construction préférable.

V. M. Becquerel est le premier qui a senti le besoin de mesurer deux courans à la fois pour connaître leur différence; il a fait passer un des courans par un des fils, et l'autre courant dans l'autre fil en sens inverse du premier; ces deux courans agissant avec des forces contraires, l'aiguille n'obéit qu'à la différence du plus fort; c'est de cette indication que ce savant a nommé cet instrument *multiplicateur différentiel*. L'utilité principale des rhéomètres à deux fils, est dans la facilité qu'ils offrent à former les tables des rapports qu'il y a entre la force du courant et l'arc de la déviation de l'aiguille aimantée. Sans cette connaissance du rapport des forces à l'arc de la déviation, l'instrument n'est plus mesureur,

il n'est plus qu'un rhéoscope, chargé seulement de manifester la présence d'un courant. Il faut donc, pour chacun de ces instrumens, avoir une table bien faite, à laquelle on rapporte toutes les déviations obtenues pendant l'expérience. Nous allons à ce sujet entrer dans les détails nécessaires, pour que chacun puisse faire sa table et la vérifier souvent, principalement lorsqu'on déplace l'instrument. Nous aurons ensuite à considérer l'application de cet instrument aux couples thermo-électriques pour mesurer la température des corps, et nous aurons à faire connaître les précautions qu'il faut prendre pour atténuer les causes d'erreur qui sont malheureusement trop nombreuses. Nous dirons aussi comment il faut s'y prendre pour graduer les rhéomètres à un seul fil, et leur créer des tables jusqu'à 60 degrés, aussi parfaites que celles des rhéomètres à deux fils; au-delà il n'y aurait plus de certitude dans les rapports, et nous verrons pourquoi il est prudent de s'arrêter à ce nombre dans la graduation.

VI. M. Becquerel est aussi un des premiers physiciens qui ait senti la nécessité de ces tables; il s'est servi de couples thermo-électriques pour les former, en faisant passer un courant dans un des deux fils, puis en faisant passer un courant semblable dans le second fil; de cette manière, l'arc de la déviation est le résultat de la somme des deux forces. Cette méthode est une des meilleures que l'on puisse employer, et elle nous servira à contrôler d'autres méthodes qu'il est bon d'employer conjointement. M. Nobili, qui s'est beaucoup occupé de cette question, a indiqué deux méthodes: la méthode des *doubles* et celle des *différences* (*An. Ch. phys.*, 43,

146). La première consiste à faire passer un courant dans un des fils d'un rhéomètre différentiel, puis de le faire passer dans les deux fils ajoutés l'un au bout de l'autre, pour ne faire qu'un fil formant le double de révolutions autour du châssis. Nobili a abandonné cette méthode à cause de la difficulté d'avoir des courans constants pendant le temps nécessaire aux deux opérations. Cependant nous recommanderons cette méthode tout à l'heure, parce que l'obstacle qui a arrêté ce physicien peut être levé de plusieurs manières. Une autre raison de son éloignement pour la méthode des *doubles*, vient de ce que les nombres supérieurs sont formés par la multiplication des nombres inférieurs, et que conséquemment, s'il y a une erreur dans les premiers chiffres, on multiplie cette erreur. Cette crainte est fondée; aussi faut-il apporter le plus grand soin aux trente premiers degrés, et il convient de vérifier les nombres supérieurs par une autre méthode.

VII. La méthode des *différences* que recommande Nobili, prend un temps considérable; c'est un défaut notable dans une méthode que l'on est obligé d'appliquer très souvent; car il ne faut pas se faire illusion sur le travail des tables, sa valeur est de peu de durée. Si le système d'aiguilles ne variait pas dans sa force magnétique, si le rapport des aiguilles ne variait pas lui-même, si le déplacement de l'instrument n'était pas une cause d'altération dans la résultante magnétique du système, il n'y aurait pas à balancer, il faudrait sacrifier tout le temps nécessaire pour faire une table parfaitement exacte, qui doit durer long-temps; mais il n'en est malheureusement pas ainsi, il faut vérifier sa

table tous les deux ou trois jours, pendant tout le temps que durent les expériences ; car il suffit d'un courant produit trop brusquement et projetant trop vivement le système d'aiguilles, pour que son magnétisme, ou souvent celui d'une seule aiguille, soit altéré ; ce qui oblige non seulement de refaire la table, mais encore d'égaliser de nouveau la force des aiguilles. Il suffit qu'un rayon de soleil vienne frapper l'aiguille supérieure du système pour que son magnétisme soit diminué et rende ainsi les tables faites tout-à-fait inutiles. Dans ce besoin de vérification souvent répétée, une méthode prompte et qui prend peu de temps est donc nécessaire ; de plus, la méthode des différences a une cause d'erreur dont il est difficile d'estimer la valeur, comme nous le verrons tout à l'heure.

VIII. La sensibilité des aiguilles est souvent diminuée pendant le cours des expériences, soit par un courant trop brusque qui altère le magnétisme d'une aiguille, soit par un changement dans le parallélisme des aiguilles, soit par toute autre cause. Il est de toute nécessité que chacun puisse rétablir l'état primitif de son système d'aiguilles, sans lequel il n'y a pas d'instrument comparateur. Il faut donc vérifier de temps à autre s'il fait toujours le même nombre d'oscillations dans un temps donné, et le ramener au même degré d'astaticité. Un courant trop brusque peut altérer la sensibilité du système d'aiguilles de deux manières, ou en augmentant le magnétisme d'une aiguille ou en l'affaiblissant. On peut savoir laquelle des deux altérations a lieu, en présentant à l'une puis à l'autre aiguille une petite aiguille à coudre aimantée ; si l'attraction se fait à peine sentir sur la plus

faible aiguille, c'est que l'altération a été une désaimantation ; si, au contraire, la plus faible aiguille est attirée avec la même force qu'avant l'altération, et que la plus forte le soit plus vivement, c'est qu'alors il y a eu augmentation dans le magnétisme de cette aiguille. Dans ce cas, je suppose que le système d'aiguilles ; qui faisait d'abord une oscillation en 55 secondes, en fasse maintenant deux en une minute, c'est par la plus forte qu'il faut rétablir l'astaticité. On sait quelle aiguille a gagné sur l'autre, puisque c'est elle qui se maintient dans le méridien magnétique ou s'en rapproche le plus ; c'est donc son magnétisme surabondant qu'il faut retrancher pour la ramener au degré nécessaire. Pour y parvenir, si les deux aiguilles sont toujours parfaitement parallèles, c'est de frotter légèrement l'aiguille la plus forte avec une aiguille à coudre très fine et peu aimantée. Cette friction ne se fait pas indistinctement dans l'un ou l'autre sens ; s'il y a peu de chose à faire pour rétablir la sensibilité primitive, si, par exemple, le système d'aiguilles ne faisait que deux oscillations par minute, il faut frotter l'aiguille la plus forte avec son aiguille à coudre, dans le même sens que si on voulait l'aimanter. Ainsi, on promènerait le pôle austral de l'aiguille à coudre, du pôle austral au pôle boréal de l'aiguille du rhéomètre. Cette friction dans le sens même du magnétisme par une aiguille plus faible, diminue quelque peu le magnétisme de la première, et suffit pour arriver au point désiré, lorsqu'il y a peu à retrancher. Si ce moyen ne suffit pas, si l'aiguille forte garde sa suprématie, on fait la friction en sens contraire du magnétisme, c'est-à-dire qu'en frottant avec le pôle austral, on l'applique

d'abord sur le pôle boréal de l'aiguille, et en remontant, on termine la friction par le pôle austral, comme si on voulait renverser les pôles. Après quelques frictions, si l'aiguille du rhéomètre gardait encore sa supériorité, c'est que l'aiguille à coudre serait trop faible, et il faudrait en prendre une plus forte, dont on ferait usage avec une grande prudence pour ne pas trop faire; il vaut mieux faire vingt frictions avec une aiguille trop faible, que de risquer de dépasser le point avec une aiguille trop forte. Avec de l'adresse et de la patience, on ramène ainsi son système d'aiguilles à faire une oscillation en 55 secondes. Il est bien entendu qu'il s'agit d'aiguilles légères comme celles des rhéomètres Gourjon.

IX. Lorsque l'altération a eu lieu par désaimantation, il faut réaimanter l'aiguille qui a perdu, sans rien déranger au système et même sans le détacher de sa soie. On a une petite planche mince, fendue par un trait de scie, dans lequel on fait passer l'axe en cuivre qui lie les deux aiguilles; la plus faible est placée en dessus pour être frictionnée. On a deux petits barreaux aimantés, dont on fait usage par la méthode de la double touche. On les incline de  $45^{\circ}$  sur l'aiguille, le pôle austral d'un des barreaux et le pôle boréal de l'autre, sont placés au centre de l'aiguille, de manière qu'en les écartant l'un de l'autre et en produisant ainsi la friction jusqu'aux extrémités, le pôle austral du barreau termine sa course sur le pôle boréal de l'aiguille et *vice versa* de l'autre côté. On ne doit faire qu'une seule friction à la double touche, elle suffit ordinairement pour dépasser le point nécessaire. On s'assure de nouveau si le paral-

lélisme a été bien maintenu ; on le rétablit complètement en tordant l'axe de jonction, s'il avait été altéré pendant l'opération. Le parallélisme étant bien rétabli, si l'aiguille nouvellement aimantée est trop forte, on fait la série de frictions avec l'aiguille à coudre, comme nous l'avons dit plus haut. Ainsi, lorsqu'on se sert de ces instrumens, il faut vérifier la sensibilité de son système d'aiguilles, savoir : s'il conserve sa lente oscillation, reconnaître si l'altération vient d'une augmentation ou d'une diminution de magnétisme, retrancher l'augmentation par de petites frictions faites avec une aiguille à coudre ; rendre à l'aiguille affaiblie son magnétisme, puis la ramener à sa force première par des frictions semblables ; mais surtout ne rien faire qu'on ne se soit assuré du parfait parallélisme des aiguilles. Enfin, si les deux aiguilles ont été désaimantées, il faut les retirer de leur axe, les réaimanter l'une et l'autre à saturation par la double touche, les replacer sur leur axe, puis ramener la plus forte au degré de la plus faible par le moyen de petites frictions, comme il vient d'être dit.

X. La méthode des différences recommandée par Nobili est, comme l'on sait, de faire passer deux courans inégaux, l'un par un fil, l'autre par l'autre fil, de le ramener à des degrés fixes, l'un je suppose à  $30^{\circ}$ , et l'autre à  $29^{\circ}$  ; puis de le faire passer en même temps dans leurs fils respectifs et en sens inverse, pour que l'aiguille n'obéisse qu'à la différence du trentième degré. Et en effet, les  $29^{\circ}$  du premier courant seront neutralisés en totalité par le second, et il ne restera que la force du  $30^{\circ}$  qui, n'étant pas neutralisée, agira sur le système d'aiguilles ; je suppose que l'aiguille soit déviée de  $5^{\circ}$ , on en

conclura qu'il faut alors une force de 5 degrés pour produire l'arc de 29 à 30°. La force proportionnelle de ce degré est donc 5, qu'il faut inscrire sur la table; puis passer au degré suivant, ou de deux degrés en deux degrés, entre lesquels on interpole ensuite. Ce nombre 5, que nous avons trouvé pour la différence de 29 à 30 degrés est exact, si le même courant produit un arc de déviation égal de chaque côté du zéro, si le courant qui a donné 29° d'un côté est apte à reproduire cette même déviation de l'autre côté. Pour avoir cette similitude d'effets, il faudrait avoir une perfection absolue dans l'instrument, il faudrait que chaque tour du fil fût exactement à la même distance des aiguilles que le tour correspondant de l'autre côté, que tout soit similaire, que l'axe magnétique partageât le centre des aiguilles, il faudrait ce qui n'existe pas, même dans les meilleurs rhéomètres de M. Gourjon. Il n'y a que les instrumens lourds et paresseux, incapables d'obéir aux petites forces, qui n'indiquent pas cette inégalité d'action; mais dans les instrumens aussi délicats, aussi obéissans que ceux de l'artiste que je viens de nommer, on trouve toujours des différences notables. D'après ce que nous venons de dire, il n'est donc pas certain que les 29° d'un côté soient les représentans des 29° de l'autre côté, et lorsque nous les mettons en regard et que la différence nous donne 5°, il faudrait y ajouter ou en retrancher la différence qu'on trouve lorsqu'un même courant fait dévier à droite ou à gauche du zéro le système d'aiguilles. Ainsi on voit que cette méthode, qui paraît irréprochable d'abord, ne laisse pas que d'avoir ses incertitudes et qu'elle est loin d'avoir la perfection que Nobili lui a re-

connue. L'incertitude de cette méthode nous force à l'écarter des moyens propres à graduer les rhéomètres.

M. Melloni s'est aussi servi d'une méthode de différence dans la formation de ses tables, non pas d'une différence entre deux courans actuels et contraires ; mais entre deux élévations de température successives, puis simultanées d'une pile thermo-électrique de 34 couples. Ce savant italien a été conduit à l'emploi de cette méthode, parce que son rhéomètre était à un seul fil, et qu'en conséquence il était restreint dans le choix des moyens. Cette méthode demande toute l'adresse et la sagacité que possède cet habile physicien pour parvenir à former une table exacte, et comme son application ne peut être que limitée, nous renvoyons au mémoire qu'il a publié dans les Annales de Chimie et de Physique, t. 53, page 1<sup>re</sup>. Nous allons maintenant entrer dans quelques détails pour diriger ceux qui voudront graduer leurs rhéomètres avec les moyens les plus prompts et les plus usuels.

XI. Nous supposons d'abord que l'on possède un rhéomètre à deux fils, remettant à indiquer plus bas le moyen de graduer les rhéomètres à un fil. On dispose deux petites piles à couronnes, chacune de six couples, dont les élémens ne sont que des fils ou des petites lanières de deux à trois millimètres de large, lorsqu'il s'agit de graduer des instrumens délicats ; on augmente la surface des couples pour des instrumens destinés à la mesure des quantités plus considérables. Nous prenons pour exemple un rhéomètre thermo-électrique de 150 tours en deux fils, de chacun 75 tours, et dont le système d'aiguilles, pesant 7 à 8 centigrammes, ne fait

qu'une oscillation en 55 minutes, tel enfin que les fait M. Gourjon avec du fil non magnétique et avec toute la perfection que comportent ces instrumens. Pour graduer les rhéomètres faits par cet habile artiste, il faut modérer le courant jusqu'à n'en laisser passer qu'une quantité très minime pour pouvoir atteindre les premiers degrés; conséquemment, les petits couples que je viens d'indiquer, plongés dans de l'eau commune, donneraient des quantités trop considérables qu'il faut pouvoir diminuer. Pour y parvenir, on dispose deux couples de la manière suivante : le cuivre, ou l'élément négatif, est formé d'un fil de  $0^{\text{mm}},4$  de section, au bout duquel est soudée par sa base une lame de cuivre coupée en un triangle très aigu dont on prolonge la pointe de quelques millimètres par un petit fil soudé de  $0^{\text{mm}},1$  de section. Le fil conducteur soudé au zinc d'une part et à la base du triangle de l'autre, doit être fixé près de ce dernier par une pince attachée à une crémaillère qui permette de relever ou d'abaisser à volonté la portion immergée. L'élément zinc doit être fixé également, afin qu'il n'éprouve aucune oscillation du mouvement imprimé à l'extrémité cuivre, oscillation qui augmenterait le courant. Ainsi, chacune des piles est composée de six petits couples, dont deux sont terminés dans leur élément cuivre par un triangle très effilé, qu'on peut plus ou moins immerger au moyen de crémaillères ou d'un bouchon glissant à frottement sur une tige de verre.

XII. Les six couples sont nécessaires pour avoir une résistance en arrière presque infinie, comparativement à celle que le second fil ajoute au circuit direct, lorsqu'on l'unit à l'extrémité du premier fil. On doit s'assurer par

une expérience préalable que l'addition du second fil ne diminue pas le courant ; pour y parvenir, on règle son courant de manière à ce qu'il ne donne que  $6^\circ$  avec un fil ; puis, lorsque le courant est constant, on ajoute le second fil au premier pour n'en former qu'un seul ayant une longueur double. Si cette addition dans la résistance du circuit en avant est petite, relativement à la résistance en arrière à travers la pile, la déviation sera exactement du double, c'est-à-dire, de  $12^\circ$ , parce que dans ces limites l'arc de la déviation est proportionnel aux forces, comme nous le dirons tout-à-l'heure : nous avons assigné  $6^\circ$  préférablement à un nombre inférieur à cause d'une circonstance dépendante de la construction de ces appareils, qui rend les premiers degrés un peu plus résistans que les suivans. Pour la graduation des multiplicateurs de 3000 tours, il est prudent d'augmenter la résistance des piles et de les faire de 8 à 10 couples. Lorsqu'on s'est assuré que la pile est suffisante, qu'elle peut vaincre sans perte la résistance du second fil, on commence l'opération en atténuant le courant au point de n'obtenir qu'un seul degré de déviation. Pour obtenir cette diminution dans le courant, on est obligé d'ajouter au cercle de la pile un ou deux fils de platine très fins, que l'on met à cheval sur deux verres que l'on a ajoutés à ceux qui reçoivent les couples ; en ne faisant plonger ces fils que de 3 à 4 millimètres ; on a un circuit aussi faible qu'on le désire.

XIII. Nous préférons de beaucoup les couples hydro-électriques aux couples thermo-électriques, parce que ces derniers n'offrent pas assez de résistance en arrière pour vaincre uniformément la résistance du conducteur,

résistance qui croît avec l'augmentation du courant nécessaire aux grands arcs de déviation. Je suppose que la pile soit de six couples, on peut augmenter le courant par une plus grande élévation dans la température des soudures paires; mais la résistance d'une telle pile étant de beaucoup insuffisante, une grande quantité d'électricité se neutralise en arrière, lorsqu'on ajoute le second fil galvanométrique au bout du premier; il faudrait une pile fer et cuivre de 25 à 30 couples au moins, pour avoir la certitude que la résistance suffit à faire une table jusqu'à 60° avec un rhéomètre de 150 tours. On ne pourrait aller au-delà de ce nombre sans erreur notable. L'autre moyen d'employer les piles thermo-électriques est de chauffer successivement la seconde soudure, puis la seconde et la quatrième, puis la deuxième, la quatrième et la sixième, etc. Toutes les autres soudures étant tenues à une température constante, cette méthode ne peut être employée que dans le cas particulier que nous allons signaler. Nous rappellerons d'abord qu'une pile ne donne pas un courant plus nombreux qu'un seul des couples; ce qu'on peut prouver parfaitement avec les piles hydro-électriques, parce que si le rhéomètre est fait d'un seul tour d'une lame de cuivre, avec de très gros conducteurs, la résistance est presque nulle, comparée à celle du liquide du couple, et conséquemment toute l'électricité recueillie passe à travers le rhéomètre. L'addition de nouveaux couples rangés en pile, n'ajoute rien à la *quantité*, l'arc de la déviation reste le même, il baisse plutôt qu'il n'augmente, s'il n'y a aucune difficulté de passage aux contacts. (Voyez Ann. de Chim. et de Phys., t. LXIII, p. 245.)

XIV. Il en serait de même des piles thermo-électriques s'il était possible de rendre la résistance du circuit rhéométrique à peu près nulle relativement à la résistance d'un seul couple. On ne peut donc qu'approcher de ce but sans l'atteindre complètement. Avec une pile de 16 couples fer et cuivre, j'ai eu le résultat suivant en les mettant successivement en action, et en complétant le circuit par deux mètres d'un fil de cuivre de 2<sup>mm</sup>,7, et un rhéomètre d'un tour de lame de cuivre large de 5 centimètres. La température des soudures paires étant maintenue à 52° degrés au-dessus de celle des soudures impaires.

| Nombre des couples mis en action. | Déviations proportionnelles. |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 1                                 | 6°,0                         |
| 2                                 | 7°,0                         |
| 3                                 | 7°,7                         |
| 4                                 | 8°,0                         |
| 5                                 | 8°,2                         |
| 6                                 | 8°,4                         |
| 7                                 | 8°,55                        |
| 8                                 | 8°,67                        |
| 9                                 | 8°,8                         |
| 10                                | 8°,9                         |
| 11                                | 9°,0                         |
| 12                                | 9°,1                         |
| 13                                | 9°,2                         |
| 14                                | 9°,3                         |
| 15                                | 9°,4                         |
| 16                                | 9°,5                         |

L'emploi des 16 couples n'a augmenté le courant que de 3°,5; cette différence se réduirait à zéro si la résistance des conducteurs, du rhéomètre et des contacts était nulle.

XV. Lorsque la résistance est considérable, la quantité d'électricité qui traverse le circuit rhéométrique croît avec les couples mis en action, et croît également si on maintient la résistance égale du premier au dernier couple. J'ai fait deux piles thermo-électriques parfaitement semblables de fils de fer et de cuivre, chaque fil ayant 22 centimètres de long, le fil de fer ayant une section de 1<sup>mm</sup>,4, et celui de cuivre 0<sup>mm</sup>,8. Ces piles sont faites de manière à ne faire usage que du nombre de couples dont on a besoin; on peut ainsi ne prendre qu'un couple ou en prendre deux, etc. La première pile avait ses soudures paires élevées dans leur température de 50°, tandis que ses soudures impaires étaient tenues à une température constante, ainsi que les soudures paires et impaires de la seconde pile qui ne devait servir que de supplément de conducteur. La première pile, qui seule devait être active, étant composée de 16 couples, je complétais ces 16 couples par l'addition des couples inactifs de la deuxième pile, pour maintenir le circuit parfaitement identique dans tous les cas. En voici le résultat :

| Nombre des couples actifs de la 1 <sup>re</sup> pile. | Nombre des couples inertes de la 2 <sup>e</sup> pile complétant les 16 couples. | Déviations proportionnelles d'un rhéomètre à 5 tours de lame. |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1 couple actif.                                       | 15 couples inertes.                                                             | 1°,5                                                          |
| 2 »                                                   | 14 »                                                                            | 3°,2                                                          |
| 3 »                                                   | 13 »                                                                            | 5°,0                                                          |
| 4 »                                                   | 12 »                                                                            | 7°,0                                                          |
| 5 »                                                   | 11 »                                                                            | 9°,0                                                          |
| 6 »                                                   | 10 »                                                                            | 11°,0                                                         |
| 7 »                                                   | 9 »                                                                             | 13°,1                                                         |
| 8 »                                                   | 8 »                                                                             | 15°,3                                                         |
| 9 »                                                   | 7 »                                                                             | 17°,5                                                         |
| 10 »                                                  | 6 »                                                                             | 19°,7                                                         |
| 11 »                                                  | 5 »                                                                             | 22°,0                                                         |
| 12 »                                                  | 4 »                                                                             | 24°,3                                                         |
| 13 »                                                  | 3 »                                                                             | 26°,6                                                         |
| 14 »                                                  | 2 »                                                                             | 29°,0                                                         |
| 15 »                                                  | 1 »                                                                             | 31°,4                                                         |
| 16 »                                                  | 0 »                                                                             | 33°,8                                                         |

L'inégalité d'action des couples provient d'une résistance constante, celle des conducteurs et du rhéomètre, cette résistance est tout entière pour un couple comme pour les 16, la perte est alors d'autant plus grande, qu'il y a moins de couples qui lui font opposition. Si cette résistance était nulle, chaque couple aurait donné une augmentation de 2°,4 pour vaincre la résistance du circuit complet des 16 couples formant une longueur de 352 centimètres, ayant 32 alternatives fer et cuivre. Ces expériences démontrent la difficulté d'employer ces piles à la graduation des rhéomètres, puisque l'augmentation du courant dépend du rapport qu'il y a entre la résistance du fil galvanométrique et celle de la pile, comme l'indiquent les tableaux précédens. Nous pensons qu'il est préférable d'employer les piles hydro-électriques,

beaucoup plus commodes et offrant plus de garantie ; aussi sont-ce les seules dont nous ferons usage.

XVI. Avant de passer aux détails de la graduation , je dois avertir qu'il est utile de faire traverser le fil galvanométrique d'un courant continu pendant quelques secondes. Cette précaution est d'autant plus nécessaire , que le multiplicateur est formé d'un fil plus long. Lorsque l'instrument est en repos depuis long-temps , lorsqu'il n'a été traversé par aucun courant depuis plusieurs jours , il lui faut un courant plus considérable pour obtenir son maximum d'effet la première fois que pour les fois suivantes ; pour des rhéomètres de 3000 tours , qui ont été dans le repos depuis un mois , j'ai observé que la force constante qui les faisait dévier à peine de  $5^{\circ}$  la première fois , les faisait dévier de  $10^{\circ}$  la seconde. Cette inertie à la suite du repos n'est pas particulière à ce genre de phénomènes , mais à tous ceux qui sont le résultat d'un ébranlement imprimé aux molécules par de petites forces ; on la retrouve également dans les électroscopes armés de plateaux. Si la force est énergique , cette faible résistance de l'inertie des molécules en repos n'est plus appréciable dans le résultat intense qu'on a provoqué. Dans l'acoustique on a très souvent l'occasion de faire cette observation , où elle se renouvelle à chaque instant. On sait qu'un corps auquel on a fait rendre un son pendant un certain temps , n'obéit que difficilement à l'archet qui veut lui en faire rendre un autre ; tandis qu'il rend sans effort le son qu'il a déjà rendu. Une des observations les plus curieuses de ce genre est celle qui est due à MM. Biot et Savart. M. Biot avait observé qu'un rayon polarisé cesse de l'être si , pendant

qu'il traverse une lame de glace, on imprime un mouvement ondulatoire aux molécules de cette dernière en la frottant avec un morceau de drap mouillé, pour lui faire rendre un son. M. Savart eut besoin de continuer l'expérience pendant un mois environ, et chaque jour il faisait rendre le même son à la même lame de glace. Au bout de ce temps, il remarqua que cette particularité d'une lame de verre de dépolariiser un rayon pendant sa vibration, était devenue permanente, et que la lame de glace dépolariisait le rayon sans être ébranlée de nouveau par la production des ondes sonores. On voit que les corps inorganiques ont aussi leurs habitudes, et qu'il est nécessaire que l'expérimenteur en tienne compte : avant d'opérer, il devra faire une expérience préalable qui ne servira qu'à disposer les molécules des conducteurs à une plus grande obéissance.

XVII. Un autre effet, provenant de la même cause, de la modification qui a lieu dans les rapports des molécules, exige encore une nouvelle précaution dans la formation des tables. Lorsqu'une aiguille reste long-temps déviée sous l'influence d'un courant, son axe magnétique se déplace quelque peu, et l'aiguille tombe d'un ou deux degrés. Je suppose que l'on ait un courant constant qui tienne l'aiguille déviée à  $50^{\circ}$  pendant 15 minutes, si on retranche le rhéomètre du circuit et qu'on le laisse libre une seule minute, puis qu'on le rétablisse dans le circuit, on aura alors au moins  $51^{\circ}$ , quoiqu'on ait eu le soin pendant le repos du galvanomètre de tenir fermé le circuit de l'électromoteur, afin qu'il n'y ait pas de charge statique au moment de son introduction ; ce n'est pas le courant qui a changé, parce que si un autre

rhéomètre n'a pas cessé de faire partie du circuit, on voit que le courant est resté constant; puis, au bout de quelques minutes le système d'aiguilles revient à  $50^{\circ}$  comme la première fois. Cette diminution vient évidemment de ce que la résultante magnétique, que l'on nomme l'axe de l'aiguille, s'est déplacée quelque peu de la ligne primitive, sous l'influence des forces obliques du courant. En considérant le magnétisme comme le produit des courans moléculaires dont la résultante de tous les axes particuliers forme l'axe de l'aiguille, ces courans partiels et le courant électrique étant perpendiculaires, agissent l'un sur l'autre; en conséquence, s'ils sont mobiles ou si l'un des corps est mobile, ils prennent leur équilibre lorsque l'axe de l'aiguille et le courant sont perpendiculaires l'un à l'autre, parce que dans cette position, les courans électriques et magnétiques sont parallèles, sont dans le même sens et s'attirent. Mais pour que les corps se placent dans ce parallélisme, il ne faut pas qu'il existe de force étrangère à celles des deux courans; lorsqu'il en existe, le parallélisme n'est plus atteint, l'aiguille s'arrête dans une position intermédiaire. C'est ce qui a lieu dans l'usage des rhéomètres; car chez les plus délicats, il leur faut une force de direction sans laquelle ils ne pourraient servir d'instrumens mesureurs. Lors donc que l'aiguille se tient dans un arc intermédiaire, que les plans des courans électriques et magnétiques font un angle plus ou moins aigu, il semble que les axes partiels des molécules magnétiques se déplacent quelque peu en dehors, afin que les courans magnétiques puissent se rapprocher du parallélisme du courant électrique; et conséquemment

l'axe magnétique de l'aiguille est lui-même rejeté quelque peu en dehors, se rapprochant ainsi de la perpendicularité du maximum. D'après ce déplacement de l'axe de l'aiguille, l'action de la terre en est augmentée et dépasse celle du courant; l'aiguille est ramenée alors un peu vers le zéro, jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit établi entre les deux actions contraires, le magnétisme terrestre qui ramène l'aiguille à zéro, et le courant qui la pousse à 90 degrés. Ce déplacement de la polarité magnétique disparaît aussitôt que l'aiguille cesse d'être sous l'influence du courant; après quelques instans, si'on rétablit le courant à travers le rhéomètre, l'arc de la déviation répondant à l'axe primitif de l'aiguille, reste plus grand, tant que le déplacement ne s'est pas renouvelé.

XVIII. Lorsqu'on veut porter beaucoup de soin aux tables des forces proportionnelles, il faut avoir égard à la plus grande résistance des 4 et 5 premiers degrés; les causes de cette résistance sont de deux sortes: la première provient de l'ouverture réservée au milieu pour le passage de l'aiguille intérieure; l'absence du courant dans cette espace au-dessous de l'aiguille supérieure et au-dessus de l'inférieure, doit suffire pour être sentie par des aiguilles légères et presque astatiques; en outre, les révolutions supérieures du fil conducteur, placées aux extrémités latérales du châssis, agissent sous un angle trop aigu pour avoir une action notable sur des aiguilles très rapprochées du plan horizontal des convolutions du fil. Ces deux pertes d'action suffisent pour rendre les premiers degrés un peu plus durs, et la table doit en tenir compte. On peut pallier cette inégalité, mais par des défauts plus grands; on fait le plancher

des circonvolutions du fil sans ouverture , et on réunit les deux aiguilles par un rectangle qui contourne le plancher supérieur ; on évite par là l'absence d'action au centre , au prix d'une pesanteur du système d'aiguilles, bien autrement préjudiciable aux expériences délicates et rapides. Au moyen de grosses aiguilles éloignées des circonvolutions du fil, on atténue le second défaut par un autre plus grand encore, la perte de la sensibilité, et par une inertie de masse incommode dont on atténue les oscillations par un troisième défaut. Pour diminuer promptement les amplitudes de cette masse de substance formant les aiguilles et le rectangle, on place entre les aiguilles un disque en cuivre assez épais, qui agit par son influence magnétique ; c'est, comme on le voit, créer des résistances, de graves défauts pour en atténuer de petits, dont on peut se débarrasser par l'emploi des fils non magnétiques, comme le fait M. Gourjon, et par la mesure de la moindre action au centre, dont la table peut tenir compte. Après une déviation de quelques degrés, on en trouve une série qui sont proportionnels, c'est-à-dire, que pour chacun d'eux l'aiguille dévie sous une force égale. C'est cette force, nécessaire à la déviation de l'aiguille pour chacun de ces degrés, qui doit servir d'unité à l'évaluation de tous les autres degrés. Je prendrai pour exemple un de mes rhéomètres, qui a son ouverture longitudinale et la disposition de ses circonvolutions telle, qu'il est plus sensible après un arc de six degrés, qu'il ne l'est dans les premiers ; je choisis exprès ce rhéomètre, parce qu'il exagère l'inégalité signalée, et qu'il fera mieux sentir le besoin d'en tenir compte. On trouvera plus bas (§ XXII) le tableau

des forces proportionnelles de cet instrument, auquel nous renvoyons pour suivre les détails que nous allons donner.

*Méthode du courant double.*

XIX. On pourrait multiplier le courant primitif trois ou quatre fois, en faisant des rhéomètres à trois ou quatre fils; mais il y aurait trop d'incertitudes sur la conservation du courant primitif en quadruplant ainsi sa route. Nous supposons seulement que l'on a un galvanomètre à deux fils pour doubler le courant.

Nous avons dit, § XII, qu'on doit atténuer le courant au moyen de cavaliers en fils fins de platine, à cheval sur deux verres, et au moyen d'éléments négatifs terminés en fils fins et soulevés par des crémaillères jusqu'à ne toucher que la superficie du liquide; ainsi atténué, il faut que le courant ne donne qu'un degré en passant par un seul fil, puis on ajoute le second fil, et l'on note exactement la déviation obtenue. En suivant notre table, § XXII, on voit que la déviation fut de  $2^{\circ}, 1$ , c'est-à-dire, que deux fois le premier degré avait donné un dixième de degré de trop. Conséquemment  $2^{\circ}$  valent deux fois  $1^{\circ}$  moins un dixième de degré. Ce résultat indique le rapport de ces deux nombres, mais ne dit pas quelle valeur il faut donner au premier degré; on note d'abord ce rapport, et on continue l'opération. On baisse quelque peu une des crémaillères, afin d'avoir  $2^{\circ}$  juste avec un fil; puis on ajoute le second fil lorsque le courant est constant. On note ce nouveau résultat. Dans l'exemple que nous avons pris, la déviation a été

de  $4^{\circ},4$ , c'est-à-dire, que la force nécessaire pour produire deux fois  $2^{\circ}$ , a donné un arc de plus de  $4^{\circ}$ , un arc de  $4^{\circ},4$ . On baissa de nouveau la crémaillère pour obtenir une déviation de  $4^{\circ}$  avec un fil, puis, ajoutant le second fil, on a obtenu  $9^{\circ},1$ ; deux fois  $6^{\circ}$  a donné  $12^{\circ},8$ ; deux fois  $8^{\circ}$  a donné  $16^{\circ},4$ ; enfin deux fois  $10^{\circ}$  a donné  $20^{\circ}$ , le double exactement. Deux fois  $12^{\circ}$  a donné  $24^{\circ}$ ; deux fois  $15^{\circ}$  a donné  $30^{\circ}$ ; mais deux fois  $16^{\circ}$  n'a plus donné que  $31^{\circ},8$ . Après  $30^{\circ}$  nous entrons dans un autre ordre de rapports que nous suivrons tout à l'heure; mais auparavant nous devons établir la table jusqu'à cet arc de 30 degrés.

De dix degrés à trente, tous les degrés se sont trouvés proportionnels aux forces, puisque deux fois  $10^{\circ}$  a produit  $20^{\circ}$ , et deux fois  $15^{\circ}$  a produit  $30^{\circ}$ . Nous avons donc pris pour unité la force qu'il faut pour faire décrire un degré au système d'aiguilles, depuis  $10^{\circ}$  jusqu'à  $30^{\circ}$ ; nous avons alors écrit  $10^{\circ}$  de force devant l'arc de  $10^{\circ}$ ; puis nous avons reproduit tous les degrés correspondans jusqu'au trentième. Maintenant il fallait descendre de  $10^{\circ}$  à  $1^{\circ}$ , en conservant les rapports que nous avons trouvés; nous avons vu que deux fois  $8^{\circ}$  nous avaient donné  $16^{\circ},4$ , la force proportionnelle de  $8^{\circ}$  était donc de  $8^{\circ},2$ ; deux fois  $6^{\circ}$  avaient donné  $12^{\circ},8$ , la force proportionnelle de  $6^{\circ}$  était donc de  $6^{\circ},4$ ; en interpolant les nombres intermédiaires, la table fut descendue à  $6^{\circ},4$  comme valeur de  $6^{\circ}$ . Deux fois  $4^{\circ}$  avaient donné  $9^{\circ},1$ ; mais  $9^{\circ}$  valent, d'après la table déjà faite,  $9^{\circ},1$ ; les  $9^{\circ},1$  trouvés valent donc  $9^{\circ},2$ , dont la moitié est  $4^{\circ},6$ , comme valeur proportionnelle de  $4^{\circ}$ . Deux fois  $2^{\circ}$  ayant donné  $4^{\circ},4$ , cela équivaut à  $5^{\circ}$  de force, puis-

que  $4^\circ = 4^\circ,6$ , la moitié de  $4^\circ,4$  vaut donc  $2^\circ,5$  pour la valeur proportionnelle de  $2^\circ$ . Enfin deux fois un degré ayant donné  $2^\circ,1 = 2^\circ,6$  de force, la moitié est  $1^\circ,3$ , comme valeur du premier degré.

La table étant formée jusqu'à  $30^\circ$ , le reste n'offre aucune difficulté; prenant  $16^\circ$  avec un fil, nous avons donc noté  $32^\circ$  comme ayant une force proportionnelle de  $32^\circ,2$ ; deux fois  $18^\circ$  nous a donné  $35^\circ,3$ ; deux fois  $20^\circ$  fut égal à  $38^\circ,6$ ; deux fois  $25^\circ$  fut égal à  $44^\circ,5$ ; deux fois  $30^\circ$  fut égal à  $49^\circ$ , etc. On arrive ainsi facilement jusqu'à  $80^\circ$ , au-delà desquels il y a beaucoup d'incertitudes. Dans la formation d'une table il faut avoir soin de ne pas doubler l'arc même de la déviation, mais la force proportionnelle à cet arc. Ainsi, je suppose qu'avec un fil le courant ait donné  $44^\circ$ , puis, avec le second fil ajouté,  $60^\circ,9$ ; la valeur de ce dernier arc n'est pas deux fois  $44^\circ$ , mais deux fois  $49^\circ$ , valeur proportionnelle de  $44^\circ$ ; on a donc  $98^\circ$  de forces pour l'arc de  $60^\circ,9$ . Avant de mettre sa table au net, il est bon de la contrôler par la méthode de l'addition, et c'est pour cela que nous avons conseillé de faire deux piles; car, dans tout ce qui précède, on ne s'est servi que d'une pile, et l'autre est restée sans usage.

#### *Méthode de la somme des courans isolés.*

XX. La méthode de la *somme* des courans a été primitivement employée par M. Becquerel; c'est celle qui résulte de l'action additionnée de deux courans, traversant chacun leur conducteur propre dans le même sens, et agissant ainsi sur l'aiguille séparément; l'arc de la dé-

viation est la somme des deux actions séparées. Nous avons déjà dit qu'il faut avoir le soin de tenir le circuit des piles constamment fermé, afin qu'elles n'aient pas de charges à leurs pôles isolés, et qu'au moment de leur emploi on n'ait que son courant normal. Je suppose donc que la pile A donne une déviation de  $20^{\circ}$ , et que la pile B en donne une de  $10^{\circ}$ , dans le même sens bien entendu, leur addition sera nécessairement  $30$ . Si l'aiguille ne marque que  $28^{\circ}$ , c'est que cet arc répond à un courant dont la force est de  $30^{\circ}$ . La disposition du rhéomètre, pris pour exemple, a donné  $30$ , parce que cet instrument, le jour de sa graduation, était proportionnel jusqu'à cet arc. Après cette observation faite et notée, on rétablit sur-le-champ le courant A, que l'on note de nouveau, puis le courant B, afin de s'assurer qu'ils n'ont pas perdu de leur constance; si cela était, on additionnerait la première et la deuxième expérience de chaque pile pour en prendre la moyenne. Je suppose, pour second exemple, que le courant A donne  $40^{\circ}$  et le courant B  $30^{\circ}$ , et que les deux réunis donnent  $53^{\circ},8$ , il est bien évident que  $53^{\circ},8$  est l'équivalent des deux valeurs  $40$  et  $30$ , et comme la table déjà faite jusque là montre que  $40 = 42$  et  $30 = 30$ , l'arc  $53^{\circ},8$  sera donc égal à  $72^{\circ}$  de forces proportionnelles. Prenons encore un autre exemple : le courant A donne  $42 = 45$ , le courant B donne  $49^{\circ} = 60$ , les deux réunis donnent  $62^{\circ}$ , donc  $62^{\circ} = 45 + 60 = 105$ . Cette méthode à l'avantage de ne laisser aucun doute sur les deux forces, on ne craint pas qu'une portion du courant se neutralise en retour en ajoutant le second fil au premier, ni que les degrés d'un côté ne soient pas les équivalens de l'autre. En conti-

nuant ainsi on peut mesurer tous les degrés en augmentant successivement soit la surface immergée des couples, soit en rendant le liquide plus conducteur par l'addition de quelques sels.

**XXI.** Pour la facilité de la démonstration, j'ai commencé par les degrés inférieurs, en plongeant très peu l'extrémité des triangles mobiles, puis en augmentant peu à peu leur immersion; dans la réalité je commence par les degrés supérieurs, parce que la constance du courant est plutôt atteinte et que l'on est plus maître d'obtenir le degré que l'on désire mesurer; on immerge donc d'abord tous les conducteurs sans interposition de chevalets pour avoir le maximum d'effet, on ferme le circuit pendant deux heures, puis on intercale le premier fil du rhéomètre, on note la déviation, puis on ajoute le second fil; lorsqu'on a le rapport cherché, on relève un peu une crémaillère; la constance du nouveau courant se fait peu attendre; car elle a lieu aussitôt que la portion émergée est séchée. On prend note de la nouvelle déviation avec un fil, puis avec deux, et on relève une seconde fois la crémaillère et ainsi de suite; lorsque les crémaillères ne suffisent plus, on intercale un chevallet, puis un second si cela est nécessaire, et enfin autant de chevallets que la sensibilité de l'instrument l'exigera pour arriver à un seul degré de déviation. Dans cette marche inverse, on ne peut former la table à mesure des observations; il faut avoir préalablement tous les rapports du simple au double, et ce n'est que lorsque tous les rapports sont connus qu'on commence à la rédiger par les degrés inférieurs, comme nous l'avons fait plus haut successivement. Cette marche a l'avantage du temps sur

la précédente, parce que la portion immergée ayant atteint sa constance, elle change très peu dans le courant qu'elle recueille; on pourrait l'avoir aussitôt qu'on relève la cremaillère, si on pouvait essuyer la portion émergée; la chose n'étant pas possible, il faut attendre qu'elle soit séchée, ce qui n'est jamais très long.

*Méthode de la somme des courans réunis.*

XXII, La méthode de la somme des courans réunis peut servir à calibrer les rhéomètres à un seul fil; la somme des courans ne peut plus être celle de deux quantités isolées comme au paragraphe XVIII, mais celle de deux quantités traversant le même conducteur. Cette réunion sans affaiblissement de deux quantités dans un même circuit n'est possible qu'autant que les quantités ajoutées ne dépassent pas certaines limites; c'est pourquoi je pense qu'il ne faudrait pas aller au-delà de 60°, à moins que l'on ait la possibilité d'introduire un mesureur dans le circuit, comme nous le dirons plus bas. Il faut se faire deux piles d'au moins dix couples dans les petites dimensions indiquées plus haut; mais pour les rhéomètres à longs fils, comme il faut des courans très faibles, il est nécessaire d'ajouter dans le circuit de la pile un plus grand nombre de chevalets en fil fin de platine, réunissant deux verres voisins. Ainsi les dix couples exigent onze petits verres, plus, autant de nouveaux verres qu'il y a de chevalets ajoutés. Il est bien entendu que ces fils repliés à cheval sur deux verres, ne sont employés que pour atténuer le courant et le réduire à la faiblesse exigée par l'instrument; on les supprime au fur

et à mesure qu'on a besoin d'une plus grande force. Il faut d'abord n'avoir qu'un courant de  $5^{\circ}$  environ par chaque pile; une fois obtenu, on les tient fermés pendant quelque temps en dehors du rhéomètre, afin qu'ils prennent une marche constante pendant le court espace de temps dont on a besoin; lorsqu'ils sont devenus constants on fait passer le courant **A** dans le fil unique du multiplicateur, qui donne, je suppose,  $5^{\circ}$ ; puis on essaie seul le courant **B**, qui donne aussi par supposition  $4^{\circ}$ . Ces deux indications obtenues, on réunit les bouts homologues à l'extrémité du fil galvanométrique, c'est-à-dire, qu'on réunit les deux pôles positifs à l'une des extrémités, et les deux pôles négatifs à l'autre extrémité. Les deux piles étant ainsi réunies par leurs bouts homologues, l'électricité de chaque pile a deux routes pour se neutraliser, l'électricité de la pile **A** peut compléter son circuit par la pile **B** et par le galvanomètre, et l'électricité de la pile **B** peut compléter son circuit par la pile **A** et par l'instrument. Si les piles sont formées de couples assez nombreux pour que la pile **B** soit un obstacle infranchissable à l'électricité de la pile **A**, qui a la voie du multiplicateur, et si la pile **A** est aussi un obstacle infranchissable à l'électricité de la pile **B**, qui a aussi le même conducteur métallique du rhéomètre; alors les deux courans réunis dans le même fil feront dévier l'aiguille de  $9^{\circ}$ , puisque dans ces degrés inférieurs les arcs sont sensiblement proportionnels aux forces. Si au lieu de  $9^{\circ}$  l'aiguille n'en marquait que 8, c'est que la résistance des piles ne serait pas suffisante, et il faudrait augmenter le nombre des couples jusqu'à ce qu'on ait exactement les  $9^{\circ}$  formant la somme des deux. Il ne faut

même pas se contenter du nombre suffisant pour faire traverser en totalité dans le même fil les faibles courans A et B que nous venons d'indiquer, il faut se prémunir contre les courans supérieurs dont on aura besoin pour obtenir de plus grands arcs de déviations ; il est donc urgent de mettre trois couples en plus à chaque pile pour acquérir l'intensité nécessaire dont on aura besoin pour les courans capables de faire dévier le système d'aiguilles jusqu'à  $60$  ou  $70^{\circ}$ . Cette *intensité* obtenue, c'est-à-dire la puissance de vaincre la résistance d'un fil qui devient le passage d'un courant double, on augmente la force de chaque courant dont on prend note séparément, puis on les réunit par les pôles homologues au rhéomètre, comme dans la première expérience, et l'arc de la déviation répondra à la somme des deux courans. Je suppose que dans cette seconde expérience il y ait eu  $12^{\circ}$  pour l'un et  $10^{\circ}$  pour l'autre, ces deux forces réunies en font une de  $22$ . Si l'arc ne marque que  $21^{\circ}$ , c'est que  $21^{\circ}$  équivaut à une force de  $22$  et ainsi de suite.

XXIII. Lorsqu'on arrive à des courans nombreux, suffisant pour avoir  $50^{\circ}$  je suppose, et qu'on voulût y ajouter un autre courant de  $50^{\circ}$ , il se pourrait que ces deux courans réunis dans le même sens ne pussent plus passer en totalité par le fil, et que chaque pile donnât passage à une portion d'électricité de l'autre pile ; alors le courant traversant le fil ne serait plus la somme des deux courans isolés, et l'arc ne répondrait plus à l'addition complète des deux courans, mais à ces courans, moins ce qui serait passé par les piles, quantité incounue dont on ne pourrait faire la soustraction. C'est pourquoi il est bon de s'arrêter vers  $60^{\circ}$ , et de former chacune de ces petites

piles de nombreux élémens, pour forcer les deux courans à passer tout entier dans le même fil jusqu'à cette étendue d'arc.

Quels que soient les doutes qui pourraient naître sur la valeur des arcs très étendus, on conçoit qu'on pourra reculer les limites du doute en augmentant l'intensité des piles, c'est-à-dire, cette force de résistance à la re-composition en arrière, et forcer ainsi les deux électricités extrêmes à traverser le circuit interposé entre elles. Il est un autre moyen beaucoup plus prompt et plus facile de graduer ainsi le rapport des forces à l'arc de la déviation, c'est de faire passer le même courant par deux instrumens, dont l'un est déjà gradué. Une règle de proportion entre leurs déviations établira leur rapport et servira à construire la table de celui qui n'est pas gradué. Enfin, dans les cabinets bien organisés, il sera utile d'avoir deux rhéomètres à déviations proportionnelles, tels que ceux que j'ai fait connaître il y a plusieurs années. Un de ces rhéomètres sera fait de deux lames larges de 5 à 6 centimètres, faisant deux ou trois tours chacune et séparées par une étoffe de soie; au dernier demi-tour inférieur on soude un appendice, afin de ne se servir que de ce demi-tour pour les quantités considérables: l'autre sera à six fils de 15 à 20 tours chacun, afin d'avoir six instrumens dans un. Avec de tels instrumens on peut faire ou vérifier une table en une heure, et nous ne pouvons trop en recommander l'usage. Voici la table des forces proportionnelles du rhéomètre que j'ai pris pour exemple :

XXIV. Rhéomètre ou multiplicateur à deux fils faisant chacun cent tours, dont la section est de  $0^{\text{mm}},7$ ; le

châssis est étroit, il n'a que 38 millimètres. C'est pourquoi les forces proportionnelles augmentent avec une si grande rapidité de 75° à 90°. Le système d'aiguilles pesant 9 grammes fait une oscillation en 55 secondes.

| Degrés du rhéomètre. | Forces proportionnelles. | Degrés du rhéomètre. | Forces proportionnelles. | Degrés du rhéomètre. | Forces proportionnelles. |
|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
| 1°                   | 1°,5                     | 51°                  | 51°,1                    | 61°                  | 99°                      |
| 2                    | 2,5                      | 52                   | 52,2                     | 62                   | 105                      |
| 3                    | 3,6                      | 53                   | 53,5                     | 63                   | 111                      |
| 4                    | 4,6                      | 54                   | 54,5                     | 64                   | 117                      |
| 5                    | 5,5                      | 55                   | 55,7                     | 65                   | 124                      |
| 6                    | 6,4                      | 56                   | 56,9                     | 66                   | 131                      |
| 7                    | 7,5                      | 57                   | 58,1                     | 67                   | 138                      |
| 8                    | 8,2                      | 58                   | 59,4                     | 68                   | 146                      |
| 9                    | 9,1                      | 59                   | 40,7                     | 69                   | 153                      |
| 10                   | 10,0                     | 40                   | 42,0                     | 70                   | 163                      |
| 11                   | 11,0                     | 41                   | 43,5                     | 71                   | 176                      |
| 12                   | 12,0                     | 42                   | 45,0                     | 72                   | 188                      |
| 13                   | 13,0                     | 43                   | 47,0                     | 73                   | 201                      |
| 14                   | 14,0                     | 44                   | 49,0                     | 74                   | 215                      |
| 15                   | 15,0                     | 45                   | 51,0                     | 75                   | 230                      |
| 16                   | 16,0                     | 46                   | 53,0                     | 76                   | 247                      |
| 17                   | 17,0                     | 47                   | 55,0                     | 77                   | 267                      |
| 18                   | 18,0                     | 48                   | 57,5                     | 78                   | 292                      |
| 19                   | 19,0                     | 49                   | 60,0                     | 79                   | 322                      |
| 20                   | 20,0                     | 50                   | 62,5                     | 80                   | 362                      |
| 21                   | 21,0                     | 51                   | 65,0                     | 81                   | 412                      |
| 22                   | 22,0                     | 52                   | 67,5                     | 82                   | 472                      |
| 23                   | 23,0                     | 53                   | 70,0                     | 83                   | 545                      |
| 24                   | 24,0                     | 54                   | 72,5                     | 84                   | 650                      |
| 25                   | 25,0                     | 55                   | 75,0                     | 85                   | 740                      |
| 26                   | 26,0                     | 56                   | 78,0                     | 86                   | 890                      |
| 27                   | 27,0                     | 57                   | 81,0                     | 87                   | 1150                     |
| 28                   | 28,0                     | 58                   | 85,0                     | 88                   | 1500                     |
| 29                   | 29,0                     | 59                   | 89,0                     | 89                   | 2000                     |
| 30                   | 30,0                     | 60                   | 94,0                     | 90                   | 3000                     |

D'après la cause d'erreur indiquée paragraphe VIII, et qui nous a fait rejeter l'emploi de la méthode des différences, il faut faire entrer le courant dans le rhéomètre de manière à produire une déviation dans le même sens que celle qui a servi à former la table. Ainsi l'aiguille de ce rhéomètre avait son pôle austral vers l'en-

trée du courant et fut déviée à gauche pour la formation de cette table ; toutes les fois que je fais usage de cet instrument , je dispose le courant pour obtenir le même sens de déviation ; si j'établis le courant pour avoir une déviation à droite , je n'obtiens plus les mêmes nombres. Il faut donc user de son instrument dans le sens qui a servi à former la table des forces proportionnelles, et ne jamais l'oublier.

## DEUXIÈME PARTIE.

### *Des causes de perturbation des couples thermo-électriques.*

XXV. Maintenant que nous avons une table de forces proportionnelles , nous allons faire connaître les précautions dont il faut s'entourer pour se servir des couples thermo-électriques dans la mesure des températures moyennes. Nous remonterons aux causes des divers résultats qu'ils peuvent donner , quoique plongés dans des températures égales , et nous pensons qu'en les connaissant mieux , on saura prévoir leurs erreurs et s'en garantir. Les couples thermo-électriques sont certainement les instrumens les plus obéissans et les plus précis qu'on puisse employer , lorsqu'on veut interroger la température des organes délicats des plantes sans les lacérer , et celle des organes des animaux sans troubler leurs fonctions ; mais si la finesse de l'instrument explorateur , si sa sensibilité , sa prompte obéissance à toutes les variations de la température rendent cet instrument précieux,

d'un autre côté, ces qualités peuvent être des causes de perturbations qui induisent en erreur; il obéit aux rayonnemens extérieurs, comme il obéit aux rayonnemens du corps qu'on interroge; tout l'influence, et comme il ne donne que des signes de différences de température et non des indications absolues, il faut bien connaître une des températures pour juger de l'autre; il faut donc se mettre en garde contre les causes d'erreur qui peuvent provenir de l'un et de l'autre côté de l'appareil. Dans l'intéressant mémoire *sur la chaleur animale* que MM. Becquerel et Breschet ont publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, vol. 59, pag. 113 et suivantes, on trouve des avertissemens utiles pour opérer avec le plus de certitude possible. Dans ce mémoire, M. Becquerel a justement insisté sur la radiation calorifique de la portion émergée des fils métalliques qui vient diminuer le résultat cherché, et il a défendu avec une grande raison l'emploi du même corps pour recevoir les deux soudures du couple, à cause des courans chimiques qui viendraient s'ajouter aux courans thermo-électriques; puis, pour éviter l'emploi des tables de forces proportionnelles, il conseille de placer son rhéomètre de manière à faire marquer au repos 30° à l'aiguille aimantée, et de diriger le courant de telle sorte, qu'il ramène l'aiguille vers zéro, puis en continuant de la faire dévier, de ne pas dépasser les 30° de l'autre côté, ce qui donne un grand arc, où les déviations sont presque proportionnelles aux forces. Enfin, pour ne pas sortir de l'arc proportionnel, il fait l'emploi d'une température constante qui ne diffère de celle qu'on doit mesurer, que de 2 ou 3°, afin que l'écart de l'aiguille ne dépassât

jamais cet arc. On ne peut trop se pénétrer des précautions recommandées par ce physicien célèbre, et nous n'aurions qu'à renvoyer au mémoire cité, si toutes les expériences qu'on peut faire avec des couples thermo-électriques devaient être analogues à celles que ces savans ont faites en commun, et si les appareils à température constante pouvaient toujours être employés. Il n'en est point ainsi, les couples thermo-électriques sont destinés à mesurer toutes les températures, soit celles qui sont instantanées, soit celles des variations diurnes que peuvent subir les corps. C'est pour répondre à ces divers besoins que nous rappelons et complétons l'énoncé des précautions à prendre dans l'emploi de cet instrument.

XXVI. Dans un mémoire publié dans le 60<sup>e</sup> volume des Annales de Chimie et de Physique, j'ai démontré par des expériences directes que la *quantité* d'électricité produite était en rapport avec la quantité de molécules dont on change l'équilibre actuel par l'induction, et que la déviation de l'aiguille aimantée indique la *quantité* d'électricité qui traverse le fil galvanométrique, quelle que soit la source de production. Ainsi le rhéomètre, multiplicateur dynamique, est un mesureur de *quantités*, mais il ne donne aucune indication de celles qui se neutralisent en arrière à travers l'électromoteur, ni de cette puissance des courans de vaincre les mauvais conducteurs qu'on nomme *intensité*. Cette loi, tirée de nos expériences par l'induction magnétique, n'avait point été constatée par l'application du calorique comme force perturbante : cependant, la connaissance du rapport, entre la production électrique et le volume des corps où la température agit comme cause perturbante, est de toute

nécessité pour comprendre l'instrument dont on se sert, lorsqu'on emploie les couples thermo-électriques à la mesure des températures; sans cette connaissance, il est impossible de prévoir toutes les causes d'erreur et conséquemment de s'en garantir. Quelques unes des expériences suivantes ont pour but d'indiquer ce rapport, soit comme *quantité*, soit comme *intensité* électrique. La thermo-électricité n'est point aussi favorable que l'induction à ce genre de recherches, parce que dans cette dernière, la force est appliquée partout à la fois dans une longueur de fil considérable; il en résulte que le grand nombre de spires formant l'hélice totale constitue, par leur réduplication, une résistance puissante en arrière qui donne au courant l'intensité nécessaire pour vaincre les conducteurs et le rhéomètre qu'on interpose dans le circuit: et en effet, le produit électrique des 2 ou 300 tours d'une hélice, étant pris pour unité, il y a assez de résistance en arrière pour vaincre une légère addition de résistance en avant. Aussi, si l'on ajoute l'électricité d'une seconde hélice en tout semblable à la première en les joignant par les bouts homologues, c'est-à-dire, en laissant l'hélice de la même longueur, mais en doublant sa substance, la nouvelle quantité d'électricité induite ajoutée, passera par le circuit du rhéomètre fait d'un gros fil, plutôt que de rétrograder par la première hélice qui, elle-même, est parcourue par son propre courant. Il n'en est point ainsi des couples thermo-électriques; la portion soumise à l'action du calorique est toujours très limitée, très courte; l'électricité n'a qu'un petit espace tout métallique à parcourir pour se neutraliser en arrière. Aussi, pour le peu que

l'on mette de résistance en avant, le courant diminue et cesse souvent tout-à-fait. Pour retrouver la loi donnée par l'induction, celle de la quantité électrique en raison des masses perturbées, il faut disposer son appareil de manière à établir, comme dans les hélices à spires nombreuses, un obstacle à la neutralisation en retour. C'est pourquoi les couples d'une section double sont loin de donner quatre fois autant d'électricité, quoique la masse du fil soit augmentée comme le carré de la section. Nous aurons donc à modifier nos appareils pour constater la loi des masses dans cette sorte de recherches, et pour prouver que, cette difficulté étant vaincue, elle s'y retrouve comme dans l'induction. Les expériences sur l'induction ont prouvé que la *quantité* d'électricité est en rapport avec la *quantité* de substance perturbée ; mais il est une autre question que nous n'avons pas résolue dans ce mémoire, c'est celle du rapport qu'il y a entre la force perturbante et le courant électrique, c'est de connaître si la *quantité* en est augmentée, ou si c'est son *intensité*. Pour la solution de cette question, l'expérience ne peut que nous indiquer la route de la vérité, sans pouvoir nous conduire jusqu'à elle : des difficultés d'exécution laissent au raisonnement et à l'analogie le soin d'aller plus loin qu'elle. Cependant, nous n'abandonnerons l'expérience qu'à la dernière extrémité, et lorsqu'il nous sera impossible de la conduire plus loin.

XXVII. La première expérience que nous avons dû faire, est celle de chauffer des fils de grosseurs différentes, tirés à la filière, et provenant des mêmes fils, afin de n'avoir de différence que dans la grosseur et non dans la substance. Dans le tableau suivant, je ne donne pas

la section des fils, parce que dans ce genre de mesure, il y a une cause d'erreur qui grandit comme la longueur des fils. D'abord, on pèse avec plus de précision qu'on ne mesure une section, puis une erreur dans le poids, est pour tout le fil, tandis qu'une erreur dans la section, faite à l'endroit qu'on mesure, rend tout le fil solidaire. C'est pourquoi nous avons préféré peser que mesurer.

Une des soudures ayant été chauffée de 50° au-dessus de l'autre, le résultat a été le suivant.

| Couple fer et cuivre<br>de<br>19 centim. de long. |                   | Poids<br>des<br>éléments. | Totaux<br>des poids<br>des<br>éléments. | Déviations obtenues,<br>électr. prop.,<br>4 tours de lame. | Déviations proportionnelles<br>aux masses<br>que l'on devrait avoir. |
|---------------------------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                                                   |                   | gr.                       | gr.                                     |                                                            |                                                                      |
| N° 1                                              | { Fer,<br>Cuivre, | 1,912<br>2,177            | 4,089                                   | 57°,0                                                      | 68°,5                                                                |
| N° 2                                              | { Fer,<br>Cuivre, | 1,593<br>1,858            | 3,451                                   | 33°,0                                                      | 57°,7                                                                |
| N° 3                                              | { Fer,<br>Cuivre, | 0,551<br>0,637            | 1,188                                   | 16°,5                                                      | 19°,5                                                                |
| N° 4                                              | { Fer,<br>Cuivre, | 0,212<br>0,265            | 0,477                                   | 8°,0                                                       | 8°,0                                                                 |
| N° 5                                              | { Fer,<br>Cuivre, | 0,149<br>0,180            | 0,329                                   | 5°,5                                                       | 5°,5                                                                 |

On voit par cette expérience, qu'il y a une différence considérable entre la quantité mesurée et celle que l'on devrait trouver et que nous avons indiquée dans la dernière colonne. Pour savoir si cette différence ne venait pas de la trop grande facilité à la neutralisation en re-

tour, j'ai fait trois couples, dont chaque élément a 22 cent. de long; le fil de fer a 1<sup>mm</sup>,4 de section et le fil de cuivre 0<sup>mm</sup>,8. Le premier couple est formé d'un seul fil de fer et d'un fil de cuivre; le second couple est formé de deux fils de fer et de deux fils de cuivre; le troisième de quatre fils de fer et quatre fils de cuivre. La température d'une soudure étant élevée à 53°, j'ai eu le résultat suivant.

|                                   |       |                       |
|-----------------------------------|-------|-----------------------|
| Le 1 <sup>er</sup> couple a donné | 18°,5 | proportionnels,       |
| Le 2 <sup>e</sup> »               | »     | 30°,0 au lieu de 37°, |
| Le 3 <sup>e</sup> »               | »     | 42°,0 » 74°.          |

XXVIII. Il est bien évident cependant, que le deuxième couple, formé de 4 fils ou deux couples, produisait deux courans de 18°,5 chacun, et que si le rhéomètre ne marquait que 30°, c'est que la quantité proportionnelle aux 7° perdus se neutralisait par chacun des couples réunis; qu'une portion d'électricité provenant du couple A, se neutralisait en formant son circuit par le couple B, et qu'une portion de l'électricité du couple B, se neutralisait par le couple A. Il faut bien qu'il en soit ainsi, car ce n'était pas l'insuffisance du conducteur rhéométrique qui s'opposait au passage, puisqu'il était formé d'une lame large de 5 cent. et faisant 4 tours. Il n'y avait que les points de contact qui pussent offrir la résistance capable de produire cette rétrogradation. De même, la perte du couple n° 3 a été celle d'un courant équivalent à 32°, ce qui est dû évidemment à ce que la quantité d'électricité provenant de A s'est neutralisée par quatre voies, le circuit direct et les trois couples B, C, D; que la quantité provenant de

B s'est neutralisée également par le circuit direct, et par A, C, D, et ainsi de suite. Il faut donc admettre qu'un conducteur peut donner passage à des courans divers selon sa perméabilité, et que la perte du courant augmente avec la grosseur des couples. Nous avons pris le courant à une distance donnée de la soudure, et nous avons trouvé un résultat correspondant à cette distance; puis nous avons recherché ce qui arrive à des distances plus grandes, et nous avons vu que la résistance des fils croissant comme leurs longueurs, on arrivait à une longueur qui ne donnait plus passage aux courans en retour des couples annexés et qu'on obtenait alors, dans le circuit direct, des courans qui croissaient exactement comme la masse des couples. Ainsi, en restant dans les mêmes circonstances de circuit que dans l'expérience précédente, des couples de trois mètres sur  $0^{\text{mm}},5$  de section ont donné une déviation proportionnelle au volume des couples. Le couple formé d'un fil a donné  $10^{\circ}$ ; celui formé de deux fils a donné  $20^{\circ}$ , et enfin celui de 4 fils  $40^{\circ}$ . Donc, la température restant constante, la quantité de courant électrique croît comme le nombre des atomes perturbés, et lorsqu'on ne retrouve pas le courant tout entier, c'est qu'une portion s'est neutralisée en retour.

Cette expérience prouve que dans les couples thermo-électriques, la facilité de se neutraliser en arrière enlève une très grande portion des courans, que la perte augmente avec la grosseur et le peu de longueur des fils, mais qu'après un éloignement déterminé de la soudure, les courans continuent leur route directe et ne rétrogradent plus par le fil même, si rien n'est changé dans le circuit.

XXIX. J'ai voulu savoir également quelle était l'influence de la longueur des soudures ; pour y parvenir, j'ai fait une série de couples ayant des soudures de longueurs très diverses ; je les ai soumises à l'influence calorifique, soit en les plongeant dans un milieu échauffé, soit en y faisant parvenir des rayonnemens calorifiques. Le détail de toutes ces expériences serait sans utilité, je me bornerai donc à en indiquer le résultat. Dans le cas où l'on plonge la soudure dans un liquide chauffé, toute soudure qui est plus étendue que ce qui est nécessaire à la bonne conductibilité, donne un courant moins nombreux que celle qui est moins longue ; il n'y a que la portion près de la séparation des deux fils qui soit utile, le reste donne une voie à la recombinaison électrique. Le défaut des soudures longues est bien autrement préjudiciable lorsqu'il s'agit de piles destinées à recevoir le calorique par rayonnement. Comme il n'y a que le point de jonction des deux fils tout près de leur séparation qui soit utile, la prolongation de la soudure qui reçoit le rayonnement peut s'échauffer sans qu'il y ait de courant produit, ce n'est qu'au moment que la température nouvelle a atteint le point de jonction que le courant se fait sentir dans le circuit. Il est d'autant plus important de faire les soudures très courtes, qu'on destine ces piles à recevoir l'influence du rayonnement par leurs extrémités. Pour avoir les couples et les piles les plus sensibles, il ne faut donc leur donner que la quantité de soudure propre à une bonne conductibilité, au-delà de cette quantité, toute soudure est nuisible. On doit déduire de ce qui précède, qu'il faut apporter le plus grand soin à rendre les soudures égales, soit en grosseur,

soit en étendue, car un peu plus ou un peu moins de substance soumise à un foyer de chaleur donne des résultats différens.

XXX. Maintenant que nous avons constaté que la *quantité* électrique est en raison des masses perturbées, aussi bien par la chaleur que par l'induction, nous avons à étudier l'influence de l'*intensité* de l'action perturbante.

Dans le mémoire cité plus haut, j'ai prouvé par la quintuple hélice, que la somme d'électricité produite est exactement en raison de la masse des molécules soumises à l'influence du magnétisme, et que l'*intensité* ou la puissance de vaincre les résistances, croissait comme le nombre des spires ou des électro-moteurs; mais je n'ai point dit quel était le rôle du corps inducteur et quel était son influence sur le résultat. L'induction offre une certitude d'observation que permettent difficilement les autres modes de production. J'ai fait quatre barreaux aimantés, tirés de la même tige d'acier, ils ont 16 centim. de long et pèsent 31,38 gr. chacun. Je les ai aimantés de manière à ce que

Rapport des Intensités.

|                                         |      |
|-----------------------------------------|------|
| Le n° 1 fit 10 oscillations par minute, | 100  |
| Le n° 2 » 7 » »                         | 49   |
| Le n° 3 » 5 » »                         | 25   |
| Le n° 4 » 2,5 » »                       | 6,25 |

Je les plongeai successivement dans des hélices de grosseurs différentes et de spires plus ou moins nombreuses; comme les rapports furent les mêmes pour chacune d'elles, lorsque j'employais un rhéomètre de 3,000 tours d'un fil de 0<sup>mm</sup>,15 de section, je ne citerai qu'une des

expériences, puisqu'elle suffit pour les faire connaître toutes, en restant dans les mêmes circonstances d'un circuit de 420 mètres du fil galvanométrique. En plongeant dans une hélice

|         |         |       |                             |
|---------|---------|-------|-----------------------------|
| Le n° 1 | a donné | 32°   | proportionnels aux forces , |
| Le n° 2 | »       | 15°,5 | au lieu de 15°,68 ,         |
| Le n° 3 | »       | 8°    |                             |
| Le n° 4 | »       | 2°    |                             |

Ce résultat ne peut laisser aucun doute ; il montre que l'action du magnétisme croît comme le carré des oscillations, ou, ce qui revient au même, croît comme l'intensité des barreaux.

XXXI. Les quantités de substance induite et de substance inductrice n'ayant pas changé, il est rationnel de penser que la plus grande *quantité* de courant obtenue ne vient pas d'une augmentation d'électricité, mais d'une *intensité* plus grande dans cette électricité même, c'est-à-dire, d'une plus grande difficulté à s'équilibrer en arrière et conséquemment de l'obligation qu'il y a qu'une plus grande quantité d'électricité s'équilibre par le conducteur direct ; demandons à l'expérience si cette induction est juste avant d'en tirer aucune conclusion. La preuve que l'augmentation du courant provient d'une plus grande intensité peut se prouver directement ; mais d'abord, je rapporterai une expérience qui semble favorable à cette induction, mais qui ne pourrait décider la question si elle était seule, parce que son interprétation peut être donnée de deux manières. Je la cite pour donner un nouvel exemple combien il faut de prévoyance pour ne pas se laisser dévier de la route véritable. En

immergeant le barreau n° 3 dans cette hélice, j'obtins une déviation de  $7^{\circ}$ ; puis en ajoutant au circuit un fil de cuivre de 2 mètres, le courant tomba à  $4^{\circ},3$ ; je pris ensuite le n° 1, mais pour restreindre le courant à  $7^{\circ}$  il fallut modifier le circuit en l'allongeant de plusieurs mètres d'un autre fil de cuivre. Les  $7^{\circ}$  étant obtenus ainsi par le n° 1, j'interposai de nouveau les deux mètres de fil de cuivre de la première expérience, pour constater son influence sur le nouveau courant; ce dernier ne descendit qu'à  $5^{\circ},6$ , différence notable du résultat obtenu dans la première expérience. Ainsi le courant de  $7^{\circ}$  a perdu  $2^{\circ},9$  dans la première expérience et n'a perdu qu'un degré quatre dixièmes dans la seconde. J'ai dit que cette expérience seule ne pouvait pas être concluante, et en effet, si la quantité d'électricité était augmentée au lieu de son *intensité*, le résultat serait le même, car la neutralisation se faisant en plus grande abondance dans les deux sens du circuit, on ne peut diminuer le courant dans le sens direct par un obstacle quelconque, sans augmenter la neutralisation en arrière, et en même temps la résistance; lors donc que l'on a diminué le courant comme dans l'expérience précédente au point de le ramener à  $7^{\circ}$ , la résistance en arrière n'est plus identique à celle de la première expérience, mais elle lui est égale, plus, à la nouvelle résistance de l'obstacle ajoutée; c'est-à-dire, qu'elle sera supérieure à la résistance de la première expérience de toute celle que représente le fil de plusieurs mètres qu'on a ajouté pour faire descendre le courant direct à  $7^{\circ}$ . Lorsqu'on ajoute le fil d'épreuve, celui qu'on a interposé la première fois et qui avait fait tomber le courant à  $4^{\circ},3$ , il ne peut ré-

duire le nouveau courant d'une quantité égale puisqu'il possède une plus grande force de résistance en arrière, et il ne pourra l'atténuer que dans le rapport de sa résistance avec celle du circuit nouveau, c'est-à-dire d'une quantité moindre que dans le premier cas. On voit que cette expérience ne peut pas décider la question proposée, celle de savoir si le courant plus fort est dû à une *quantité* plus grande d'électricité ou à l'*intensité* d'une même *quantité*; il faut donc en appeler à une expérience plus décisive.

XXXII. La quintuple hélice du mémoire cité plus haut (Annales de Chimie et de Physique, LXIII, 245) va nous servir à cette démonstration. Nous avons pris deux barreaux égaux, provenant du même bout d'acier, l'un faisant six oscillations par minute, l'autre n'en faisant que trois. Le circuit placé entre les extrémités de l'hélice fut d'abord un rhéomètre de 3,000 tours, formé d'un fil de 0<sup>mm</sup>,15 de section et long environ de 420 mètres; plus, deux conducteurs de 3 mètres chacun. Le barreau n° 1, faisant le double d'oscillations, avait par conséquent une intensité magnétique quadruple de celle du n° 2. Pour connaître le rapport qu'il y a entre l'intensité magnétique et l'intensité électrique, je fermai le circuit du rhéomètre par une seule hélice, puis, j'y plongeai le barreau n° 1 qui donna une déviation de 12°. Le barreau n° 2 ne donna que 3° dans les mêmes circonstances. Ce résultat étant obtenu, je fermai le circuit du multiplicateur par quatre hélices en pile, formant une seule hélice de 960 tours, et donnant par conséquent avec le même barreau un courant quatre fois plus *intense*, c'est-à-dire, ayant une force quadruple pour vaincre les mau-

vais conducteurs. J'y plongeai le barreau n° 2 qui donne 12°. Le même nombre que le n° 1 avait donné avec une seule hélice : ainsi, une hélice de 240 tours avec un barreau faisant six oscillations par minute, et une hélice de 960 tours, quatre fois plus nombreuse que la première, avec un barreau quatre fois moins intense, donnent à l'électricité produite, la puissance de vaincre également la résistance d'un fil de cuivre de 420 mètres de long ; elles lui ont donné la même *intensité*.

XXXIII. Dans cette expérience, il y avait une résistance à vaincre, et nous voyons que ces deux modes y parviennent également, que l'un et l'autre courant ont quadruplé dans la puissance d'*intensité* ; en sera-t-il de même avec un circuit sans résistance, ou ayant le moins de résistance possible ? Pour approcher le plus possible de cette condition, j'ai pris un rhéomètre fait d'un seul tour d'une lame étroite et deux gros conducteurs d'un mètre deux décimètres chacun, ce qui faisait encore un circuit de deux mètres six décimètres en y comprenant le rhéomètre, et quatre contacts, qui sont toujours des points de résistance fort notable, qu'il faut atténuer par des pinces en cuivre qui établissent le contact le plus parfait possible. Avec ce circuit, une hélice a donné tout autant d'électricité que les quatre hélices ajustées en pile, soit qu'on ait employé le barreau n° 1, soit qu'on ait employé le barreau n° 2. Le n° 1 a donné avec une ou quatre hélices 8°, comme le n° 2 a donné avec une ou quatre hélices 2°. Cette expérience semblerait démontrer qu'il y a une différence entre l'intensité produite par l'augmentation de l'action perturbante et celle produite par la reduplication des mêmes élémens ; en un mot, il

semblerait qu'il n'est point indifférent d'augmenter la force électro-motrice des élémens , ou , conservant la même force électro-motrice , d'augmenter le nombre des élémens. Nous discuterons plus bas ce point de théorie.

XXXIV. Pour obtenir des résultats nets et précis, il faut le plus grand soin à produire des contacts larges et parfaits ; car, sans cette précaution , le moindre obstacle dans le passage d'un conducteur à l'autre équivaut à une longueur de conducteur et il exige une plus grande *intensité* dans l'électromoteur. Quelle que soit la perfection des contacts et la grosseur des conducteurs , le circuit fermé n'en offre pas moins une résistance dont il faut tenir compte : ainsi , le résultat ci-dessus ne se retrouve plus avec une hélice de trente spires , ou avec un barreau très faiblement aimanté , parce que la résistance des 2 à 3 mètres du circuit et des contacts est plus grande que celle de l'électromoteur. Ayant remplacé la multiple hélice de 240 tours chacune , par une double hélice de 30 tours d'un plus gros fil , et ayant complété le circuit par le même rhéomètre d'un tour de lame , les résultats n'ont plus été les mêmes que dans le paragraphe précédent. Avec une hélice de 30 tours , l'aiguille dévia de 4 degrés , et avec les deux hélices en pile elle dévia de 7°. La résistance de ce circuit ayant été vaincue par une hélice de notre premier appareil , la réduplication des spires par l'addition d'hélices nouvelles n'a rien ajouté au courant , le *maximum* avait été obtenu avec une seule hélice ; il n'en est plus de même avec celle de 30 tours , l'effet a presque doublé par l'addition de la seconde hélice. Ainsi , le même circuit rhéométrique uni à la même cause de perturbation , peuvent donner des résultats dif-

férens , si le corps perturbé présente plus ou moins de résistance à la neutralisation en retour. La loi que nous avons déduite de l'expérience ne peut donc être constatée qu'avec des électromoteurs qui offrent au moins la résistance du circuit direct ; au-dessous de cette égalité de résistance, elle ne peut ni ne doit être appliquée ; le conducteur, quel qu'il soit, rentre alors dans le cas des conducteurs résistans.

XXXV. Les couples thermo-électriques permettent de former des circuits moins étendus que les hélices soumises à l'induction , et d'interposer des conducteurs plus courts ; mais , à côté de cet avantage , la résistance en arrière est si faible , que le circuit , si restreint qu'il soit , est plus résistant pour les couples thermo-électriques que les longs conducteurs ajoutés aux hélices pour éloigner les barreaux aimantés des aiguilles du rhéomètre. Il y a encore une autre cause qui vient masquer le résultat véritable. C'est que la température étant plus élevée , elle se propage plus loin et perturbe plus de molécules ; conséquemment il y a plus d'électricité dynamique produite. Quoi qu'il en soit et malgré ces diverses causes qui masquent l'effet réel , dont les unes sont favorables à l'*intensité* du courant et les autres à sa *quantité* , on peut voir cependant que l'augmentation de l'*intensité* de la force électro-motrice produit de l'*intensité* dans le courant et non de la *quantité* , que l'augmentation du courant ne provient que de ce que l'*intensité* du courant étant augmentée , une plus grande portion d'électricité a pu vaincre la résistance du circuit et produire ainsi un phénomène de *quantité*.

XXXVI. J'ai pris un couple bismuth et cuivre for-

mant ensemble un circuit complet de 49 centimètres, le bismuth est un barreau carré de 20 centimètres de long et d'un centimètre de section, la lame de cuivre a 18 millimètres de large et 29 centimètres de long; une fente vers son centre permet d'y introduire un système d'aiguilles longues de 42 millimètres. Le barreau courbé à chaque extrémité permet de plonger les soudures dans des bains d'huile pour en connaître la température. Une des soudures fut maintenue à 18° centigrades et l'autre élevée jusqu'à 25° en voici le résultat.

| Température<br>d'une des soudures au-dessus<br>de l'autre. | Déviation<br>proportionnelles. | Augmentation<br>pour chaque degré. |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 1°                                                         | 60°                            | 60°                                |
| 2°                                                         | 115°                           | 55°                                |
| 3°                                                         | 165°                           | 50°                                |
| 4°                                                         | 212°                           | 47°                                |
| 5°                                                         | 257°                           | 45°                                |
| 6°                                                         | 300°                           | 43°                                |
| 7°                                                         | 341°                           | 41°                                |

On voit que le premier degré a produit le courant le plus *nombreux*, que le second degré pris séparément en a fourni un moins nombreux; que l'augmentation pour chacun des degrés a diminué, tandis, au contraire, comme nous le verrons tout à l'heure, qu'avec un circuit ayant une résistance beaucoup plus grande, la quantité qui passe peut croître comme la température et lui servir de mesure. Nous n'avons voulu opérer que dans des limites de température fort restreintes, pour n'avoir pas à tenir compte des changemens qui peuvent

avoir lieu dans les températures plus élevées, et nous avons opéré avec un barreau assez gros et assez court, pour nous mettre à l'abri d'une augmentation de résistance qu'aurait pu produire l'augmentation du courant. Nous pouvons déduire de cette expérience que si le circuit eût été plus court encore, le premier degré eût donné un courant qui se serait approché davantage du *maximum* final, et qu'enfin en opérant par la pensée jusqu'au circuit sans résistance, le premier degré aurait donné le maximum de courant et que les autres degrés n'y auraient rien ajouté, comme cela a lieu dans les piles hydro-électriques où l'on voit qu'un couple donne le maximum de courant, lorsque le circuit mesureur est beaucoup moins résistant que le couple même.

XXXVII. Pour obtenir ce résultat, il faut prendre des métaux très éloignés l'un de l'autre dans leurs places thermo-électriques, parce qu'alors le courant qui en résulte est plus intense; il a, à un plus haut degré, cette puissance de vaincre la résistance des conducteurs, c'est pourquoi nous avons pris le bismuth et le cuivre. En retour de cet avantage, on a malheureusement dans le bismuth un conducteur imparfait, et la longueur que l'on est obligé de donner au barreau présente une résistance notable qui atténue la différence des premiers degrés sur les suivans. Au lieu de bismuth et cuivre, si on prend du zinc et du cuivre, deux métaux très rapprochés dans leurs pouvoirs thermo-électriques, et dont le courant a une intensité tellement faible qu'il est arrêté par le plus petit obstacle, on a alors un courant qui augmente comme la température, tel restreint que soit le circuit, comme le montre l'expérience suivante :

J'ai pris un arc en zinc long de 23 centimètres et d'une section de 6 millimètres, les deux élémens cuivre avaient chacun 27 centimètres sur une section d'un millimètre 8, un rhéomètre fait d'un seul tour de lame étroite formait le circuit. La température d'une des soudures a été conservée à 24° c., et l'autre a été graduellement élevée à 50° ou de 26° au-dessus de la première.

| Température. | Déviation<br>proportionnelles. | Température. | Déviation<br>proportionnelles. |
|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| 1°           | 3°                             | 14°          | 42°                            |
| 2            | 6                              | 15           | 45                             |
| 3            | 9                              | 16           | 48                             |
| 4            | 12                             | 17           | 51                             |
| 5            | 15                             | 18           | 54                             |
| 6            | 18                             | 19           | 57                             |
| 7            | 21                             | 20           | 60                             |
| 8            | 24                             | 21           | 63                             |
| 9            | 27                             | 22           | 66                             |
| 10           | 30                             | 23           | 69                             |
| 11           | 33                             | 24           | 72                             |
| 12           | 36                             | 25           | 75                             |
| 13           | 39                             | 26           | 78                             |

Il n'y a eu que des petites variations, tantôt dans un sens tantôt dans l'autre, qui se compensaient; je n'ai pas cru devoir les noter dans ce tableau.

XXXVIII. Lorsque les conducteurs n'ont d'abord qu'une résistance médiocre, on a un courant plus nombreux dans les premiers degrés; mais lorsque, par l'élévation de la température, il est devenu plus considérable, les conducteurs deviennent insuffisans et l'augmentation du courant suit alors celle de la température. En voici un exemple. J'ai pris un couple fer et cuivre, le fil de fer ayant 2<sup>m</sup>,5 de section et un mètre de long, et les deux conducteurs en cuivre, ayant 1<sup>m</sup>,5 de section, ont

ensemble 5 mètres ; une des soudures fut gardée à la température de  $16^{\circ},3$  et l'autre fut élevée jusqu'à  $100^{\circ}$  c. Le rhéomètre était formé d'une lame de 55 millimètres de large faisant 10 tours , et d'un système d'aiguilles à déviations proportionnelles. Voici le résultat obtenu de  $5^{\circ}$  en  $5^{\circ}$  :

| Température.   | Déviations.   | Température. | Déviations.    |
|----------------|---------------|--------------|----------------|
| $16^{\circ},3$ | $0^{\circ},0$ | $60^{\circ}$ | $20^{\circ},1$ |
| 20             | $1,7$         | 65           | $22,3$         |
| 25             | $4,0$         | 70           | $24,3$         |
| 30             | $6,3$         | 75           | $26,7$         |
| 35             | $8,7$         | 80           | $28,3$         |
| 40             | $11,0$        | 85           | $31,0$         |
| 45             | $13,3$        | 90           | $33,0$         |
| 50             | $15,6$        | 95           | $35,0$         |
| 55             | $17,8$        | 100          | $37,0$         |

On voit que le conducteur n'était pas d'abord tout-à-fait assez résistant, il en est résulté que les premiers degrés ont produit un courant un peu plus nombreux, et que les derniers sont devenus proportionnels à la température.

XXXIX. L'expérience suivante montrera mieux encore que l'intensité du courant, c'est-à-dire, la puissance de vaincre les résistances, croît comme la température. J'ai pris un couple acier et cuivre de  $0^{\text{mm}},5$  de section, le fil d'acier avait 1 mètre 4 décimètres de long, et les deux conducteurs en cuivre avaient ensemble 2 mètres 6 décimètres. A ce couple j'ajoutai successivement 8 mètres d'un fil de  $0^{\text{mm}},35$  de section, dont je mesurai la résistance à la propagation de l'électricité produite par ce couple et j'évaluai la résistance du couple en longueur de ce même fil, par la formule de M. Pouillet :

voici d'abord le résultat de ces résistances, une des soudures étant élevée à 17° c. au-dessus de l'autre, gardée à la température ambiante.

|                             |        |                 |
|-----------------------------|--------|-----------------|
| Le couple seul donna        | 20°,0  | proportionnels. |
| Le couple et 1 mètre de fil | 17°,2  | »               |
| » 2 »                       | 15°,12 | »               |
| » 3 »                       | 13°,5  | »               |
| » 4 »                       | 12°,15 | »               |
| » 5 »                       | 11°,0  | »               |
| » 6 »                       | 10°,15 | »               |
| » 7 »                       | 9°,15  | »               |
| » 8 »                       | 8°,75  | »               |

En appliquant la formule de M. Pouillet, on a

$$\frac{x}{x+1} = \frac{17,2}{20}, \text{ ou } 20x = 17,2x + 17,2 = \frac{17,2}{2,8}x,$$

ou  $x = 6^{\text{m}},143$ .

Ainsi le couple a une résistance égale à celle de 6 mètres 143 millimètres du fil de cuivre ajouté. Si l'on divise la température de 17° cent. par 6,143, on a pour vaincre la résistance de chaque mètre une température de 2°,75. Voyons maintenant si cette proportion se conservera en ajoutant successivement une nouvelle longueur de fil de cuivre, et quelle température il faudra pour conserver la déviation fixe de 20°; voici le résultat de l'expérience :

|                   | Longueur du fil de 0 <sup>m</sup> ,35<br>de section. | température. |
|-------------------|------------------------------------------------------|--------------|
| Le couple seul ou | 6 <sup>m</sup> ,143                                  | 17° C.       |
| Le couple plus    | 1 <sup>m</sup>                                       | 19°,7        |
| » »               | 2                                                    | 22°,5        |
| » »               | 3                                                    | 25°,25       |
| » »               | 4                                                    | 28°,0        |
| » »               | 5                                                    | 30°,75       |
| » »               | 6                                                    | 33°,5        |
| » »               | 7                                                    | 36°,25       |
| » »               | 8                                                    | 39°,0        |

Cette expérience nous paraît démontrer avec évidence que l'augmentation dans l'intensité de la force perturbante, ou comme on le dit ordinairement, de la force électro-motrice, donne au courant une puissance équivalente pour vaincre les résistances des conducteurs.

XL. Maintenant, il est nécessaire de discuter et d'interpréter cette expérience et de voir si la similitude d'effet des piles et de l'action perturbante peut jeter quelque jour sur ce qui se passe entre les molécules. M. De la Rive avait annoncé, il y a déjà long-temps, qu'il pensait que dans une pile hydro-électrique, toutes les électricités des couples intérieurs se neutralisaient réciproquement, et qu'il n'y avait que les électricités des deux élémens extrêmes qui agissaient sur les conducteurs mis en expérience; que ces deux électricités extrêmes avaient conséquemment deux routes pour se neutraliser, la pile elle-même et le circuit; suivant la résistance d'une des voies, l'autre donnait passage à une plus grande quantité d'électricité. Ce savant physicien n'avait pas appuyé

son énoncé de preuves expérimentales , ce n'était alors qu'une idée probable et ingénieuse qui demandait l'appui de l'expérience pour entrer irrévocablement dans la science. Dans une communication faite à la société philomatique le 1<sup>er</sup> juillet 1837 et imprimée par extrait dans le cahier d'août du journal l'*Institut* , j'ai prouvé par une expérience directe que l'électricité positive d'un couple , neutralise toute l'électricité négative d'un autre couple , et que conséquemment les électricités contraires ne cheminent pas en sens opposés dans le même conducteur , comme on l'a trop souvent répété. J'ai déduit de ces expériences qu'il en était ainsi entre tous les élémens d'une pile , que toute l'électricité positive recueillie du zinc par le liquide , était neutralisée par la négative provenant du cuivre du couple voisin et plongeant dans la même auge (1) ; qu'il n'y avait alors de libres , que les deux électricités extrêmes , positive d'un côté et négative de l'autre , qui avaient deux routes pour se neutraliser , le circuit direct et la pile , comme M. De la Rive l'avait judicieusement pensé. Ainsi , la résistance des piles est toute passive , c'est par le redoublement des obstacles provenant des alternatives liquides et métalliques que les deux électricités extrêmes , en vertu des principes de l'équilibre , se neutralisent en plus ou moins grande partie

---

(1) Nous nous servons du langage usuel d'*électricité positive* ou *négative* passant de tel conducteur à tel autre ; mais nous devons prévenir que nous trouvons ces expressions impropres , et qu'elles donnent , suivant nous , une très fausse idée du phénomène électrique. Plus tard nous rendrons ces mêmes idées avec les termes qui conviennent à la réalité du fait , ce qui serait hors de notre sujet aujourd'hui ; nous entrerons alors dans tous les détails convenables.

par l'arc qui en complète le circuit. Lorsque nous disons qu'une portion des deux électricités extrêmes se neutralise par la pile même, il ne faut pas entendre qu'il y a dans la pile un courant semblable à celui du conducteur direct, c'est-à-dire, que la portion des électricités extrêmes qui se neutralise en retour traverse toute la pile comme un conducteur simple. Il n'en est point ainsi; l'électricité positive que prend le liquide dans l'action chimique, n'étant point enlevée par le cuivre négatif du couple voisin, elle reste au contact de la surface négative du zinc attaqué où ces deux électricités en présence se neutralisent; mais alors, ce premier couple ayant moins d'électricité négative libre, puisqu'une plus grande portion a servi à neutraliser l'électricité positive du premier liquide, il neutralisera une moindre quantité d'électricité positive du second liquide, et conséquemment le surplus d'électricité positive de ce second liquide, se neutralisera au contact même du second zinc, avec une portion de l'électricité négative de cet élément qui en laissera moins à la neutralisation de l'électricité positive du troisième couple et ainsi de suite; de telle sorte, qu'en chaque couple où on place un rhéomètre, comme l'a fait M. Becquerel, on ne trouve qu'une quantité de courant identique à l'écoulement du premier élément, puisque l'écoulement de tous les autres couples en dépendent, que le reste est neutralisé au contact du liquide actif et du métal attaqué.

XLI. La résistance de chaque couple peut être augmentée ou diminuée, suivant le liquide qui agit chimiquement sur le corps ou suivant l'énergie de la force perturbante; ainsi, si le liquide est du mercure atta-

quant du zinc, du plomb ou de l'étain, le courant aura bien moins de puissance pour vaincre les conducteurs imparfaits qu'on interpose, que si ce liquide est de l'eau ou un acide quelconque. En effet, le mercure étant un conducteur supérieur à l'eau acidulée, la résistance des alternatives est moins grande qu'avec celles des couples hydro-électriques, où le courant est forcé de passer alternativement d'un bon à un très mauvais conducteur. Il est probable que la transformation d'un amalgame est moins complète que celle qui a lieu dans la formation d'un oxide, qu'elle a de l'influence, non sur la *quantité* d'électricité, mais sur son *intensité*, sur la puissance de vaincre la résistance des conducteurs. Dans les couples thermo-électriques, il n'y a pas de transformation, il n'y a pas de changement dans la nature de la substance, c'est le même corps, plus, la modification que le calorique y a produite; quelle que soit cette modification, il en résulte qu'elle est plus profonde avec une température plus élevée, que la séparation des deux états électriques est plus nette et plus tranchée, et conséquemment qu'il y a une résistance plus grande à leur retour l'un vers l'autre pour se neutraliser. Cette plus grande résistance créée en arrière oblige une *quantité* plus considérable d'électricité de se neutraliser par l'intermède du circuit direct et de produire ainsi un phénomène de *quantité*, supérieure à celui que produit une température moindre. Ce n'est pas qu'il y ait plus d'électricité produite, c'est simplement parce que la résistance en arrière, s'opposant davantage à sa neutralisation, cette dernière s'exécute plus abondamment par le circuit qui la manifeste. Il en est de même de l'induction; plus le magnétisme du bar-

reau est intense, plus la perturbation est grande, plus l'altération est profonde, et conséquemment aussi, plus la résistance à la neutralisation en arrière est puissante. Sans examiner maintenant quelle est la cause des phénomènes électriques, ce qui nous éloignerait du sujet de ce mémoire, qu'elle soit une ou deux substances, ou bien qu'elle soit un mouvement particulier dans une substance générale, le résultat sera toujours le même; si la cause qui change le rapport des molécules d'un corps est énergique, on obtiendra dans l'hypothèse des deux fluides électriques, une séparation plus complète que si la cause est faible; ou bien, si le phénomène électrique n'est que la projection d'une substance au moment du changement d'état ou d'équilibre moléculaire, la projection sera plus vive, plus étendue, et dans les deux suppositions, il en résultera une puissance plus grande pour se propager en avant, dans le sens de la projection ou de la séparation, et une résistance plus puissante à la neutralisation en retour, par la rétrogradation dans le sens contraire au mouvement imprimé.

XLII. Cette manière d'interpréter la modification moléculaire, ramène le résultat à celui que donnent les piles. La quantité *positive* de la première molécule, je suppose, projetée en avant, sera neutralisée par la quantité négative de la seconde molécule laissée en arrière; la portion *positive* de la seconde molécule, projetée en avant, sera neutralisée par la portion négative de la troisième molécule laissée en arrière, et ainsi de suite; de telle sorte, qu'en considérant le corps formé d'une seule série de molécules alignées, la première aura un excès d'électricité positive en avant, et la dernière un excès d'é-

lectricité négative en arrière, dont la neutralisation ne pourra se faire qu'en rétrogradant par l'électromoteur, ou dans le sens de la projection, par le conducteur interposé, qui en ferme et complète le circuit. Selon donc la résistance de chaque molécule, c'est-à-dire, selon l'énergie de la force qui sépare les deux états électriques, il en résulte une plus grande résistance à la réaction en arrière et conséquemment une plus grande quantité traverse le conducteur direct pour se neutraliser. Il y a dans ce fait, identité avec la pile, avec la seule différence, que dans l'induction, chaque atome du corps est un des élémens producteurs, apportant sa quantité électrique et sa faible résistance, tandis que dans une pile hydro-électrique, chaque élément est un corps plongé dans un liquide offrant une grande résistance individuelle à la rétrogradation des courans. Pour avoir un effet en tout semblable avec une hélice induite par des barreaux, ayant des intensités magnétiques différentes, il faudrait pouvoir former un circuit qui n'ait pas plus de résistance que celle que présente l'action élémentaire de chaque atome, de chaque élément moléculaire, comme nous pouvons en former qui présente moins de résistance que celle de chaque couple hydro-électrique; ce n'est qu'avec un circuit d'une résistance infiniment petite, que nous aurions égalité dans le courant par l'emploi d'un barreau faiblement ou fortement aimanté; ce n'est que dans le cas d'un circuit excessivement court et obéissant, qu'on verrait disparaître les différences que l'on trouve entre l'intensité des piles et celle que donne l'énergie de la force perturbante. Nous avons dû rappeler et étendre les principes fondamentaux de la production électrique, soit comme

*quantité*, soit comme puissance de résistance que nous nommons *intensité*, pour mieux faire comprendre la nécessité des précautions qu'il faut prendre lorsqu'on veut évaluer la température d'un milieu par le courant électrique qu'elle produit dans un couple thermo-électrique. Dans l'induction, toutes les molécules sont également attaquées et le sont toujours par une force semblable tant qu'on se sert du même barreau aimanté. Il n'en est pas de même de l'emploi du calorique ; le passage de la température initiale à la température *maximum* n'est point instantané, mais successif, c'est-à-dire, que la modification totale que chaque molécule doit subir, se fait en une série d'instans très courts, chacun produisant son courant spécial dont la série forme le courant continu.

### TROISIÈME PARTIE.

#### *Des moyens de se garantir des causes de perturbation.*

XLIII. Un couple thermo-électrique est, comme l'on sait, deux fils ou deux barreaux métalliques hétérogènes en contact par leurs extrémités, que l'on soude pour éviter toute interposition d'oxide ou de corps étrangers mauvais conducteurs. Lorsque les deux extrémités soudées sont identiques et à une température égale, le multiplicateur interposé dans le circuit n'indique aucun courant dominant ; l'aiguille indicatrice reste à zéro. Mais si on élève la température d'une des soudures, il y a aussitôt un courant dominant qui a des rapports avec le degré de cette température. Ce rapport n'est pas tou-

jours proportionnel à la température ; car, lorsqu'elle est élevée, il y a non-seulement des anomalies dans les quantités produites, mais pour certains métaux, ou au moins pour certaines dispositions dans les couples, il y a des renversemens dans le courant. On peut consulter à ce sujet les mémoires de M. Becquerel, et principalement son *Traité d'électricité et de magnétisme*, tome II, pages 44 et suivantes. Renfermant nos indications pour des recherches dans des températures au-dessous de 80 degrés, je n'ai pas à m'occuper de ce genre d'anomalies ; cependant je dirai quelle est la cause, suivant moi, de ce renversement du fer, qu'on ne retrouve pas toujours.

XLIV. Lorsqu'un couple est formé d'un fil de fer et d'un fil de cuivre ou de platine, il arrive très souvent que le courant, après avoir varié dans sa quantité, change de sens, et que le fer, de positif qu'il était, devient négatif. M. Pouillet, dans ses recherches sur les hautes températures, s'est servi avec succès d'un couple fer et platine sans avoir éprouvé de fortes anomalies. Au lieu de former son couple d'un fil de fer, il a pris un tube épais fermé par une extrémité ; au centre de la culasse qui fermait ce tube il avait brasé un fil de platine, qu'il isolait des parois intérieures du tube par de l'argile tassée tout autour. Avec ce couple ainsi disposé, M. Pouillet n'a pas observé de renversement ; il est probable qu'il doit ce succès à la masse de fer, ou élément positif, qu'il a employée, comparativement à celle du platine. Dans l'état ordinaire, le courant positif marche de la soudure chauffée le long du fer ; puis, il entre dans le fil de cuivre par la soudure froide, et ainsi de suite. Nous savons aussi que dans tout électro-moteur, le courant dominant

n'est que la différence de deux courans inverses, qu'il est le surplus d'un courant sur l'autre ; nous savons encore que le fer perd de sa conductibilité par la chaleur. Donc, lorsqu'une soudure est portée au rouge, la conductibilité y est très affaiblie, tandis qu'elle est conservée entière à la soudure froide. D'après notre expérience, communiquée le 10 juin 1837 à la Société philomatique, et imprimée dans le journal *l'Institut* du 21 juin suivant (1), nous savons que le courant passe mieux dans un mauvais conducteur par le contact le plus étendu ou le plus favorablement disposé, et qu'ainsi, de deux courans égaux et en sens contraire traversant un liquide, c'est celui qui y entrera par une large surface qui dominera. Nous pouvons appliquer ce fait au couple ayant une soudure très chaude, et conséquemment ayant perdu sa bonne conductibilité ; le courant entrera alors dans le fer en plus grande abondance par la soudure froide que par la chaude, puisque la première est plus favorable à la conductibilité que la seconde. M. Pouillet, par le volume de

(1) Voici un extrait de l'expérience : un petit couple hydro-électrique donnant un courant constant avait son circuit complété par un arc liquide ; le contact entre l'eau et les conducteurs métalliques étaient fort inégaux ; d'un côté, c'était une capsule en platine remplie d'eau qui transmettait elle-même le courant ; une autre capsule en verre était placée à côté, remplie également ; elles étaient unies par un siphon plein d'eau ; le circuit de l'autre pôle était fermé par un fil de platine très fin, plongeant de deux millimètres dans le liquide de la capsule en verre. Il résulte de cette disposition que le courant positif pouvait entrer dans le liquide, ou par la capsule à large contact, ou par le fil fin ; dans le premier cas, le courant fit dévier l'aiguille d'un rhéomètre de 3000 tours de 10 degrés, et dans le second cas, il ne le fit dévier que de 3 degrés.

son élément fer, s'est mis à l'abri d'une diminution dans la conductibilité, au point de devenir insuffisante à la quantité d'électricité produite par un élément négatif, aussi faible que le fil de platine employé. La conductibilité étant toujours suffisante, le courant dominant est resté celui de la soudure chauffée au fer, et le couple n'a pas donné de renversement.

XLV. Lorsqu'on veut connaître la température d'un milieu, soit liquide, soit solide, au moyen des courants électriques, il faut prendre les précautions que nous allons indiquer. D'abord, il est nécessaire que l'on sache que le courant n'est pas produit par les seules molécules hétérogènes en contact, que les molécules voisines y concourent en raison de leur proximité de la soudure. La part que chaque zone du couple apporte au résultat définitif, est soumise à une telle complexité de causes, que je n'ai pu la ramener à une loi générale; tout ce que je puis dire, c'est que pour chaque cas, il y a une constante de décroissement qui n'est pas la même que celle de l'expérience suivante, qui se fera avec d'autres circonstances de température, d'immersion et de grosseur de fils. De plus, la portion émergée près du bain concourt également au courant. Je suppose, par exemple, que le bain d'huile dont on doit faire usage soit de 6° au-dessus de la température ambiante; la portion émergée s'échauffe par communication de la portion immergée et par le rayonnement du bain d'huile, et apporte son concours au résultat général, sans qu'on puisse dire sa quantité propre. L'impossibilité d'indiquer théoriquement le rapport qu'il y a entre la quantité immergée et le courant, oblige de se créer des tables, que l'on fait en se mettant

le plus possible dans les circonstances de l'expérience que l'on projette. Nous allons donner quelques exemples. J'ai pris un gros couple, fer et cuivre; le fil de fer avait 1<sup>mm</sup>,2 de section et 3 mètres 6 décimètres de long; les deux éléments en cuivre avaient ensemble 7 mètres 6 centimètres de long, sur une section de 0<sup>mm</sup>,7; une soudure fut plongée dans un bain d'huile, maintenu à la température ambiante; l'autre soudure fut maintenue à 10°,3 au-dessus de l'autre. En voici le résultat :

| Nombre des millimètres immergés. | Déviations proportionnelles. | Rapport du courant aux degrés centésimaux. |
|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| Soudure seule immergée,          | 56°                          | 5°,4                                       |
| » plus 4 mill.                   | 68                           | 6,6                                        |
| » » 9                            | 76                           | 7,55                                       |
| » » 16                           | 83                           | 8,0                                        |
| » » 25                           | 87                           | 8,4                                        |
| » » 36                           | 91                           | 8,85                                       |

Autre expérience faite avec le même couple; différence dans la température, 13°.

| Millimètres immergés. | Déviations proportionnelles. | Rapport du courant aux degrés centésimaux. |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| Soudure seule,        | 65°                          | 5°,0                                       |
| Plus 4 mill.          | 85                           | 6,4                                        |
| » 9                   | 95                           | 7,30                                       |
| » 16                  | 104,5                        | 8,0                                        |
| » 25                  | 112                          | 8,50                                       |
| » 36                  | 118                          | 9,07                                       |

Autre expérience faite avec un couple fer et cuivre de 0<sup>mm</sup>,5 de section, le fer ayant 0<sup>m</sup>,88 de long, et les fils de cuivre formant ensemble 2<sup>m</sup>,6. Différence de température 13°,0.

| Millimètres immergés. | Déviations proportionnelles. | Rapport du courant aux degrés centésimaux. |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| Soudure seule,        | 39°,5                        | 4°,58                                      |
| Plus 4 mill.          | 31°,5                        | 6°,27                                      |
| » 9                   | 93                           | 7°,25                                      |
| » 16                  | 107                          | 8°,0                                       |
| » 25                  | 118                          | 8°,9                                       |
| » 36                  | 124                          | 9°,54                                      |

Ces expériences prouvent qu'il faut tenir compte de la quantité de fil immergé; sans cette précaution, on ne pourrait comparer les résultats obtenus.

XLVI. Ainsi, l'inégalité d'immersion (§ 45), l'inégalité des fils (§ 27), et celle des soudures (§ 29), sont des causes d'erreur; il en est encore deux autres dont nous allons parler. Nous savons avec quelle facilité la reconstitution en retour se fait dans les couples thermo-électriques, parce qu'ils sont formés de métaux bons conducteurs et que la production électrique se fait sur un très petit espace, relativement à la longueur des couples; il en résulte que si l'on augmente l'intensité de la cause perturbante, soit calorifique, soit magnétique; si l'on donne à la quantité produite une puissance plus grande pour se propager en avant, par l'augmentation de la résistance en arrière, le courant augmente nécessairement d'une quantité variable, selon le conducteur qui en complète le circuit. Il y a deux résultats principaux bien distincts l'un de l'autre, et un état intermédiaire, qui est le plus commun, en se servant des excellents rhéomètres de M. Gourjon : 1° si le circuit est très court et d'une résistance moindre que celle de chacune des molécules perturbées, la totalité de l'électricité produite par la plus légère augmentation de la

température traverse alors le circuit, et conséquemment, dans cette hypothèse d'une résistance nulle, la quantité d'électricité restera constante, quelle que soit l'élévation successive de la température. Ce résultat ne peut jamais être obtenu, parce qu'il n'est pas possible d'avoir un circuit mesureur sans résistance; mais comme on peut s'en approcher quelque peu en faisant les circuits mesureurs les plus courts possible, on est amené à tirer cette déduction des circuits sans résistance. 2° Si la résistance du conducteur est supérieure à celle de toutes les molécules perturbées, comme est celle que présente pour un seul couple, fer et cuivre, un conducteur de 50 à 100 mètres environ, d'un fil de cuivre de 0<sup>mm</sup>,5 de section, la *quantité* traversant ce circuit augmentera comme la température. 3° Dans les longueurs intermédiaires, la quantité du courant ne sera plus proportionnelle à la température; les premiers degrés fourniront plus au courant que les derniers, même en se renfermant dans les limites de 50° centigrades. 4° Enfin, si le circuit est très résistant, comme un fil de 400 mètres, d'une section de 0<sup>mm</sup>,15, en n'employant qu'un seul couple, fer et cuivre, le courant, faible pour le premier degré, croît un peu plus que les températures subséquentes; puis il cesse de croître également, comme l'indique le tableau du paragraphe 45.

XLVII. Pour faire les tables de rapports entre la température et la déviation, on plonge dans deux bains d'huile les deux extrémités de son couple; on garde l'un à la température ambiante, que l'on mesure exactement, et l'on élève l'autre bain de 40 à 50 degrés; puis on retire la lampe, et on attend que le refroidissement se fasse régulièrement pour noter la déviation que donne chaque

degré; car, comme l'a très bien remarqué M. Becquerel, il y a plus de régularité pendant le refroidissement que pendant l'échauffement, la marche est moins rapide, et l'on a plus de certitude que le petit thermomètre employé, aura marché avec le bout du couple qui le touche. Voici une table des déviations qui répondent aux degrés centigrades de la température d'une des soudures d'un couple qui a servi à prendre la température des organes des animaux.

Couple acier et cuivre de 0<sup>m</sup><sup>m</sup>,5 de section, le fil d'acier long de 1<sup>m</sup>,4; les deux cuivre de 2<sup>m</sup>,6.

| Supériorité d'une des soudures. | Déviations proportionnelles avec 50 tours du rhéomètre. | Déviations proportionnelles avec les 200 tours du rhéomètre. |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1°                              | 7°,2                                                    | 16°                                                          |
| 2                               | 14,4                                                    | 32                                                           |
| 3                               | 21,6                                                    | 48                                                           |
| 4                               | 28,8                                                    | 64                                                           |
| 5                               | 36,0                                                    | 80                                                           |
| 6                               | 43,0                                                    | 95                                                           |
| 7                               | 50,0                                                    | 110                                                          |
| 8                               | 56,8                                                    | 125                                                          |
| 9                               | 63,6                                                    | 140                                                          |
| 10                              | 70,5                                                    | 155                                                          |
| 11                              | 77,0                                                    | 170                                                          |
| 12                              | 83,5                                                    | 184                                                          |
| 13                              | 90,0                                                    | 198                                                          |
| 14                              | 96,5                                                    | 212                                                          |
| 15                              | 103,0                                                   | 226                                                          |
| 16                              | 109,2                                                   | 240                                                          |
| 17                              | 115,4                                                   | 255                                                          |
| 18                              | 121,6                                                   | 266                                                          |
| 19                              | 127,8                                                   | 279                                                          |
| 20                              | 134,0                                                   | 292                                                          |
| 21                              | 140,0                                                   | 304                                                          |
| 22                              | 146,0                                                   | 316                                                          |
| 23                              | 152,0                                                   | 328                                                          |
| 24                              | 158,0                                                   | 340                                                          |
| 25                              | 163,5                                                   | 352                                                          |
| 26                              | 169,0                                                   | 364                                                          |
| 27                              | 174,5                                                   | 376                                                          |
| 28                              | 180,0                                                   | 388                                                          |
| 29                              | 185,0                                                   | 400                                                          |
| 30                              | 190,0                                                   | 412                                                          |

On voit par cette table que le rapport entre la déviation proportionnelle et un degré centigrade, est d'abord de  $7^{\circ},2$  avec les 50 tours ; puis, en diminuant graduellement, elle n'est plus que de  $5^{\circ}$  vers la fin de la seconde colonne ; qu'il est de  $16^{\circ}$  au commencement de la troisième colonne, et de  $12^{\circ}$  seulement à la fin. Il faut donc se faire des tables, comme la précédente, avec les couples que l'on doit employer, et les faire avec le degré d'immersion des couples dont on a besoin ; si l'on ne savait pas quelle longueur du couple doit être immergée, il faudrait faire sa table de manière à ce qu'il y ait des colonnes de déviations répondant à l'immersion de la soudure seule, à l'immersion de la soudure plus 2 millimètres, puis 4, 8, 16, 32, et enfin la soudure et 64 millimètres, maximum au-delà duquel l'immersion ne produit plus d'effet dans les couples usuels.

XLVIII. Lorsque le fil galvanométrique est très résistant, comme celui d'un rhéomètre de 3000 tours, de  $0^{\text{mm}},15$  de section, formant une longueur de 420 mètres, on a plus d'irrégularité encore ; les premiers degrés ont à peine l'intensité nécessaire pour faire traverser ce conducteur par une très petite quantité d'électricité ; puis, l'intensité ayant augmenté avec la température, le courant croît plus vite que la température, puis on trouve un nombre de degrés qui donne des courans équivalens, et enfin lorsque la quantité du courant est arrivée à certaine proportion, elle ne croît plus proportionnellement à la température, parce que le fil devient insuffisant. C'est ce que montre le tableau suivant.

| Supériorité<br>d'une<br>des soudures. | Déviations<br>proportionnelles. | Supériorité<br>d'une<br>des soudures. | Déviations<br>proportionnelles. |
|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1°                                    | 1°,0                            | 19°                                   | 39°,5                           |
| 2                                     | 2,2                             | 20                                    | 42,0                            |
| 3                                     | 3,5                             | 21                                    | 44,4                            |
| 4                                     | 5,0                             | 22                                    | 46,8                            |
| 5                                     | 7,0                             | 23                                    | 49,2                            |
| 6                                     | 9,0                             | 24                                    | 51,5                            |
| 7                                     | 11,0                            | 25                                    | 53,8                            |
| 8                                     | 15,0                            | 26                                    | 56,0                            |
| 9                                     | 15,25                           | 27                                    | 58,0                            |
| 10                                    | 17,50                           | 28                                    | 60,0                            |
| 11                                    | 19,75                           | 29                                    | 61,9                            |
| 12                                    | 22,0                            | 30                                    | 63,8                            |
| 13                                    | 24,5                            | 31                                    | 65,7                            |
| 14                                    | 27,0                            | 32                                    | 67,6                            |
| 15                                    | 29,5                            | 33                                    | 69,4                            |
| 16                                    | 32,0                            | 34                                    | 71,2                            |
| 17                                    | 34,5                            | 35                                    | 73,0                            |
| 18                                    | 37,0                            | 36                                    | 74,7                            |

Tous ces exemples démontrent que si l'on veut des mesures exactes, il faut se faire des tables ; car, lors même que le rhéomètre donnerait une déviation proportionnelle à la température avec un certain couple, il ne la donnerait plus avec un couple plus gros ou plus court.

XLIX. Les couples propres à l'étude des températures des organes sont de deux sortes : les couples droits et les couples coniques. Les premiers ont presque toujours été employés par MM. Becquerel et Breschet ; ce sont ceux qui lacèrent le moins l'organe dont ils interrogent la température. Ces couples sont formés d'aiguilles d'acier à acupuncture de 0<sup>mm</sup>,5 de section, longues de 2 décimètres ; une extrémité est terminée en pointe très aiguë, propre à s'ouvrir le passage à travers les tissus ; à l'autre extrémité, limée en chanfrein, est soudé un fil de cuivre de même diamètre, long de 1

mètre 2 centimètres ; l'aiguille d'acier est prolongée par un bout, avec du même fil, long de 1 mètre, dont une des extrémités est enroulée en forme de spire, pour recevoir et serrer la pointe de l'aiguille qui a traversé l'organe ; l'autre bout est soudé en cône à un autre fil de cuivre de 1 mètre 3 décimètres, qui sert de conducteur jusqu'au rhéomètre. Lorsque l'aiguille a traversé l'organe, il faut en essuyer le bout avec du papier à décaper, pour que rien ne soit interposé entre le contact métallique ; il est utile aussi de passer de temps en temps un petit écarrissoir dans la petite hélice, afin d'en décaper l'intérieur. Pour faciliter l'introduction de l'aiguille, on ne donne à l'élément cuivre que 2 décimètres également ; la légèreté du couple ainsi formé et son obéissance aux mouvemens des doigts, facilitent l'opérateur pour introduire l'aiguille sans léser les parties ; on prolonge ensuite le cuivre comme on le fait pour l'acier, au moyen d'une petite spire qui termine une des extrémités du fil conducteur en cuivre et provenant du même bout.

L. Les couples de l'autre espèce sont de deux fils, l'un d'acier, l'autre de cuivre, placés l'un contre l'autre, séparés seulement par une petite membrane collée dans la longueur de 1 décimètre, puis ensuite écartés l'un de l'autre à volonté ; les deux extrémités sont brasées, et limées ensuite en une pointe très fine, prise sur la soudure même. Cette espèce de couple n'a pas besoin d'une portion qui vienne s'y rattacher et les compléter ; le fil d'acier est d'un seul bout, ayant un conducteur en cuivre à chaque extrémité. Cette continuité est un grand avantage ; elle donne plus de sécurité dans les résultats. En général, les contacts sont des causes de perturbation

et d'erreur ; il faut les éviter autant que possible par des points de soudure , ou , si on ne peut les éviter, il faut les presser fortement par des pinces métalliques. Dans la première espèce d'aiguilles, l'addition d'un arc d'acier au bout de l'aiguille aurait quelque inconvénient, si l'aiguille n'était pas assez longue, pour que la température de l'organe ne puisse s'y propager notablement. L'hélice, si petite qu'elle soit, est une masse de matière en contact avec un fil uniforme ; dès lors, la température ne se propageant plus également des deux côtés, cette inégalité suffit pour produire un courant dominant, qui est propre à ce nouveau couple. Donc, si la température de l'organe gagne le bout de l'aiguille en contact avec la spire, ces deux portions du même acier, mais de grosseurs différentes, forment un couple nouveau ; l'électricité qui y est développée, va de ce point de jonction, le long de l'aiguille, vers la soudure, et atténuée d'autant le courant principal, qui va de la soudure vers cette jonction. Il faut donc que ces aiguilles soient d'autant plus longues, qu'on les destine à pénétrer dans de plus gros organes.

LI. Nous avons vu que le courant augmentait en raison de la longueur des fils en contact avec le corps chaud, jusqu'à une certaine distance de chaque côté de la soudure, et qu'enfin, on arrivait à un maximum d'effet, qui n'était plus dépassé par une plus grande immersion des fils ; mais il est rarement possible d'immerger cette longueur de fil tout entière : dans le plus grand nombre de cas, l'aiguille ne pénètre que de 2 ou 3 centimètres, et dans les plantes ou dans les insectes elle ne pénètre que de quelques millimètres seulement. C'est pourquoi

il est utile de connaître la gradation du courant suivant les quantités plongées dans l'organe (45). Toutes ces précautions prises, il en est une autre qu'il ne faut pas omettre ; c'est de glisser l'aiguille dans l'organe jusqu'à ce qu'on ait son maximum d'effet. Ainsi, je suppose qu'ayant enfoncé la soudure de 5 millimètres, le rhéomètre ait dévié de  $30^{\circ}$  ; en continuant de l'enfoncer davantage, l'aiguille monte jusqu'à  $35^{\circ}$  ; puis, passé ce maximum, elle redescend au-dessous de ce nombre. On ramène son aiguille au point qui a donné les  $35^{\circ}$ , et on l'y laisse pendant tout le temps de l'expérience ; on ne tient compte que de ce nombre maximum, et dans toutes les opérations on cherche à s'y placer exactement. Si on ne cherche qu'à connaître les différences des températures, on n'a pas besoin de tenir compte des longueurs immergées ; mais si on cherche des températures absolues, il faut en tenir compte, et corriger le résultat en y ajoutant la quantité non produite par la portion restée dehors, ou consulter la table qu'on a dû faire pour les différentes profondeurs d'immersion. L'opération se fait de la manière suivante : je suppose qu'une expérience préalable ait démontré que le maximum du courant est atteint après une immersion de 36 millimètres, et que la décroissance marche comme l'indique le second tableau du paragraphe 45, et de plus que l'on n'ait immergé le couple dans l'organe que de 9 millimètres ; d'après ce qui précède, il manque au courant, pour atteindre son maximum, tout ce que l'immersion des 27 millimètres suivans lui donnerait. Si le rapport du tableau avait été tiré du courant maximum, il faudrait ajouter au courant trouvé toute la portion qui n'a pas été produite,

parce que toute la longueur maximum n'a pas été plongée dans l'organe. Ainsi, dans notre supposition, 9 millimètres ayant donné  $95^{\circ}$ , il y a une longueur inactive qui aurait donné  $23^{\circ}$  en plus ; il faut donc ajouter ces  $23^{\circ}$  aux  $95^{\circ}$  trouvés, afin de se servir du rapport  $9^{\circ},7$  pour chaque degré centigrade, ou il faut prendre  $95^{\circ}$  divisés par  $13 = 7^{\circ},30$  pour le rapport cherché. De quelque manière qu'on s'y prenne, il faut tenir compte de toutes ces causes modifiantes et les noter exactement ; il faut surtout abriter les portions voisines des soudures, afin de diminuer leur radiation et la soustraction du calorique par les courans d'air.

LII. Ces précautions sont nombreuses, difficiles, nous le reconnaissons ; il faut une surveillance active, ingénieuse pour isoler le couple des influences extérieures ; il ne faut rien négliger, rien omettre ; aucune des parties de l'appareil ne doit se soustraire aux regards de l'expérimentateur ; il faut qu'il soit toujours certain que rien d'étranger n'agit, que les circonstances restent les mêmes, et qu'on termine l'expérience comme ou l'a commencée ; qu'il n'y a de modification qu'à la soudure investigatrice. D'un autre côté, il faut reconnaître que cet instrument est le seul dont on puisse se servir dans une multitude de recherches délicates, où la grosseur du thermomètre, sa masse, sa lente obéissance, le rendent impossible ; enfin, toutes difficiles et nombreuses qu'elles soient, ces précautions ne sont pas au-dessus de la volonté persévérante, de cette volonté tenace qui mène aux découvertes. Les erreurs inévitables se renferment alors dans de petites fractions de degré, et l'on s'approche de la vérité autant qu'il nous est donné de le faire.

Il ne faut pas oublier non plus, que c'est la sensibilité même de l'instrument qui le rend le jouet de tant d'impressions ambiantes; que, s'il était gros et lourd comme le plus petit thermomètre, il n'aurait plus cette susceptibilité désespérante, et les principales causes d'erreurs sembleraient disparaître. Nous le répétons, parce que c'est notre conviction profonde, cet instrument est appelé à rendre de très grands services, lorsque les expérimentateurs sauront s'en servir, lorsqu'ils en connaîtront toutes les ressources et toutes les susceptibilités.

LIII. Dans un mémoire publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. 56, p. 371, j'ai dit que la température produite par un courant croissait comme 3, lorsque le courant croissait comme 2. Ce résultat ne coïncidant pas avec les autres sources de chaleur, j'ai repris l'expérience pour m'assurer du fait ou l'invalider. Voici un des résultats qui en prouve la vérité, quelque difficile qu'en soit l'explication.

| Courant constant<br>en<br>degrés portionnels. | Température d'un fil de<br>fer de 0 <sup>mm</sup> ,5<br>mesurée par la pince<br>thermo-électrique. | Température d'un fil de<br>cuivre de 0 <sup>mm</sup> ,8<br>en degrés rhéométriques. |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1°                                            | 0°,83                                                                                              | »                                                                                   |
| 2                                             | 2,5                                                                                                | »                                                                                   |
| 4                                             | 7,5                                                                                                | 0°,8                                                                                |
| 8                                             | 22,5                                                                                               | 2,4                                                                                 |
| 16                                            | 68,0                                                                                               | 7,5                                                                                 |
| 20                                            | 92,0                                                                                               | »                                                                                   |
| 24                                            | 122,0                                                                                              | »                                                                                   |
| 32                                            | 206,0                                                                                              | 23,0                                                                                |
| 40                                            | 282,0                                                                                              | »                                                                                   |
| 48                                            | 374,0                                                                                              | »                                                                                   |
| 64                                            | »                                                                                                  | 72,0                                                                                |
| 128                                           | »                                                                                                  | 225,0                                                                               |

On voit que pour un courant double, la température est triple ; la différence en plus qu'on remarque lorsque la température du fil est notable, vient de ce que les mâchoires de la pince thermoscopique sont échauffées sur une plus grande longueur, et donnent conséquemment un courant plus nombreux (§ 45). En partant du courant de 1° et de la température produite dans le fil de fer 0°,83, on a, en doublant le courant, une température triple, c'est-à-dire, que 2 et 3 ou leurs puissances, sont les facteurs, dont l'un multiplie le courant et l'autre la température. Ainsi, en partant de ces deux données expérimentales, si nous prenons le courant de 16°, quatrième puissance de 2, la température est égale au produit de 0°,83, multiplié par la quatrième puissance de 3, ou  $81 = 67°,23$ . Il y a dans cette expérience un fait remarquable dont nous rechercherons la cause plus tard, c'est qu'une température double donne au courant thermo-électrique une intensité double, tandis qu'un courant double élève la température au triple (1). Un autre fait tout aussi remarquable, qui se rattache au premier, est ce qui se passe aux soudures d'un circuit hétérogène. Au lieu d'un fil homogène pour fermer le circuit, j'ai pris un couple fer et cuivre, dont les fils avaient 0<sup>mm</sup>,5 de section ; j'ai placé une des soudures entre les mâchoires de ma pince thermoscopique, et j'ai fait traverser ce fil complexe par un courant, d'abord dans un sens, puis dans l'autre sens. Si on se

---

(1) Dans le mémoire cité, il y a une erreur de signe qui fait un contre-sens à la page 362, lignes 3 et 4, au lieu de +37 et -45°, lisez -37° et +45°.

sert d'un faible courant marchant du cuivre au fer, il y a abaissement de température de quelques degrés galvanométriques; si l'on augmente le courant, la température s'élève assez rapidement d'abord, puis elle augmente comme les fils continus dans le rapport de 3 pour un courant double; si le courant va du fer au cuivre, il y a aussitôt élévation de température dans le rapport des fils simples. Pour connaître la valeur de ces courants, il faut placer dans le circuit un rhéomètre à déviations proportionnelles, sans lequel l'étude des rapports est impossible, puisqu'il faut connaître exactement que le courant est double ou triple d'un autre courant.

| Degrés du mesureur du courant. | Degrés rhéométriques de la température du fil conducteur, produit par un courant positif marchant du cuivre au fer. | Idem, par un courant positif marchant du fer au cuivre. |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 20,5                           | - 30,0                                                                                                              | »                                                       |
| 5,0                            | 0,0                                                                                                                 | 90,0                                                    |
| 10,0                           | + 9,0                                                                                                               | 25,0                                                    |
| 15,0                           | 25,0                                                                                                                | 59,0                                                    |
| 20,0                           | 46,0                                                                                                                | 62,5                                                    |
| 25,0                           | 75,0                                                                                                                | 39,5                                                    |
| 30,0                           | 115,0                                                                                                               | 115,0                                                   |
| 35,0                           | 151,5                                                                                                               | 151,5                                                   |
| 40,0                           | 188,0                                                                                                               | 188,0                                                   |

Dans la troisième colonne, le rapport est sensiblement comme 2 est à 3 ou leurs puissances; il en diffère dans la seconde colonne par l'anomalie de l'abaissement de la température; puis elle croît rapidement jusqu'à ce qu'elle soit à son élévation normale, puis elle marche régulièrement avec le courant allant du fer au cuivre. Les nombres inscrits dans la troisième colonne, obtenus sur la soudure, se retrouvent les mêmes lorsqu'on met

la pince au milieu du fil de fer, tandis que le cuivre donne des nombres moindres de plus de moitié. Ainsi, le courant de  $10^{\circ}$  donne  $23^{\circ}$  sur la soudure, lorsque le courant positif marche du fer au cuivre; il donne également  $23^{\circ}$  au milieu du fil de fer, mais alors dans les deux sens du courant, et le fil de cuivre ne donne que  $10^{\circ}$ .

LIV. Nous avons pensé qu'il était utile d'entrer dans tous ces détails pour qu'on soit bien pénétré des causes qui apportent des perturbations dans les couples thermo-électriques, et dont plusieurs n'étaient pas connues ou assez étudiées. Les faits nouveaux que contient ce mémoire serviront en outre à faire mieux apprécier tout ce qui produit des phénomènes électriques ou peut les modifier. Nous allons terminer par un résumé qui ne sera pas seulement celui des faits contenus dans ce mémoire, mais encore des faits rappelés ou indiqués, afin qu'il présente un tableau d'ensemble de causes et d'effets, utile même à ceux qui ne recherchent que la liaison des faits, indépendamment des applications qu'on peut en faire.

*Résumé des faits de ce mémoire et de ceux qui y sont rappelés.*

LV. 1<sup>o</sup> Toutes les fois qu'on change l'état moléculaire d'un corps, il y a un phénomène électrique, dont la durée est égale à celle du passage de l'équilibre ancien à l'équilibre nouveau. La déduction directe qui en découle, est que ce phénomène dépend du mouvement opéré pendant ce passage. § 26, 27.

2° La *quantité* d'électricité produite, manifestée par son action dynamique, est proportionnelle à la quantité de molécules perturbées dans leur équilibre primitif. § 26, 27, 28.

3° Si cette perturbation se fait au milieu d'un cercle homogène, par une cause qui ne donne pas de sens à la perturbation, comme le calorique ou l'action chimique, la propagation du phénomène électrique se fait en quantité égale de chaque côté du point perturbé, et conséquemment son action au dehors est nulle, puisqu'elle est double, égale et en sens inverse.

4° Pour que cette égalité se maintienne, lorsque la chaleur est la cause de la perturbation, il faut que sa propagation se fasse également des deux côtés du point chauffé, ce qui n'a lieu que lorsque tout y est similaire.

5° Indépendamment de la nécessité d'une propagation calorifique semblable de chaque côté, pour que l'égalité du courant se maintienne, il faut encore que le circuit soit propre à propager également des deux côtés les courans positif et négatif; car, si le circuit présente des résistances inégales, il y aura un courant dominant. Ce courant sera celui qui passera par un contact plus étendu du meilleur au moindre conducteur. § 40, 44.

6° On rompt la similitude de la propagation calorifique, en augmentant la masse d'un des côtés du point chauffé, soit par une augmentation du même métal, soit par l'application d'un corps étranger. Cette masse additionnelle absorbant du calorique, rend la propagation de la chaleur inégale. L'égalité n'existant plus, un des courans devient dominant. Le sens de ce courant varie selon les métaux; il va vers le côté

libre dans le fer, et vers le côté de la masse dans le cuivre. § 49, 50.

7° Cette inégalité de la propagation de la chaleur, peut aussi être obtenue en formant quelques spires avec une portion du conducteur, tout près du point qu'on veut chauffer. Cette disposition suffit pour donner un courant dominant.

8° Il résulte de ce qui précède, que lorsqu'un arc est fait de plusieurs parties réunies, il faut que les points de jonction, qui présentent toujours une augmentation de substance, soient éloignés suffisamment de la source de chaleur pour n'en être pas atteints, puisqu'il en naîtrait un courant nouveau qui viendrait altérer le résultat de l'expérience. § 49, 50.

9° Si l'on est dans la nécessité de prolonger les éléments du couple, il faut le faire avec du fil pris à la même bobine. Si cela n'est pas possible, et que l'on soit obligé de prendre du fil provenant d'une autre bobine, il faut mettre les points de jonction dans un bain d'huile, près l'un de l'autre, afin de leur conserver la même température.

10° Le moyen le plus usité pour avoir un courant dominant, est de joindre deux métaux hétérogènes dont on chauffe le point de contact. Ces deux métaux offrant des voies inégales de production et de propagation, donne un courant dominant dans un sens déterminé.

11° Les deux métaux hétérogènes doivent être soudés à leur point de jonction pour assurer un contact parfait. Le contact ne doit avoir que l'étendue suffisante pour établir la bonne conductibilité.

12° Si les contacts sont plus étendus que ce que réclame

la propagation électrique, il n'y a d'utile que la portion voisine des fils libres; le reste est nuisible, en ce qu'il sert de conducteur à une partie de l'électricité produite qui s'y neutralise. Il en résulte, tout étant égal d'ailleurs, qu'une longue soudure donne un courant plus faible qu'une courte. § 29.

13° C'est principalement dans les piles thermo-électriques, destinées à recevoir le calorique par rayonnement, qu'il faut une soudure très mince; la sensibilité de ces piles décroît rapidement avec la longueur des soudures.

14° La quantité d'électricité produite, étant en raison de la quantité d'atomes perturbés, il faut avoir soin de soumettre à la source de chaleur les mêmes longueurs de fil, lorsque les soudures sont égales.

15° La portion d'électricité recueillie qui s'ajoute au courant, diminue à mesure qu'on s'éloigne de la soudure. Le coefficient de cette diminution ne peut être indiqué par le calcul; l'expérience seule peut le donner, parce qu'il dépend de la grosseur des fils, de leur conductibilité, de la température du bain, de celle qu'acquière les portions émergées par le rayonnement du bain, et de celle qu'elles perdent par le contact de l'air et leur rayonnement dans l'espace. § 45.

16° Il y a un maximum de longueur pour chaque grosseur de fil, au-delà duquel les portions immergées n'augmentent plus le courant. Ce maximum est plutôt atteint dans les fils fins que dans les gros. § 45.

17° Lorsque les soudures sont inégales, la plus longue produisant moins de courant, il faudra, pour avoir un effet égal, l'immerger plus que la petite, afin de com-

penser la perte par une plus grande production. § 29.

18° Si la température agit sur des longueurs de fil différentes ou sur des fils ayant des sections différentes, le courant dominant viendra du côté le plus immergé ou ayant la plus forte section. Il faut donc n'employer que des fils de même grosseur et également immergés. § 45.

19° Dans les couples droits, tels qu'on les fait pour l'étude de la température des tissus, il faut que la portion en contact et soudée soit peu inclinée en chanfrein, afin que les bords ne viennent pas affleurer l'organe et altérer les résultats.

20° Lorsqu'il y a long-temps qu'un rhéomètre à long fil est en repos, il faut le faire traverser par deux ou trois courans successifs avant de s'en servir, pour vaincre l'inertie du repos. Sans cette précaution, il dévie moins à la première expérience qu'aux suivantes. § 16.

21° Lorsqu'on veut produire un courant dans un circuit homogène, la plus petite cause accidentelle peut en déterminer le sens. Pour produire cette détermination, il suffit d'un courant déjà existant pour donner l'impulsion aux quantités nouvelles d'électricité : il est donc utile de rompre un instant le circuit avant de faire une expérience, afin qu'il y ait indifférence complète au sens du courant, lors même qu'on expérimente avec des couples hétérogènes.

22° Cette rupture est encore nécessaire pour rétablir l'équilibre dans le magnétisme des aiguilles ; car, lorsqu'un courant agit depuis long-temps sur une aiguille aimantée ; l'axe de son magnétisme en est momentanément

ment altéré. Obéissant à l'action du courant, il s'éloigne de l'axe de l'aiguille, il reprend son plan primitif après un instant de repos. § 17.

23° La *quantité* électrique qui forme le courant se mesure directement par son action sur l'aiguille aimantée. § 1, 3, 4, 26.

24° L'action d'un courant est perpendiculaire à sa ligne de propagation, et elle est proportionnelle à la quantité d'électricité qui se propage dans un temps donné. Le résultat est une déviation de l'aiguille aimantée, dont le maximum est dans sa position perpendiculaire au courant. § 17, 26.

25° L'effet maximum a lieu lorsque l'application de cette force est perpendiculaire à l'axe de l'aiguille, c'est-à-dire, lorsque l'axe de l'aiguille et le courant sont parallèles. L'effet devient nul lorsque son application est parallèle à l'axe d'une aiguille suspendue verticalement, c'est-à-dire, au moment où l'aiguille est perpendiculaire au courant. Conséquemment, des quantités égales d'électricité ajoutées successivement ne produisent pas des augmentations égales dans la déviation d'une aiguille aimantée, puisque l'application de leur force devient de plus en plus inclinée sur la perpendicularité de l'aiguille.

26. D'un autre côté, l'action du magnétisme terrestre, augmentant avec la déviation, vient encore diminuer le résultat des quantités successivement ajoutées.

27. Cette complexité augmente encore lorsqu'on emploie des systèmes d'aiguilles doubles, des conducteurs de diverses largeurs, et principalement lorsqu'on

fait des multiplicateurs avec un fil enroulé , dont les planchers varient en largeur et en épaisseur, et dont les élémens d'action sont répartis d'une manière très compliquée.

28. D'après cette grande complication des rhéomètres , il est impossible d'établir par le calcul le rapport qu'il y a, entre la force du courant et l'arc de déviation ; ce n'est que par expérience qu'on peut parvenir à les connaître ; pour y parvenir on se forme des tables de rapport entre le courant et la déviation, au moyen de la somme de deux courans connus , ou de leur différence, ou du double d'un courant connu , ou du double d'une force connue. § 6, 18 à 24.

29. Il existe des rhéomètres qui ont des déviations proportionnelles aux forces ; ils sont faits sur le principe d'une seconde aiguille perpendiculaire à la première , qui rentre vers le courant en même temps que la première s'en écarte : le magnétisme de ces aiguilles est tel, que l'action du magnétisme terrestre et celle du courant réunies , augmentent autant sur l'aiguille rentrante , qu'elles diminuent sur l'aiguille sortante. On peut ainsi avoir une proportionnalité fort approchée jusqu'à 70°. § 23.

30. Dans un courant on distingue la *quantité*, qui se mesure par son action immédiate sur une aiguille aimantée , de son *intensité*, ou son pouvoir de vaincre les résistances des circuits qu'il doit traverser ; on mesure le plus ordinairement l'*intensité* par des longueurs connues de fil métallique, ou par des auges remplies d'un liquide qu'on divise par des diaphragmes en platine. § 26.

31. L'intensité du courant , c'est-à-dire , la puissance de vaincre les résistances des conducteurs , peut s'obtenir de deux manières , par le moyen des piles, ou par une plus grande puissance dans l'action perturbatrice ; dans le premier cas , elle augmente comme le nombre de couples alignés : dans le second cas, elle augmente comme la force perturbatrice. Ainsi une pile thermo-électrique de quatre couples, donne au courant une puissance de vaincre les résistances des conducteurs, quatre fois plus grande que celle provenant d'un seul couple ; et une température ou une intensité magnétique double ou quadruple , double ou quadruple cette puissance. Il n'y a pas augmentation dans la quantité électrique , mais les résistances étant augmentées en arrière , il y a moins de neutralisation en retour , et conséquemment plus de neutralisation par le conducteur direct , ce qui produit un phénomène de quantité. § 30 , 31 , 32 , 33.

32. Si le circuit est d'une conductibilité parfaite , c'est-à-dire , s'il ne présente aucune résistance à la propagation électrique ; le courant aura son *maximum*, soit qu'il provienne d'une force perturbatrice faible , soit qu'il provienne d'une force perturbatrice puissante. Cette perfection absolue dans la conductibilité ne peut exister , tous les circuits offrent une résistance qu'on peut atténuer , mais qu'on ne peut jamais faire disparaître totalement. § 30-42 , 46.

33. Lorsqu'il y a résistance dans le conducteur , c'est alors que l'intensité électrique produite par celle de la force perturbatrice , oblige une plus grande portion de l'électricité à traverser le circuit direct et à produire un phénomène de *quantité*. § 15, 33, 35.

34. Lorsqu'on augmente le courant par une plus grande action de la force électro-motrice, si le conducteur reste le même, la résistance de ce dernier croît plus vite que l'*intensité* du courant, parce que les nouvelles quantités qui passent ont à vaincre la résistance naturelle de sa longueur, plus son insuffisance pour des quantités plus considérables. Dans ce cas, il ne peut y avoir *égalité* entre l'augmentation du courant et celle de la cause productrice. Des tables seules peuvent indiquer ce rapport. § 47, 48.

35. En prenant pour unité chaque couple d'une pile thermo-électrique, ou chaque spire d'une hélice induite, il y a analogie entre les effets de ces piles et ceux des molécules troublées dans leur équilibre, mais non transformées en substance nouvelle; il y a neutralisation des deux états électriques entre les molécules voisines et alignées, comme il y a neutralisation de ces électricités entre les couples ou spires voisines. Les molécules extrêmes comme les élémens extrêmes, fournissent seules la quantité électrique qui traverse les conducteurs. § 13, 40-42.

36. Cette analogie n'existe pas lorsque l'action perturbatrice transforme la substance primitive en une substance nouvelle, comme dans l'action chimique; chaque molécule, cessant de faire partie du corps, n'y tenant plus par aucun rapport, produit son phénomène isolé et complet. La quantité dépend alors du nombre des molécules transformées dans un temps donné, et l'intensité ne varierait pas avec un réactif faible ou puissant si sa conductibilité restait la même; mais en considérant l'effet isolé de chaque molécule, l'intensité est moindre avec

un réactif actif qu'avec un réactif faible, puisque, sa conductibilité étant meilleure, elle permet une plus grande neutralisation en retour. Cette diminution dans l'*intensité* individuelle des molécules, est compensée, et bien au-delà, par la difficulté de l'équilibration en retour, que produit l'action vive et générale sur toute la surface du corps électro-positif. § 40-42.

37. Nous avons vu qu'une température double donne une *intensité* double au courant; il n'y a pas réciprocité entre le courant et la température qu'il produit. Ainsi en augmentant le courant comme deux ou une de ses puissances, la température augmente comme trois ou comme une de ses puissances; par exemple, si le courant est 16, quatrième puissance de 2, la température est 81, quatrième puissance de 3. § 53.

---

### *Le Daguerriotype.*

(Analyse de la communication faite à l'Académie par M. Arago.)

Avant d'entrer dans les considérations théoriques et techniques qui doivent le conduire à l'explication du daguerriotype, M. Arago exprime le regret que l'inventeur de cet ingénieux appareil n'ait pas pu se charger lui-même d'en développer toutes les propriétés devant l'Académie. Ce matin encore, ajoute M. Arago, j'ai prié, j'ai supplié l'habile artiste de vouloir bien se rendre à un vœu qui me semblait devoir être partagé par tout le monde; mais un violent mal de gorge, mais la

crainte de ne pas se rendre intelligible sans le secours des planches, mais un peu de timidité ont été des obstacles que je n'ai pas su vaincre. J'espère que l'Académie voudra bien me tenir quelque compte de l'obligation où je me trouve de lui faire, et même sans y être suffisamment préparé, une simple communication verbale sur des sujets si délicats.

Un physicien napolitain, Jean-Baptiste Porta, reconnu, il y a environ deux siècles, que si l'on perce un très petit trou dans le volet de la fenêtre d'une chambre bien close, ou, mieux encore, dans une plaque métallique mince appliquée à ce volet, tous les objets extérieurs dont les rayons peuvent atteindre le trou vont se peindre sur le mur de la chambre qui lui fait face, avec des dimensions réduites ou agrandies suivant les distances; avec des formes et des situations relatives exactes, du moins dans une grande étendue du tableau; avec les couleurs naturelles. Porta découvrit peu de temps après que le trou n'a nullement besoin d'être petit; qu'il peut avoir une largeur quelconque quand on le couvre d'un de ces verres bien polis, qui, à raison de leur forme, ont été appelés des lentilles.

Les images produites par l'intermédiaire du trou ont peu d'intensité. Les autres brillent d'un éclat proportionnel à l'étendue superficielle de la lentille qui les engendre. Les premières ne sont jamais exemptes de confusion. Les images des lentilles, au contraire, quand on les reçoit exactement au foyer, ont des contours d'une grande netteté. Cette netteté est devenue vraiment étonnante depuis l'invention des lentilles achromatiques; depuis qu'aux lentilles simples, composées d'une seule

espèce de verre, et possédant dès lors autant de foyers distincts qu'il y a de couleurs différentes dans la lumière blanche, on a pu substituer des lentilles achromatiques, des lentilles qui réunissent tous les rayons possibles dans un seul foyer ; depuis aussi que la forme périscopique a été adoptée.

Porta fit construire des chambres noires portatives. Chacune d'elles était composée d'un tuyau plus ou moins long, armé d'une lentille. L'écran blanchâtre en papier ou en carton sur lequel les images allaient se peindre occupait le foyer. Le physicien napolitain destinait ses petits appareils aux personnes qui ne savent pas dessiner. Suivant lui, pour obtenir des vues parfaitement exactes des objets les plus compliqués, il devait suffire de suivre avec la pointe d'un crayon les contours de l'image focale.

Ces prévisions de Porta ne se sont pas complètement réalisées. Les peintres, les dessinateurs, ceux particulièrement qui exécutent les vastes toiles des panoramas et des dioramas, ont bien encore quelquefois recours à la chambre noire, mais c'est seulement pour tracer en masse les contours des objets, pour les placer dans les vrais rapports de grandeur et de position, pour se conformer à toutes les exigences de la perspective linéaire.

Quant aux effets dépendans de l'imparfaite diaphanéité de notre atmosphère, qu'on a caractérisés par le terme assez impropre de perspective aérienne, les peintres exercés eux-mêmes n'espéraient pas que, pour les produire avec exactitude, la chambre obscure pût leur être d'aucun secours. Aussi n'y a-t-il personne qui, après avoir remarqué la netteté de contours, la vérité de

formes et de couleur, la dégradation exacte de teintes qu'offrent les images engendrées par cet instrument, n'ait vivement regretté qu'elles ne se conservassent pas d'elles-mêmes, n'ait appelé de ses vœux la découverte de quelque moyen de les fixer sur l'écran focal. Aux yeux de tous, il faut également le dire, c'était là un rêve destiné à prendre place parmi les conceptions extravagantes d'un Wilkins ou d'un Cyrano de Bergerac. Le rêve cependant vient de se réaliser. Prenons l'invention dans son germe et marquons-en soigneusement les progrès.

Les alchimistes réussirent jadis à unir l'argent à l'acide marin. Le produit de la combinaison était un sel blanc qu'ils appelèrent *lune* ou *argent corné* (1). Ce sel jouit de la propriété remarquable de noircir à la lumière, de noircir d'autant plus vite que les rayons qui le frappent sont plus vifs. Couvrez une feuille de papier d'une couche d'argent corné ou, comme on dit aujourd'hui, d'une couche de chlorure d'argent; formez sur cette couche, à l'aide d'une lentille, l'image d'un objet; les parties obscures de l'image, les parties sur lesquelles ne frappe aucune lumière resteront blanches; les parties fortement éclairées deviendront complètement noires;

(1) Dans l'ouvrage de Fabricius (*De Rebus metallicis*), imprimé en 1566, il est déjà longuement question d'une sorte de mine d'argent qu'on appelait argent corné, ayant la couleur et la transparence de la corne, la fusibilité et la mollesse de la cire. Cette substance, exposée à la lumière, passait du gris jaunâtre au violet, et, par une action plus long-temps prolongée, presque au noir. C'était l'argent corné naturel.

les demi-teintes seront représentées par des gris plus ou moins foncés.

Placez une gravure sur du papier enduit de chlorure d'argent, et exposez le tout à la lumière solaire, la gravure en dessus. Les tailles remplies de noir arrêteront les rayons ; les parties de l'enduit que ces tailles touchent et recouvrent conserveront leur blancheur primitive. Dans les régions correspondantes, au contraire, à celles de la planche où l'eau-forte, le burin n'ont pas agi ; là où le papier a conservé sa demi-diaphanéité, la lumière solaire passera et ira noircir la couche saline. Le résultat nécessaire de l'opération sera donc une image semblable à la gravure par la forme, mais inverse quant aux teintes : le blanc s'y trouvera reproduit en noir, et réciproquement.

Ces applications de la si curieuse propriété du chlorure d'argent découverte par les anciens alchimistes, sembleraient devoir s'être présentées d'elles-mêmes et de bonne heure ; mais ce n'est pas ainsi que procède l'esprit humain. Il nous faudra descendre jusqu'aux premières années du dix-neuvième siècle pour trouver les premières traces de l'art photographique.

Alors Charles, notre compatriote, se servira dans ses cours d'un papier enduit pour engendrer des silhouettes à l'aide de l'action lumineuse. Charles est mort sans décrire la préparation dont il faisait usage ; et comme, sous peine de tomber dans la plus inextricable confusion, l'historien des sciences ne doit s'appuyer que sur des documens imprimés, authentiques, il est de toute justice de faire remonter les premiers linéamens du nouvel art à un mémoire de Wedgwood, ce fabricant si célèbre dans le

monde industriel par le perfectionnement des poteries et par l'invention d'un pyromètre destiné à mesurer les plus hautes températures.

Le mémoire de Wedgwood parut en 1802, dans le numéro de juin du journal *of the royal Institution of Great Britain*. L'auteur veut, soit à l'aide de peaux, soit avec des papiers enduits de chlorure ou de nitrate d'argent, copier les peintures des vitraux des églises, copier des gravures. « Les images de la chambre obscure  
« (nous rapportons fidèlement un passage du mémoire),  
« il les trouve trop faibles pour produire, dans un  
« temps modéré, de l'effet sur du nitrate d'argent. »  
(*The images formed by means of a camera obscura, have been found to be too faint to produce, in any moderate time, an effect upon the nitrate of silver.*)

Le commentateur de Wedgwood, l'illustre Humphry Davy, ne contredit pas l'assertion relative aux images de la chambre obscure. Il ajoute seulement, quant à lui, qu'il est parvenu à copier de très petits objets au microscope solaire, mais seulement à une courte distance de la lentille.

Au reste, ni Wedgwood, ni sir Humphry Davy ne trouvèrent le moyen, l'opération une fois terminée, d'enlever à leur enduit (qu'on nous passe l'expression), d'enlever à la toile de leurs tableaux la propriété de se noircir à la lumière. Il en résultait que les copies qu'ils avaient obtenues ne pouvaient être examinées au grand jour; car au grand jour, tout, en très peu de temps, y serait devenu d'un noir uniforme. Qu'était-ce, en vérité, qu'engendrer des images sur lesquelles on ne pouvait jeter un coup d'œil qu'à la dérobée, et même seulement

à la lumière d'une lampe ; qui disparaissaient en peu d'instans si on les examinait au jour ?

Après les essais imparfaits, insignifiants dont nous venons de donner l'analyse, nous arriverons, sans rencontrer sur notre route aucun intermédiaire, aux recherches de MM. Niépce et Daguerre.

Feu M. Niépce était un propriétaire retiré dans les environs de Châlons-sur-Saône. Il consacrait ses loisirs à des recherches scientifiques. Une d'elles, concernant certaine machine où la force élastique de l'air brusquement chauffé devait remplacer l'action de la vapeur, subit, avec assez de succès, une épreuve fort délicate : l'examen de l'Académie des Sciences. Les recherches photographiques de M. Niépce paraissent remonter jusqu'à l'année 1814. Ses premières relations avec M. Daguerre sont du mois de janvier 1826. L'indiscrétion d'un opticien de Paris lui apprit alors que M. Daguerre était occupé d'expériences ayant aussi pour but de fixer les images de la chambre obscure. Ces faits sont consignés dans des lettres que nous avons eues sous les yeux. En cas de contestation, la date certaine des premiers travaux photographiques de M. Daguerre serait donc l'année 1826.

M. Niépce se rendit en Angleterre en 1827. Dans le mois de décembre de cette même année, il présenta un mémoire sur ses travaux photographiques à la Société royale de Londres. Le mémoire était accompagné de plusieurs échantillons sur métal, produit des méthodes déjà découvertes alors par notre compatriote. A l'occasion d'une réclamation de priorité, ces échantillons, encore en bon état, sont loyalement sortis naguère des col-

lections des divers savans anglais. Ils prouvent sans réplique que *pour la copie photographique des gravures*, que pour la formation à l'usage des graveurs des planches à l'état d'ébauches avancées, M. Niépce connaissait en 1827 le moyen de faire correspondre les ombres aux ombres, les demi-teintes aux demi-teintes, les clairs aux clairs ; qu'il savait de plus, ces copies une fois engendrées, les rendre insensibles à l'action ultérieure et noircissante des rayons solaires. En d'autres termes, par le choix de ses enduits, l'ingénieux expérimentateur de Châlons résolut, dès 1827, un problème qui avait défié la haute sagacité d'un Wedgwood, d'un Humphry Davy.

L'acte d'association (enregistré) de MM. Niépce et Daguerre pour l'exploitation en commun des méthodes photographiques est du 14 décembre 1829. Les actes postérieurs, passés entre M. Isidore Niépce fils, comme héritier de son père, et M. Daguerre font mention, premièrement de perfectionnemens apportés par le peintre de Paris aux méthodes du physicien de Châlons ; en second lieu de procédés entièrement neufs découverts par M. Daguerre, et doués de l'avantage (ce sont les propres expressions d'un des actes) « de reproduire les images « avec soixante ou quatre-vingts fois plus de promptitude » que les procédés anciens.

Dans ce que nous disions tout-à-l'heure des travaux de M. Niépce, on aura sans doute remarqué ces mots restrictifs : *pour la copie photographique des gravures*. C'est qu'en effet, après une multitude d'essais infructueux, M. Niépce avait, lui aussi, renoncé à reproduire les images formées dans la chambre obscure ; c'est que les préparations dont il faisait usage ne se modifiaient

pas assez vite sous l'action lumineuse ; c'est qu'il lui fallait dix à douze heures pour engendrer un dessin ; c'est que pendant de si longs intervalles de temps , les ombres portées se déplaçaient beaucoup ; c'est qu'elles passaient de la gauche à la droite des objets ; c'est que ce mouvement , partout où il s'opérait , donnait naissance à des teintes plates uniformes ; c'est que dans les produits d'une méthode aussi défectueuse , tous les effets résultant des contrastes d'ombre et de lumière étaient perdus ; c'est que malgré ces immenses inconvéniens on n'était pas même toujours sûr de réussir ; c'est qu'après des précautions infinies , des causes insaisissables , fortuites , faisaient qu'on avait tantôt un résultat passable , tantôt une image incomplète ou qui laissait çà et là de larges lacunes ; c'est enfin qu'exposés aux rayons solaires les enduits sur lesquels les images se dessinaient , s'ils ne noircissaient pas , se divisaient , se séparaient par petites écailles (1).

---

(1) Voici une indication abrégée du procédé de M. Niépce et des perfectionnemens que M. Daguerre y apporta :

M. Niépce faisait dissoudre du bitume sec de Judée dans de l'huile de lavande. Le résultat de cette évaporation était un vernis épais que le physicien de Châlons appliquait par tamponnement sur une lame métallique polie , par exemple sur du cuivre plaqué ou recouvert d'une lame d'argent.

La plaque , après avoir été soumise à une douce chaleur , restait couverte d'une couche adhérente et blanchâtre : c'était le bitume en poudre.

La planche ainsi recouverte était placée au foyer de la chambre noire. Au bout d'un certain temps , on apercevait sur la poudre de faibles linéamens de l'image. M. Niépce eut la pensée ingénieuse que ces traits , peu perceptibles , pourraient être renforcés. En effet , en

En prenant la contre-partie de toutes ces imperfections , on aurait une énumération à peu près complète des mérites de la méthode que M. Daguerre a décou-

---

plongeant sa plaque dans un mélange d'huile de lavande et de pétrole , il reconnut que les régions de l'enduit qui avaient été exposées à la lumière restaient presque intactes, tandis que les autres se dissolvaient rapidement et laissaient ensuite le métal à nu. Après avoir lavé la plaque avec de l'eau , on avait donc l'image formée dans la chambre noire , les clairs correspondaient aux clairs et les ombres aux ombres. Les clairs étaient formés par la lumière diffuse provenant de la matière blanchâtre et non polie du bitume ; les ombres , par les parties polies et dénudées du miroir : à la condition , bien entendu , que ces parties se miraient dans des objets sombres ; à la condition qu'on les plaçait dans une telle condition qu'elles ne pussent pas envoyer spéculairement vers l'œil quelque lumière un peu vive. Les demi-teintes , quand elles existaient , pouvaient résulter de la partie du vernis qu'une pénétration partielle du dissolvant avait rendue moins mate que les régions restées intactes.

Le bitume de Judée réduit en poudre impalpable , n'a pas une teinte blanche bien prononcée. On serait plus près de la vérité en disant qu'il est gris. Le contraste entre les clairs et l'ombre , dans les dessins de M. Niépce , était donc très peu marqué. Pour ajouter à l'effet , l'auteur avait songé à noircir , après coup , les parties nues du métal , à les faire attaquer soit par le sulfure de potasse , soit par l'iode ; mais il paraît n'avoir pas songé que cette dernière substance exposée à la lumière du jour aurait éprouvé des changemens continuels. En tout cas , on voit que M. Niépce ne prétendait pas se servir d'iode comme substance sensitive ; qu'il ne voulait l'appliquer qu'à titre de substance noircissante , et seulement après la formation de l'image dans la chambre noire ; après le renforcement ou , si on l'aime mieux , après le dégagement de cette image par l'action du dissolvant. Dans une pareille opération que seraient devenues les demi-teintes ?

An nombre des principaux inconvéniens de la méthode de M. Niépce , il faut ranger cette circonstance qu'un dissolvant trop fort enlevait quelquefois le vernis par places , à peu près en totalité , et

verte à la suite d'un nombre immense d'essais minutieux, pénibles, dispendieux.

Les plus faibles rayons modifient la substance du da-

---

qu'un dissolvant trop faible ne dégagait pas suffisamment l'image. La réussite n'était jamais assurée.

M. Daguerre imagina une méthode qu'on appela la méthode Niépce perfectionnée. Il substitua d'abord le résidu de la distillation de l'huile de lavande au bitume, à cause de sa plus grande blancheur et de sa plus grande sensibilité. Ce résidu était dissous dans l'alcool ou dans l'éther. Le liquide déposé ensuite en une couche très mince et horizontale sur le métal y laissait en s'évaporant un enduit pulvérulent uniforme, résultat qu'on n'obtenait pas par tamponnement.

Après l'exposition de la plaque ainsi préparée au foyer de la chambre noire, M. Daguerre la plaçait horizontalement et à distance au-dessus d'un vase contenant une huile essentielle légèrement chauffée. Dans cette opération, renfermée entre des limites convenables et qu'un simple coup d'œil, au reste, permettait d'apprécier,

La vapeur provenant de l'huile laissait intactes les particules de l'enduit pulvérulent qui avaient reçu l'action d'une vive lumière.

Elle pénétrait partiellement, et plus ou moins, les régions du même enduit qui, dans la chambre noire, correspondaient aux demi-teintes.

Les parties restées dans l'ombre étaient, elles, pénétrées entièrement.

Ici le métal ne se montrait à nu dans aucune des parties du dessin ; ici les clairs étaient formés par une agglomération d'une multitude de particules blanches et très mates ; les demi-teintes par des particules également condensées, mais dont la vapeur avait plus ou moins affaibli la blancheur et le mat ; les ombres par des particules toujours en même nombre et devenues entièrement diaphanes.

Plus d'éclat, une plus grande variété de tons, plus de régularité, la certitude de réussir dans la manipulation, de ne jamais emporter aucune portion de l'image, tels étaient les avantages de la méthode modifiée de M. Daguerre sur celle de M. Niépce ; malheureusement le résidu de l'huile de lavande, quoique plus sensible à l'action de la lumière que le bitume de Judée, est encore assez paresseux pour

guerréotype. L'effet se produit avant que les ombres solaires aient eu le temps de se déplacer d'une manière appréciable. Les résultats sont certains si on se conforme

---

que les dessins ne commencent à y poindre qu'après un temps fort long.

Le genre de modification que le résidu de l'huile de lavande reçoit par l'action de la lumière et à la suite duquel les vapeurs des huiles essentielles pénètrent cette matière plus ou moins difficilement, nous est encore inconnu. Peut-être doit-on le regarder comme un simple dessèchement de particules; peut-être ne faut-il y voir qu'un nouvel arrangement moléculaire. Cette double hypothèse expliquerait comment la modification s'affaiblit graduellement et disparaît à la longue, même dans la plus profonde obscurité.

#### LE DAGUERRÉOTYPE.

Dans le procédé auquel le public reconnaissant a donné le nom de daguerréotype, l'enduit de la lame de plaqué, la toile du tableau qui reçoit les images est une couche jaune d'or dont la lame se recouvre lorsqu'on la place horizontalement, pendant un certain temps et l'argent en dessous, dans une boîte au fond de laquelle il y a quelques parcelles d'iode abandonnées à l'évaporation spontanée.

Quand cette plaque sort de la chambre obscure, on n'y voit absolument aucun trait. La couche jaunâtre d'iodure d'argent qui a reçu l'image paraît encore d'une nuance parfaitement uniforme dans toute son étendue.

Toutefois, si la plaque est exposée dans une seconde boîte au courant ascendant de vapeur mercurielle qui s'élève d'une capsule où le liquide est monté, par l'action d'une lampe à esprit de vin, à 75° c., cette vapeur produit aussitôt le plus curieux effet. Elle s'attache en abondance aux parties de la surface de la plaque qu'une vive lumière a frappées; elle laisse intactes les régions restées dans l'ombre; enfin elle se précipite sur les espaces qu'occupaient les demi-teintes, en plus ou moins grandes quantités, suivant que par leur intensité ces demi-teintes se rapprochaient plus ou moins des parties claires ou des parties noires. En s'aidant de la faible lumière d'une chandelle,

à des prescriptions très simples. Enfin les images une fois produites, l'action des rayons du soleil continuée pendant des années n'en altère ni la pureté, ni l'éclat, ni l'harmonie.

---

**L'opérateur peut suivre pas à pas la formation graduelle de l'image ; peut voir la vapeur mercurielle, comme un pinceau de la plus extrême délicatesse, aller marquer du ton convenable chaque partie de la plaque.**

L'image de la chambre noire ainsi reproduite, on doit empêcher que la lumière du jour ne l'altère. M. Daguerre arrive à ce résultat en agitant la plaque dans de l'hyposulfite de soude et en la lavant ensuite avec de l'eau distillée chaude.

D'après M. Daguerre, l'image se forme mieux sur une lame de plaqué (sur une lame d'argent superposée à une lame de cuivre) que sur une lame d'argent isolée. Ce fait, en le supposant bien établi, semblerait prouver que l'électricité joue un rôle dans ces curieux phénomènes.

La lame de plaqué doit être d'abord poncée et décapée ensuite avec l'acide nitrique étendu d'eau. L'influence si utile que joue ici l'acide pourrait bien tenir, comme le pense M. Pelouze, à ce que l'acide enlève à la surface de l'argent les dernières molécules de cuivre.

Quoique l'épaisseur de la couche jaune d'iode, d'après diverses pesées de M. Dumas, ne semble pas devoir s'élever à un millionième de millimètre, il importe pour la parfaite dégradation des ombres et des lumières que cette épaisseur soit exactement la même partout. M. Daguerre empêche qu'il se dépose plus d'iode aux bords qu'au centre en mettant autour de sa plaque une languette du même métal, large d'un doigt, et qu'on fixe avec des clous sur la tablette en bois qui porte le tout. On ne sait pas encore expliquer d'une manière satisfaisante le mode physique d'action de cette languette.

Voici une circonstance non moins mystérieuse : si l'on veut que l'image produise le maximum d'effet dans la position ordinaire des tableaux (dans la position verticale), il sera nécessaire que la plaque se présente sous l'inclinaison de 45° au courant ascendant vertical de la vapeur mercurielle. Si la plaque était horizontale au moment de la

A l'inspection de plusieurs des tableaux qui ont passé sous vos yeux, chacun songera à l'immense parti qu'on aurait tiré pendant l'expédition d'Égypte d'un moyen de reproduction si exact et si prompt ; chacun sera frappé de cette réflexion que si la photographie avait été connue en 1798, nous aurions aujourd'hui des images fidèles d'un bon nombre de tableaux emblématiques dont la cupidité des Arabes et le vandalisme de certains voyageurs ont privé le monde savant.

précipitation du mercure, au moment de la naissance de l'image, ce serait sous l'angle de  $45^\circ$  qu'il faudrait la regarder pour trouver le maximum d'effet.

Quand on cherche à expliquer le singulier procédé de M. Daguerre, il se présente immédiatement à l'esprit l'idée que la lumière, dans la chambre obscure, détermine la vaporisation de l'iode partout où elle frappe la couche dorée ; que là le métal est mis à nu ; que la vapeur mercurielle agit librement sur ces parties dénudées, pendant la seconde opération, et y produit un amalgame blanc et mat ; que le lavage avec l'hyposulfite a pour but, chimiquement, l'enlèvement des parties d'iode dont la lumière n'a pas produit le dégagement ; artistiquement, la mise à nu des parties miroitantes qui doivent faire les noirs.

Mais dans cette théorie, que seraient ces demi-teintes sans nombre et si merveilleusement dégradées qu'offrent les dessins de M. Daguerre ? Un seul fait prouvera d'ailleurs que les choses ne sont pas aussi simples :

La lame de plaqué n'augmente pas de poids d'une manière appréciable en se couvrant de la couche d'iode jaune d'or. L'augmentation au contraire est très sensible sous l'action de la vapeur mercurielle ; eh bien ! M. Pelouze s'est assuré qu'après le lavage dans l'hyposulfite, la plaque, malgré la présence d'un peu d'amalgame à la surface, pèse moins qu'avant de commencer l'opération. L'hyposulfite enlève donc de l'argent. L'examen chimique du liquide montre qu'il en est réellement ainsi.

Pour rendre compte des effets de lumière que les dessins de M. Da-

Pour copier les millions et millions d'hiéroglyphes qui couvrent, même à l'extérieur, les grands monumens de Thèbes, de Memphis, de Karnak, etc., il faudrait des vingtaines d'années et des légions de dessinateurs. Avec le daguerréotype, un seul homme pourrait mener à bonne fin cet immense travail. Munissez l'Institut d'Égypte de deux ou trois appareils de M. Daguerre, et sur plusieurs des grandes planches de l'ouvrage célèbre, fruit de notre immortelle expédition, de vastes étendues d'hiéroglyphes réels iront remplacer des hiéroglyphes fictifs ou de pure convention, et les dessins surpasseront partout en fidélité, en couleur locale, les œuvres des plus habiles peintres; et les images photographiques étant soumises dans leur formation aux règles de la géométrie, permettront, à l'aide d'un petit nombre de don-

---

guerre présentent, il semblait suffisant d'admettre que la lame d'argent se couvrait pendant l'action de la vapeur mercurielle de sphérules d'amalgame; que ces sphérules, très rapprochées dans les clairs, diminuaient graduellement en nombre dans les demi-teintes, jusqu'aux noirs où il ne devait y en avoir aucune.

La conjecture du physicien a été vérifiée. M. Dumas a reconnu au microscope que les clairs et les demi-teintes sont réellement formés par des sphérules dont le diamètre lui a paru, ainsi qu'à M. Adolphe Brongniart, être très régulièrement d'un huit-centième de millimètre. Mais alors pourquoi la nécessité d'une inclinaison de la plaque de 45° au moment de la précipitation de la vapeur mercurielle. Cette inclinaison, en la supposant indispensable avec M. Daguerre, ne semblait-elle pas indiquer l'intervention d'aiguilles ou de filets cristallins qui se prenaient, qui se solidifiaient, qui se groupaient toujours verticalement dans un liquide parfait ou dans un demi-liquide, et avaient ainsi, relativement à la plaque, une position dépendante de l'inclinaison qu'on avait donnée à ce

On fera peut-être des milliers de beaux dessins avec le daguerréotype avant que son mode d'action ait été bien complètement analysé,

nées, de remonter aux dimensions exactes des parties les plus élevées, les plus inaccessibles des édifices.

Ces souvenirs où les savans, où les artistes si zélés et si célèbres attachés à l'armée d'Orient ne pourraient, sans se méprendre étrangement, trouver l'ombre d'un blâme, reporteront sans doute les pensées vers les travaux qui s'exécutent aujourd'hui dans notre propre pays, sous le contrôle de la Commission des Monumens historiques. D'un coup d'œil, chacun apercevra alors l'immense rôle que les procédés photographiques sont destinés à jouer dans une grande entreprise nationale; chacun comprendra aussi que les nouveaux procédés se distingueront par l'économie, genre de mérite qui, pour le dire en passant, marche rarement dans les arts avec la perfection des produits.

Se demande-t-on enfin si l'art envisagé en lui-même doit attendre quelques progrès de l'examen, de l'étude de ces images dessinées par ce que la nature offre de plus subtil, de plus délié : par des rayons lumineux ? M. Paul Delaroche va nous répondre.

Dans une note rédigée à notre prière, ce peintre célèbre déclare que les procédés de M. Daguerre « portent « si loin la perfection de certaines conditions de l'art, « qu'ils deviendront pour les peintres, même les plus « habiles, un sujet d'observations et d'études. » Ce qui le frappe dans les dessins photographiques, c'est que « le « fini d'un précieux inimaginable ne trouble en rien la « tranquillité des masses, ne nuit en aucune manière à « l'effet général. » « La correction des lignes, dit ail- « leurs M. Delaroche, la précision des formes est aussi « complète que possible dans les dessins de M. Daguerre,

« et l'on y reconnaît en même temps un modelé large, « énergique, et un ensemble aussi riche de ton que « d'effet. . . . Le peintre trouvera dans ce procédé un « moyen prompt de faire des collections d'études qu'il « ne pourrait obtenir autrement qu'avec beaucoup de « temps, de peine, et d'une manière bien moins parfaite, quel que fut d'ailleurs son talent. » Après avoir combattu par d'excellens argumens les opinions de ceux qui se sont imaginé que la photographie nuirait à nos artistes et surtout à nos habiles graveurs, M. Delaroche termine sa note par cette réflexion : « En résumé, l'admirable découverte de M. Daguerre est un immense « service rendu aux arts. »

Nous ne commettrons pas la faute de rien ajouter à un pareil témoignage.

Parmi les questions que nous nous sommes posées, figure nécessairement celles de savoir si les méthodes photographiques pourront devenir usuelles.

Sans divulguer ce qui est, ce qui doit demeurer secret jusqu'à la promulgation de la loi, nous pouvons dire que les tableaux sur lesquels la lumière engendre les admirables dessins de M. Daguerre sont des tables de plaqué, c'est-à-dire des planches de cuivre recouvertes sur une de leurs faces d'une mince feuille d'argent. Il eût été sans doute préférable pour la commodité des voyageurs, et aussi sous le point de vue économique, qu'on pût se servir de papier. Le papier imprégné de chlorure ou de nitrate d'argent fut en effet la première substance dont M. Daguerre fit choix ; mais le papier manque de sensibilité, la confusion des images, le peu de certitude des résultats, les accidens qui résultaient souvent de

l'opération destinée à transformer les clairs en noirs et les noirs en clairs, ne pouvaient manquer de décourager un si habile artiste. S'il eût persisté dans cette première voie, ses dessins photographiques figureraient peut-être dans les collections à titre de produits d'une expérience de physique curieuse; mais assurément les Chambres n'auraient pas eu à s'en occuper. Au reste, si trois ou quatre francs, prix de chacune des plaques dont M. Daguerre fait usage, paraissent un prix élevé, il est juste de dire que la même planche peut recevoir successivement cent dessins différens.

Le succès inouï de la méthode actuelle de M. Daguerre tient en partie à ce qu'il opère sur une couche de matière d'une minceur extrême, sur une véritable pellicule. Nous n'avons donc pas à nous occuper du prix des ingrédiens qui la composent. Ce prix, par sa petitesse, ne serait vraiment pas assignable.

Le daguerréotype ne comporte pas une seule manipulation qui ne soit à la portée de tout le monde. Il ne suppose aucune connaissance de dessin; il n'exige aucune dextérité manuelle. En se conformant de point en point à certaines prescriptions très simples et très peu nombreuses, il n'est personne qui ne doive réussir aussi certainement et aussi bien que M. Daguerre lui-même.

La promptitude de la méthode est peut-être ce qui a le plus étonné le public. En effet, dix à douze minutes sont à peine nécessaires dans les temps sombres de l'hiver pour prendre la vue d'un monument, d'un quartier de ville, d'un site.

En été, par un beau soleil, ce temps peut être réduit de moitié. Dans les climats du Midi, deux à trois mi-

minutes suffiront certainement. Mais, il importe de le remarquer, ces dix à douze minutes d'hiver, ces cinq à six minutes d'été, ces deux à trois minutes des régions méridionales, expriment seulement le temps pendant lequel la lame de plaqué a besoin de recevoir l'image lenticulaire. A cela, il faut ajouter le temps du déballage et de l'arrangement de la chambre noire, le temps de la préparation de la plaque, le temps que dure la petite opération destinée à rendre le tableau une fois créé insensible à l'action lumineuse. Toutes ces opérations réunies pourront s'élever à trente minutes ou à trois quarts d'heure. Ils se faisaient donc illusion ceux qui naguère, au moment d'entreprendre un voyage, déclaraient vouloir profiter de tous les momens où la diligence gravirait lentement des montées pour prendre des vues du pays. On ne s'est pas moins trompé lorsque, frappé des curieux résultats obtenus par des reports de pages, de gravures des plus anciens ouvrages, on a rêvé la reproduction, la multiplication des dessins photographiques par des reports lithographiques. Ce n'est pas seulement dans le monde moral qu'on a les défauts de ses qualités ; la maxime trouve souvent son application dans les arts. C'est au poli parfait, à l'incalculable minceur de la couche sur laquelle M. Daguerre opère, que sont dus le fini, le velouté, l'harmonie des dessins photographiques. En frottant, en tamponnant de pareils dessins, en les soumettant à l'action de la presse ou du rouleau, on les détruirait sans retour. Aussi personne imagina-t-il jamais de tirer fortement un ruban de dentelles ou de broser les ailes d'un papillon (1) ?

---

(1) La nécessité de préserver de tout contact les dessins obtenus

L'académicien qui connaissait déjà depuis quelques mois les préparations sur lesquelles naissent de si beaux dessins, n'a pas cru devoir tirer encore parti du secret qu'il tenait de l'honorable confiance de M. Daguerre. Il a pensé qu'avant d'entrer dans la large carrière de recherches que les procédés photographiques viennent d'ouvrir aux physiciens, il était de sa délicatesse d'attendre qu'une rémunération nationale eût mis les mêmes moyens d'investigation aux mains de tous les observateurs. Nous ne pourrons donc guère, en parlant de l'utilité scientifique de l'invention de notre compatriote, procéder que par voie de conjectures. Les faits, au reste, sont clairs, palpables, et nous avons peu à craindre que l'avenir nous démente.

La préparation sur laquelle M. Daguerre opère est un réactif beaucoup plus sensible à l'action de la lumière

à l'aide du daguerréotype, m'avait paru devoir être un obstacle sérieux à la propagation de la méthode. Aussi, pendant la discussion des Chambres, demandais-je à cor et à cris d'essayer quels seraient sur ces dessins les effets d'un vernis. M. Daguerre étant peu enclin à rien adopter qui nuise, même légèrement, aux propriétés artistiques de ses productions, j'ai adressé ma prière à M. Dumas. Ce célèbre chimiste a trouvé que les dessins provenant du daguerréotype peuvent être vernis. Il suffit de verser sur la plaque métallique une dissolution bouillante d'une partie de dextrine dans cinq parties d'eau. Si l'on trouve que ce vernis n'agit pas à la longue sur les composés mercuriels dont l'image est formée, un important problème sera résolu. Le vernis en effet disparaissant quand on plonge la plaque au milieu d'une masse d'eau bouillante, on sera toujours le maître de replacer toutes choses comme M. Daguerre le veut, et d'autre part, pendant un voyage on n'aura pas couru le risque de gâter ses collections. M. Dumas n'a pas trouvé au reste que son vernis nuisît sensiblement à l'harmonie des images.

que tous ceux dont on s'était servi jusqu'ici. Jamais les rayons de la lune, nous ne disons pas à l'état naturel, mais condensés au foyer de la plus grande lentille, au foyer du plus large miroir réfléchissant, n'avaient produit d'effet physique perceptible. Les lames de plaqué préparées par M. Daguerre, blanchissent au contraire à tel point sous l'action de ces mêmes rayons et des opérations qui lui succèdent, qu'il est permis d'espérer qu'on pourra faire des cartes photographiques de notre satellite. C'est dire qu'en quelques minutes on exécutera un des travaux les plus longs, les plus minutieux, les plus délicats de l'astronomie.

Une branche importante des sciences d'observation et de calcul, celle qui traite de l'intensité de la lumière, la photométrie, a fait jusqu'ici peu de progrès. Le physicien arrive assez bien à déterminer les intensités comparatives de deux lumières voisines l'une de l'autre et qu'il aperçoit simultanément; mais on n'a que des moyens imparfaits d'effectuer cette comparaison quand la condition de simultanéité n'existe pas; quand il faut opérer sur une lumière visible à présent et une lumière qui ne sera visible qu'après et lorsque la première aura disparu.

Les lumières artificielles de comparaison auxquelles, dans le cas dont nous venons de parler, l'observateur est réduit à avoir recours sont rarement douées de la permanence, de la fixité désirables; rarement, et surtout quand il s'agit des astres, nos lumières artificielles ont la blancheur nécessaire. C'est pour cela qu'il y a de fort grandes différences entre les déterminations des intensités comparatives du soleil et de la lune, du soleil et des étoiles, données par des savans également habiles;

c'est pour cela que les conséquences sublimes qui résultent de ces dernières comparaisons, relativement à l'humble place que notre soleil doit occuper parmi les milliards de soleils dont le firmament est parsemé, sont encore entourées d'une certaine réserve, même dans les ouvrages des auteurs les moins timides.

N'hésitons pas à le dire, les réactifs découverts par M. Daguerre hâteront les progrès d'une des sciences qui honorent le plus l'esprit humain. Avec leur secours, le physicien pourra procéder désormais par voie d'intensités absolues : il comparera les lumières par leurs effets. S'il y trouve de l'utilité, le même tableau lui donnera des empreintes des rayons éblouissans du soleil, des rayons trois cent mille fois plus faibles de la lune, des rayons des étoiles. Ces empreintes, il les égalisera soit en affaiblissant les plus fortes lumières à l'aide de moyens excellens, résultat des découvertes récentes, mais dont l'indication serait ici déplacée, soit en ne laissant agir les rayons les plus brillans que pendant une seconde par exemple, et continuant au besoin l'action des autres jusqu'à une demi-heure. Au reste, quand des observateurs appliquent un nouvel instrument à l'étude de la nature, ce qu'ils en ont espéré est toujours peu de chose relativement à la succession de découvertes dont l'instrument devient l'origine. En ce genre c'est sur l'imprévu qu'on doit particulièrement compter (1). Cette

---

(1) Voici une application dont le daguerréotype sera susceptible et qui me semble très digne d'intérêt :

L'observation a montré que le spectre solaire n'est pas continu, qu'il y existe des solutions de continuité transversales, des raies en-

pensée semble-t-elle paradoxale? Quelques citations en montreront la justesse.

Des enfans attachent fortuitement deux verres lenticulaires de différens foyers aux deux bouts d'un tube. Ils créent ainsi un instrument qui grossit les objets éloignés, qui les représente comme s'ils s'étaient rapprochés. Les observateurs s'en emparent avec la seule, avec la modeste espérance de voir un peu mieux les astres, connus de toute antiquité, mais qu'on n'avait pu étudier jusque là que d'une manière imparfaite. A peine cependant est-il tourné vers le firmament qu'on découvre des myriades de nouveaux mondes; que pénétrant dans la constitution des six planètes des anciens, on la trouve analogue à celle de notre terre, par des montagnes dont on mesure les hauteurs, par des atmosphères dont on suit les bouleversemens, par des phénomènes de formation et de fusion de glaces polaires, analogues à ceux des pôles terrestres; par des mouvemens rotatifs semblables à celui qui produit ici-bas l'intermittence des jours et des nuits. Dirigé sur Saturne, le tube des enfans du lunetier de Mitlebourg y dessine un phénomène dont

---

tièrement noires. Y a-t-il des solutions de continuité pareilles dans les rayons obscurs qui paraissent produire les effets photogéniques? S'il y en a, correspondent-elles aux raies noires du spectre lumineux?

Puisque plusieurs des raies transversales du spectre sont visibles à l'œil nu, ou quand elles se peignent sur la rétine sans amplification aucune, le problème que je viens de poser sera aisément résolu. On fera une sorte d'œil artificiel en plaçant une lentille entre le prisme et l'écran où tombera le spectre, et l'on cherchera ensuite, fût-ce même à l'aide d'une loupe, la place des raies noires de l'image photogénique par rapport aux raies noires du spectre lumineux.

l'étrangeté dépasse tout ce que les imaginations les plus ardentes avaient pu rêver. Nous voulons parler de cet anneau, ou, si on l'aime mieux, de ce pont sans piles, de 71000 lieues de diamètre, de 11000 lieues de largeur, qui entoure de tous côtés le globe de la planète, sans en approcher nulle part à moins de 9000 lieues. Quelqu'un avait-il prévu qu'appliquée à l'observation des quatre lunes de Jupiter, la lunette y ferait voir que les rayons lumineux se meuvent avec une vitesse de 80000 lieues à la seconde; qu'attachée aux instrumens gradués, elle servirait à *démontrer* qu'il n'existe point d'étoiles dont la lumière nous parvienne en moins de trois ans; qu'en suivant enfin, avec son secours, certaines observations, certaines analogies, on irait jusqu'à conclure avec une immense probabilité que le rayon par lequel, dans un instant donné, nous apercevons certaines nébuleuses, en était parti depuis plusieurs millions d'années; en d'autres termes, que ces nébuleuses, à cause de la propagation successive de la lumière, seraient visibles de la terre plusieurs millions d'années après leur anéantissement complet.

La lunette des objets voisins, *le microscope*, donnerait lieu à des remarques analogues, car la nature n'est pas moins admirable, n'est pas moins variée dans sa petitesse que dans son immensité. Appliqué d'abord à l'observation de quelques insectes dont les naturalistes désiraient seulement amplifier la forme afin de la mieux reproduire par la gravure, le microscope a dévoilé ensuite et inopinément dans l'air, dans l'eau, dans tous les liquides, ces animalcules, ces infusoires, ces étranges reproductions où l'on peut espérer de trouver un jour

les premiers linéamens d'une explication rationnelle des phénomènes de la vie. Dirigé récemment sur des fragmens menus de diverses pierres comprises parmi les plus dures, les plus compactes dont l'écorce de notre globe se compose, le microscope a montré aux yeux étonnés des observateurs que ces pierres ont vécu, qu'elles sont une pâte formée de milliards de milliards d'animalcules microscopiques soudés entre eux.

On se rappellera que cette digression était destinée à détromper les personnes qui voudraient à tort renfermer les applications scientifiques des procédés de M. Daguerre dans le cadre actuellement prévu dont nous avons tracé le contour; eh bien! les faits justifient déjà nos espérances. Nous pourrions, par exemple, parler de quelques idées qu'on a eues sur les moyens rapides d'investigation que le topographe pourra emprunter à la photographie. Nous irons plus droit à notre but, en consignant ici une observation singulière dont M. Daguerre nous entretenait naguère : suivant lui, les heures du matin et les heures du soir, également éloignées du midi et correspondant dès lors à de semblables hauteurs du soleil au-dessus de l'horizon, ne sont pas cependant également favorables à la production des images photographiques. Ainsi, dans toutes les saisons de l'année, et par des circonstances atmosphériques en apparence exactement semblables, l'image se forme un peu plus promptement à sept heures du matin, par exemple, qu'à cinq heures de l'après-midi; à huit heures qu'à quatre heures; à neuf heures qu'à trois heures. Supposons ce résultat vérifié, et le météorologiste aura un élément de plus à consigner dans ses tableaux; et aux observations anciennes de l'état

du thermomètre, du baromètre, de l'hygromètre et de la diaphanéité de l'air, il devra ajouter un élément que les premiers instrumens n'accusent pas, et il faudra tenir compte d'une absorption particulière, qui ne peut pas être sans influence sur beaucoup d'autres phénomènes, sur ceux même qui sont du ressort de la physiologie et de la médecine (1).

Nous venons d'essayer de faire ressortir tout ce que la découverte de M. Daguerre offre d'intérêt, sous le quadruple rapport de la nouveauté, de l'utilité artistique, de la rapidité d'exécution et des ressources précieuses que la science lui empruntera. Nous nous sommes effor-

(1) La remarque de M. Daguerre sur la dissemblance comparative et constante des effets de la lumière solaire à des heures de la journée où l'astre est également élevé au-dessus de l'horizon, semble, il faut l'avouer, devoir apporter des difficultés de plus d'un genre dans les recherches photométriques qu'on voudra entreprendre avec le daguerréotype.

En général, on se montre peu disposé à admettre que le même instrument servira jamais à faire des portraits. Le problème renferme en effet deux conditions en apparence inconciliables. Pour que l'image naisse rapidement, c'est-à-dire pendant les quatre ou cinq minutes d'immobilité qu'on peut exiger et attendre d'une personne vivante, il faut que la figure soit en plein soleil; mais en plein soleil une vive lumière forcerait la personne la plus impassible à un clignotement continu; elle grimacerait; toute l'habitude faciale se trouverait changée.

Heureusement M. Daguerre a reconnu, quant à l'iodure d'argent dont les plaques sont recouvertes, que les rayons qui traversent certains verres bleus, y produisent la presque totalité des effets photogéniques. En plaçant un de ces verres entre la personne qui pose et le soleil, on aura donc une image photogénique presque aussi vite que si le verre n'existait pas, et cependant la lumière éclairante étant alors très douce, il n'y aura plus lieu à grimace ou à clignotemens trop répétés.

cés de vous faire partager nos convictions , parce qu'elles sont vives et sincères , parce que nous avons tout examiné , tout étudié avec un scrupule religieux ; parce que s'il eût été possible de méconnaître l'importance du daguerréotype et la place qu'il occupera dans l'estime des hommes , tous nos doutes auraient cessé en voyant l'empressement que les nations étrangères mettaient à se saisir d'une date erronée , d'un fait douteux , du plus léger prétexte , pour soulever des questions de priorité , pour essayer d'ajouter le brillant fleuron que formeront toujours les procédés photographiques , à la couronne de découvertes dont chacune d'elles se pare. N'oublions pas de le proclamer , toute discussion sur ce point a cessé , moins encore en présence de titres d'antériorité authentiques , incontestables , sur lesquels MM. Niépce et Daguerre se sont appuyés , qu'à raison de l'incroyable perfection que M. Daguerre a obtenue. S'il le fallait , nous ne serions pas embarrassés de produire ici des témoignages des hommes les plus éminens de l'Angleterre , de l'Allemagne , et devant lesquels pâlirait complètement ce qui a été dit chez nous de plus flatteur touchant la découverte de notre compatriote. Cette découverte , la France l'a adoptée ; dès le premier moment elle s'est montrée fière de pouvoir en doter librement le monde entier (1).

---

(1) On s'est demandé si après avoir obtenu avec le daguerréotype les admirables dégradations de teintes , on n'arrivera pas à lui faire produire les couleurs : à substituer en un mot les tableaux aux sortes de gravures à l'aqua-tinta qu'on engendre maintenant.

Ce problème sera résolu le jour où l'on aura découvert une seule

*Note additionnelle sur les Oxichlorides à radicaux composés (1);*

PAR M. BERZÉLIUS.

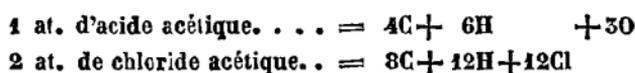
L'excellent travail de M. Malaguti sur la réaction qu'exerce le chlore sur les éthers, offre non moins de sept exemples nouveaux de cette espèce de combinaison.

et même substance que les rayons rouges coloreroient en rouge, les rayons jaunes en jaune, les rayons bleus en bleu, etc. M. Niépce signalait déjà des effets de cette nature où, suivant moi, le phénomène des anneaux colorés jouait quelque rôle. Peut-être en était-il de même du rouge et du violet que Seebeck obtenait simultanément sur le chlorure d'argent, aux deux extrémités opposées du spectre. M. Quetelet vient de me communiquer une lettre dans laquelle sir John Herschel annonce que son papier sensible ayant été exposé à un spectre solaire très vif, offrait ensuite toutes les couleurs prismatiques, le rouge excepté. En présence de ces faits, il serait certainement hasardé d'affirmer que les couleurs naturelles des objets ne seront jamais reproduites dans les images photogéniques.

M. Daguerre, pendant ses premières expériences de phosphorescence, ayant découvert une poudre qui émettait une lueur rouge après que la lumière rouge l'avait frappée; une autre poudre à laquelle le bleu communiquait une phosphorescence bleue; une troisième poudre qui, dans les mêmes circonstances, devenait lumineuse en vert par l'action de la lumière verte, méla ces poudres mécaniquement et obtint ainsi un composé unique qui devenait rouge dans le rouge, vert dans le vert et bleu dans le bleu. Peut-être en opérant de même, en mêlant diverses résines, arrivera-t-on à engendrer un vernis où chaque lumière imprimera, non plus phosphoriquement, mais photogéniquement sa couleur!

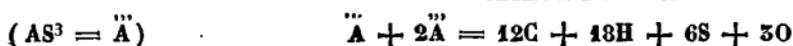
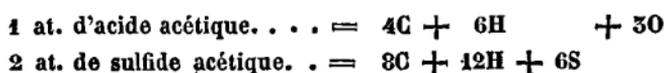
(1) Voir la lettre de M. Berzélius à M. Pelouze, numéro précédent.

1° L'éther sulfurique chloruré de M. Malaguti est composé, comme nous l'avons montré, de



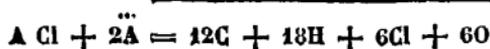
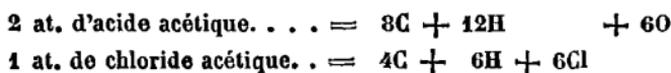
Ce qui renferme trois fois le nombre d'atomes simples dans la formule de M. Malaguti =  $\text{C}^4 \text{H}^6 \text{Cl}^4 \text{O}$ .

2° L'éther sulfuré  $\text{C}^4 \text{H}^6 \text{S}^2 \text{O}$  renferme, en triplant le nombre des atomes simples,



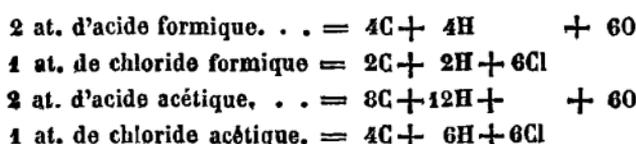
3° L'éther chlorosulfuré =  $\text{C}^4 \text{H}^6 \text{S Cl}^2 \text{O}$ , dont on multiplie le nombre d'atomes simples par 6, renferme deux atomes d'acide acétique, deux atomes de sulfate acétique et deux atomes de chlorure acétique, qu'on peut représenter par la combinaison d'un atome de n° 1 et un atome de n° 2 =  $(\ddot{\text{A}} + 2\ddot{\text{A}}) + (\ddot{\text{A}} + 2\underline{\text{A Cl}^3})$ . Il est probable qu'en traitant l'oxichlorure acétique (n° 1) par du sulfure plombique, on obtiendra n° 2 ou n° 3, suivant que la décomposition sera plus ou moins avancée, tout comme en traitant  $\text{Bz Cl}^3 + \ddot{\text{Bz}}$  ( $\text{Bz} = \text{C}^{14} \text{H}^{10}$ ) par du sulfure de plomb, on obtient  $\ddot{\text{Bz}} + 2\ddot{\text{Bz}}$ .

4° L'éther acétique chloruré  $\text{C}^8 \text{H}^{12} \text{Cl}^4 \text{O}^4$  donne, en multipliant le nombre des atomes simples par  $1 \frac{1}{2}$ ,

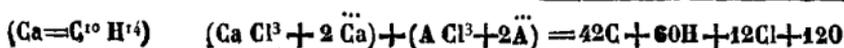
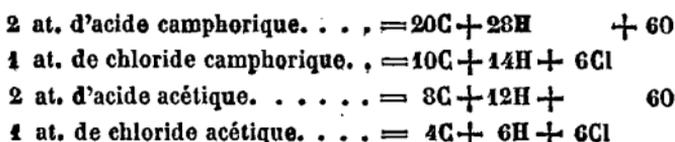


Cette combinaison est proportionnelle à celles du soufre, du chrome, du molybdène, du tungstène, du benzoïle avec le chlore et l'oxygène.

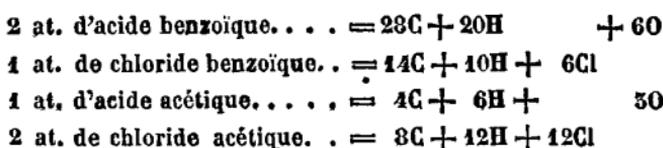
5° *L'éther formique chloruré*  $C^6 H^8 Cl^4 O^4$ , dont on triple le nombre d'atomes, donne



6° *L'éther camphorique chloruré*  $C^{14} H^{20} Cl^4 O^4$ , dont on triple le nombre des atomes simples, donne



7° *L'éther benzoïque chloruré*  $C^{18} H^{16} Cl^6 O^5$ , multiplié par 3, donne



8° *L'éther œnanthique chloruré*  $C^{18} H^{28} Cl^8 O^5$ , ne contient pas le radical de l'éther œnanthique, M. Malaguti a trouvé que les alcalis, en détruisant l'oxichlorure acétique, s'emparent d'un acide nouveau, qu'il a ana-

lysé et trouvé composé de  $C^{14} H^{22} Cl^4 O^2 + \underline{\underline{H}}$ , dont le radical est par conséquent  $C^{14} H^{22}$ . En donnant à ce radical le symbole  $x$ , l'acide à l'état anhydre sera composé de

$$\begin{array}{r} 1 \text{ at. de l'acide du radical } x = 14C + 22H \quad + 4O \\ 1 \text{ at. de chlorure du même } x = 14C + 22H + 8Cl \end{array}$$

---


$$xCl^4 + \overset{\overset{''''}{}}{x} = 28C + 44H + 8Cl + 4O$$

C'est donc un de ces oxichlorides, dont l'acide se combine avec les bases sans laisser dégager le chlorure. Si, comme le suppose M. Malaguti, et comme cela est probable, ce corps entre dans la composition de l'éther cœnanthique chloruré, ce dernier contient

$$\begin{array}{r} 2 \text{ at. d'acide acétique} \dots = 8C + 12H \quad + 6O \\ 4 \text{ at. de chlorure acétique.} \dots = 16C + 24H + 24Cl \\ 5 \text{ at. de l'acide } \overset{\overset{''''}{}}{x} \dots = 42C + 66H + \quad 12O \\ 3 \text{ at. du chlorure } xCl^4 \dots = 42C + 66H + 24Cl \end{array}$$

---


$$2(2A \underline{Cl^3} + \overset{\overset{''''}{}}{A}) + 3(x \underline{Cl^4} + \overset{\overset{''''}{}}{x}) = 108C + 168H + 48Cl + 18O$$

Ce qui fait 2 atomes de l'oxichlorure acétique pour 3 atomes de l'oxichlorure ou radical  $C^{14} H^{22}$ , et 6 fois le nombre d'atomes simples indiqués dans la formule de M. Malaguti.

Quant à l'acétate méthylique, il paraît qu'il a fourni la même combinaison que le formiate éthylique, comme le faisait d'ailleurs prévoir la théorie.

L'éther chloropyromucique paraît contenir, d'après les dernières expériences de M. Malaguti, l'oxide éthylique combiné avec un acide qui est composé d'un acide et d'un chlorure. Lorsqu'on le sature avec des bases, l'a-

cide ne s'en sépare pas. Toute conjecture sur la composition de l'acide et du chlorure qui lui est uni, ne pourrait qu'être prématurée dans ce moment.

Stockholm, le 20 août 1839.

---

*Note sur la Propriété Décapante d'un Chlorure double de Zinc et d'Ammoniaque;*

PAR M. GOLFIER-BESSEYRE.

Il existe un chlorure double formé équivalent à équivalent de chlorure de zinc et de sel ammoniac, cristallisant très facilement, tantôt en tables et tantôt en prismes, suivant l'état de dilution ou d'acidité du milieu; mais formant toujours des parallélogrammes rectangulaires dont souvent les angles solides sont tronqués de manière à présenter des hexagones très souvent biseautés, susceptibles de croître dans tous les sens et de former ou des prismes hexaédriques ou des trémies, etc.; enfin il a une très grande tendance à la cristallisation.

Il est très soluble; l'eau en prend plus d'une fois et demie son poids à la température ordinaire, et trois fois et demie son poids quand elle est bouillante.

La dissolution s'opère rapidement en produisant un grand abaissement de température.

La chaleur le décompose en hydrochlorate d'ammoniaque qui se sublime, et en chlorure de zinc qui se fond.

Ce que ce composé offre de plus remarquable, est dans la propriété de faciliter si bien l'étamage, qu'on peut très bien étamer du cuivre ou du fer avec de l'étain, du plomb ou du zinc; du zinc avec de l'étain ou du plomb; et même de l'étain et du plomb réciproquement.

Il paraît qu'il met si bien à nu les surfaces métalliques sur lesquelles on l'applique, qu'aussitôt le contact il se fait des alliages plus fusibles qui déterminent l'étamage; du moins c'est ainsi que je m'explique cette singulière expérience: d'étamer une lame d'étain au moyen d'une lame de plomb, et réciproquement une lame du même plomb avec une lame du même étain.

Les avantages qu'on en peut tirer sont très grands; le bon marché auquel on peut établir ce produit, permet d'en généraliser l'emploi, et voici quelles applications j'en ai déjà faites: j'ai fait étamer une chaudière en tôle avec du plomb seulement, elle fonctionne depuis environ deux mois, pour faire cristalliser des liqueurs qui contiennent un grand excès d'acide sulfurique, et on n'y peut encore découvrir aucune apparence d'altération; tous les instrumens qui desservent cette chaudière, soit en cuivre ou en fer, ont été aussi étamés au moyen du plomb.

Par économie j'ai fait construire plusieurs grands appareils en zinc, ainsi que des couvercles de cuves et de chaudières; mais bientôt le concours de l'air de la vapeur d'eau, de la chaleur et des refroidissemens, détériorait mes ustensiles, et l'oxide de zinc s'en détachait en plaques quelquefois très épaisses; les faire construire en fer blanc, mon but d'économie eût été manqué, et d'ailleurs on ne le trouve dans le commerce qu'en feuilles de trop

petites dimensions ; j'ai fait étamer avec de l'étain les faces exposées aux actions détériorantes, et maintenant j'en suis très satisfait.

Je pense que ce chlorure double agit aussi comme corps réduisant ; car j'avais une grande étuve de laboratoire en tôle tellement dégradée par l'oxidation, qu'en plusieurs endroits elle était trouée ; je tentai de la faire étamer avec le plomb, et elle est devenue comme neuve.

C'est surtout la dissolution de ce corps qu'il faut employer ; car il est essentiel que les surfaces à étamer soient mouillées de manière à ce que les petites cavités qu'y a faites l'oxidation ne soient point soustraites à son action.

Je fais cette objection, parce que plusieurs personnes ont paru tenir à l'employer en poudre ; mais il arrive ici ce qui a lieu dans l'emploi du borax pour les soudures.

Si l'on *boraxe* une pièce avec une eau tenant du borax en dissolution et en suspension, son action préservative commence à dater de 100° ; car, en se dégageant, l'eau laisse sur toute la surface de la pièce à souder du borax qui la couvre entièrement ; mais, si on l'emploie en poudre, le succès est bien plus hasardé, car cette poudre se fritte d'abord, puis se fond en gouttelettes qui laissent des intervalles exposés à l'action très oxidante de l'air chaud, et ce n'est qu'à la température rouge très vif qu'il se répand sur la surface de manière à y faciliter la combinaison de la soudure avec le métal.

---

*Notice sur le Télégraphe galvanique de*  
**M. STEINHEIL.**

Le télégraphe de M. Steinheil est une application des découvertes successives et fondamentales d'OErsted et de Faraday, et du multiplicateur de Schweiger. Dans un fil de cuivre de 36,000 pieds de longueur et de trois-quarts de ligne d'épaisseur retournant sur lui-même, M. Steinheil produit un courant galvanique par l'action d'une machine de rotation semblable à celle de Clarke, mais construite de manière que la résistance, dans l'appareil générateur, soit très grande par rapport à celle qui a lieu dans le conducteur (c'est ainsi qu'il appelle le fil de cuivre). Ce conducteur forme, sur différentes stations, des multiplicateurs de 400 à 600 révolutions en fil de cuivre isolé, très fin, autour d'une aiguille aimantée posée sur un axe vertical terminé par deux pointes,

Les déviations produites par le courant galvanique sur ces aiguilles aimantées ont lieu instantanément; elles donnent le moyen d'obtenir les signes télégraphiques. On voit qu'il n'existe que deux signes différens produits, l'un lorsque le courant est dirigé dans un sens, et l'autre résultant de la direction du courant en sens inverse. On dirige à volonté le courant en tournant la machine de rotation dans un sens ou dans l'autre. Les aiguilles aimantées, après leurs déviations analogues, sont ramenées à leur position primitive par l'action des forces magnétiques de deux petits aimans régulateurs,

Sur chaque station on a un appareil de rotation qui produit la force déviatrice, et un autre qui donne les signes par suite des déviations produites.

Partout où passe le conducteur on possède une force agissant instantanément selon la volonté de celui qui la produit. Il n'en faut pas davantage pour communiquer les idées ; il suffit de bien choisir les signes au moyen desquels elles doivent être représentées.

Un télégraphe dont les signes ne sont que visibles ne peut jamais être parfait, parce qu'il exige une attention continuelle de la part des observateurs. Pour rendre son télégraphe exempt de cet inconvénient, M. Steinheil a tâché de produire des sons qui, frappant l'ouïe, peuvent faire du langage télégraphique une imitation de la parole. Pour atteindre ce but, M. Steinheil place à côté des deux aiguilles aimantées deux petites cloches donnant chacune un son qui lui est propre et qui se distingue facilement de celui de la cloche voisine. Chaque déviation d'une aiguille occasionne de la part de celui-ci un choc contre la cloche correspondante ; et comme l'on produit à volonté la déviation de l'une ou de l'autre des deux aiguilles en dirigeant le courant galvanique dans un sens ou dans l'autre, on obtient instantanément le son que l'on désire.

M. Steinheil ne s'est pas borné dans la disposition de son télégraphe à la production de sons fugitifs ; il a voulu aussi fixer ces sons en traçant sur le papier des signes qui les rappelassent. Il y est parvenu en faisant avancer, au moyen de la déviation des deux aiguilles aimantées, deux petits tubes pointus munis d'une encre particulière. A chaque coup de cloche, on peut voir

l'une des pointes s'avancer contre une bande étroite de papier qui se meut très lentement avec une vitesse uniforme, devant ces pointes, et y déposer un point bien distinct représentant la note musicale que la cloche a fait entendre. Les points ou notes laissés par chaque pointe sont sur la même ligne. Il y a donc deux lignes de notes.

En combinant les sons et les notes jusqu'à quatre, M. Steinheil a obtenu un alphabet parlé et un alphabet écrit comprenant les lettres nécessaires pour écrire tous les mots de la langue allemande, et, de plus, les chiffres. On peut voir, dans un dessin qui sera mis sous les yeux de l'Académie, la disposition des points pour former les signes au moyen desquels il représente et les lettres et les chiffres.

Les sons peuvent être produits dans un temps très court; il est facile d'en obtenir quatre pendant une seconde. Des intervalles plus grands séparent les lettres et les mots. C'est par l'habitude que l'on parvient à comprendre la musique produite par le jeu du télégraphe et à lire les signes qui résultent de l'arrangement des notes laissées sur la bande de papier continue.

La mémoire est facilitée par une certaine analogie que M. Steinheil a cherché à établir entre la forme des lettres et la figure résultant de la réunion des notes par des lignes droites.

M. Steinheil pense donc avoir inventé le premier télégraphe, dans le sens véritable du mot, c'est-à-dire un appareil qui parle un langage facile à comprendre, et qui écrit lui-même ce qu'il dit, ou plutôt ce qu'on lui fait dire.

L'appareil est simple et solide. Depuis plus d'un an qu'il était construit (le 19 juillet 1838), il n'avait encore exigé aucune réparation.

Un fait digne de remarque et que l'on peut observer sur le conducteur employé par M. Steinheil, est que le conducteur n'a point éprouvé d'oxidation ; la galvanisation l'en a préservé, malgré son exposition à l'air sur une grande longueur.

Le télégraphe galvanique, établi à Munich, part de l'Observatoire de M. Steinheil à la Lerchenstrass. En ce point, le conducteur est réuni à une plaque de cuivre enterrée. Partant de là, le fil de cuivre traverse, dans l'air et par-dessus les maisons, la partie de la ville comprise entre la Lerchenstrass et les bâtimens de l'Académie des Sciences, où une seconde station a été établie.

De l'Académie, le conducteur se rend à l'Observatoire royal, à Bogenhausen, troisième station, après avoir traversé, dans l'air et par-dessus les tours et les édifices élevés, le reste de la ville, puis l'Issar (fleuve qui la longe d'un côté), puis la montagne appelée Gasteig, et enfin la ville de Haidhausen, qui est comme un faubourg de Munich. La longueur du trajet est d'environ une lieue trois-quarts d'Allemagne.

A l'Observatoire royal, à Bogenhausen, le fil aboutit, comme au point de départ, à une plaque de cuivre enfoncée dans la terre.

Quoique la terre ne soit que peu douée de la faculté conductrice en comparaison de celle des métaux, le courant galvanique traverse la distance dont il vient d'être parlé avec une résistance d'autant plus petite qu'on augmente davantage la surface des plaques enterrées.

Celles qui sont appliquées aux deux extrémités du conducteur, à la Lerchenstrass et à Bogenhausen, n'ont que six pouces de côté.

On voit donc que le même moyen peut être appliqué pour des distances très considérables. Des mesures numériques de résistance, pour diverses compositions du terrain, laissent à M. Steinheil la certitude que l'application de cette découverte ne sera limitée ni par la distance, ni par la nature du terrain.

Depuis la construction de son premier télégraphe galvanique, M. Steinheil a imaginé des moyens nouveaux propres à simplifier la solution du problème qu'il s'est posé. Il a trouvé, par exemple, que la terre peut servir comme moitié du conducteur : découverte qui serait de la plus grande importance, si, comme il n'en doute pas, ses prévisions se réalisent.

M. Steinheil annonce qu'il a déterminé, par l'observation, la loi suivant laquelle les forces galvaniques se dispersent en passant à travers la terre, ou par des eaux d'une très grande étendue. Ce travail, dont l'auteur attend des résultats merveilleux, sera publié incessamment.

---

| Jours. | 9 heures du matin. |                  |        | Midi.           |                  |        | 3 heures du soir. |                  |        | 9 heures du soir. |                  |        | Thermomètre. |        |                                   | ÉTAT DU CIEL A MIDI. | VENTS A MIDI. |
|--------|--------------------|------------------|--------|-----------------|------------------|--------|-------------------|------------------|--------|-------------------|------------------|--------|--------------|--------|-----------------------------------|----------------------|---------------|
|        | Barom.<br>à 0°.    | Therm.<br>extér. | H. gr. | Barom.<br>à 0°. | Therm.<br>extér. | H. gr. | Barom.<br>à 0°.   | Therm.<br>extér. | H. gr. | Barom.<br>à 0°.   | Therm.<br>extér. | H. gr. | Maxim.       | Minim. |                                   |                      |               |
| 1      | 765,43             | +11,4            |        | 765,84          | +11,2            |        | 765,80            | +12,4            |        | 764,86            | +11,6            |        | +15,6        | +9,7   | Couvert.                          | N. N. O.             |               |
| 2      | 765,35             | +16,2            |        | 765,47          | +17,1            |        | 762,75            | +19,2            |        | 765,08            | +14,2            |        | +20,0        | +8,0   | Convult.                          | N. N. O.             |               |
| 3      | 761,92             | +14,4            |        | 761,49          | +16,7            |        | 760,93            | +17,7            |        | 760,90            | +15,5            |        | +18,7        | +12,5  | Convult.                          | N. N.                |               |
| 4      | 760,43             | +15,6            |        | 760,01          | +15,2            |        | 759,18            | +18,6            |        | 759,47            | +15,0            |        | +19,6        | +11,0  | Convult.                          | N. E.                |               |
| 5      | 760,29             | +14,4            |        | 760,11          | +19,2            |        | 759,99            | +20,2            |        | 759,99            | +18,0            |        | +21,7        | +10,9  | Très nuageux.                     | N. E. S. E.          |               |
| 6      | 759,55             | +23,4            |        | 759,88          | +27,0            |        | 756,24            | +26,8            |        | 755,52            | +21,1            |        | +28,3        | +11,2  | Beau.                             | E. S. E.             |               |
| 7      | 758,15             | +26,4            |        | 758,96          | +29,8            |        | 751,96            | +30,6            |        | 749,49            | +25,5            |        | +28,0        | +15,4  | Beau.                             | S. S. O.             |               |
| 8      | 751,61             | +16,2            |        | 751,78          | +20,1            |        | 751,75            | +22,0            |        | 751,67            | +15,7            |        | +29,0        | +15,7  | Convult.                          | S. S. O.             |               |
| 9      | 755,90             | +22,0            |        | 755,77          | +20,8            |        | 755,73            | +20,7            |        | 749,49            | +15,5            |        | +25,6        | +15,1  | Convult.                          | S. S. O.             |               |
| 10     | 760,52             | +19,4            |        | 760,10          | +20,9            |        | 750,58            | +22,2            |        | 759,92            | +17,6            |        | +25,8        | +14,4  | Convult.                          | S. S. O.             |               |
| 11     | 757,81             | +25,6            |        | 756,91          | +23,7            |        | 755,17            | +26,6            |        | 755,03            | +21,1            |        | +27,6        | +16,1  | Convult.                          | S. E.                |               |
| 12     | 753,23             | +20,4            |        | 753,67          | +26,0            |        | 753,17            | +23,6            |        | 753,92            | +24,4            |        | +29,3        | +15,4  | Beau.                             | S. E.                |               |
| 13     | 758,35             | +19,5            |        | 758,36          | +22,0            |        | 759,72            | +22,6            |        | 759,60            | +20,4            |        | +24,1        | +16,7  | Nuageux.                          | S. N. O.             |               |
| 14     | 757,76             | +26,1            |        | 756,46          | +28,4            |        | 755,47            | +29,0            |        | 755,11            | +25,9            |        | +31,4        | +15,2  | Beau.                             | O. S. O.             |               |
| 15     | 753,95             | +19,5            |        | 753,62          | +20,1            |        | 758,62            | +21,5            |        | 761,42            | +17,2            |        | +22,0        | +16,6  | Convult.                          | O. N. O.             |               |
| 16     | 769,00             | +47,4            |        | 762,22          | +20,2            |        | 761,85            | +20,8            |        | 749,18            | +25,8            |        | +29,3        | +11,0  | Beau.                             | O. N. O.             |               |
| 17     | 756,30             | +23,3            |        | 754,39          | +25,2            |        | 752,76            | +27,5            |        | 752,08            | +22,5            |        | +29,8        | +11,8  | Beau.                             | E. E.                |               |
| 18     | 747,53             | +24,8            |        | 748,91          | +26,6            |        | 750,30            | +25,8            |        | 755,25            | +18,6            |        | +26,7        | +16,0  | Nombreux éclaircies.              | S. très fort.        |               |
| 19     | 752,65             | +22,2            |        | 752,40          | +24,8            |        | 751,99            | +24,8            |        | 755,48            | +15,3            |        | +25,1        | +12,0  | Très nuageux.                     | S. E.                |               |
| 20     | 753,46             | +19,7            |        | 754,25          | +22,7            |        | 757,54            | +25,6            |        | 759,14            | +18,0            |        | +25,7        | +12,0  | Très nuageux.                     | O. S. O.             |               |
| 21     | 756,73             | +20,5            |        | 756,30          | +21,6            |        | 757,80            | +20,2            |        | 759,11            | +18,0            |        | +24,7        | +15,5  | Quelques nuages.                  | O. S. O.             |               |
| 22     | 761,13             | +21,9            |        | 761,27          | +21,2            |        | 761,00            | +21,2            |        | 761,13            | +18,3            |        | +28,1        | +12,5  | Quelques nuages.                  | O. S. O.             |               |
| 23     | 750,64             | +25,7            |        | 753,84          | +24,9            |        | 753,04            | +24,6            |        | 757,66            | +18,6            |        | +26,2        | +15,0  | Convult.                          | O. O.                |               |
| 24     | 755,05             | +22,0            |        | 754,54          | +24,5            |        | 754,80            | +24,0            |        | 755,43            | +19,9            |        | +22,4        | +16,0  | Plate.                            | O. O.                |               |
| 25     | 753,36             | +19,3            |        | 752,72          | +21,3            |        | 752,72            | +21,3            |        | 754,09            | +17,3            |        | +21,7        | +15,5  | Nuageux.                          | O. S. O.             |               |
| 26     | 752,95             | +18,5            |        | 752,71          | +19,4            |        | 752,94            | +20,7            |        | 752,84            | +17,5            |        | +22,5        | +15,0  | Nuageux.                          | O. S. O.             |               |
| 27     | 753,96             | +17,9            |        | 752,95          | +21,5            |        | 752,96            | +22,6            |        | 754,52            | +16,3            |        | +22,5        | +10,9  | Nuageux.                          | S. O.                |               |
| 28     | 755,83             | +18,3            |        | 755,84          | +19,9            |        | 755,97            | +20,6            |        | 757,82            | +14,4            |        | +24,8        | +10,8  | Nuageux.                          | S. S. O.             |               |
| 29     | 750,56             | +18,3            |        | 750,66          | +22,6            |        | 758,39            | +22,4            |        | 757,56            | +14,0            |        | +27,0        | +16,5  | Convult.                          | O. S. O.             |               |
| 30     | 755,31             | +23,5            |        | 755,62          | +24,9            |        | 751,25            | +26,5            |        | 747,94            | +21,8            |        | +25,0        | +16,0  | Convult.                          | O. S. O.             |               |
| 31     | 749,51             | +17,2            |        | 750,21          | +19,2            |        | 750,43            | +21,1            |        | 751,39            | +17,4            |        | +23,0        | +16,0  | Convult.                          | O. S. O. fort.       |               |
| 4      | 758,91             | +17,7            |        | 758,44          | +19,8            |        | 757,85            | +21,0            |        | 757,91            | +16,3            |        | +22,5        | +11,7  | Moyenne du 1 <sup>er</sup> au 10. | Pluie en centimètres |               |
| 2      | 755,92             | +21,8            |        | 755,86          | +24,1            |        | 755,86            | +24,8            |        | 755,75            | +20,2            |        | +26,3        | +15,0  | Moyenne du 11 au 20.              | Cour . . . . 5,158   |               |
| 5      | 755,57             | +20,1            |        | 755,38          | +21,7            |        | 755,05            | +22,5            |        | 755,21            | +17,4            |        | +22,7        | +15,7  | Moyenne du 21 au 31.              | Terrasse . . . 5,026 |               |
|        | 756,76             | +19,9            |        | 756,32          | +21,3            |        | 756,11            | +22,7            |        | 756,23            | +18,0            |        | +25,3        | +15,5  | Moyennes du mois . . . .          | + 18,6               |               |

*De l'Action du Chlore sur les Éthers Hydrochloriques de l'alcool et de l'esprit de bois, et de plusieurs points de la Théorie des Éthers;*

PAR M. V. REGNAULT.

Ingénieur des Mines.

Lorsqu'on fait agir le chlore sur le gaz oléfiant, on sait qu'il se forme une substance, la liqueur des Hollandais, dont la formule brute est  $C^4 H^8 Cl^4$ , mais qui ne doit pas être considérée comme résultant de la combinaison simple du chlore avec l'hydrogène bicarboné; il faut admettre que le chlore enlève 2 atomes d'hydrogène avec lesquels il forme de l'acide hydrochlorique, et qu'il les remplace par 2 atomes de chlore. La nouvelle substance produite  $C^4 H^6 Cl^2$  retient en combinaison l'acide hydrochlorique formé, et donne ainsi la liqueur des Hollandais  $C^4 H^6 Cl^2 + H^2 Cl^2$ . La manière dont cette dernière substance se décompose par la dissolution alcoolique de potasse et par le potassium, démontre suffisamment ce mode de composition.

En faisant agir de nouveau le chlore sur la liqueur des Hollandais, on lui enlève encore de l'hydrogène, qui est remplacé par une quantité correspondante de chlore, et on obtient une série de composés qui, traités par une dissolution alcoolique de potasse, abandonnent la portion d'hydrogène et de chlore qu'ils renfermaient à l'état d'acide hydrochlorique. Cette série est la suivante :

|                               |                |
|-------------------------------|----------------|
| Gaz oléfiant .....            | $C^4 H^8$ (1)  |
| $C^4 H^6 Cl^2 + H^2 Cl^2$ ... | $C^4 H^6 Cl^2$ |
| $C^4 H^4 Cl^4 + H^2 Cl^2$ ... | $C^4 H^4 Cl^4$ |
| $C^4 H^2 Cl^6 + H^2 Cl^2$ ... | $C^4 H^2 Cl^6$ |
| $C^4 Cl^{12}$ .....           | $C^4 Cl^8$     |

Par l'action du chlore en excès sur les termes de la première ou de la seconde série, on obtient le perchlore de carbone  $C^4 Cl^{12}$ ; mais cela tient à ce que le chlorure  $C^4 Cl^8$ , qui devrait se former par substitution simple, a une grande affinité pour le chlore, comme M. Faraday l'a déjà remarqué depuis long-temps, et que, même isolé, il se combine directement avec une nouvelle quantité de chlore en passant à l'état de perchlore  $C^4 Cl^{12}$ .

Tous les termes de la seconde série présentent le même groupement moléculaire que le gaz oléfiant, ainsi qu'on le reconnaît par les densités de vapeur. De plus, l'action que le chlore exerce sur un terme de la seconde série, est la même que celle qu'il exerce sur le terme correspondant de la première, et les produits résultans sont identiques. On conçoit, en effet, qu'il doit en être ainsi, si la quantité d'hydrogène et de chlore, que les termes de la première série renferment en plus que ceux de la seconde, est à l'état d'acide hydrochlorique.

Cela posé, si l'éther hydrochlorique est une combinaison d'acide hydrochlorique et d'hydrogène bicarboné, comme on le suppose dans une des théories des éthers le plus généralement admises, il est évident que ce corps vient former le premier terme de notre première

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. LXIX, p. 151.

série et le chlore agissant sur cet éther  $C^4 H^6 + H^2 Cl^2$ , bornant son action sur  $C^4 H^8$ , comme nous l'avons reconnu pour les autres termes, devra nécessairement produire la liqueur des Hollandais  $C^4 H^6 Cl^2 + H^2 Cl^2$ .

L'étude des produits de la réaction que le chlore exerce sur l'éther hydrochlorique est donc éminemment propre à nous éclairer sur la véritable nature des éthers, et c'est dans cette vue que j'ai entrepris les recherches qui font l'objet de ce mémoire.

Je diviserai mon travail en trois parties : dans la première je traiterai de l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique de l'alcool; dans la seconde je m'occuperai des produits de l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique de l'esprit de bois; enfin dans la troisième je réunirai quelques recherches que j'ai faites sur plusieurs points de la théorie des éthers.

## PREMIÈRE PARTIE.

### *Action du chlore sur l'éther hydrochlorique de l'alcool.*

Le chlore n'a pas d'action sur l'éther hydrochlorique dans un endroit peu éclairé; mais quand la lumière est un peu vive, ou mieux, quand le ballon dans lequel on réunit les deux gaz est exposé aux rayons directs du soleil, la réaction s'établit avec développement de chaleur, il se dégage de l'acide hydrochlorique, et il se condense en abondance une liqueur éthérée. La meilleure manière de disposer l'appareil est la suivante.

L'éther hydrochlorique est produit en chauffant dans

un grand ballon un mélange d'acide hydrochlorique et d'alcool, le gaz traverse un premier flacon renfermant un peu d'eau, puis un second contenant de l'acide sulfurique concentré, enfin un troisième flacon laveur renfermant de l'eau; de là il se rend dans un ballon à deux tubulures et à pointe, dans lequel on fait arriver en même temps le chlore. La pointe du ballon est engagée dans un flacon dans lequel se condense une portion du produit, l'autre partie se rend dans un flacon à moitié rempli d'eau et bien refroidi, qui retient en même temps l'acide hydrochlorique qui se produit en très grande abondance. Le ballon dans lequel se réunissent les deux gaz doit être exposé au soleil, au moins au commencement de l'expérience; car une fois que la réaction est établie, elle continue à l'ombre et ne s'arrête même pas quand le jour vient à tomber. Il faut avoir soin de tenir l'éther hydrochlorique en excès par rapport au chlore; sans cela celui-ci exerce une action subséquente sur le premier produit, et en donne un second plus chloruré et moins volatil. Au reste, il est assez difficile d'éviter, dans une opération qui dure long-temps, la formation d'une petite portion de ce second produit; mais, comme il est moins volatil, il s'arrête presque en totalité dans le premier flacon récipient. Quand les deux gaz arrivent dans les proportions convenables, il ne sort presque rien du second flacon récipient, et la liqueur éthérée se produit en telle abondance, qu'il est facile, dans une opération qui dure six à huit heures, de s'en procurer 250 à 300 grammes.

Il est convenable de ne pas mélanger ensemble les liqueurs qui se sont condensées dans les deux flacons ré-

ciens, surtout si l'on a remarqué que dans certains momens de l'expérience le chlore est arrivé en excès. On lave la liqueur plusieurs fois avec de l'eau, puis on la distille au bain-marie ; enfin on la distille sur de la chaux vive pour la priver entièrement d'eau et d'acide hydrochlorique. Les premières gouttes qui passent à la distillation doivent être rejetées ; elles renferment souvent un peu d'éther hydrochlorique non altéré qui est resté en dissolution ; on met également de côté le dernier quart qui peut renfermer une petite quantité du produit plus chloruré.

La liqueur ainsi purifiée présente les caractères suivans : elle est incolore, très fluide, ayant une odeur tout-à-fait semblable à celle de la liqueur des Hollandais, une saveur sucrée et poivrée à la fois. Sa densité à 17° est 1,174. Elle bout à 64°.

L'analyse de cette substance m'a donné les résultats suivans :

I. 0,673 ont donné 0,255 d'eau et 0,586 d'acide carbonique.

II. 0,666 ont donné 0,252 d'eau et 0,591 d'acide carbonique.

III. 0,667 ont donné 0,248 d'eau et 0,598 d'acide carbonique.

IV. 0,612 ont donné 0,226 d'eau et 0,538 d'acide carbonique.

IV. 0,469 décomposés par la chaux vive ont donné 1,352 chlorure d'argent.

On déduit de là :

|                | I.    | II.   | III.  | I .   |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| Hydrogène..... | 4,21  | 4,20  | 4,13  | 4,10  |
| Carbone.....   | 24,08 | 24,54 | 24,79 | 24,31 |
| Chlore.....    | »     | »     | »     | 71,12 |

Ces analyses ont été faites sur des liqueurs provenant d'opérations différentes et recueillies à différents moments de la distillation. Elles conduisent à la formule :

|                      |         |        |
|----------------------|---------|--------|
| 8 at. hydrogène..... | 49,92   | 4,03   |
| 4 carbone.....       | 305,74  | 24,63  |
| 4 chlore.....        | 885,30  | 71,34  |
|                      | <hr/>   |        |
|                      | 1240,96 | 100,00 |

La densité de sa vapeur a été trouvée égale à 3,478 d'après les données suivantes :

|                           |                     |
|---------------------------|---------------------|
| Poids du liquide.....     | 0,483               |
| Volume de la vapeur.....  | 143 <sup>cc</sup>   |
| Température de la vapeur. | 82°,6               |
| Baromètre.....            | 0 <sup>m</sup> ,757 |
| Mercure soulevé.....      | 0,018               |

D'où :

|                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| Poids du litre.....   | 4 <sup>gr</sup> ,518 |
| Densité de la vapeur. | 3,478                |

Le calcul donne :

|                       |                              |
|-----------------------|------------------------------|
| 8 vol. hydrogène..... | 0,55040                      |
| 4 carbone.....        | 3,37116                      |
| 4 chlore.....         | 9,76132                      |
|                       | <hr/>                        |
| Densité calculée =    | $\frac{13,68288}{4} = 3,421$ |

On remarquera que cette composition, que cette densité de vapeur sont exactement celles de la liqueur des Hollandais, et cependant ces substances sont tout-à-fait différentes, comme on le reconnaît de suite par l'examen de leurs seules propriétés physiques. En effet, la liqueur des Hollandais bout à 83°; tandis que la substance résultant de l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique bout déjà à 65°. Les densités de ces deux liquides sont aussi notablement différentes.

Ces deux substances isomères se distinguent l'une de l'autre d'une manière encore plus tranchée par leurs propriétés chimiques, et quelques unes de ces propriétés jettent un grand jour sur leur composition intime. Telles sont :

1° La réaction que la potasse dissoute dans l'alcool exerce sur elles.

2° La manière dont elles se comportent quand on les chauffe avec du potassium.

Quand on verse dans une dissolution alcoolique de potasse de la liqueur des Hollandais, il se forme aussitôt un abondant précipité de chlorure de potassium, la liqueur s'échauffe beaucoup et laisse dégager un gaz d'une odeur alliagée, qui est le chlorure d'aldéhyde  $C^4 H^6 Cl^2$ .

Si l'on fait la même chose avec la liqueur obtenue par l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique, on ne reconnaît rien, il ne se forme pas de chlorure de potassium et la liqueur ne s'échauffe pas. En soumettant la liqueur à la distillation et étendant d'eau le produit distillé, on obtient une substance tout-à-fait identique avec la substance primitive.

En effet, 0,777 ont donné 0,288 d'eau et 0,689 d'acide carbonique.

D'où :

|                |       |
|----------------|-------|
| Hydrogène..... | 4,12  |
| Carbone.....   | 24,52 |

Quand on chauffe du potassium dans de la liqueur des Hollandais, il se dégage un mélange de gaz hydrogène et de gaz chlorure d'aldéhyde, et le potassium se change en chlorure.

La liqueur provenant de l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique chauffée avec le potassium distille sans subir d'altération, et le potassium conserve son brillant métallique.

Ces réactions montrent clairement comment il faut envisager la composition de ces deux substances isomériques.

La liqueur des Hollandais est  $C^4 H^6 Cl^2 + H^2 Cl^2$ .

La liqueur dérivée de l'éther hydrochlorique, et que j'appellerai *éther hydrochlorique monochloruré*, est  $C^4 H^8 Cl^4$ .

Le rapport du carbone à la somme de l'hydrogène et du chlore, au lieu d'être celui de 4 à 8 comme dans le gaz oléfiant et dans les produits qui en dérivent par l'action du chlore, est ici de 4 à 12.

Cette réaction me semble prouver d'une manière tout-à-fait incontestable que l'éther hydrochlorique ne renferme pas de gaz oléfiant.

J'ai dit tout à l'heure que l'éther hydrochlorique monochloruré n'était pas altéré par une dissolution alcoolique de potasse. Ce fait n'est pas entièrement exact; il se forme toujours, au moins par la distillation, un léger

dépôt de chlorure de potassium et une résine bruné visqueuse qui se sépare en reprenant le résidu par l'eau. Il me paraît très probable qu'une petite quantité du liquide  $C^4 H^8 Cl^4$  est transformé par la potasse en aldéhyde  $C^4 H^8 O^2$ , qui se trouve elle-même résinifiée par l'excès de potasse. Le résidu alcalin présente l'odeur désagréable qui caractérise la dissolution de potasse qui a décomposé une certaine quantité d'aldéhyde. Au reste, la portion d'éther hydrochlorique monochloruré qui se décompose dans cette circonstance n'est qu'une très petite fraction de la quantité totale soumise à l'expérience.

*Action du chlore sur l'éther hydrochlorique monochloruré  $C^4 H^8 Cl^4$ .*

Le chlore n'agit pas sensiblement sous l'influence de la lumière diffuse sur l'éther hydrochlorique monochloruré ; mais ce gaz s'y dissout en grande quantité et colore la liqueur en jaune très intense. Si l'on transporte au soleil le flacon qui renferme la substance saturée de chlore, il s'établit instantanément une réaction des plus vives, et, si on ne prend quelques précautions, la liqueur est projetée avec force hors du vase. Au bout de quelques minutes la substance est entièrement décolorée après avoir dégagé des torrens d'acide hydrochlorique.

Si l'on verse une petite quantité d'éther hydrochlorique monochloruré dans un grand flacon rempli de chlore, et qu'on expose ensuite celui-ci au soleil, au bout de très peu de temps tout l'hydrogène de la substance est enlevé, et celle-ci se trouve changée en perchlore de carbone  $C^4 Cl^{12}$ . Le liquide  $C^4 H^8 Cl^4$ , avant de se chan-

ger en chlorure de carbone, passe par plusieurs états intermédiaires que l'on peut parvenir à isoler en opérant avec soin et sur une grande quantité de matière.

La préparation de ces produits intermédiaires est une opération difficile et très délicate. Elle est essentiellement fondée sur ce que ces substances chlorurées sont d'autant plus difficilement attaquables par le chlore, qu'elles ont déjà perdu plus d'hydrogène.

Six à sept cents grammes d'éther hydrochlorique monochloruré sont placés dans une grande éprouvette à pied et recouverts d'une couche d'eau; on fait arriver un courant de chlore au fond de cette éprouvette, que l'on met en communication avec un récipient refroidi destiné à condenser le liquide qui peut distiller par l'élevation de température produite dans la réaction. L'éprouvette est placée d'abord dans un endroit peu éclairé. Le liquide se sature de chlore sans réaction. L'éprouvette étant ensuite portée dans un endroit plus éclairé, ou même au soleil, la réaction s'établit, et elle s'exerce de préférence sur le produit le moins chloruré. Quand le chlore a agi pendant environ deux jours, on distille le liquide et on le fractionne en deux parties; la première moitié est soumise de nouveau pendant un certain temps à l'action du chlore, puis réunie à la seconde. La totalité est ensuite distillée dans une cornue munie d'un thermomètre; on met de côté le premier et le dernier quart, et le produit du milieu, qui doit bouillir à une température sensiblement constante, est recueilli à part; on peut d'ailleurs le fractionner en plusieurs parties; on est plus sûr ainsi d'isoler la substance que l'on cherche dans un état parfait de pureté.

Les flacons qui renferment la substance cherchée sont conservés; quant aux autres, ils servent à préparer les produits suivans plus chlorurés; on les verse successivement dans l'éprouvette pour être traités de nouveau par le chlore, en commençant par les produits le moins chlorurés.

Le liquide qui se volatilise pendant l'action du chlore et qui vient se condenser dans le récipient refroidi, doit être conservé pour préparer le dernier produit, le perchlorure de carbone. Ce liquide a distillé au milieu d'une atmosphère plus ou moins chargée de chlore, et il est composé de produits à différens degrés de chloruration.

Les premiers produits chlorurés s'obtiennent assez facilement; mais la préparation des derniers présente des difficultés beaucoup plus grandes, parce que la quantité de liquide soumise à l'action du chlore a beaucoup diminué, ce qui rend la séparation par distillation extrêmement difficile. On est obligé de faire de temps en temps une analyse de la substance, afin de ne pas dépasser le degré de chloruration que l'on cherche à obtenir.

Après avoir indiqué sommairement le procédé que j'ai suivi pour isoler les différens produits que l'on obtient successivement par l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique monochloruré, je passe à la description de ces diverses substances.

*Deuxième produit de l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique.*

**Éther hydrochlorique bichloruré.**

Cette substance a une odeur semblable à celle de l'é-

ther hydrochlorique monochloruré. Sa densité à la température de 16° est de 1,372. Elle bout à 75°.

I. 0,968 ont donné 0,208 d'eau et 0,636 d'acide carbonique.

II. 0,842 ont donné 0,170 d'eau et 0,559 d'acide carbonique.

I. 0,496 ont donné 1,601 chlorure d'argent.

On déduit de là :

|                | I.    | II.   |
|----------------|-------|-------|
| Hydrogène..... | 2,39  | 2,25  |
| Carbone.....   | 18,17 | 18,33 |
| Chlore.....    | 79,63 | »     |

Ces analyses conduisent à la formule  $C^4 H^6 Cl^6$ , d'après laquelle on a :

|                      |         |        |
|----------------------|---------|--------|
| 6 at. hydrogène..... | 37,44   | 2,24   |
| 4 carbone.....       | 305,76  | 18,30  |
| 6 chlore.....        | 1327,92 | 79,46  |
|                      | <hr/>   |        |
|                      | 1671,12 | 100,00 |

Une expérience, pour déterminer la densité de sa vapeur, a donné les résultats suivans :

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Poids du liquide.....    | 0 <sup>gr</sup> ,510 |
| Volume de la vapeur..... | 133 <sup>cc</sup> ,1 |
| Température.....         | 131 <sup>o</sup> ,3  |
| Baromètre.....           | 759 <sup>mm</sup> ,5 |
| Mercure soulevé.....     | 27,5                 |

D'où :

|                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| Poids du litre.....    | 5 <sup>gr</sup> ,883 |
| Densité de la vapeur.. | 4,530                |

Le calcul donne :

|                           |          |
|---------------------------|----------|
| 4 vol. carbone . . . . .  | 3,37116  |
| 6     hydrogène . . . . . | 0,41280  |
| 6     chlore . . . . .    | 14,64198 |

$$\text{Densité calculée} = \frac{18,42594}{4} = 4,606$$

Le chlore en agissant sur l'éther hydrochlorique monochloruré, lui a donc enlevé 2 atomes d'hydrogène qui ont été remplacés par 2 atomes de chlore. Le nouveau produit  $C^4 H^6 Cl^6$ , que j'appellerai *éther hydrochlorique bichloruré*, est remarquable par sa composition; car il est évidemment à l'acide acétique ce que le chloroforme est à l'acide formique. De plus il est isomère avec le premier produit que l'on obtient par l'action du chlore sur la liqueur des Hollandais; mais qui doit être écrit  $C^4 H^4 Cl^4 + H^2 Cl^2$ , comme le montre sa décomposition par la potasse.

L'éther hydrochlorique bichloruré est à peine altéré par une dissolution alcoolique de potasse, même à la température de l'ébullition. Ce n'est qu'après plusieurs distillations répétées avec la dissolution alcoolique de potasse que l'on obtient une quantité un peu notable de chlorure de potassium. Le résidu de toutes ces distillations, évaporé complètement à sec, a été repris par de l'alcool; on a séparé la plus grande partie du chlorure de potassium; la liqueur alcoolique évaporée de nouveau, puis traitée par de l'acide sulfurique a dégagé une odeur très prononcée d'acide acétique. L'éther hydrochlorique bichloruré  $C^4 H^6 Cl^6$  donne donc de l'acide acétique  $C^4 H^6 O^3$  par la dissolution alcoolique de po-

tasse. Le liquide distillé sur la potasse présente la même composition qu'avant cette opération

*Troisième produit.*

**Ether hydrochlorique trichloruré.**

Ce produit ressemble par ses caractères extérieurs aux éthers hydrochloriques mono et bichloruré. Sa densité à 17° est 1,530 : il bout vers 102°.

0,868 ont donné 0,097 d'eau et 0,447 d'acide carbonique.

D'où :

|                |       |
|----------------|-------|
| Hydrogène..... | 1,24  |
| Carbone.....   | 14,24 |

La formule  $C^4 H^4 Cl^8$  donne :

|                      |         |        |
|----------------------|---------|--------|
| 4 at. hydrogène..... | 24,96   | 1,18   |
| 4 carbone.....       | 305,76  | 14,55  |
| 8 chlore.....        | 1770,64 | 84,27  |
|                      | <hr/>   |        |
|                      | 2101,36 | 100,00 |

La densité de sa vapeur a été trouvée égale à 5,799 d'après les résultats suivans :

|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| Excès du poids de la vapeur... | 1 <sup>sr</sup> ,285 |
| Température.....               | 18°,4                |
| Baromètre.....                 | 757 <sup>m</sup> ,0  |
| Capacité du ballon.....        | 345 <sup>cc</sup> ,5 |
| Air restant.....               | 0                    |
| Température de la vapeur....   | 145°                 |

On déduit de là :

Poids du litre..... 7<sup>gr</sup>,532

Densité de la vapeur... 5,799

Le calcul donne :

4 vol. hydrogène..... 0,27520

4 carbone..... 3,37116

8 chlore..... 19,52264

$$\text{Densité calculée} = \frac{23,16910}{4} = 5,792$$

Le liquide qui restait dans le ballon a été analysé :  
0,734 ont donné 0,116 d'eau et 0,496 d'acide carbonique.

D'où :

Hydrogène..... 1,37

Carbone..... 14,68

L'éther hydrochlorique trichloruré  $C^4 H^4 Cl^8$  correspond par sa composition à l'acide malique  $C^4 H^4 O^4$  comme l'éther hydrochlorique bichloruré correspond à l'acide acétique.

L'éther hydrochlorique trichloruré, chauffé avec une dissolution alcoolique de potasse, donne une certaine quantité de chlorure de potassium, mais je n'ai rien trouvé de net dans cette réaction.

### *Quatrième produit.*

#### **Ether hydrochlorique quadrichloruré.**

Le quatrième produit de l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique doit être, en nous laissant guider par l'analogie, l'éther hydrochlorique quadrichloruré

$C^4 H^2 Cl^{10}$ ; je ne suis pas parvenu à l'obtenir pur, la substance que j'ai analysée renfermait encore une petite quantité d'éther hydrochlorique trichloruré  $C^4 H^4 Cl^8$ . Je l'avais soumise de nouveau à l'action du chlore pour détruire cette petite quantité de substance étrangère; mais l'opération a été prolongée trop longtemps, et quand j'ai examiné la liqueur, j'y ai trouvé une petite quantité de perchlorure de carbone. On reconnaît facilement la présence de ce chlorure solide, en mettant une goutte de la substance que l'on examine sur une plaque de verre, et hâtant l'évaporation en soufflant dessus; il reste à la fin une tache blanche qui disparaît elle-même après quelques instans.

Le liquide que j'ai considéré comme le plus pur, qui ne renfermait qu'une petite quantité d'éther hydrochlorique trichloruré, avait pour densité 1,644; il entrainait en ébullition à 146°.

1,097 de ce liquide ont donné 0,077 d'eau et 0,505 d'acide carbonique.

D'où :

|                |       |
|----------------|-------|
| Hydrogène..... | 0,77  |
| Carbone.....   | 12,70 |

La formule  $C^4 H^2 Cl^{10}$  donne :

|                      |         |        |
|----------------------|---------|--------|
| 2 at. hydrogène..... | 12,48   | 0,50   |
| 4 carbone.....       | 305,76  | 12,09  |
| 10 chlore.....       | 2213,25 | 87,41  |
|                      | <hr/>   |        |
|                      | 2531,49 | 100,00 |

Les nombres fournis par l'expérience sont trop forts; j'en ai donné la raison tout à l'heure.

J'ai pris la densité de la vapeur par le procédé de M. Dumas, en employant une assez grande quantité de liquide; la petite portion d'éther hydrochlorique trichloruré qui se trouvait en mélange avec le liquide  $C^2 H^2 Cl^{10}$ , devait être enlevée par les premières vapeurs comme plus volatile, et le ballon ne devait plus renfermer à la fin de l'expérience que la vapeur de l'éther hydrochlorique quadrichloruré sensiblement pur. En effet, la densité donnée par cette expérience s'accorde complètement avec la densité théorique.

|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| Excès du poids de la vapeur... | 1 <sup>gr</sup> ,235 |
| Température.....               | 22°                  |
| Baromètre.....                 | 760 <sup>mm</sup>    |
| Volume du ballon.....          | 282 <sup>cc</sup>    |
| Air restant.....               | 0                    |
| Température.....               | 173°                 |

D'où l'on déduit :

|                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| Poids du litre.....    | 9 <sup>gr</sup> ,061 |
| Densité de la vapeur.. | 6,975                |

Le calcul donne :

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| 2 vol. hydrogène..... | 0,13760  |
| 4 carbone.....        | 3,37116  |
| 10 chlore.....        | 24,40330 |

$$\text{Densité calculée} = \frac{27,91206}{4} = 6,972$$

Le liquide qui se trouvait dans le ballon a été analysé et a donné des résultats parfaitement concordans avec les nombres que donne la formule. En effet :

0,796 ont donné 0,046 d'eau et 0,350 d'acide carbonique.

D'où :

|                |       |
|----------------|-------|
| Hydrogène..... | 0,64  |
| Carbone.....   | 12,15 |

Ainsi, bien que je ne puisse pas dire que j'aie obtenu l'éther hydrochlorique quadrichloruré à l'état de pureté parfaite, je crois que les expériences précédentes ne peuvent pas laisser d'incertitude sur son existence.

L'éther hydrochlorique quadrichloruré est plus facilement attaqué par la dissolution alcoolique de potasse que les produits précédens. Il y a élévation de température au moment du mélange, et dépôt de chlorure de potassium. La liqueur distillée, étendue d'eau, laisse déposer une liqueur huileuse qui m'a présenté une composition variable suivant le nombre de distillations qu'elle avait subies sur la potasse.

Le potassium n'a pas d'action à froid, mais si l'on chauffe, il se fait une explosion extrêmement violente, et il y a dépôt de charbon.

### *Cinquième produit.*

#### **Ether hydrochlorique quintichloruré ou perchloruré.**

Le cinquième et dernier produit de l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique, et qui, d'après la nomenclature adoptée dans ce mémoire, doit prendre le nom d'*ether hydrochlorique quintichloruré* ou *perchloruré*, est le chlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$ , le sesquichlorure de Faraday.

M. Laurent avait déjà remarqué (*Annales de Chimie et de Physique*, t. LXIV, p. 328) que l'éther hydrochlorique exposé dans un flacon au soleil avec un excès de chlore, se changeait en sesquichlorure de carbone. Comme cette substance est aussi le produit final de l'action du chlore sur le gaz oléfiant, M. Laurent en avait conclu que l'éther hydrochlorique renfermait lui-même du gaz oléfiant. Cette conclusion est inexacte d'après ce que nous avons vu plus haut. Le chlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$  peut s'obtenir à la fois par l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique  $C^4 H^{10} Cl^2$ , les 10 atomes d'hydrogène se trouvant remplacés par 10 atomes de chlore et par l'action du chlore sur l'hydrogène bicarboné  $C^4 H^8$ ; mais dans ce dernier cas il résulte de la combinaison de 4 atomes de chlore avec le chlorure de carbone  $C^4 Cl^8$  dérivé par substitution de 8 at. de chlore à la place de 8 at. d'hydrogène.

Le sesquichlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$ , considéré comme dérivé du gaz oléfiant, peut renfermer 4 at. de chlore dans un état différent de celui des huit autres. Et en effet, ces 4 atomes qui sont entrés dans le composé par combinaison directe, sont beaucoup plus faciles à enlever que les autres, et peuvent partir sans substitution comme on va le voir dans l'expérience suivante.

Le sesquichlorure de carbone peut être distillé avec une dissolution alcoolique de potasse sans subir d'altération sensible; on sait que dans cette même circonstance les produits qui précèdent ce composé dans la série du gaz oléfiant, perdent de l'acide hydrochlorique et se trouvent ramenés au groupement moléculaire de l'hydrogène bicarboné, c'est que dans cette dernière circonstance

la potasse enlève simplement de l'acide hydrochlorique. Il y a deux affinités en jeu : celle de l'hydrogène pour l'oxigène, et celle du potassium pour le chlore, tandis que quand le chlorure de carbone est traité par la potasse, il faudrait que le chlore enlevé chassât l'oxigène.

Mais si l'on mélange de l'hydrosulfate de sulfure de potassium saturé d'hydrogène sulfuré et dissous dans l'alcool avec du sesquichlorure de carbone et que l'on chauffe un peu, il ne tarde pas à s'établir une réaction des plus vives; il y a dégagement d'hydrogène sulfuré et précipitation de chlorure de potassium. Il est convenable de n'ajouter le chlorure de carbone que par petites portions; sans cela la réaction est tellement tumultueuse, que la liqueur est projetée hors du flacon. Quand le dégagement de gaz a cessé, on distille et on étend d'eau la liqueur alcoolique qui a passé à la distillation. Il se dépose aussitôt un liquide incolore plus dense que l'eau, qui peut être distillé maintenant avec une nouvelle dissolution d'hydrosulfate de potasse sans subir d'altération. Ce liquide est du chlorure de carbone  $C^4 Cl^8$  tout-à-fait pur. En effet,

0,889 ont donné 0,473 d'acide carbonique.

0,478 idem 1,648 chlorure d'argent.

D'où :

Carbone..... 14,71

Chlore..... 85,06

La composition du chlorure de carbone  $C^4 Cl^8$  est :

Carbone..... 14,72

Chlore..... 85,28

---

100,00

Le résidu de la distillation repris par l'eau donne du chlorure de potassium qui se dissout et une masse brune insoluble dans l'eau et dans l'alcool, et qui à la distillation se comporte comme du soufre mélangé d'une petite quantité de charbon. La liqueur filtrée a une couleur d'un brun foncé. En la saturant par de l'acide hydrochlorique, elle se décolore et il se dépose une petite quantité d'une matière brune visqueuse extrêmement fétide. Je regarde ce produit, qui est d'ailleurs en quantité très petite, comme accidentel et résultant d'une réaction plus avancée du sulfure de potassium, et je crois qu'il faut admettre que, dans la réaction de l'hydrosulfate de sulfure de potassium sur le chlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$ , 4 atomes de chlore déplacent 4 atomes de soufre, qui se précipitent ou se dissolvent dans l'hydrosulfate, s'il est en excès; les 4 atomes d'hydrogène sulfuré qui étaient combinés avec le sulfure de potassium se dégagent, et le chlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$  est ramené à l'état de chlorure de carbone  $C^4 Cl^8$ .

Le sulfure de potassium produit donc sur le chlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$  le même effet que la potasse sur les produits qui le précèdent dans la série de l'hydrogène bicarboné.

Il est à remarquer que l'hydrosulfate de sulfure de potassium est sans action sur les éthers hydrochloriques chlorurés qui précèdent le sesquichlorure de carbone. On peut les distiller avec une dissolution alcoolique de cet hydrosulfate sans qu'ils subissent la moindre altération.

Cette réaction de l'hydrosulfate de potasse saturé sur le chlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$  est encore intéressante sous un autre rapport; car elle nous donne un moyen fa-

cile et prompt de préparer le chlorure de carbone  $C^4 Cl^8$ . Le procédé de M. Faraday, qui consiste à décomposer le chlorure  $C^4 Cl^{12}$  par la chaleur, ne donne jamais ce produit pur; car il est impossible d'éviter que ce chlorure, se dégageant au milieu d'une atmosphère de chlore, ne se combine de nouveau avec une certaine quantité de chlore dans les parties plus froides de l'appareil, et ne reproduise une certaine quantité de perchlorure. Aussi, dans mes premières recherches sur ce corps (Annales de Chimie, tom. LXX, pag. 104), je n'étais pas parvenu à l'obtenir pur, malgré un grand nombre de distillations.

Le chlorure de carbone  $C^4 Cl^8$  a pour densité à  $20^\circ$  1,619; il bout à  $122^\circ$ .

Le monosulfure de potassium décompose le perchlorure de carbone d'une manière tout-à-fait semblable; mais il ne faut employer que la quantité exactement convenable de ce réactif. Si l'on emploie un excès de monosulfure, et si on laisse la température s'élever, on a une réaction très complexe qui donne des produits nouveaux.

La préparation du chlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$ , est beaucoup plus commode et moins dispendieuse avec l'éther hydrochlorique qu'avec l'hydrogène bicarboné. En effet, la préparation du gaz oléfiant est toujours une opération très gênante à exécuter, quand on a besoin d'en produire une grande quantité; le mélange d'alcool et d'acide sulfurique que l'on emploie pour cela se boursouffle beaucoup, ce qui exige que l'on opère dans une cornue très spacieuse, et l'on a souvent de la peine à se rendre maître de l'opération; ensuite le gaz oléfiant se dégage mélangé d'une forte proportion d'acide carboni-

que et d'acide sulfureux que l'on ne parvient à absorber que par une grande quantité de potasse dissoute dans l'eau.

La préparation de l'éther hydrochlorique se fait, au contraire, de la manière la plus simple et la plus commode en chauffant un mélange de parties égales d'alcool et d'acide hydrochlorique, et, pour purifier le gaz, il suffit de le faire passer à travers un premier flacon laveur renfermant de l'eau, puis à travers un second flacon renfermant de l'acide sulfurique concentré.

L'opération est d'ailleurs on ne peut plus facile à conduire, on est maître de la faire marcher aussi vite et aussi lentement que l'on veut, en réglant le feu qui se trouve sous le mélange d'alcool et d'acide hydrochlorique. Il faut remarquer seulement que l'expérience avec l'éther hydrochlorique ne réussit bien que lorsque l'appareil est placé au soleil, et par conséquent qu'elle ne peut pas être faite en hiver, tandis qu'avec le gaz oléfiant on réussit en tout temps.

---

En résumant ce qui précède, on voit que le chlore, en agissant sur l'éther hydrochlorique, lui enlève de l'hydrogène qui se combine avec du chlore pour former de l'acide hydrochlorique, et remplace la quantité d'hydrogène enlevée par une quantité correspondante de chlore. L'éther hydrochlorique peut perdre ainsi tout son hydrogène et se changer en chlorure de carbone  $C^2 Cl^{12}$ . Mais on peut parvenir à isoler tous les produits intermédiaires et obtenir la série suivante (1) ;

---

(1) On peut facilement s'assurer que l'éther hydrochlorique  $C^2 H^{10}$

|                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| Ether hydrochlorique . . . . . | $C^4 H^{10} Cl^2$ |
| — monochloruré . . . . .       | $C^4 H^8 Cl^4$    |
| — bichloruré . . . . .         | $C^4 H^6 Cl^6$    |
| — trichloruré . . . . .        | $C^4 H^4 Cl^8$    |
| — quadrichloruré . . . . .     | $C^4 H^2 Cl^{10}$ |
| — perchloruré . . . . .        | $C^4 Cl^{12}$     |

Chaque terme représente 4 vol. de vapeur.

Cette série est complètement différente de celle que donne l'action du chlore sur le gaz oléfiant, et qui est :

|                                                 |                           |
|-------------------------------------------------|---------------------------|
| Gaz oléfiant . . . . .                          | $C^4 H^8$                 |
| 1 <sup>or</sup> produit, liqueur des Hollandais | $C^4 H^6 Cl^2 + H^2 Cl^2$ |
| 2 <sup>e</sup> —                                | $C^4 H^4 Cl^4 + H^2 Cl^2$ |
| 3 <sup>e</sup> —                                | $C^4 H^2 Cl^6 + H^2 Cl^2$ |
| 4 <sup>e</sup> sesquichlorure de Faraday        | $C^4 Cl^{12}$             |

Mais ce qui est fort remarquable, c'est que tous les termes de la série de l'hydrogène bicarboné sont des isomères des termes correspondans de la série de l'éther hydrochlorique. L'isomérisie est ici complète; car non seulement la composition élémentaire est la même, mais encore les densités de vapeur sont identiques. L'ordre d'arrangement des atomes est seul différent, et les réactions chimiques établissent clairement la différence.

$Cl^2$ , avant de se changer en chlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$ , passe par ces produits intermédiaires; sans avoir besoin d'isoler ces produits, opération extrêmement longue et pénible. Il suffit de soumettre le liquide  $C^4 H^8 Cl^4$  à l'action du chlore, et d'analyser de temps en temps le produit; on trouvera que dans toutes ces analyses, la quantité atomique du carbone sera à la somme de l'hydrogène et du chlore comme 4 à 12.

## SECONDE PARTIE.

*De l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique de l'esprit de bois.*

L'éther hydrochlorique de l'esprit de bois est plus difficilement attaqué par le chlore que l'éther hydrochlorique de l'alcool; l'action est tout-à-fait nulle sous l'influence de la lumière diffuse; au soleil elle s'établit bientôt, mais comme les produits résultans sont beaucoup plus volatils que ceux que donne l'éther hydrochlorique de l'alcool, il faut des précautions particulières pour les condenser, sans quoi la presque totalité s'échappe. Je me suis servi du même appareil que celui que j'avais employé dans les expériences sur l'éther hydrochlorique de l'alcool; seulement à partir du flacon à trois tubulures destiné à condenser la plus grande partie du produit, les gaz étaient amenés dans un matras refroidi par un mélange réfrigérant. C'est dans ce matras que se condensait la partie la plus pure du produit; dans les deux flacons récipiens on trouve toujours une quantité notable de produit plus chloruré dont il m'a été plus difficile d'éviter la formation que dans les expériences sur l'éther hydrochlorique de l'alcool (1).

Le liquide recueilli dans le matras refroidi présente les caractères suivans : il est très volatil, bout à 30°,5,

---

(1) J'ai remarqué quelquefois dans cette expérience des cristaux de chlorure de carbone  $C^4Cl^{12}$  se développer sur les parois du ballon. Ce produit me paraît accidentel et provient probablement d'une petite quantité d'alcool mélangé, peut-être par fraude, à l'esprit de

son odeur est très vive et semblable à celle de la liqueur des Hollandais. Sa densité à  $18^{\circ}$  a été trouvée égale à 1,344.

L'analyse m'a donné les résultats suivans :

I. 0,743 ont donné 0,373 d'acide carbonique, l'eau a été perdue.

II. 0,892 ont donné 0,195 d'eau et 0,446 d'acide carbonique.

0,516 décomposés par la chaux vive ont donné 1,745 de chlorure d'argent.

On déduit de là :

|                     | I.    | II.   |
|---------------------|-------|-------|
| Hydrogène . . . . . | »     | 2,43  |
| Carbone . . . . .   | 13,89 | 13,80 |
| Chlore . . . . .    | »     | 83,43 |

Ce qui donne la formule :

|                           |        |        |
|---------------------------|--------|--------|
| 4 at. hydrogène . . . . . | 25,0   | 2,35   |
| 2 carbone . . . . .       | 152,9  | 14,38  |
| 4 chlore . . . . .        | 885,2  | 83,27  |
|                           | <hr/>  |        |
|                           | 1063,1 | 100,00 |

La quantité de carbone donnée par les analyses est un peu faible ; mais cela tient à la grande volatilité de la substance. Comme on est obligé d'introduire ouvertes dans le tube à combustion les ampoules qui renferment le liquide, il est impossible d'éviter qu'une petite portion

bois du commerce. Ce qui me confirme dans cette opinion, c'est que j'ai obtenu une quantité notable de ce chlorure avec un esprit de bois anglais, tandis que celui qui provient de la fabrique de M. Mollerat n'en a donné que des traces.

ne s'échappe par volatilisation avant que l'oxide de cuivre n'ait atteint la température nécessaire pour en effectuer la combustion. Afin d'éviter cet inconvénient, j'ai fait une nouvelle analyse en changeant la manière ordinaire d'opérer. Le liquide à analyser était renfermé dans une ampoule terminée par deux pointes fermées. Par une de ces pointes, l'ampoule était engagée au moyen d'un tube de caoutchouc dans le tube de combustion. L'oxide de cuivre étant porté au rouge, on cassait la pointe de l'ampoule engagée dans le tube à combustion, le liquide commençait aussitôt à distiller, et on réglait l'opération au moyen d'un charbon que l'on approchait de l'ampoule.

0,922 ont donné de cette manière 0,198 d'eau et 0,482 d'acide carbonique.

D'où :

|                |       |
|----------------|-------|
| Hydrogène..... | 2,39  |
| Carbone.....   | 14,44 |

Une expérience faite pour déterminer la densité de sa vapeur, m'a donné les résultats suivans :

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Poids du liquide.....    | 0 <sup>sr</sup> ,496 |
| Volume de la vapeur....  | 159 <sup>cc</sup>    |
| Température de la vapeur | 66°,7                |
| Baromètre.....           | 765 <sup>mm</sup>    |
| Mercure soulevé.....     | 13                   |

On déduit de là :

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Poids du litre de vapeur . | 3 <sup>sr</sup> ,917 |
| Densité de la vapeur.....  | 3,012                |

Le calcul donne :

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 2 vol. carbone . . . . . | 1,68558 |
| 4 hydrogène . . . . .    | 0,27520 |
| 4 chlore . . . . .       | 9,76132 |

$$\text{Densité calculée} = \frac{11,72210}{4} = 2,94$$

Le liquide traité par une dissolution alcoolique de potasse ne donne qu'un précipité très faible de chlorure de potassium, et distille presque entièrement sans altération.

Le chlore exerce donc sur l'éther hydrochlorique de l'esprit de bois une action semblable à celle qu'il produit avec l'éther hydrochlorique de l'alcool : deux atomes d'hydrogène sont enlevés, remplacés par 2 atomes de chlore, et il en résulte une substance  $C^2 H^4 Cl^4$  que j'appellerai *éther hydrochlorique monochloruré*, et qui correspond à une combinaison oxidée  $C^2 H^4 O^2$  inconnue, mais qui serait l'aldéhyde de la série du méthylène.

L'action du chlore sur l'éther hydrochlorique du méthylène ne se borne pas à substituer ces deux atomes d'hydrogène, le liquide  $C^2 H^4 Cl^4$  est lui-même vivement attaqué par le chlore, et donne deux produits très remarquables, dont nous allons maintenant nous occuper.

*Second produit de l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique de l'esprit de bois.*

**Éther hydrochlorique bichloruré.**

Ce produit s'obtient en même temps que le précédent dans l'action du chlore sur l'hydrochlorate de méthylène.

lène, et il se condense dans les premiers flacons parce qu'il est beaucoup moins volatil que l'éther hydrochlorique monochloruré. On peut même disposer l'expérience de manière à n'obtenir à peu près que ce second produit ; il suffit pour cela de forcer un peu le courant de chlore et de ne pas refroidir beaucoup les récipients ; de cette manière l'éther hydrochlorique monochloruré ne se forme qu'en petite quantité, et il est presque entièrement entraîné par les gaz.

En soumettant le liquide à la distillation et rejetant les premières parties qui se dégagent, on obtient une substance qui bout à une température constante de  $61^{\circ}$ , et présente une odeur semblable à celle de tous les produits précédens. Sa densité à la température de  $17^{\circ}$  a été trouvée égale à 1,491.

I. 1,078 ont donné 0,090 d'eau et 0,397 d'acide carbonique.

II. 0,950 ont donné 0,078 d'eau et 0,348 d'acide carbonique.

On déduit de là :

|                     | I.    | II.   |
|---------------------|-------|-------|
| Hydrogène . . . . . | 0,93  | 0,91  |
| Carbone . . . . .   | 10,18 | 10,13 |

Une expérience pour déterminer la densité de sa vapeur a donné les résultats suivans :

|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Poids du liquide . . . . .    | 0 <sup>gr</sup> ,770 |
| Température de la vapeur . .  | 80°,4                |
| Volume de la vapeur . . . . . | 182 <sup>cc</sup>    |
| Baromètre . . . . .           | 757 <sup>mm</sup>    |
| Mercure soulevé, . . . . .    | 0                    |

On déduit de là :

Poids du litre de vapeur... 5,496

Densité de la vapeur..... 4,230

La formule à laquelle conduisent les expériences précédentes est la suivante :

|                      |        |        |
|----------------------|--------|--------|
| 2 at. hydrogène..... | 12,5   | 0,84   |
| 2 carbone.....       | 152,9  | 10,24  |
| 6 chlore.....        | 1327,8 | 88,92  |
|                      | <hr/>  |        |
|                      | 1493,2 | 100,00 |

2 vol. hydrogène..... 0,13760

2 carbone..... 1,68558

6 chlore..... 14,64198

$$\text{Densité} = \frac{16,46516}{4} = 4,116$$

Or cette formule est précisément celle du chloroforme : si l'on remarque de plus que le chloroforme, d'après M. Liebig, bout à  $60^{\circ},8$ , et qu'il a pour densité à la température de  $18^{\circ}$  1,480, tandis que l'éther hydrochlorique bichloruré a pour densité 1,491 à  $17^{\circ}$ , et bout à  $61^{\circ}$ , on ne pourra conserver aucun doute sur l'identité de ces deux substances.

Le chloroforme appartient donc à la série du méthylène et dérive de l'éther hydrochlorique de l'esprit de bois d'une manière très simple, par substitution de 4 atomes de chlore à la place de 4 atomes d'hydrogène.

On sait que par l'action prolongée de la potasse on transforme le chloroforme  $C^2 H^2 Cl^6$  en acide formique

$C^3 H_2 O^3$ , les 6 atomes de chlore étant remplacés par leur équivalent d'oxygène.

Quand on fait passer la vapeur du chloroforme dans un tube chauffé, il se décompose, il se dégage un mélange de chlore et d'acide hydrochlorique, il se dépose du charbon, et l'on trouve après l'expérience, dans la partie antérieure du tube et dans le récipient, de petits cristaux aciculaires de chlorure de carbone de Julin.

*Troisième produit de l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique de l'esprit de bois.*

**Éther hydrochlorique perchloruré.**

Le chlore attaque encore le chloroforme et lui enlève de l'hydrogène ; cependant la réaction se fait assez difficilement, même au soleil. La manière la plus convenable de disposer l'opération consiste à placer le chloroforme dans une cornue tubulée munie de son récipient, et de faire arriver par la tubulure dans le liquide un courant de chlore ; on chauffe la cornue avec quelques charbons, de manière à faciliter la réaction, et on distille le liquide dans le courant de chlore plusieurs fois de suite, jusqu'à ce qu'on n'aperçoive plus de dégagement d'acide hydrochlorique. Il est convenable d'ailleurs que l'appareil soit placé au soleil. Le liquide est ensuite agité avec du mercure pour lui enlever le chlore dissous, puis distillé.

Le nouveau produit n'a plus l'odeur suave des précédents. Son odeur s'approche davantage de celle du sesquichlorure de Faraday. Sa densité a été trouvée égale à 1,599 ; il bout à 78°.

I. 1,131 ont donné 0,005 d'eau et 0,319 d'acide carbonique.

II. 0,887 ont donné 0,004 d'eau et 0,252 d'acide carbonique.

La petite quantité d'eau est évidemment étrangère à la substance.

On déduit de là :

|                   | I.   | II.  |
|-------------------|------|------|
| Carbone . . . . . | 7,80 | 7,86 |

Ainsi c'est un nouveau chlorure de carbone dont la formule est :

|                          |         |        |
|--------------------------|---------|--------|
| 2 at. carbone, . . . . . | 152,88  | 7,95   |
| 8 chlore . . . . .       | 1770,56 | 92,05  |
|                          | <hr/>   |        |
|                          | 1923,44 | 100,00 |

Deux expériences ont été faites pour déterminer la densité de sa vapeur, l'une par la méthode de M. Gay-Lussac, l'autre par le procédé de M. Dumas ; elles ont donné pour résultats :

|                                    |                      |
|------------------------------------|----------------------|
| I. Poids du liquide . . . . .      | 0 <sup>gr</sup> ,596 |
| Volume de la vapeur . . . . .      | 128 <sup>cc</sup>    |
| Température de la vapeur . . . . . | 110°,1               |
| Baromètre . . . . .                | 761 <sup>mm</sup>    |
| Mercure soulevé . . . . .          | 33                   |

D'où :

|                                    |                      |
|------------------------------------|----------------------|
| Poids du litre de vapeur . . . . . | 6 <sup>gr</sup> ,812 |
| Densité . . . . .                  | 5,245                |

|                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| II. Excès du poids de la vapeur | 18 <sup>r</sup> ,167 |
| Température.....                | 17 <sup>o</sup>      |
| Baromètre.....                  | 761 <sup>mm</sup>    |
| Volume du ballon.....           | 294 <sup>cc</sup>    |
| Air restant.....                | 0                    |
| Température de la vapeur        | 100 <sup>o</sup>     |

D'où :

|                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| Poids du litre.....     | 78 <sup>r</sup> ,040 |
| Densité de la vapeur... | 5,415                |

Le calcul donne :

|                     |          |
|---------------------|----------|
| 2 vol. carbone..... | 1,68558  |
| 8 chlore.....       | 19,52264 |

$$\text{Densité} = \frac{21,20822}{4} = 5,302$$

Le chlorure de carbone  $\text{C}^2 \text{Cl}^8$  distille sans altération avec une dissolution d'hydrosulfate de sulfure de potassium. Il ne se change pas dans cette circonstance comme son analogue  $\text{C}^4 \text{Cl}^{12}$  dans la série de l'alcool, en un chlorure  $\text{C}^2 \text{Cl}^4$ , correspondant au méthylène  $\text{C}^2 \text{H}^4$ .

Le chlorure de carbone  $\text{C}^2 \text{Cl}^8$  subit par l'action de la chaleur une décomposition remarquable qui lui fait perdre une partie de son chlore, et donne naissance à plusieurs chlorures de carbone dont la composition est différente suivant la température à laquelle la décomposition a eu lieu.

Si le tube à travers lequel passe la vapeur du chlorure  $\text{C}^2 \text{Cl}^8$  est porté au rouge vif, on obtient principalement le chlorure  $\text{C}^4 \text{Cl}^8$ . En effet, après avoir fait passer trois

fois de suite une certaine quantité de chlorure de carbone  $C^2 Cl^8$  à travers un tube rempli de fragmens de verre et chauffé au rouge, le liquide obtenu a été distillé sur du mercure pour séparer le chlore dissous et a présenté la composition suivante :

1,012 ont donné 0,518 d'acide carbonique.

D'où carbone 14,15.

Une expérience pour déterminer la densité de sa vapeur par la méthode de M. Gay-Lussac a donné pour cette densité le nombre 5,58.

Les nombres précédens s'approchent beaucoup trop de ceux qui conviennent au chlorure de carbone  $C^4 Cl^8$  pour qu'il soit permis de douter que la substance analysée n'en soit pas presque entièrement formée.

Si la température du tube est plus élevée, on obtient des petits cristaux soyeux de chlorure de carbone de Julien  $C Cl$ .

En maintenant le tube au rouge sombre, j'ai cru remarquer que le chlorure de carbone  $C^2 Cl^8$  se changeait en un chlorure de carbone  $C^2 Cl^6$ , isomère avec le perchlore de Faraday, mais ayant une densité de vapeur moitié moindre et égale à 4,082. Malheureusement, l'expérience a été faite sur une trop petite quantité de matière pour que j'aie pu étudier suffisamment la réaction, et la saison trop avancée ne m'a pas permis de me procurer une nouvelle quantité de chlorure  $C^2 Cl^8$ , dont la préparation demande une lumière solaire intense.

Le chlore donne donc avec l'éther hydrochlorique de l'esprit de bois des substances analogues à celles qu'il produit avec l'éther hydrochlorique de l'alcool; il enlève successivement l'hydrogène qu'il remplace par une quan-

tité correspondante de chlore ; ce qui donne la série suivante de produits dérivés :

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| Éther hydrochlorique de l'esprit de bois... | $C^2 H^6 Cl^2$ |
| — monochloruré.....                         | $C^2 H^4 Cl^4$ |
| — bichloruré (chloroforme).                 | $C^2 H^2 Cl^6$ |
| — perchloruré.....                          | $C^2 Cl^8$     |

Ces produits traités par une dissolution alcoolique de potasse n'abandonnent pas d'acide hydrochlorique. Par une ébullition long-temps prolongée avec l'alcool de potasse, ils sont altérés ; mais dans ce cas ils subissent une décomposition complète, l'oxygène de la potasse venant prendre la place du chlore qui est entré en combinaison avec le potassium : c'est ce qui arrive principalement avec le chloroforme, qui, dans cette circonstance, se change en acide formique.

### TROISIÈME PARTIE.

#### *Sur l'éther hydrosulfurique et le mercaptan.*

L'éther hydrosulfurique n'avait pas encore été obtenu jusqu'à présent. On le prépare très facilement par double décomposition en faisant réagir l'éther hydrochlorique sur une dissolution alcoolique de monosulfure de potassium. On prépare le monosulfure de potassium en divisant en deux parties égales une dissolution alcoolique de potasse ; on sature l'une de ces parties avec de l'hydrogène sulfuré et on la réunit à l'autre. Il n'y a aucun inconvénient à ce qu'il y ait un léger excès de potasse caustique mélangé avec le monosulfure de potas-

sium, tandis qu'un excès d'hydrogène sulfuré compliquerait la réaction. La dissolution alcoolique de monosulfure de potassium est placée dans une cornue tubulée munie d'une allonge et d'un récipient. On fait arriver par la tubulure un courant d'éther hydrochlorique. Ce gaz s'y dissout en très grande quantité. Quand la dissolution paraît sursaturée, on met quelques charbons sous la cornue; au bout de quelques instans on voit se former un dépôt abondant de chlorure de potassium. On distille en maintenant le courant de gaz éther hydrochlorique et en étendant d'eau la liqueur alcoolique qui a passé à la distillation, on sépare un liquide éthéré qui vient nager à la surface de l'eau. Ce liquide est l'éther hydrosulfurique. La dissolution alcoolique de monosulfure de potassium peut donner encore une nouvelle quantité d'éther hydrosulfurique; il suffit pour cela de la laisser refroidir, puis de la saturer de nouveau par l'éther hydrochlorique. Pour purifier l'éther hydrosulfurique on l'agite à plusieurs reprises avec de l'eau, puis on le décante et on le distille sur quelques fragmens de chlorure de calcium.

L'éther hydrosulfurique a une odeur alliacée, très pénétrante, désagréable, mais incomparablement moins repoussante que celle du mercaptan. Sa densité à 20° est 0,825; il bout à 73°.

L'analyse de cette substance a été faite au moyen de l'oxide de cuivre; mais on a placé de plus au commencement du tube à combustion une longueur de 4 pouces de litharge pour retenir l'acide sulfureux.

I. 0,292 ont donné 0,298 d'eau et 0,570 d'acide carbonique.

II. 0,326 ont donné 0,633 d'acide carbonique.

On déduit de là :

|                | I.    | II.   |
|----------------|-------|-------|
| Hydrogène..... | 11,11 | »     |
| Carbone.....   | 53,97 | 53,70 |

La formule  $C^4 H^{10} S$  donne :

|                       |       |        |
|-----------------------|-------|--------|
| 10 at. hydrogène..... | 62,4  | 10,96  |
| 4 carbone.....        | 305,8 | 53,71  |
| 1 soufre.....         | 201,2 | 35,33  |
|                       | <hr/> |        |
|                       | 569,4 | 100,00 |

Une expérience pour déterminer la densité de sa vapeur a donné les résultats suivans :

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Poids du liquide.....      | 0 <sup>gr</sup> ,357 |
| Température de la vapeur.. | 99°,6                |
| Volume de la vapeur.....   | 128 <sup>cc</sup>    |
| Baromètre.....             | 752 <sup>mm</sup>    |
| Mercure soulevé.....       | 34                   |

D'où :

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Poids du litre de vapeur . | 4 <sup>gr</sup> ,023 |
| Densité de la vapeur.....  | 3,100                |

Le mode de condensation de l'éther hydrosulfurique est le même que celui de l'éther ordinaire. En effet, on trouve pour la densité calculée dans cette hypothèse :

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 10 vol. hydrogène .... | 0,6880 |
| 4 carbone.....         | 3,3712 |
| 1 soufre.....          | 2,2180 |

$$\text{Densité calculée} = \frac{6,2772}{2} = 3,1386$$

Si l'on remplace dans le procédé que je viens de donner pour la préparation de l'éther hydrosulfurique, le monosulfure de potassium par une dissolution alcoolique d'hydrosulfate de sulfure de potassium bien saturée d'hydrogène sulfuré, on obtient du mercaptan parfaitement pur, sans mélange d'huile thialique ni d'aucun autre produit.

Ce nouveau mode de production du mercaptan met hors de doute la nature de ce composé. L'éther hydrochlorique  $C^4 H^{10} Cl^2$  décomposé par le monosulfure de potassium  $KS$  donne du chlorure de potassium et de l'éther hydrosulfurique  $C^4 H^{10} S$ ; le même corps décomposé par l'hydrosulfate de sulfure de potassium  $KS + H^2 S$  donne du chlorure de potassium et du mercaptan  $C^4 H^{10} S + H^2 S$ . Le mercaptan est par conséquent un hydrosulfate d'éther hydrosulfurique; il est par rapport à l'éther hydrosulfurique, ce que l'alcool  $C^4 H^{10} O + H^2 O$  est à l'éther ordinaire  $C^4 H^{10} O$ .

Le mercaptan présente d'ailleurs le mode de condensation de l'alcool, comme on le reconnaît par l'expérience suivante :

|                               |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Poids du liquide . . . . .    | 0 <sup>gr</sup> ,310 |
| Volume de la vapeur . . . . . | 140 <sup>cc</sup>    |
| Température . . . . .         | 65°                  |
| Baromètre . . . . .           | 754 <sup>mm</sup>    |
| Mercure soulevé . . . . .     | 22                   |

On déduit de là :

|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| Poids du litre . . . . .       | 2 <sup>gr</sup> ,844 |
| Densité de la vapeur . . . . . | 2,188                |

Le calcul donne :

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 4 vol. carbone . . . . | 3,3712 |
| 12 hydrogène . .       | 0,7756 |
| 2 soufre . . . . .     | 4,4361 |

$$\text{Densité calculée} = \frac{8,5829}{4} = 2,145$$

L'éther hydrosulfurique de l'esprit de bois se prépare exactement comme celui de l'alcool. La préparation ne présente pas plus de difficultés ; il faut seulement refroidir beaucoup mieux le récipient, parce que l'éther hydrosulfurique de l'esprit de bois est beaucoup plus volatil que celui de l'alcool, comme on pouvait le prévoir *a priori*.

L'éther hydrosulfurique de l'esprit de bois est un liquide très mobile, d'une odeur des plus désagréables. Sa densité à 21° est 0,845 ; il bout à 41°.

0,406 ont donné 0,360 d'eau et 0,579 d'acide carbonique.

D'où :

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Hydrogène . . . . . | 9,85  |
| Carbone . . . . .   | 39,39 |

D'après la formule  $C^2 H^6 S$ , on a :

|                         |        |        |
|-------------------------|--------|--------|
| 6 at. hydrogène . . . . | 37,44  | 9,56   |
| 2 carbone . . . . .     | 152,88 | 39,05  |
| 1 soufre . . . . .      | 201,16 | 51,39  |
|                         | <hr/>  |        |
|                         | 391,48 | 100,00 |

La densité de sa vapeur correspond à celle de l'éther méthylique.

On a :

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 6 vol. hydrogène . . . . | 0,41280 |
| 2 carbone . . . . .      | 1,68558 |
| 1 soufre . . . . .       | 2,21805 |

$$\text{Densité calculée} = \frac{4,31643}{4} = 2,158$$

L'expérience a donné les résultats suivans :

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Poids du liquide . . . . . | 0 <sup>gr</sup> ,350 |
| Volume de vapeur . . . . . | 153 <sup>cc</sup> ,5 |
| Température . . . . .      | 54°,2                |
| Baromètre . . . . .        | 765 <sup>mm</sup>    |
| Mercure soulevé . . . . .  | 8                    |

D'où :

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| Poids du litre de vapeur .   | 2,746 |
| Densité de la vapeur . . . . | 2,115 |

*De l'action du chlore sur l'éther de l'alcool.*

M. Malaguti a fait voir qu'en soumettant l'éther  $C^4 H^{10} O$  à l'action du chlore, et prolongeant l'action jusqu'à ce que le dégagement d'acide hydrochlorique cesse entièrement, on lui enlevait 4 atomes d'hydrogène qui étaient remplacés par 4 atomes de chlore.

D'un autre côté M. Félix d'Arcet a obtenu dans une préparation de liqueur des Hollandais (Ann. de Chimie, t. LXVI, p. 198) une substance à laquelle il a donné le nom de *chloréthéral*, et qui a pour formulé  $C^4 H^8 Cl^2 O$ . Cette substance résulte évidemment de l'action du chlore sur la vapeur d'éther, dont l'hydrogène carboné arrive

fortement chargé quand on n'a pas soin de lui faire traverser de l'acide sulfurique concentré. Le chloréthéral est représenté par 2 volumes de vapeur.

Nous avons donc déjà deux produits successifs de l'action du chlore sur l'éther  $C^4 H^{10} O$ .

Ce sont :

Le chloréthéral. . . . .  $C^4 H^8 Cl^2 O$

L'éther chloruré. . . . .  $C^4 H^6 Cl^4 O$

J'ai voulu m'assurer si l'action du chlore sur l'éther s'arrêterait à ces 4 atomes d'hydrogène enlevés, et pour cela j'ai fait l'expérience suivante :

150 grammes d'éther distillé plusieurs fois sur du chlorure de calcium pour le débarrasser entièrement d'eau et d'alcool, ont été placés dans un ballon et traités par le chlore sec; le ballon a été maintenu dans l'eau à la température ordinaire; je n'ai pas reconnu la nécessité de le maintenir à une température plus basse. Au bout de douze heures environ d'action, le liquide commençait à se colorer en jaune par un excès de chlore dissous; j'ai alors retiré le ballon de l'eau, et j'ai continué l'action sous l'influence des rayons directs du soleil. Au bout de quelque temps on a aperçu une cristallisation abondante se développer sur les parois du ballon et dans un récipient mis en communication avec ce ballon. La liqueur renfermait une si grande quantité de ce composé cristallin dissous, que par le refroidissement elle en laissa déposer une cristallisation abondante. Pour achever l'action du chlore, on a décanté la partie liquide, et on l'a transvasée dans de grands flacons remplis de chlore sec qui ont été ensuite exposés aux rayons directs du soleil. On

a obtenu ainsi une nouvelle quantité de cristaux. Pour les purifier, il suffit de les exprimer dans du papier joseph, et de les dissoudre dans l'alcool bouillant. Ce dissolvant, dans les premiers momens du refroidissement, dépose des gouttelettes huileuses qui se solidifient à une température plus basse, et ensuite des paillettes cristallines : c'est la substance dans son plus grand état de pureté. Cette substance ressemble complètement, au premier aspect, au sesquichlorure de Faraday. Son odeur participe à la fois de celle de ce chlorure et de celle du chloral. Sa fusibilité la distingue du sesquichlorure, car elle fond déjà à  $69^{\circ}$ . Elle résiste à une température de  $280^{\circ}$  sans entrer en ébullition. Après le refroidissement, la matière reste long-temps liquide ; elle ne se solidifie quelquefois qu'après plusieurs heures. Il semblerait d'après cela que la substance a subi à cette haute température une modification isomérique passagère.

I. 0,993 ont donné 0,006 d'eau et 0,416 d'acide carbonique.

II. 1,020 ont donné 0,004 d'eau et 0,429 d'acide carbonique.

0,358 ont donné 1,225 chlorure d'argent.

La petite quantité d'eau est évidemment accidentelle. On déduit de ces analyses :

|                   | I.    | II.   |
|-------------------|-------|-------|
| Carbone . . . . . | 11,59 | 11,63 |
| Chlore . . . . .  | 84,41 | »     |

Ces nombres s'accordent exactement avec la formule  $C^A Cl^{10} O$ , c'est-à-dire avec celle d'un *éther perchloruré*, dont tout l'hydrogène est remplacé par son équivalent de chlore. En effet, d'après cette formule, on a :

|                    |         |        |
|--------------------|---------|--------|
| 4 at. carbone..... | 305,76  | 11,67  |
| 10 chlore.....     | 2213,25 | 84,50  |
| 1 oxigène.....     | 100,00  | 3,83   |
|                    | <hr/>   |        |
|                    | 2619,01 | 100,00 |

L'éther perchloruré se décompose quand on le distille avec une dissolution alcoolique de potasse, et donne un produit liquide que je n'ai pas étudié.

L'action du chlore sur l'éther ne s'arrête donc pas à 4 atomes d'hydrogène substitués, comme M. Malaguti l'avait trouvé en opérant à la lumière diffuse; sous l'influence des rayons directs du soleil, l'éther perd complètement son hydrogène qui est remplacé par une quantité équivalente de chlore. Il est très probable qu'entre le produit  $C^4 H^6 Cl^4 O$  de M. Malaguti et le produit extrême  $C^4 Cl^{10} O$ , que je viens de décrire, il existe les produits intermédiaires  $C^4 H^4 Cl^6 O$  et  $C^4 H^2 Cl^8 O$ , mais qu'il serait à peu près impossible d'isoler, ces produits ne se laissant pas distiller sans altération.

Il est convenable dans la préparation des produits de l'action du chlore sur l'éther de ne pas trop refroidir ce dernier au commencement de l'expérience, afin de permettre à l'éther hydrochlorique qui se forme en grande abondance de se dégager; sans cela, on s'expose à avoir des produits très complexes, puisqu'il s'y mêle les produits de l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique, et notamment le sesquichlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$ , qu'il serait difficile de séparer de l'éther perchloruré  $C^4 Cl^{10} O$ .

J'ai trouvé, d'accord avec M. Malaguti, du chloral

dans les produits de l'action du chlore sec sur l'éther. La formation de ce chloral s'explique facilement, comme nous le verrons plus loin.

*De l'action du chlore sur l'éther méthylique*  
 $C^2 H^6 O$ .

M. Malaguti, dans son beau travail sur l'action du chlore sur quelques éthers, n'a pas examiné celle que ce corps exerce sur l'éther méthylique simple  $C^2 H^6 O$ . Dans deux expériences entreprises dans le but d'étudier cette action, l'appareil dont il se servait fit explosion, et il se vit forcé d'abandonner ce sujet de recherches.

Il est très probable *à priori* que le chlore en agissant sur l'éther méthylique  $C^2 H^6 O$  donnera un produit analogue à celui que M. Malaguti a obtenu avec l'éther  $C^4 H^{10} O$  de l'alcool, c'est-à-dire la substance  $C^2 H^2 Cl^4 O$ , que ce chimiste a d'ailleurs retrouvée dans les éthers méthyliques composés traités par le chlore; mais il m'importait de savoir si l'action du chlore s'arrêterait aux 4 atomes d'hydrogène enlevés, ou si on ne parviendrait pas à enlever tout l'hydrogène et à le remplacer par une quantité correspondante de chlore, comme cela a lieu pour l'éther hydrochlorique.

L'action du chlore sur l'éther méthylique est des plus vives, et l'expérience est très difficile, je dirai même dangereuse à conduire. En effet, la moindre négligence dans la conduite de l'opération peut occasionner une explosion qui fait voler l'appareil en mille éclats. Après plusieurs tâtonnemens infructueux, je me suis arrêté à la disposition suivante :

L'éther méthylique est produit comme à l'ordinaire en chauffant un mélange de 1 partie d'esprit de bois et de 4 parties d'acide sulfurique concentré. Le gaz qui se dégage traverse d'abord un flacon laveur renfermant de l'eau, puis un second flacon contenant une dissolution de potasse destinée à retenir les acides sulfureux et carbonique, enfin un long tube de chlorure de calcium pour lui enlever son humidité. Le chlore traversait un premier flacon renfermant de l'eau, et un second contenant de l'acide sulfurique concentré qui lui enlevait son eau. Les deux gaz étaient amenés dans un grand ballon à deux tubulures et à pointe semblable à ceux que l'on emploie ordinairement dans la préparation de l'éther. Les extrémités des deux tubes qui amènent les gaz dans le ballon doivent être éloignées l'une de l'autre afin que les deux gaz réagissants n'arrivent en présence que mélangés avec une grande proportion de gaz inerte. La pointe du ballon tubulé est engagée dans une allonge, et l'extrémité de celle-ci, qui doit rester ouverte, est placée à une certaine distance au-dessus d'un flacon surmonté d'un entonnoir et destiné à recueillir le produit. Il est convenable que le flacon ne soit pas solidaire de l'appareil, afin que si celui-ci vient à faire explosion, les produits obtenus précédemment ne soient pas perdus.

L'appareil étant placé dans un endroit bien éclairé, mais qui ne reçoit pas les rayons directs du soleil, il se passe souvent plus d'une heure sans qu'on aperçoive aucune action, bien que les gaz se dégagent en abondance. Mais une fois la réaction établie, ce que l'on reconnaît à ce que les parois du ballon se mouillent de liquide, et à un dégagement abondant d'acide hydrochlorique, il

faut régler les proportions de gaz avec le plus grand soin. Les gaz doivent arriver de manière à se détruire exactement et de plus assez lentement pour qu'il ne puisse pas s'accumuler dans le ballon une grande quantité du mélange explosif. Si l'un des gaz vient à marcher trop vite, il faut se hâter d'enlever un des bouchons de l'appareil qui le produit, afin d'empêcher qu'il n'arrive en trop grande proportion. Si, par exemple, le ballon vient à se colorer notablement par un excès de chlore, le dégagement d'éther méthylique s'étant ralenti, et qu'on ranime le dégagement d'éther au moyen de quelques charbons, une explosion est presque inévitable; il faut se hâter d'arrêter le dégagement de chlore, et ne faire arriver l'éther qu'en petite quantité jusqu'à ce que le ballon soit décoloré; on y parvient facilement en débouchant partiellement un des flacons laveurs. Malgré toutes ces précautions, il arrive quelquefois que le chlore s'enflamme et qu'il brûle avec une flamme rouge au milieu de l'éther en excès. Les produits sont alors détruits, et il se dépose du charbon contre les parois du ballon. On est obligé d'arrêter le dégagement des gaz et de laisser refroidir le ballon avant de recommencer.

Le liquide obtenu est purifié par distillation; il est très mobile, possède une odeur suffocante et fait pleurer les yeux. Cette odeur est tout-à-fait semblable à celle du gaz chlorocarbonique. Il répand des fumées acides à l'air, probablement par l'eau renfermée dans l'atmosphère, car on peut le distiller sans qu'il subisse d'altération. Il bout à  $105^{\circ}$ . Sa densité à  $20^{\circ}$  a été trouvée égale à 1,315. L'eau le décompose, mais très lentement,

au moins à la température ordinaire, et le liquide traité par l'eau ne change pas de composition.

I. 0,881 ont donné 0,290 d'eau et 0,665 d'acide carbonique.

II. 0,887 ont donné 0,293 d'eau et 0,672 d'acide carbonique.

0,514 ont donné 1,282 de chlorure d'argent.

D'où :

|                     | I.    | II.   |
|---------------------|-------|-------|
| Hydrogène . . . . . | 3,65  | 3,66  |
| Carbone . . . . .   | 20,88 | 20,96 |
| Chlore . . . . .    | 61,53 | »     |

La formule  $C^2 H^4 Cl^2 O$  donne :

|                           |        |        |
|---------------------------|--------|--------|
| 4 at. hydrogène . . . . . | 24,96  | 3,47   |
| 2 carbone . . . . .       | 152,88 | 21,21  |
| 2 chlore . . . . .        | 442,66 | 61,44  |
| 1 oxigène . . . . .       | 100,00 | 13,88  |
|                           | <hr/>  |        |
|                           | 720,50 | 100,00 |

Ainsi l'éther méthylique a perdu 2 atomes d'hydrogène qui ont été remplacés par 2 atomes de chlore, et la substance résultante  $C^2 H^4 Cl^2 O$ , l'éther méthylique *monochloruré*, a conservé la même condensation en 2 volumes que l'éther méthylique  $C^2 H^6 O$  dont il dérive.

On a dans ce cas pour la densité calculée :

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| 4 vol. hydrogène . . . . . | 0,2752 |
| 2 carbone . . . . .        | 1,6856 |
| 2 chlore . . . . .         | 4,8806 |
| 1 oxigène . . . . .        | 1,1026 |
|                            | <hr/>  |

$$\text{Densité} = \frac{7,9440}{2} = 3,972$$

J'ai fait deux expériences pour déterminer cette densité de vapeur, l'une par la méthode de M. Gay-Lussac, l'autre par le procédé de M. Dumas, en opérant sur une grande quantité de liquide. Mon but était de prouver par ces expériences comparatives que la substance était bien homogène et qu'elle ne se détruisait pas par l'ébullition.

Voici les résultats de ces deux expériences :

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| I. Poids du liquide..... | 0 <sup>gr</sup> ,399 |
| Volume de la vapeur...   | 126 <sup>cc</sup>    |
| Température.....         | 134 <sup>o</sup>     |
| Baromètre.....           | 768 <sup>mm</sup>    |
| Mercure soulevé.....     | 34                   |

D'où :

|                          |                      |
|--------------------------|----------------------|
| Poids du litre de vapeur | 4 <sup>gr</sup> ,884 |
| Densité.....             | 3,770                |

|                                 |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| II. Excès du poids de la vapeur | 1,220               |
| Température.....                | 21 <sup>o</sup> ,2  |
| Baromètre.....                  | 756,5               |
| Température de la vapeur..      | 125 <sup>o</sup> ,3 |
| Volume de la vapeur.....        | 504 <sup>cc</sup>   |
| Air restant.....                | 0                   |

D'où :

|                        |       |
|------------------------|-------|
| Poids du litre.....    | 5,262 |
| Densité de la vapeur.. | 4,047 |

Le liquide qui restait dans le ballon a été analysé.

0,826 ont donné 0,254 d'eau et 0,615 d'acide carbonique.

D'où :

|                |       |
|----------------|-------|
| Hydrogène..... | 3,42  |
| Carbone.....   | 20,59 |

L'éther méthylique monochloruré est encore facilement attaqué par le chlore dans un endroit bien éclairé. Au soleil, l'action est tellement vive qu'il peut y avoir inflammation. L'éther méthylique perd successivement tout son hydrogène et se change finalement en éther méthylique perchloruré  $C^2 Cl^6 O$ . Mais ici il se présente une circonstance qui m'a long-temps embarrassé. En effet, dans tous les produits qui précèdent, nous voyons toujours le point d'ébullition s'élever à mesure que du chlore remplace une plus grande quantité d'hydrogène. Cela n'a pas lieu pour l'éther méthylique. L'éther méthylique bichloruré est moins volatil que l'éther monochloruré. Mais l'éther perchloruré  $C^2 Cl^6 O$  est plus volatil qu'aucun de ceux qui le précèdent. Cette anomalie s'explique facilement, comme nous le verrons tout à l'heure.

L'éther méthylique bichloruré a une odeur analogue à celle de l'éther méthylique monochloruré ; elle est seulement moins forte. Sa densité à  $20^{\circ}$  est 1,606. Il bout vers  $130^{\circ}$ . Ce point d'ébullition n'a pas été pris exactement.

I. 0,705 ont donné 0,073 d'eau et 0,330 d'acide carbonique.

II. 0,787 ont donné 0,077 d'eau et 0,375 d'acide carbonique.

II. 0,331 ont donné 1,032 chlorure d'argent.

D'où :

|                     | I.    | II,   |
|---------------------|-------|-------|
| Hydrogène . . . . . | 1,15  | 1,10  |
| Carbone . . . . .   | 12,95 | 13,18 |
| Chlore . . . . .    | »     | 76,92 |

La formule  $C^2 H^2 Cl^4 O$  donne :

|                      |         |        |
|----------------------|---------|--------|
| 2 at. hydrogène..... | 12,48   | 1,09   |
| 2 carbone.....       | 152,88  | 13,28  |
| 4 chlore.....        | 885,30  | 76,94  |
| 1 oxigène.....       | 100,00  | 8,69   |
|                      | <hr/>   |        |
|                      | 1150,66 | 100,00 |

La densité de la vapeur de l'éther méthylique bichloruré a été trouvée de 6,367 d'après les résultats suivans :

|                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| Poids du liquide..... | 0,452               |
| Volume de la vapeur.. | 95 <sup>cc</sup> ,0 |
| Température.....      | 165°                |
| Baromètre.....        | 763 <sup>mm</sup>   |
| Mercure soulevé.....  | 63                  |

D'où :

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| Poids du litre de vapeur... | 8,278 |
| Densité de la vapeur.....   | 6,367 |

Le calcul donne :

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 2 vol. hydrogène..... | 0,1376 |
| 2 carbone.....        | 1,6856 |
| 4 chlore.....         | 9,7612 |
| 1 oxigène.....        | 1,1026 |

$$\text{Densité} = \frac{12,6970}{2} = 6,3485$$

L'éther méthylique bichloruré  $C^2 H^2 Cl^4 O$  présente donc encore la condensation en 2 volumes de l'éther méthylique primitif  $C^2 H^6 O$ .

L'éther méthylique bichloruré perd ce qui lui reste

d'hydrogène quand on le traite par le chlore sous l'influence de la lumière solaire et se change en éther méthylique perchloruré  $C^2 Cl^6 O$  ; mais comme ce dernier produit est assez volatil, il est difficile d'éviter qu'une portion considérable de la matière ne soit entraînée par le courant de gaz.

L'éther méthylique perchloruré a une odeur extrêmement vive et suffocante. Sa densité est 1,594 ; il bout vers 100°. Son point d'ébullition n'a pas été pris exactement.

0,854 ont donné 0,012 d'eau et 0,295 d'acide carbonique.

0,331 ont donné 1,122 chlorure d'argent.

On déduit de là :

|                |       |
|----------------|-------|
| Hydrogène..... | 0,15  |
| Carbone.....   | 9,55  |
| Chlore.....    | 83,62 |

Le calcul donne :

|                    |         |        |
|--------------------|---------|--------|
| 2 at. carbone..... | 152,88  | 9,66   |
| 6 chlore.....      | 1327,98 | 83,99  |
| 1 oxigène.....     | 100,00  | 6,35   |
|                    | <hr/>   |        |
|                    | 1580,86 | 100,00 |

La densité de sa vapeur a été trouvée de 4,670 d'après les résultats suivans :

|                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| Poids du liquide..... | 0,501             |
| Volume de la vapeur.. | 126 <sup>cc</sup> |
| Température.....      | 128°              |
| Baromètre.....        | 764               |
| Mercure soulevé.....  | 34                |

D'où :

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Poids du litre.....  | 6,072 |
| Densité de la vapeur | 4,670 |

Le calcul donne :

|                     |         |
|---------------------|---------|
| 2 vol. carbone..... | 1,6856  |
| 6 chlore.....       | 14,6418 |
| 1 oxigène.....      | 1,1026  |

$$\text{Densité calculée} = \frac{17,4300}{4} = 4,360$$

L'éther méthylique perchloruré n'a donc plus conservé la condensation en 2 volumes de l'éther méthylique, ce qui lui aurait donné une densité = 8,715; ses molécules se sont écartées et se sont placées en 4 volumes. Cet écartement des molécules explique très bien pourquoi le point d'ébullition de l'éther trichloruré est plus bas que celui de l'éther bichloruré.

L'expérience a donné pour la densité de vapeur de l'éther méthylique perchloruré un nombre un peu fort. Cela tient à la présence d'une petite quantité d'éther méthylique bichloruré. Pour détruire cette petite quantité d'éther bichloruré, j'ai placé ce qui me restait de liquide dans un grand flacon rempli de chlore sec qui a été ensuite exposé au soleil. Au bout de deux jours d'insolation, j'ai retiré le liquide, et je l'ai analysé après l'avoir distillé sur du mercure.

I. 0,956 ont donné 0,005 d'eau et 0,312 d'acide carbonique.

II. 0,995 ont donné 0,006 d'eau et 0,325 d'acide carbonique.

III. 0,974 ont donné 0,007 d'eau et 0,320 d'acide carbonique.

I. 0,446 ont donné 1,535 chlorure d'argent.

II. 0,415 ont donné 1,435 chlorure d'argent.

D'où :

|                   | I.    | II.   | III. |
|-------------------|-------|-------|------|
| Carbone . . . . . | 9,02  | 9,04  | 9,08 |
| Chlore. . . . .   | 84,91 | 85,30 | »    |

Ces expériences semblent annoncer que le chlore, après avoir enlevé l'hydrogène à l'éther méthylique, et avoir pris sa place, est encore capable de chasser l'oxygène et de le remplacer; de sorte que le produit final serait le chlorure de carbone  $C^2 Cl^8$ , que nous avons obtenu par l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique de l'esprit de bois. Malheureusement il ne me restait plus de matière pour étudier plus loin cette action qui paraît extrêmement lente, et ce que je viens d'en dire ne doit être considéré que comme une conjecture.

#### *De l'action du chlore sur l'éther hydrosulfurique de l'alcool.*

L'éther hydrosulfurique est vivement attaqué par le chlore avec dégagement d'acide hydrochlorique; il prend feu quand on le projette dans un flacon rempli de chlore gazeux.

30 grammes d'éther hydrosulfurique ont été placés dans un grand flacon bien sec que l'on a ensuite rempli de chlore. Ce gaz a été absorbé en peu de temps, le flacon étant exposé à la lumière diffuse, et il s'est dégagé beaucoup d'acide hydrochlorique. On l'a rempli de nou-

veau de chlore sec, après quoi on l'a exposé à une lumière plus vive. On a répété ces opérations plusieurs fois de suite. Lorsqu'il n'y a plus eu d'action à la lumière diffuse, on a porté le flacon au soleil, et le liquide est resté ainsi exposé au soleil dans un excès de chlore plusieurs jours après que le dégagement d'acide hydrochlorique eut entièrement cessé.

L'éther hydrosulfurique s'était changé en un liquide huileux jaune, d'une odeur extrêmement fétide et persistante, entrant en ébullition vers  $160^{\circ}$ , mais subissant une altération sensible à la distillation.

Le liquide retiré du flacon a été exposé pendant vingt-quatre heures dans le vide sur une dissolution concentrée de potasse caustique.

La densité de ce liquide a été trouvée de 1,673 à la température de  $24^{\circ}$ .

I. 0,714 ont donné 0,060 d'eau et 0,332 d'acide carbonique.

II. 1,090 ont donné 0,080 d'eau et 0,494 d'acide carbonique.

0,500 ont donné 1,550 chlorure d'argent.

On déduit de là :

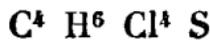
|                     | I.    | II.   |
|---------------------|-------|-------|
| Hydrogène . . . . . | 0,93  | 0,81  |
| Carbone . . . . .   | 12,86 | 12,54 |
| Chlore . . . . .    | 76,48 | »     |

Ces résultats conduisent à la formule  $C^4 H^2 Cl^6 S$ , qui est celle d'un *éther hydrosulfurique quadrichloruré*. En effet, d'après cette formule on a :

|                      |         |        |
|----------------------|---------|--------|
| 2 at. hydrogène..... | 12,48   | 0,55   |
| 4 carbone.....       | 305,76  | 13,34  |
| 8 chlore.....        | 1770,56 | 77,31  |
| 1 soufre.....        | 201,16  | 8,80   |
|                      | <hr/>   |        |
|                      | 2289,96 | 100,00 |

J'ai essayé de prendre la densité de la vapeur de cette substance, qu'il aurait été important d'obtenir même approximativement; mais bien que la température n'eût dépassé que de très peu le point d'ébullition du liquide, la substance s'était altérée; elle avait bruni et dégageait des vapeurs d'acide hydrochlorique.

Ainsi, par l'action prolongée du chlore sur l'éther hydrosulfurique sous l'influence de la lumière solaire directe, cet éther perd 8 atomes d'hydrogène qui sont remplacés par 8 atomes de chlore. — Il est très probable que l'éther hydrosulfurique passe par les états intermédiaires :



J'ai cherché à préparer un de ces produits, dans l'espoir de pouvoir prendre la densité de sa vapeur; car il m'importait de savoir si la condensation de l'éther hydrosulfurique en 2 volumes se conserverait dans ses produits dérivés. Malheureusement, une expérience dans laquelle je traitai plus de 100 grammes d'éther hydrosulfurique par un courant de chlore ne réussit pas. La matière se décomposa par la trop grande élévation de température qui eut lieu dans la réaction, et l'odeur de ces substances

est si effroyablement fétide , que je n'eus pas le courage de recommencer.

*De l'action du chlore sur l'éther hydrosulfurique de l'esprit de bois.*

Le chlore attaque très facilement l'éther hydrosulfurique de l'esprit de bois ; on est obligé au commencement de l'expérience de refroidir le liquide pour éviter une décomposition de la matière. Quand le chlore a agi pendant quelque temps , on voit se former au fond du vase une couche d'un liquide jaune huileux dont la quantité augmente continuellement jusqu'à ce que le liquide incolore et fluide ait entièrement disparu. L'éther hydrosulfurique s'est alors changé très probablement en son premier produit chloruré. Mais ce produit est très peu stable et ne se laisse pas distiller sans altération. Le chlore l'attaque vivement avec dégagement d'acide hydrochlorique. J'ai placé dans un grand flacon rempli de chlore sec l'éther hydrosulfurique monochloruré , et j'ai épuisé l'action du chlore au soleil. Le liquide résultant avait une odeur extrêmement fétide , se laissait distiller sans altération. A l'analyse , il n'a donné que 0,17 d'hydrogène et 8,4 de carbone. Il est très probable d'après cela que l'éther hydrosulfurique du méthylène perd complètement son hydrogène, qui est remplacé par son équivalent de chlore.

La composition de l'éther hydrosulfurique perchloruré  $C^2 Cl^6 S$  est :

|                    |         |        |
|--------------------|---------|--------|
| 2 at. carbone..... | 152,88  | 9,13   |
| 6 chlore.....      | 1327,86 | 78,91  |
| 1 soufre.....      | 201,16  | 11,96  |
|                    | <hr/>   |        |
|                    | 1681,90 | 100,00 |

Je regrette de n'avoir pas pu étudier d'une manière plus complète et plus satisfaisante les produits de l'action du chlore sur les éthers hydrosulfuriques ; mais on rencontre dans cette étude de très grandes difficultés. La principale tient à l'odeur fétide et extrêmement mal-faisante de ces produits. Il m'était impossible de supporter cette odeur pendant une demi-heure sans me sentir gravement indisposé.

#### *Sur le chloral insoluble.*

On sait que lorsque le chloral est abandonné à lui-même dans un flacon bouché, il se change peu à peu en une matière blanche, amorphe, ressemblant à de la porcelaine, insoluble dans l'eau, et à laquelle M. Liebig a donné le nom de *chloral insoluble*. Les analyses qui ont été faites de cette substance ont conduit à une formule bizarre, et qui ne se laisse pas dériver d'une manière rationnelle de la formule du chloral ordinaire qui lui a donné naissance. J'ai repris l'étude de cette substance, et j'ai reconnu que le chloral insoluble a précisément la même composition que le chloral anhydre, par conséquent que ce dernier ne subit qu'une simple modification isomérique.

Le chloral insoluble que j'ai examiné provenait d'un

chloral anhydre très pur qui avait servi aux expériences de M. Dumas, et qui depuis cette époque était conservé dans la collection de l'École Polytechnique. Presque toute la matière s'était prise en masse; il ne restait que quelques gouttes de liquide qui ont cristallisé par l'addition d'un peu d'eau, en un mot, qui présentaient tous les caractères du chloral ordinaire.

I. 0,996 de ce chloral insoluble desséché à l'air ont donné 0,088 d'eau et 0,572 d'acide carbonique.

II. 0,967 de chloral desséché à une température de 120° ont donné 0,570 d'acide carbonique.

III. 0,998 bien bouilli avec de l'eau, lavé, puis séché à 120°, ont donné 0,088 d'eau et 0,592 d'acide carbonique.

IV. 0,997 ont donné 0,087 d'eau et 0,587 d'acide carbonique.

0,493 ont donné 1,417 chlorure d'argent.

On déduit de là :

|               | I.    | II.   | III.  | IV.   |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| Hydrogène.... | 0,98  | »     | 0,98  | 0,97  |
| Carbone.....  | 16,01 | 16,30 | 16,40 | 16,35 |
| Chlore.....   | 70,90 | »     | »     | »     |

La composition du chloral ordinaire est :

|                      |         |        |
|----------------------|---------|--------|
| 2 at. hydrogène..... | 12,50   | 0,70   |
| 4 carbone.....       | 305,74  | 16,55  |
| 6 chlore.....        | 1327,92 | 71,93  |
| 2 oxigène.....       | 200,00  | 10,82  |
|                      | <hr/>   |        |
|                      | 1846,16 | 100,00 |

L'identité de composition de ces deux substances peut

d'ailleurs se démontrer d'une manière bien simple. On place quelques fragmens de chloral insoluble dans un tube fermé par un bout et courbé en syphon, puis on étire la partie ouverte à la lampe. En chauffant la branche qui renferme la matière dans un bain d'huile que l'on porte à 200 ou 250°, on voit bientôt ruisseler le long des parois un liquide qui se rend dans l'autre branche, et qui n'est autre chose que le chloral anhydre ordinaire tout-à-fait pur. Le chloral insoluble peut être ainsi distillé complètement et transformé en chloral ordinaire.

*Sur l'huile douce du vin.*

On a désigné sous ce nom plusieurs substances probablement très différentes. Ce que je dirai ici ne se rapporte qu'à la substance huileuse que l'on sépare dans la fabrication en grand de l'éther, quand on distille celui-ci sur la chaux. On donne à cette substance les caractères suivans : liquide jaune, présentant la consistance de l'huile d'olive, ayant pour densité 0,917, et entrant en ébullition à 280° : mais ces caractères ne se rapportent qu'à une substance impure. On peut l'obtenir sous la forme d'un liquide bien fluide et parfaitement incolore ; il suffit pour cela de distiller l'huile brute une ou deux fois sur de la chaux vive, puis une troisième fois avec du potassium.

L'huile douce du vin est très avide d'oxygène, elle l'absorbe rapidement, se résinifie, et la résine, en se dissolvant dans l'huile non altérée, la colore en jaune et la rend visqueuse. Une petite quantité d'huile douce placée dans un tube renfermant de l'oxygène, en a absorbé

35 fois son volume en quelques jours. Cette substance doit, par conséquent, être conservée dans des flacons très bien bouchés, ou mieux dans des tubes fermés à la lampe.

L'huile douce pure bout vers  $285^{\circ}$ . Sa densité est 0,897 à la température de  $17^{\circ}$ .

I. 0,284 ont donné 0,301 d'eau et 0,909 d'acide carbonique.

II. 0,3003 ont donné 0,316 d'eau et 0,958 d'acide carbonique.

III. 0,293 ont donné 0,307 d'eau et 0,935 d'acide carbonique.

On déduit de là :

|                | I.     | II.   | IV.   |
|----------------|--------|-------|-------|
| Hydrogène..... | 11,77  | 11,69 | 11,64 |
| Carbone .....  | 88,50  | 88,23 | 88,23 |
|                | <hr/>  | <hr/> | <hr/> |
|                | 100,27 | 99,92 | 99,87 |

Ces analyses donnent les rapports suivans :

|                      |        |        |
|----------------------|--------|--------|
| 8 at. hydrogène..... | 49,92  | 11,55  |
| 5 carbone.....       | 382,20 | 88,45  |
|                      | <hr/>  | <hr/>  |
|                      | 432,12 | 100,00 |

qui est le même que celui qui existe dans l'essence de térébenthine.

La densité de la vapeur de cette huile peut être prise très bien par la méthode de M. Dumas ; il faut seulement avoir soin de remplir préalablement le ballon de gaz acide carbonique ; car à une haute température l'huile serait promptement résinifiée par l'oxygène de l'air renfermé dans le ballon.

Voici les résultats de deux opérations :

|                                                                               | I.                    | II.                   |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Excès du poids de la vapeur . . . . .                                         | 0,888                 | 1,409                 |
| Température . . . . .                                                         | 16°                   | 17°                   |
| Baromètre . . . . .                                                           | 761                   | 762                   |
| Tempér. de la vapeur après correct. sur<br>la tige non plongée du thermomètre | 350°                  | 325°                  |
| Capacité du ballon . . . . .                                                  | 215 <sup>cc</sup> ,3  | 311 <sup>cc</sup>     |
| Gaz restant . . . . .                                                         | 0,5                   | 0                     |
| D'où l'on tire :                                                              |                       |                       |
| Poids du litre de vapeur . . . . .                                            | 12 <sup>gr</sup> ,190 | 12 <sup>gr</sup> ,429 |
| Densité de la vapeur . . . . .                                                | 9,391                 | 9,561                 |

Le calcul donne :

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| 10 vol. vapeur de carbone .. | 8,4279 |
| 16     hydrogène . . . . .   | 1,1006 |

Densité calculée = 9,5285

Cette densité est précisément le double de celle de l'essence de térébenthine.

Or, nous connaissons déjà un hydrogène carboné qui est isomère avec l'essence de térébenthine et qui présente une condensation double; c'est le pétrolène que M. Boussingault a extrait des bitumes et qu'il considère comme leur principe liquide. Si l'on compare les propriétés que M. Boussingault assigne à son pétrolène avec celles de l'huile douce, on ne peut douter un seul instant de l'identité de ces substances.

En effet,

|                                                   |       |
|---------------------------------------------------|-------|
| L'huile douce a pour densité , à 17°,             | 0,897 |
| Le pétrolène                    »            21°, | 0,891 |

L'huile douce bout vers 285°

Le pétrolène . » 280°

Les réactions chimiques de ces deux substances sont en tout semblables.

L'huile douce du vin, au moins celle dont il est question ici, présente donc une composition très complexe; en effet, si l'on admet que l'atome est représenté par 4 volumes de vapeur, on a pour sa formule  $C^{40} H^{64}$ . Il est infiniment peu probable, d'après cela, que cette substance dérive de l'alcool; il me paraît beaucoup plus rationnel d'admettre qu'elle provient des huiles qui sont mélangées à l'alcool, et qui ont été fournies par les matières soumises à la fermentation.

J'ai fait plusieurs tentatives pour préparer l'huile douce légère de Sérullas, en suivant exactement le procédé qu'il a indiqué; mais je ne suis pas parvenu, même en opérant sur plus d'un kilogramme d'alcool à la fois, à me procurer assez de cette substance pour en faire une analyse. Il est même arrivé plusieurs fois que l'huile pesante ayant été mise avec une dissolution de potasse dans un tube qui a été ensuite fermé à la lampe, puis agité, cette substance s'est dissoute entièrement, et il n'est pas resté la moindre goutte huileuse dans le tube.

Au reste, les observations que je donne ici sur l'huile douce du vin sont fort incomplètes; elles se rattachent à un travail que j'avais entrepris sur les hydrogènes carbonés de Sérullas et sur l'huile de vin pesante; mais que j'ai abandonné, ayant appris que plusieurs chimistes s'occupaient du même sujet.

*Conclusions théoriques.*

D'après la nature des produits que le chlore fournit avec l'éther hydrochlorique, j'ai conclu au commencement de ce mémoire que cet éther ne pouvait pas renfermer de gaz oléifiant. La théorie qui regarde ce gaz comme le radical des combinaisons étherées devrait donc, selon moi, être abandonnée.

Voyons maintenant comment ces réactions s'interpréteront dans la théorie de l'éthyle. Dans cette théorie l'éther hydrochlorique est. . . . .  $C^4 H^{10}.Cl^2$

Les produits qui en dérivent par l'ac-

tion du chlore devront s'écrire. . . .  $C^4 H^8 Cl^2.Cl^2$

$C^4 H^6 Cl^4.Cl^2$

$C^4 H^4 Cl^6.Cl^2$

$C^4 H^2 Cl^8.Cl^2$

$C^4 Cl^{10}. Cl^2$

c'est-à-dire que dans tous ces produits il doit y avoir 2 at. de chlore dans un état de combinaison différent de celui des autres; mais aucune réaction chimique ne vient à l'appui de ce fait. Les premiers de ces produits peuvent être distillés sur du potassium sans éprouver d'altération; dans aucune circonstance ils n'abandonnent une portion de leur chlore. Ils l'abandonnent tout entier à la fois quand on les traite par certains réactifs, et dans ce cas ordinairement le chlore est remplacé par une quantité équivalente d'un autre corps. C'est ce qui arrive quand on les fait bouillir pendant long-temps avec une dissolution alcoolique de potasse; le chlore se trouve alors rem-

placé par son équivalent d'oxygène. Le sesquichlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$  est le seul qui subisse une décomposition partielle par la dissolution alcoolique d'hydrosulfate de sulfure de potassium ; mais ce n'est pas deux atomes de chlore qu'il perd dans cette circonstance, comme cela paraîtrait probable si ce perchlorure dérivait d'un chlorure d'éthyle, mais bien 4 at. ; ce qui fait tomber le perchlorure de la série de l'éther dans celle du gaz oléifiant.

La manière qui me paraît la plus simple de considérer ces substances et de rattacher par une même théorie tous les composés de l'éther, consiste à regarder l'éther hydrochlorique non pas comme un chlorure d'un hydrogène carboné inconnu, mais comme une substance  $C^4 H^{10} Cl^2$  dérivée, si l'on veut, d'un hydrogène carboné hypothétique  $C^4 H^{12}$  par substitution de 2 atomes de chlore à la place de 2 atomes d'hydrogène. Mais la considération de cet hydrogène carboné hypothétique est tout-à-fait inutile dans la théorie que je propose.

Dans cette manière de voir l'éther ordinaire aura pour formule  $C^4 H^{10} O$ , et tous les produits que l'on a obtenus jusqu'à ce jour de l'alcool ou de l'éther peuvent se déduire avec la plus grande simplicité et avec la plus grande vraisemblance, par de simples substitutions, de cette molécule  $C^4 H^{10} O$  considérée comme molécule primitive.

L'éther  $C^4 H^{10} O$  est basique par rapport aux oxacides ; en se combinant avec ces acides, il forme les éthers composés du troisième genre, comme l'éther acétique  $C^4 H^{10} O + \bar{A}$ , l'éther oxalique  $C^4 H^{10} O + C^2 O^3$ , etc. ; quand l'oxacide est l'eau, on a  $C^4 H^{10} O + H^2 O$ , c'est-à-dire un hydrate d'éther ou l'alcool.

L'éther  $C^4 H^{10} O$  peut se combiner avec une proportion de certains acides double de celle que l'on rencontre dans les éthers composés, il forme alors les acides

|                    |                           |
|--------------------|---------------------------|
| Sulfovinique.....  | $C^4 H^{10} O + 2S O^3$   |
| Phosphovinique...  | $C^4 H^{10} O + 2P^2 O^5$ |
| Tartrovinique..... | $C^4 H^{10} O + 2\bar{T}$ |
| Etc.               | etc.                      |

Fait-on réagir sur l'éther  $C^4 H^{10} O$  ou sur son hydrate l'alcool, de l'acide hydrochlorique, l'oxigène  $O$  est enlevé en se combinant avec l'hydrogène de l'hydracide, et remplacé par une quantité correspondante de chlore  $Cl^2$ . On a ainsi l'éther hydrochlorique  $C^4 H^{10} Cl^2$ .

L'éther hydrochlorique décomposé par une dissolution alcoolique de monosulfure de potassium se change en éther hydrosulfurique  $C^4 H^{10} S$ , l'équivalent de chlore  $Cl^2$  étant remplacé par son équivalent de soufre  $S$ . L'éther hydrosulfurique  $C^4 H^{10} S$  est basique par rapport aux sulfacides, comme l'éther ordinaire  $C^4 H^{10} O$  l'est par rapport aux oxacides; il se combine avec l'acide hydrosulfurique et forme un composé correspondant à l'alcool  $C^4 H^{10} S + H^2 S$ . C'est le mercaptan. On retrouve le même éther basique  $C^4 H^{10} S$  combiné avec certains sulfures métalliques dans les mercaptides qui sont les éthers composés de l'éther hydrosulfurique.

L'éther  $C^4 H^{10} O$  ou son hydrate d'alcool, étant soumis à une action oxidante qui ne soit pas trop énergique ou trop long-temps prolongée, perd 2 atomes d'hydrogène qui sont remplacés par 1 atome d'oxigène et devient l'aldéhyde  $C^4 H^8 O^2$ . On sait, en effet, d'après les belles

expériences de M. Liebig, que l'aldéhyde se forme dans cette circonstance.

L'action oxidante étant plus long-temps prolongée, 2 atomes d'hydrogène sont de nouveau enlevés et substitués par 1 atome d'oxygène, et on obtient l'acide acétique  $C^4 H^6 O^3$ , qui prend 1 atome d'eau et se constitue acétique hydraté  $C^4 H^6 O^5 + H^2 O (1)$ .

Passons maintenant à l'action du chlore.

Le chlore, en agissant sur l'éther hydrochlorique  $C^4 H^{10} Cl^2$ , donne la série de produits qui a été étudiée dans la première partie de ce mémoire, en substituant successivement 2 atomes de chlore à la place de 2 atomes d'hydrogène. On obtient ainsi :

|                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| Ether hydrochlorique . . . . . | $C^4 H^{10} Cl^2$ |
| — monochloruré . . . . .       | $C^4 H^8 Cl^4$    |
| — bichloruré . . . . .         | $C^4 H^6 Cl^6$    |
| — trichloruré . . . . .        | $C^4 H^4 Cl^8$    |
| — quadrichloruré . . . . .     | $C^4 H^2 Cl^{10}$ |
| — perchloruré . . . . .        | $C^4 Cl^{12}$     |

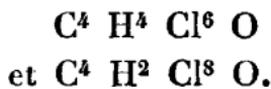
---

(1) L'alcool soumis à une action oxidante donne encore un autre produit : je veux parler de l'acétal que M. Liebig regarde comme un éther acétique tribasique. Mais l'étude de ce corps est encore tellement imparfaite, qu'il est difficile d'assigner la place qu'il doit prendre parmi les composés organiques. Cette difficulté est encore devenue plus grande depuis les recherches de M. Malaguti sur le formométhylal de M. Kane. La composition élémentaire de l'acétal paraît seule à peu près établie par les analyses de M. Liebig. Ce chimiste lui donne la formule  $C^8 H^{18} O^3$ . On peut concevoir ce corps dérivé de l'éther  $C^4 H^{10} O$  de la manière suivante : supposons que 2 molécules d'éther se groupent en une seule molécule  $C^8 H^{20} O^2$ , cette molécule double soumise à une action oxidante perdra 2 at. d'hydrogène qui seront remplacés par 1 at. d'oxygène et produira l'acétal  $C^8 H^{18} O^3$ .

Tous ces produits sont représentés par 4 volumes de vapeur, comme l'éther hydrochlorique qui leur a donné naissance.

En agissant sur l'éther ordinaire  $C^4 H^{10} O$ , le chlore enlève d'abord 2 atomes d'hydrogène qu'il remplace par 2 atomes de chlore et produit le chloréthéral de M. Félix Darcet  $C^4 H^8 Cl^2 O$ ; puis il enlève encore 2 at. d'hydrogène qu'il remplace par 2 atomes de chlore, et il donne l'éther chloruré de M. Malaguti  $C^4 H^6 Cl^4 O$ . Le chloréthéral est représenté par 2 volumes comme l'éther dont il dérive. Quant à l'éther chloruré  $C^4 H^6 Cl^4 O$ , sa densité de vapeur n'a pas pu être prise, parce que ce corps se décompose par l'ébullition.

D'après M. Malaguti l'action du chlore ne va pas plus loin à la lumière diffuse; mais nous avons vu dans ce mémoire que sous l'influence directe du soleil on peut enlever tout l'hydrogène, et obtenir par conséquent l'éther perchloruré  $C^4 Cl^{10} O$ . Il est probable qu'avant d'arriver à cette limite, l'éther passe par les deux nouveaux produits



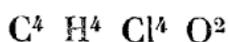
L'éther hydrosulfurique  $C^4 H^{10} S$  subit de la part du chlore une décomposition analogue à celle de l'éther ordinaire  $C^4 H^{10} O$ ; de l'hydrogène est enlevé successivement à l'état d'acide hydrochlorique, remplacé par une quantité correspondante de chlore, et on obtient finalement un éther hydrosulfurique quadrichloruré  $C^4 H^2 Cl^8 S$ . Il est infiniment probable que l'on pourra isoler des produits intermédiaires et former la série :

|                            |                                                 |
|----------------------------|-------------------------------------------------|
| Ether hydrosulfurique..... | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> S                |
| — — monochloruré..         | C <sup>4</sup> H <sup>8</sup> Cl <sup>2</sup> S |
| — — bichloruré.....        | C <sup>4</sup> H <sup>6</sup> Cl <sup>4</sup> S |
| — — trichloruré.....       | C <sup>4</sup> H <sup>4</sup> Cl <sup>6</sup> S |
| — — quadrichloruré.        | C <sup>4</sup> H <sup>2</sup> Cl <sup>8</sup> S |

Passons maintenant à l'action du chlore sur l'alcool. Cette réaction est très complexe, et jusqu'à présent elle n'a pas été complètement éclaircie par l'expérience; on sait seulement qu'en épuisant l'action du chlore on obtient le chloral C<sup>4</sup> H<sup>2</sup> Cl<sup>6</sup> O<sup>2</sup>. On peut se rendre raison de cette réaction de la manière suivante :

Supposons que nous opérions avec de l'alcool bien anhydre C<sup>4</sup> H<sup>10</sup> O + H<sup>2</sup>O et avec du chlore parfaitement sec. La première action du chlore sera une action oxydante, l'atome d'eau sera décomposé, il se formera de l'acide hydrochlorique, et son oxygène agit sur l'éther en enlevant 2 atomes d'hydrogène et les remplaçant par substitution. On obtient ainsi l'aldéhyde C<sup>4</sup> H<sup>8</sup> O<sup>2</sup>. On sait, en effet, que dans les premiers produits de l'action du chlore sur l'alcool il se trouve une grande quantité d'aldéhyde. L'eau de l'alcool se trouvant ainsi détruite, le chlore agit sur l'aldéhyde formée, et le produit final, le chloral C<sup>4</sup> H<sup>2</sup> Cl<sup>6</sup> O<sup>2</sup>, résulte de la substitution de 6 at. de chlore à la place de 6 at. d'hydrogène dans la molécule d'aldéhyde C<sup>4</sup> H<sup>8</sup> O<sup>2</sup>.

Il est évident que les 6 at. d'hydrogène ne sont pas enlevés d'un seul coup, et que l'on doit obtenir les produits intermédiaires



et enfin le chloral C H<sup>2</sup> Cl<sup>6</sup> O<sup>2</sup>.

Ce sont ces mélanges en proportions variables des produits qui précèdent le chloral qui forment les liqueurs huileuses qui ont été désignées sous le nom d'*huiles chloralcoolique* et d'*éther chloré pesant*. Ces substances doivent même se trouver mélangées avec les produits de l'action du chlore sur l'éther hydrochlorique qui doit toujours se former en quantité notable au commencement de l'expérience, et, en effet, j'ai trouvé dans une préparation de chloral une certaine quantité de chlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$ .

Si l'alcool avec lequel on opère est hydraté, ou si le chlore n'arrive pas parfaitement sec, condition très difficile à remplir quand il s'agit d'en produire une très grande quantité; alors les produits peuvent encore être beaucoup plus complexes. En effet, on conçoit que dans ce cas la première période oxidante du chlore ne s'arrête pas à l'aldéhyde, et qu'une certaine portion de cette substance soit changée en acide acétique. Cet acide avec l'alcool concentré pourra former de l'éther acétique, et par suite on aura dans le mélange les produits de l'action du chlore sur l'éther acétique. Je remarquerai que M. Dumas a observé, en effet, qu'en traitant l'alcool par une quantité convenable de chlore, on obtenait beaucoup d'éther acétique.

Nous avons vu dans la troisième partie de ce travail que dans les produits de l'action du chlore sur l'éther ordinaire  $C^4 H^{10} O$  on trouvait une quantité notable de chloral  $C^4 H^2 Cl^6 O^2$ . La formation de ce corps tient à ce que l'eau intervient dans la réaction. Dans les premiers momens de l'action du chlore sur l'éther, il se forme beaucoup d'éther hydrochlorique par la réaction

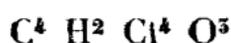
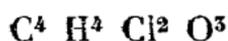
de l'acide hydrochlorique formé sur l'éther  $C^4 H^{10} O$ , réaction qui donne  $C^4 H^{10} Cl^2$ , et de l'eau  $H^2 O$ . Maintenant, l'éther soumis à l'action du chlore en présence de l'eau à l'état naissant se trouve absolument dans le même cas que s'il était à l'état d'alcool, et il doit donner les mêmes produits, c'est-à-dire, d'abord de l'aldéhyde  $C^4 H^8 O^2$ , puis du chloral  $C^4 H^2 Cl^6 O^2$ . Si l'éther que l'on soumet l'expérience n'est pas parfaitement anhydre, et si le chlore n'arrive pas complètement sec, il est possible que la quantité de chloral produite devienne plus grande. Il est certain qu'en traitant par le chlore de l'éther mélangé avec de l'eau, on obtient des produits très différens de ceux que donne l'éther sec. La saison trop avancée ne m'a pas permis d'éclaircir cette réaction.

L'action du chlore sur l'aldéhyde  $C^4 H^8 O^2$  n'a pas été étudiée jusqu'ici ; cependant, d'après des observations inédites de M. Fehling, il paraît qu'il se trouve parmi les produits de cette action une grande quantité de chloral  $C^4 H^2 Cl^6 O^2$  : il est probable que c'est en effet ce corps qui est le produit final de l'action, et que les autres substances mélangées ne sont que les produits qui précèdent le chloral.

L'action du chlore sur l'acide acétique  $C^4 H^6 O^5 + H^2 O$  nous est bien connue depuis les dernières expériences de M. Dumas ; on sait que par l'action prolongée du chlore l'acide acétique perd tout son hydrogène, qui est remplacé par une quantité correspondante de chlore, et qu'il devient  $C^4 Cl^6 O^5 + H^2 O$ . Cette nouvelle substance est extrêmement remarquable ; car non seulement elle possède les propriétés acides comme

l'acide acétique dont elle dérive, mais elle a de plus exactement la même capacité de saturation.

Il est très probable que l'acide acétique ne passe pas d'un seul coup de la combinaison  $C^4 H^6 O^5$  à la combinaison  $C^4 Cl^6 O^5$ , et qu'il existe des combinaisons intermédiaires



dont l'étude présenterait le plus grand intérêt. L'existence de ces combinaisons intermédiaires explique très bien les divergences que M. Dumas a obtenues pendant long-temps dans ses résultats.

On voit par ce qui précède que toutes les substances qui se rattachent aux éthers peuvent se déduire avec une grande simplicité, par de simples substitutions, d'un même groupement moléculaire  $C^4 H^{12}$  qui tend à rester constant, tant qu'il n'est pas soumis à des actions très violentes. Ce groupement moléculaire est basique quand il est  $C^4 H^{10} O$  ou  $C^4 H^{10} S$ , à peu près indifférent quand il est  $C^4 H^8 O^2$ , et il devient acide quand il passe à l'état de  $C^4 H^6 O^5$ .

Dans certaines circonstances, quand il est soumis à une action divellente énergique, le groupement moléculaire de l'éther  $C^4 H^{12}$  est détruit et passe au groupement moléculaire du gaz oléfiant  $C^4 H^8$ . C'est ce qui arrive quand on traite l'éther ou l'alcool par un excès d'acide sulfurique concentré ou le chlorure de carbone  $C^4 Cl^{12}$  par une dissolution alcoolique d'hydrosulfate de potasse.

La molécule  $C^4 H^8$  étant maintenant soumise aux agens chimiques, va donner une nouvelle série de produits,

qui seront très différens de ceux fournis par l'éther ; car ces nouveaux produits présenteront constamment le groupement moléculaire  $C^4 H^8$  au lieu du groupement moléculaire  $C^4 H^{12}$ .

La considération de ces groupemens moléculaires , qui tendent à se conserver, me paraît de la plus haute importance pour la théorie chimique. Peut-être trouvera-t-on par la suite que l'isomorphisme n'en est qu'un cas particulier.

Le tableau suivant renferme toutes les substances qui se rattachent aux éthers , classées d'après les idées que je viens d'énoncer.

Je ne distingue dans ce tableau que deux espèces d'éthers : les éthers simples et les éthers composés. Les éthers simples sont l'éther ordinaire  $C^4 H^{10} O$  et tous les éthers résultant du remplacement de l'équivalent d'oxygène par un équivalent de soufre, de chlore , de brome, d'iode, de cyanogène ; ils comprennent par conséquent tous les éthers formés par les hydracides.

L'éther ordinaire  $C^4 H^{10} O$  et l'éther hydrosulfurique  $C^4 H^{10} S$  sont représentés par 2 volumes de vapeur, tandis que les éthers hydrochlorique , hydrobromique , hydrocyanique sont représentés par 4 volumes. Cette différence est analogue à celle qui se rencontre dans les hydracides. Les équivalens de l'eau et de l'hydrogène sulfuré sont représentés par 2 volumes , tandis que ceux des acides hydrochlorique , hydrobromique sont représentés par 4 volumes.

Les composés dérivés qui n'ont pas été isolés sont marquées par un point d'interrogation (?).

## TABLEAU DES COMBINAISONS DÉRIVÉES DE L'ÉTHER C<sup>4</sup> H<sup>10</sup> O.

### *Ethers simples.*

|                       | (2 volumes).                     | (4 volumes.)                                   |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|
| Ether.....            | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> Cl <sup>2</sup> |
| Ether hydrosulfurique | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> S | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> Br <sup>2</sup> |
|                       |                                  | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> I <sup>2</sup>  |
|                       |                                  | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> Cy <sup>2</sup> |

### *Ethers composés de C<sup>4</sup> H<sup>10</sup> O.*

|                   |                                                                  |        |
|-------------------|------------------------------------------------------------------|--------|
| Alcool.....       | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O + H <sup>2</sup> O              | 4 vol. |
| Ether acétique... | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O + A                             | 4 vol. |
| Ether oxalique... | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O + C <sup>2</sup> O <sup>3</sup> | 2 vol. |
| Etc.,             | etc.                                                             |        |

### *Acides vinyques.*

|                         |                                                                   |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Acide sulfovinique..... | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O + 2S O <sup>3</sup>              |
| — phosphovinique..      | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O + 2P <sup>2</sup> O <sup>5</sup> |
| — tartrovinique....     | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O + 2T                             |
| — oxalovinique....      | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O + 2C <sup>2</sup> O <sup>3</sup> |
| — carbovinique....      | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O + 2C O <sup>2</sup>              |

### *Ethers composés de C<sup>4</sup> H<sup>10</sup> S.*

|                        |                                                      |        |
|------------------------|------------------------------------------------------|--------|
| Mercaptan.....         | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> S + H <sup>2</sup> S  | 4 vol. |
| Mercaptide de mercure. | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> S + Hg <sup>2</sup> S |        |
| — de plomb...          | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> S + Pb S              |        |
| — d'or.....            | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> S + Au S              |        |

## PRODUITS DE L'ACTION DE L'OXYGÈNE.

### *Sur l'éther C<sup>4</sup> H<sup>10</sup> O.*

|                     |                                              |        |
|---------------------|----------------------------------------------|--------|
| Ether.....          | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O             | 2 vol. |
| Aldéhyde.....       | C <sup>4</sup> H <sup>8</sup> O <sup>2</sup> | 4 vol. |
| Acide acétique..... | C <sup>4</sup> H <sup>6</sup> O <sup>3</sup> |        |

### *Sur l'alcool C<sup>4</sup> H<sup>10</sup> O + H<sup>2</sup> O.*

|                  |                                                     |  |
|------------------|-----------------------------------------------------|--|
| Alcool.....      | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O + H <sup>2</sup> O |  |
| Aldéhyde.....    | C <sup>4</sup> H <sup>8</sup> O <sup>2</sup>        |  |
| Acide acétique.. | C <sup>4</sup> H <sup>6</sup> O <sup>3</sup>        |  |

*Suite du tableau des combinaisons dérivées de l'éther C<sup>4</sup> H<sup>10</sup> O.*

PRODUITS DE L'ACTION DU CHLORE.

*Sur l'éther C<sup>4</sup> H<sup>10</sup> O.*

|                        |                                                     |        |
|------------------------|-----------------------------------------------------|--------|
| Ether.....             | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O                    | 2 vol. |
| Chloréthéral.....      | C <sup>4</sup> H <sup>8</sup> Cl <sup>2</sup> O     | 2 vol. |
| Ether bichloruré.....  | C <sup>4</sup> H <sup>6</sup> Cl <sup>4</sup> O     |        |
|                        | C <sup>4</sup> H <sup>4</sup> Cl <sup>6</sup> O (?) |        |
|                        | C <sup>4</sup> H <sup>2</sup> Cl <sup>8</sup> O (?) |        |
| Ether perchloruré..... | C <sup>4</sup> Cl <sup>10</sup> O                   |        |

*Sur l'éther hydrosulfurique C<sup>4</sup> H<sup>10</sup> S.*

|                            |                                                     |  |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|--|
| Ether hydrosulfurique..... | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> S                    |  |
| — monochloruré ..          | C <sup>4</sup> H <sup>8</sup> Cl <sup>2</sup> S (?) |  |
| — bichloruré.....          | C <sup>4</sup> H <sup>6</sup> Cl <sup>4</sup> S (?) |  |
| — trichloruré.....         | C <sup>4</sup> H <sup>4</sup> Cl <sup>6</sup> S (?) |  |
| — quadrichloruré .         | C <sup>4</sup> H <sup>2</sup> Cl <sup>8</sup> S     |  |

*Sur l'aldéhyde C<sup>4</sup> H<sup>8</sup> O<sup>2</sup>.*

|         |                                                                  |      |
|---------|------------------------------------------------------------------|------|
|         | C <sup>4</sup> H <sup>6</sup> Cl <sup>2</sup> O <sup>2</sup> (?) |      |
|         | C <sup>4</sup> H <sup>4</sup> Cl <sup>4</sup> O <sup>2</sup> (?) |      |
| Chloral | C <sup>4</sup> H <sup>2</sup> Cl <sup>6</sup> O <sup>2</sup>     | 4 v. |

*Sur l'éther hydrochlorique C<sup>4</sup> H<sup>10</sup> Cl<sup>2</sup>.*

|                           |                                                |      |
|---------------------------|------------------------------------------------|------|
| Ether hydrochlorique..... | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> Cl <sup>2</sup> | 4 v. |
| — monochloruré...         | C <sup>4</sup> H <sup>8</sup> Cl <sup>4</sup>  | 4    |
| — bichloruré.....         | C <sup>4</sup> H <sup>6</sup> Cl <sup>6</sup>  | 4    |
| — trichloruré.....        | C <sup>4</sup> H <sup>4</sup> Cl <sup>8</sup>  | 4    |
| — quadrichloruré..        | C <sup>4</sup> H <sup>2</sup> Cl <sup>10</sup> | 4    |
| — perchloruré....         | C <sup>4</sup> Cl <sup>12</sup>                | 4    |

*Sur les éthers composés.*

|                                                    |                                                              |      |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------|
| Sur Alcool.....                                    | C <sup>4</sup> H <sup>10</sup> O + H <sup>2</sup> O          | 4 v. |
| 1 <sup>re</sup> période, action oxidante, aldéhyde | C <sup>4</sup> H <sup>8</sup> O <sup>2</sup>                 | 4 v. |
| 2 <sup>e</sup> période, chlorurante.....           | C <sup>4</sup> H <sup>6</sup> Cl <sup>2</sup> O <sup>2</sup> | (?)  |
|                                                    | C <sup>4</sup> H <sup>4</sup> Cl <sup>4</sup> O <sup>2</sup> | (?)  |
| Chloral.....                                       | C <sup>4</sup> H <sup>2</sup> Cl <sup>6</sup> O <sup>2</sup> | 4 v. |

*Sur l'éther acétique..... C<sup>4</sup> H<sup>10</sup> O +  $\overline{A}$*

*Ether acétique chloruré. C<sup>4</sup> H<sup>6</sup> Cl<sup>4</sup> O +  $\overline{A}$*

*Sur l'acide acétique.*

|                               |                                                                                     |      |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Acide acétique.....           | C <sup>4</sup> H <sup>6</sup> O <sup>3</sup> + H <sup>2</sup> O                     |      |
| — monochloruré.....           | C <sup>4</sup> H <sup>4</sup> Cl <sup>2</sup> O <sup>3</sup> + H <sup>2</sup> O (?) |      |
| — bichloruré.....             | C <sup>4</sup> H <sup>2</sup> Cl <sup>4</sup> O <sup>3</sup> + H <sup>2</sup> O (?) |      |
| Acide perchloruré de M. Dumas | C <sup>4</sup> Cl <sup>6</sup> O <sup>3</sup> + H <sup>2</sup> O                    | 4 v. |

( 426 )

Les produits dérivés de l'esprit de bois forment une série analogue dont tous les termes peuvent être obtenus par substitution dans la molécule  $C^2 H^6 O$ , qui est celle de l'éther méthylique.

L'esprit de bois soumis à une action oxidante se change tout de suite en acide formique  $C^2 H^2 O^5$  par substitution de 2 atomes d'oxygène à la place de 4 atomes d'hydrogène. On n'a pas jusqu'à présent isolé le produit intermédiaire  $C^2 H^4 O^2$ , qui serait l'aldéhyde de la série méthylique. Lorsqu'on distille de l'esprit de bois avec un mélange d'acide sulfurique et de peroxide de manganèse, on obtient un composé que M. Kane a appelé *formométhylal*, et qu'il avait considéré comme un éther formique tribasique. M. Malaguti a montré dernièrement que le formométhylal n'est qu'un mélange d'éther méthylique formique et d'une nouvelle substance à laquelle il a donné le nom de *méthylal*, et qui a pour formule  $C^6 H^{16} O^4$  représentant 4 volumes de vapeur. Je regarde le méthylal comme étant en effet le correspondant dans la série de l'esprit de bois de l'acétal dans la série de l'alcool, et on peut le dériver de la molécule méthylique  $C^2 H^6 O$  de la manière suivante. Supposons que 3 molécules  $C^2 H^6 O$  viennent à se grouper en une seule, celle-ci sera composée de  $C^6 H^{18} O^5$ . Cette molécule, soumise à une action oxidante, perdra 2 atomes d'hydrogène, qui seront remplacés par 1 atome d'oxygène, et l'on aura  $C^6 H^{16} O^4$ , qui est précisément la formule du méthylal.

Le chlore agit vivement sur l'éther méthylique  $C^2 H^6 O$ ; il lui enlève de l'hydrogène, qu'il remplace par son équivalent de chlore, et donne les produits dérivés  $C^2 H^4 Cl^2 O$ ,  $C^2 H^2 Cl^4 O$ , et enfin  $C^2 Cl^6 O$ .

Dans les deux premiers la condensation en 2 volumes de l'éther méthylique se trouve conservée ; mais dans le dernier, l'éther méthylique perchloruré, les molécules s'écartent, et l'équivalent est représenté par 4 volumes.

L'éther hydrochlorique  $C^2 H^6 Cl^2$  donne par le chlore une série de produits dérivés dans lesquels la condensation en 4 volumes de l'éther primitif reste conservée. Cette série est la suivante :

|                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| Ether hydrochlorique..... | $C^2 H^6 Cl^2$             |
| — monochloruré.           | $C^2 H^4 Cl^4$             |
| — bichloruré....          | $C^2 H^2 Cl^6$ chloroforme |
| — perchloruré...          | $C^2 Cl^8$                 |

On sait que le chloroforme peut être obtenu également avec de l'alcool en distillant celui-ci avec du chlorure de chaux, ou bien en décomposant le chloral par une dissolution alcaline. Dans ces deux cas le groupement moléculaire de l'éther est détruit, la molécule se dédouble et donne d'un côté de l'acide formique qui se combine avec la base, et de l'autre la molécule méthylique  $C^2 H^6 O$ . Cette seconde origine du chloroforme mérite d'être remarquée, car elle fait entrevoir la possibilité de changer l'alcool en esprit de bois. En effet, le chloral résulte de l'action du chlore sur l'aldéhyde ou sur l'alcool. Nous avons admis que le chlore n'enlevait pas d'un seul coup les 6 atomes d'hydrogène à l'aldéhyde pour la transformer en chloral, mais qu'il doit former les produits intermédiaires.

|                   |                             |
|-------------------|-----------------------------|
| Aldéhyde.....     | $C^4 H^8 O^2$               |
| — monochloruré.   | $C^4 H^6 Cl^2 O^2$          |
| — bichloruré....  | $C^4 H^4 Cl^4 O^2$          |
| — trichloruré ... | $C^4 H^2 Cl^6 O^2$ chloral. |

Or, le chloral traité par une dissolution de potasse donne du chloroforme  $C^2 H^2 Cl^6$  et de l'oxide de carbone  $C^2 O^2$ , qui avec les élémens d'un atome d'eau donne de l'acide formique, et par suite du formiate de potasse.

Si l'action des alcalis est la même sur les produits qui précèdent le chloral, le produit  $C^4 H^4 Cl^4 O^2$  devra donner de l'acide formique et de l'éther hydrochlorique méthylique monochloruré  $C^2 H^4 Cl^4$ . Le produit  $C^4 H^6 Cl^2 O^2$  donnera de l'acide formique et de l'éther hydrochlorique simple  $C^2 H^6 Cl^2$ . Mais l'éther hydrochlorique  $C^2 H^6 Cl^2$  se change par une dissolution aqueuse de potasse en acide hydrochlorique et esprit de bois  $C^2 H^6 O + H^2 O$ .

Le tableau suivant renferme la série des substances dérivées de l'éther méthylique par substitution.

**TABLEAU DES COMBINAISONS DÉRIVÉES DE L'ÉTHÉR MÉTHYLIQUE**  
 **$C^2 H^6 O$ .**

| <i>Ethers simples.</i>  |                             | <i>Ethers composés.</i>                                 |                              |
|-------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------|
| En 2 volumes.           | En 4 volumes.               |                                                         |                              |
| Ether $C^2 H^6 O$       | $C^2 H^6 Cl^2$              | Esprit de bois...                                       | $C^2 H^6 O + H^2 O$ 4 v.     |
| $C^2 H^6 S$             | $C^2 H^6 Br^2$              | Ether acétique..                                        | $C^2 H^6 O + \overline{A}$ 4 |
|                         | $C^2 H^6 I^2$               | Ether oxalique..                                        | $C^2 H^6 O + C^2 O^3$ 2      |
|                         |                             | Ether sulfurique                                        | $C^2 H^6 O + S O^3$ 4        |
|                         |                             | Etc.,                                                   | etc.                         |
| <i>Acides viniques.</i> |                             | <i>Ether composé de l'éther <math>C^2 H^6 S</math>.</i> |                              |
| Acide sulfométhylque    | $C^2 H^6 O + 2S O^3$        | Mercaptan de l'esprit                                   |                              |
| — phosphométhyl.        | $C^2 H^6 O + 2P^2 O^5$      | de bois.....                                            | $C^2 H^6 S + H^2 S$          |
| — tartrométhylq..       | $C^2 H^6 O + \overline{2T}$ |                                                         |                              |
| — carbométhylque        | $C^2 H^6 O + 2C O^2$        |                                                         |                              |

**PRODUITS DE L'ACTION DE L'OXYGÈNE.**

*Sur l'éther méthylique ou sur son hydrate.*

|                      |                  |                                   |
|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| Ether méthylique.... | $C^2 H^6 O$      | 2 vol.                            |
| Aldéhyde inconnu...  | $C^8 H^4 O^2$    | (?)                               |
| Acide formique.....  | $C^2 H^2 O^3$    |                                   |
| Méthylal.....        | $C^6 H^{16} O^4$ | $= 3(C^2 H^6 O^3) - H^2 + O$ 4 v. |

## PRODUITS DE L'ACTION DU CHLORE.

*Sur l'éther méthylique*  $C^2 H^6 O$ .

|                       |                  |        |
|-----------------------|------------------|--------|
| Ether méthylique..... | $C^2 H^6 O$      | 2 vol. |
| — monochloruré..      | $C^2 H^4 Cl^2 O$ | ,      |
| — bichloruré.....     | $C^2 H^2 Cl^4 O$ | ,      |
| — perchloruré...      | $C^2 Cl^6 O$     | 4 vol. |

*Sur l'éther hydrosulfurique.*

|                            |                  |        |
|----------------------------|------------------|--------|
| Ether hydrosulfurique..... | $O^2 H^6 S$      | 2 vol. |
| — monochloruré....         | $C^2 H^4 Cl^2 S$ |        |
| — bichloruré.....          | $C^2 H^2 Cl^4 S$ |        |

*Sur l'éther hydrochlorique.*

|                                |                |        |
|--------------------------------|----------------|--------|
| Ether hydrochlorique. ....     | $C^2 H^6 Cl^2$ | 4 vol. |
| — monochloruré.....            | $C^2 H^4 Cl^4$ | ,      |
| — bichloruré (chloroforme).... | $C^2 H^2 Cl^6$ | ,      |
| — perchloruré .....            | $C^2 Cl^8$     | ,      |

*Sur les éthers composés.*

|                               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Sur l'esprit de bois.....     | inconnue                        |
| Sur l'éther acétique.....     | $C^2 H^6 O + \overline{A}$      |
| Ether acétique chloruré ..... | $C^2 H^2 Cl^4 O + \overline{A}$ |

L'éther méthylique  $C^2 H^6 O$ , ou son hydrate l'esprit de bois, traités par un excès quelconque d'acide sulfurique concentré, ne donnent jamais le méthylène, l'hydrogène carboné  $C^2 H^4$ . De même le chlorure de carbone  $C^2 Cl^8$ , traité par une dissolution alcoolique d'hydrosulfate de potasse, ne donne pas de chlorure de carbone  $C^2 Cl^4$  correspondant au méthylène. Ces faits peuvent porter à penser que le méthylène n'existe pas, c'est-à-dire qu'il n'existe pas d'hydrogène carboné qui soit à la série de l'esprit de bois ce que le gaz oléifiant est à la série de l'alcool.

*Sur l'Action d'un Faisceau de fil de fer dans l'interruption du circuit galvanique ;*

PAR M. GUSTAVE MAGNUS.

C'est en Angleterre que paraît avoir été observé pour la première fois, par MM. Bachhoffner et Sturgeon, l'augmentation extraordinaire de la commotion que l'on obtient au moyen d'une pile galvanique ou d'un couple unique de plaques, lorsqu'au lieu d'un noyau de fer massif, on place dans la spirale formée par le fil conducteur un faisceau de fils de fer. On a depuis adopté cette modification dans la construction d'appareils destinés à provoquer des commotions électriques ; mais je ne sache pas que l'on ait donné d'explication satisfaisante de l'augmentation de leur intensité. Je me suis livré à quelques expériences sur cet objet, et il me semble qu'elles sont propres à la fournir.

J'ai cru d'abord que la plus grande énergie des fils provenait de ce que ces derniers étaient fabriqués avec du fer plus doux que celui qu'on emploie en barres. Mais je me suis convaincu, en faisant usage de fils d'acier trempé, qu'ils avaient incomparablement plus d'énergie qu'une tige massive du fer le plus doux. Au moyen d'aiguilles à tricoter d'acier anglais bien trempé, placées dans l'axe d'une spirale composée de fils de cuivre garnis de soie, on obtient des commotions à peu près aussi énergiques que si on avait employé une barre de fer mas-

sive de la même longueur et six fois plus pesante que le faisceau d'aiguilles.

M'étant convaincu que l'acier trempé agit comme le fer doux, et que l'augmentation d'intensité dépend de l'état de séparation de la masse, j'ai opéré avec des fils garnis de soie et d'autres qui n'étaient point dans cette condition; j'ai vu que l'action des premiers était plus vive d'une quantité peu considérable, il est vrai; cette différence tient évidemment à ce que dans les fils garnis l'isolement est plus parfait que dans ceux qui ne le sont pas.

Les différences d'énergie des fils ont été estimées par celle des commotions produites; et ce n'est assurément pas là un moyen certain de les mesurer. Mais ces différences dont il s'agit ici sont si marquées, que jamais on ne peut être indécis. D'ailleurs, on a toujours fait usage de plusieurs spirales pour en comparer les effets; elles étaient faites de fils de longueur diverse, mais du même diamètre, et roulées sur des cylindres de carton semblables. Ces cylindres avaient tous la même longueur, de façon que les diverses spirales recouvraient toujours la même longueur de la barre intérieure. Ces barres, soit de fer massif, soit de faisceaux de fil de fer garnis ou non, avaient toutes la même longueur, et sortaient toutes de la même quantité de la spirale qui les enveloppait.

Pour expliquer le phénomène d'augmentation d'intensité, il était nécessaire de savoir s'il se produit seulement à l'interruption du circuit, c'est-à-dire si c'est un phénomène d'induction; ou bien, si pendant que le courant galvanique non interrompu circule autour du fer, l'action des fils est plus forte que celle des masses de fer

plein. Pour cela, j'ai d'abord opéré avec la spirale seule sans le mandrin de fer, et j'ai mis à quelque distance une boussole très sensible. Une pile à courant constant entre les élémens cuivre et zinc de laquelle se trouvait un cylindre d'argile calcinée, fournissait le courant qui parcourait la spirale; on observait alors la déviation de l'aiguille aimantée. On mettait ensuite dans la spirale des mandrins de fer d'égale longueur et de diamètres différens; et après ceux-ci des faisceaux de fils de fer de même longueur que les mandrins et de poids différens: les uns étaient garnis de soie, les autres ne l'étaient point. On déterminait la déviation de l'aiguille pour chacun de ces élémens électro-magnétiques. Le rapport des intensités magnétiques était donné par les troisièmes puissances des angles de déviation.

Ces expériences m'apprirent que les intensités magnétiques des faisceaux et celles des mandrins massifs sont dans un rapport tout autre que leurs actions par induction; et aussi que les plus puissantes commotions produites par les faisceaux, ne sont dues qu'à une action par induction produite par l'interruption du circuit.

J'ai voulu savoir quelle modification pouvait éprouver l'action exercée par les fils de fer, en les mettant en contact mutuel au moyen d'un bon conducteur électrique. J'ai fait couler du métal fusible en forme de cylindre, de manière à envelopper les fils.

Les commotions que j'obtins en plaçant ce cylindre dans la spirale, loin d'être plus fortes, étaient plus faibles qu'avec un mandrin de même poids que les fils, tandis qu'elles étaient extraordinairement énergiques avec des poids égaux de fils garnis ou non garnis.

Il me parut curieux de rechercher si le métal fusible affaiblissait l'action des fils en établissant entre eux un contact qui sert à conduire l'électricité, ou bien en les enveloppant simplement d'un conducteur de l'électricité. J'ai fait un cylindre creux de métal fusible de même longueur que le précédent, dans lequel je pouvais introduire un faisceau de fils non garnis de même poids que celui qui était soudé dans le cylindre de ce même métal. Enveloppé de ce cylindre, le faisceau avait un peu moins d'énergie qu'un mandrin de même poids et de même longueur.

Cette diminution d'intensité ne s'observe pas seulement avec le cylindre métallique de un quart de pouce d'épaisseur, elle se présente également lorsqu'on le remplace par un tube de laiton étiré très mince. Mais en fendant suivant sa longueur l'une ou l'autre de ces enveloppes, l'intensité reparut la même que si elles n'étaient point présentes.

Si l'on veut expliquer ces phénomènes, il faut se souvenir de la manière dont M. Faraday explique une augmentation semblable au moment de l'interruption du circuit. Lorsque le courant électrique vient à cesser, il donne naissance à un courant de même direction dans tous les conducteurs fermés qui se trouvent près de lui. Si à l'ouverture du circuit il ne se trouve pas près de lui de conducteur fermé, le courant en s'évanouissant donne naissance à ce courant de même direction dans le fil même qui sert à fermer. Si ce dernier est tourné en spirale, et qu'il contienne un mandrin de fer, il arrive qu'à l'ouverture du circuit le magnétisme, dont le fer s'était chargé pendant le temps que le circuit était fermé, dis-

paraît simultanément : la disparition du magnétisme peut être considérée comme une disparition des courans électriques. En s'évanouissant ils donnent naissance également à un courant de même direction dans le fil conducteur qui les entoure. Par suite de ces deux actions d'induction il se produit une forte étincelle, et les vives commotions que l'on observe au moment de l'ouverture du circuit.

Cette explication, si exacte qu'elle soit, n'est cependant pas tout-à-fait complète ; car, comme en ouvrant les fils conducteurs il se produit dans chaque conducteur fermé voisin un courant de même sens que celui qui disparaît, il se développe aussi dans la section de la masse de fer, qui se trouve dans la spirale, des courans de même sens que ceux de la spirale.

Ces courans en se développant rendent la masse de fer magnétique, et cela dans le même sens que lorsque le circuit était fermé.

Ainsi à l'ouverture du circuit non seulement du magnétisme disparaît, mais il s'en développe aussi d'autre part, et celui-ci enlève en partie l'action qu'exerçait le magnétisme sur le fil conducteur.

Si le développement du magnétisme à l'ouverture du circuit avait lieu avec la même intensité et la même vitesse que la disparition de celui développé sur le fer pendant la fermeture du circuit, les deux actions se détruiraient mutuellement, et le fer n'agirait plus par induction. Mais puisqu'il agit ainsi, il s'ensuit, ce qui d'ailleurs est évident, que le magnétisme par induction est plus faible que celui qui disparaît. En outre, il est clair que le fer agit par induction d'autant plus énergi-

quement, que le magnétisme récemment développé est plus faible relativement à celui qui s'évanouit. L'intensité du premier relativement au second reste constante dans le cas où le courant galvanique et le fil conducteur restent constans, pourvu qu'il n'existe pas d'obstacle au développement du courant électrique produit par induction dans le fer. Or, cet obstacle se présente lorsqu'on emploie un faisceau de fils de fer au lieu d'une masse de fer plein; car la section d'un tel faisceau n'est pas un conducteur fermé, condition indispensable à la production d'un courant. C'est pour cela que le magnétisme, développé par induction dans un faisceau de fils, est, relativement à l'autre, beaucoup plus faible que si le mandrin était massif, et c'est pour cela que l'action par induction que développe un faisceau de fils sur le fil du circuit est beaucoup plus énergique que celle produite par une masse de fer plein.

C'est de là que dépend essentiellement la plus faible action du fer plein. Mais, outre cela, l'action par induction du fil de circuit sur lui-même est aussi diminuée; car chaque section de la barre forme un conducteur fermé voisin du fil de circuit, sur lequel conducteur le fil de circuit peut agir par induction, et c'est pour cela qu'il ne peut agir sur lui-même (1).

Si au lieu d'un faisceau de fils on fait usage de tôle de fer tournée en spirale, dont la section ne forme pas un conducteur fermé sur lui-même, le développement du magnétisme s'y trouve empêché; c'est pourquoi les cho-

(1) Recherches expérimentales de Faraday, § 1092.

ses se passent comme avec le faisceau de fils de fer, et la spirale agit par induction avec plus d'intensité que le cylindre de fer plein.

Mais lors même que le fer forme un conducteur fermé sur lui-même, comme cela a lieu, par exemple, dans le cas où l'on fait usage d'un tube de fer, il paraît encore nécessaire que ce conducteur ait une certaine masse pour qu'il ne présente pas d'obstacle à la formation d'un courant par induction. M. Sturgeon (1) a déjà remarqué, et je l'ai constaté, que les commotions augmentent également, lorsqu'au cylindre de fer plein on substitue un tube creux de fer-blanc mince et de même diamètre que celui du cylindre massif.

Si l'on remplace le cylindre par un canon de fusil de même longueur et de même diamètre, les commotions deviennent plus faibles, et généralement elles diminuent d'énergie si l'on augmente la masse de cette sorte de cylindre creux. Cette action d'un tube de fer me paraît provenir de ce que la section ne fournit pas une masse assez considérable pour la production d'un courant par induction; il est donc un obstacle à son développement. Cet obstacle devient évidemment plus puissant lorsque le tube est très mince, que lorsqu'il est plus épais en métal: voilà pourquoi le magnétisme, développé par induction sur le tube mince, est, relativement à celui qu'il possède pendant que le circuit est fermé, beaucoup moindre que celui qui se développe dans un tube plus épais; et voilà aussi pourquoi l'action par in-

(1) *Annals of Electricity*, vol. 1, page 481.

duction du tube mince sur le fil conducteur est plus énergique que celle d'un tube épais, du moins tant que le tube mince représente encore une certaine masse de métal. J'ai fendu ces tubes suivant leur longueur. Les commotions ont acquis une augmentation d'énergie très notable; elle était cependant moindre pour le tube mince de fer-blanc que pour celui plus épais d'un canon de fusil. La section de tubes ainsi fendus ne présente plus de conducteur fermé; c'est pour cela que l'interruption du circuit ne peut pas y développer autant de magnétisme que s'il n'était pas fendu. Voilà pourquoi un tube fendu produit une action plus forte qu'un tube non fendu.

Or, on s'explique pourquoi le tube plus épais a une action par induction plus énergique que le mince, en considérant que le premier a plus de masse que le second, et qu'ainsi il avait plus de magnétisme pendant que le circuit était fermé.

Lorsqu'on entoure les faisceaux de fils d'un tube fermé d'un métal non magnétique, l'action devient beaucoup moins intense. Les raisons en sont essentiellement différentes de celles que nous avons données pour expliquer pourquoi le fer massif a moins de réaction que le fer en fil ou en tôle.

Dans ce cas, lorsqu'on ouvre le circuit, il ne se produit pas de magnétisme dans le faisceau de fils pour empêcher la disparition du magnétisme préalablement développé. Celui qui disparaît sur ces fils en faisceau n'agit pas par induction sur le fil conducteur, mais bien sur l'enveloppe métallique du faisceau, du moins tout le temps qu'elle forme un conducteur fermé sur lui-même.

Non seulement l'action par induction du fer sur le fil

de circuit cesse ; mais en outre celle du fil conducteur sur lui-même est aussi diminuée , parce que l'enveloppe métallique constitue auprès de ce fil un conducteur sur lequel le courant peut agir par induction. On déduit aussi de cette explication que l'influence de l'enveloppe métallique cesse entièrement lorsqu'on la fend dans sa longueur, parce que dès lors il ne peut plus s'y établir de courant par induction.

Un faisceau enfermé dans un tube de fer perd son action , de sorte que les commotions que l'on obtient en employant un tube de fer tout seul , n'augmentent aucunement si l'on introduit un faisceau dans ce tube. Du moins il en est ainsi lorsque le tube est assez fort en fer, tel qu'un bout de canon de fusil. S'il est mince , au contraire , en tôle , lorsqu'on y introduit un faisceau , les commotions augmentent en intensité, quoique faiblement. Cela s'explique certainement par la minceur du tube de tôle ; il ne présente pas de conducteur suffisant pour le courant , qui est produit par induction sur le faisceau par la disparition du magnétisme sur le même faisceau. C'est pour ce motif que le courant se manifeste en partie sur le fil conducteur. La même chose a lieu , lorsqu'au lieu d'être en fer, le tube est en laiton. La raison en est que ce dernier conduit incomparablement mieux l'électricité que le fer. Pour constater ce fait , je me suis servi d'un tube d'argentan ; on sait que cet alliage est un fort mauvais conducteur électrique. Dans ce tube l'action du métal était la même que dans ceux de laiton et de tôle. Ce tube, employé seul, n'apportait pas plus d'augmentation dans les commotions que celui de laiton. Placée autour du faisceau , cette enveloppe d'ar-

gentan agissait également par induction sur le fil conducteur, mais faiblement, et les secousses étaient un peu plus vives. Certainement l'argentan n'était pas non plus assez bon conducteur pour produire un courant par induction. L'action d'un tube de fer fendu longitudinalement est nécessairement augmentée lorsqu'on y introduit un faisceau de fils, que le tube soit mince ou fort en fer.

Nous avons remarqué qu'un faisceau enveloppé d'un tube de fer n'agit pas plus puissamment par induction sur le fil conducteur que si le tube était seul ; du moins, s'il présente une certaine masse. Cette observation nous apprend qu'une masse de fer plein n'agit toujours que par sa périphérie sur le fil conducteur, et que la partie intérieure du métal n'exerce d'action par induction que sur la surface extérieure de sa masse, et non pas sur le fil conducteur. L'action d'un tube devrait diminuer lorsque du fer y est introduit soit à l'état de fils, soit à l'état massif ; parce qu'en agissant sur le tube de fer, ce métal y fait naître du magnétisme, circonstance qui doit diminuer l'action du magnétisme qui disparaît dans le tube, et une telle diminution paraît réellement avoir lieu ; car lorsque l'on place une masse de fer plein dans le tube de sorte de manière que la capacité de celui-ci en soit remplie, on remarque une diminution à peine sensible, il est vrai, dans l'énergie des commotions ; et ce qu'il faut bien remarquer, c'est qu'elles sont encore bien plus puissantes que lorsque la masse de fer est seule dans l'appareil. De ce fait on doit, je pense, tirer la conclusion que les courans électriques, qui se forment par induction dans le fer et y produisent du magnétisme, se pro-

pagent suivant un autre mode, et n'apparaissent pas dans les mêmes endroits que ceux qui constituent le magnétisme que possède le fer pendant que le circuit est fermé. Dès lors il devient probable qu'il y a obstacle au développement du premier lorsqu'il se trouve dans le métal quelque solution de continuité, même celles qui seraient concentriques à la direction du fil de circuit qui environne le fer ; tandis que cela n'a pas lieu pour l'autre magnétisme. Dans ce cas le magnétisme produit est très faible relativement à celui qui existait avant, et par suite le fer agira plus puissamment sur le fil conducteur. La plus grande influence des tubes paraît dépendre de cette différence des courans électriques qui développent le magnétisme. Je n'ose cependant pas m'avancer plus loin, quant au mode de propagation de ces courans, avant de m'être éclairé par de nouvelles expériences.

On tire de ces recherches quelques données pour la construction des appareils électro-magnétiques qui sont fondés sur l'action par induction du fil conducteur d'une pile galvanique. Il sera bon d'éviter l'emploi de bobines métalliques pour enrouler le fil conducteur, ou de les fendre, comme cela se fait déjà ; en outre, il faut employer, au lieu du cylindre de fer plein, un faisceau de fil autant que possible garni de soie. Il en est autrement des appareils qui sont fondés sur l'action par induction des barreaux aimantés. Dans ces derniers il n'y a pas de courant galvanique ; il n'y a donc point développement de magnétisme par la disparition de l'autre, et point d'affaiblissement de l'action de celui qui disparaît. Aussi les faisceaux de fils ne conserveront-ils probablement pas la préférence sur les cylindres de fer plein. J'espère

cependant que les recherches dont je m'occupe à ce sujet me conduiront à faire connaître quelque chose de certain à cet égard.

---

### *Tremblement de Terre du Chili.*

M. Dumoulin, ingénieur-hydrographe, à bord de la corvette *l'Astrolabe* commandée par M. Dumont-Durville, transmet de Valparaiso à M. Arago divers détails qu'il a recueillis, à la demande de l'Académie, sur les tremblemens de terre qui ont agité le Chili depuis quelques années.

Il découle de l'ensemble de ces documens, et contrairement à une opinion fort répandue, que les tremblemens de terre ne sont pas plus fréquens dans une saison que dans l'autre. Ceci résulte de l'ensemble de 150 secousses notées pendant la seule année 1833, à la Conception, par M. Vermoulin, médecin français, et de 1200 de ces phénomènes dont le même observateur a marqué soigneusement l'heure et la date depuis le 20 février 1835.

Personne ne doute au Chili que les tremblemens de terre n'aient la propriété de soulever le sol. Le peuple a même une expression particulière pour désigner cet effet. Il dit que *la terre reste suspendue (suspendida)*. La suspension, ajoute-t-il, n'est jamais l'effet des *secousses horizontales* : les seules *secousses ondulatoires* peuvent la faire naître.

Voici sur le soulèvement qu'opéra dans la côte du Chili le tremblement de terre du 20 février 1835, quel-

ques extraits textuels de la lettre de M. Dumoulin , qui pourront prendre place à côté de ceux que M. le capitaine Fitz-Roy recueillit dans le temps :

Vis-à-vis le fort Sainte-Catherine , à Talcahuano , il existe un banc de roches , tenant à la terre et terminé du côté de la mer par une tête qui était couverte par les marées les plus faibles ; depuis le 20 février 1835 , elle reste constamment découverte ; à peine si les marées les plus fortes amènent le niveau des eaux à son sommet.

La petite rivière Fabul , à 22 ou 23 lieues de Talcahuano , qui était en 1834 encore navigable pour de petits bricks jusqu'à 300 mètres au-dessus de son embouchure , devint guéable après le tremblement du 20 février 1835 ; on remarqua partout que le lit des ruisseaux et petites rivières s'était élevé.

Le capitaine baleinier Coste , commandant aujourd'hui l'*Océan* , depuis nombre d'années fréquente les parages de la côte du Chili ; en parcourant ses journaux nous avons pu y recueillir aussi des données qui ne laisseront aucun doute sur les soulèvemens à la suite des tremblemens de terre.

Le 15 février 1834 , il prend le mouillage à l'abri de l'île Sainte-Marie , et laisse tomber l'ancre par 29 pieds ; il ne quitte ce mouillage que le 15 mai. L'année suivante 1835 , le 3 mai , il vient pour reprendre son mouillage près l'île Sainte - Marie. Malgré ses recherches , il ne retrouve que 20 pieds au mouillage , et finit par laisser tomber l'ancre à la place qu'il occupait l'année précédente. En se rendant à terre , il aperçoit un bouleversement général , la côte a changé d'aspect à la suite d'éboulemens ; ce qui le frappe surtout , c'est que *des rochers qui ne dé-*

*couvraient pas à marée basse, et sur lesquels il envoyait ses hommes pêcher en ayant de l'eau jusqu'à la ceinture, aujourd'hui sont découverts et ne couvrent plus à marée haute.* Il questionne les habitans du pays sur ces changemens, et il apprend qu'ils sont la suite du tremblement de terre qui a désolé les pays le 20 février 1835. Toute la nuit son navire fatigue beaucoup par les raz-de-marée occasionnés par de petites secousses continues; le lendemain, il appareille, craignant de garder ce mouillage dangereux.

Le même jour du tremblement de terre (20 février 1835), le capitaine Coste avait mouillé son navire près de l'île Lémus; il y éprouva les effets affaiblis du tremblement de terre. A midi, un raz-de-marée violent fut assez fort pour casser les chaînes des navires *le Narwal* et *le Gange*, qui se trouvaient avec lui au mouillage.

Le 17 novembre 1837, étant par 43° 38' de latitude sud en vue de terre, sa mâture est ébranlée et son navire agité par le tremblement de terre qui détruit Valdivia.

Le 11 décembre 1837, il vient reprendre son mouillage près l'île de Lémus; le tremblement du 7 novembre a élevé le fond de plus de 8 pieds; des roches jadis toujours couvertes par la mer restent aujourd'hui constamment découvertes; une énorme quantité de coquilles et de poissons en décomposition apportés sur la plage, soit par un soulèvement brusque, soit par les oscillations de la mer, attestent l'événement encore récent. Une grande quantité d'arbres déracinés et enlevés par la mer dans ces ébranlemens terrestres, garnissent la côte.

*Note sur l'Acide Chlorosulfurique;*

PAR M. V. REGNAULT.

Dans mes premières recherches sur l'acide chlorosulfurique, je n'étais pas parvenu à obtenir ce composé pur par la combinaison directe du chlore et de l'acide sulfurique. Des flacons remplis du mélange des deux gaz étaient restés exposés pendant plusieurs jours au soleil, sans que l'on pût remarquer la moindre altération. Le soleil n'était probablement pas assez intense à l'époque où ces expériences ont été faites; c'était au mois de septembre; mais depuis, par les grandes chaleurs que nous avons eues au mois de juin, j'ai été plus heureux. Des flacons remplis d'un mélange de chlore et d'acide sulfurique bien secs, exposés aux rayons directs du soleil, ont laissé apercevoir au bout de quelques heures d'insolation une vapeur blanche qui s'est condensée en gouttelettes contre les parois. La quantité de liqueur produite a augmenté les jours suivans, au point qu'on pouvait facilement la sortir des flacons; on ne parvint pas cependant à déterminer la combinaison de la totalité des gaz mélangés; il est probable que leur affinité cesse quand ils sont arrivés à un certain état de raréfaction.

Cinq flacons de la capacité de 20 litres m'ont donné 20 gr. de liqueur chlorosulfurique. Je l'ai purifiée en la distillant sur du mercure et rejetant les premières portions qui renfermaient de l'acide sulfureux dissous.

J'ai vérifié sur cette liqueur quelques uns des résultats que j'avais obtenus dans mon premier travail sur la liqueur mélangée d'huile des Hollandais.

La densité de la liqueur a été trouvée de 1,659 à 20°; son point d'ébullition vers 77°. La densité de sa vapeur a été trouvée de 4,665. La densité calculée est 4,652.

FIN DU TOME SOIXANTE-ONZIÈME.

**OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES. — AOUT 1839.**

| Jours. | 9 heures du matin. |                  |                  | Midi.           |                  |                  | 5 heures du soir. |                  |                  | 9 heures du soir. |                  |                  | Thermomètre. |        | ÉTAT DU CIEL A MIDI.              | VENTS A MIDI.        |
|--------|--------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------|--------|-----------------------------------|----------------------|
|        | Barom.<br>à 0°.    | Therm.<br>extér. | H <sup>g</sup> . | Barom.<br>à 0°. | Therm.<br>extér. | H <sup>g</sup> . | Barom.<br>à 0°.   | Therm.<br>extér. | H <sup>g</sup> . | Barom.<br>à 0°.   | Therm.<br>extér. | H <sup>g</sup> . | Maxim.       | Minim. |                                   |                      |
| 1      | 738,06             | -16,6            |                  | 737,90          | -19,2            |                  | 738,52            | -21,5            |                  | 739,52            | -17,5            |                  | -22,7        | -12,9  | Nuageux.                          | O.                   |
| 2      | 739,86             | -21,5            |                  | 738,35          | -25,6            |                  | 737,44            | -26,0            |                  | 736,50            | -22,7            |                  | -27,3        | -12,9  | Serein.                           | E. S. E.             |
| 3      | 736,79             | -23,0            |                  | 736,30          | -50,0            |                  | 736,74            | -50,9            |                  | 738,32            | -22,2            |                  | -35,1        | -18,0  | Serein.                           | N. E.                |
| 4      | 739,07             | -20,2            |                  | 739,61          | -19,9            |                  | 739,77            | -20,2            |                  | 761,74            | -16,0            |                  | -22,8        | -14,6  | Couvert.                          | O. N. O.             |
| 5      | 762,86             | -18,3            |                  | 762,63          | -20,4            |                  | 762,06            | -21,2            |                  | 762,94            | -18,9            |                  | -21,8        | -11,3  | Quelques nuages.                  | N. N. O.             |
| 6      | 761,97             | -18,3            |                  | 761,25          | -20,6            |                  | 760,57            | -21,3            |                  | 739,68            | -18,3            |                  | -22,7        | -10,2  | Couvert.                          | N. N. O.             |
| 7      | 736,30             | -24,6            |                  | 734,93          | -23,7            |                  | 735,47            | -23,6            |                  | 732,72            | -19,3            |                  | -26,9        | -12,1  | Couvert.                          | S.                   |
| 8      | 736,35             | -18,4            |                  | 736,91          | -20,1            |                  | 737,38            | -21,4            |                  | 760,71            | -15,3            |                  | -22,3        | -14,5  | Très nuageux.                     | N. O.                |
| 9      | 762,02             | -19,7            |                  | 761,32          | -24,7            |                  | 739,92            | -24,6            |                  | 761,54            | -17,1            |                  | -24,3        | -10,9  | Très nuageux.                     | N. O.                |
| 10     | 761,66             | -21,0            |                  | 760,35          | -25,3            |                  | 739,92            | -24,6            |                  | 760,36            | -17,5            |                  | -26,0        | -12,0  | Quelques nuages.                  | O. S. O.             |
| 11     | 761,61             | -17,4            |                  | 761,22          | -19,3            |                  | 760,73            | -21,5            |                  | 762,55            | -13,0            |                  | -21,6        | -11,0  | Couvert.                          | O. S. O.             |
| 12     | 763,61             | -17,6            |                  | 762,92          | -19,1            |                  | 762,45            | -21,0            |                  | 761,83            | -13,0            |                  | -25,5        | -11,5  | Couvert.                          | O. N. O.             |
| 13     | 739,33             | -16,9            |                  | 739,25          | -18,3            |                  | 738,25            | -20,0            |                  | 738,83            | -16,1            |                  | -21,2        | -10,6  | Quelques nuages.                  | N. O.                |
| 14     | 737,20             | -17,2            |                  | 736,15          | -20,4            |                  | 734,36            | -22,2            |                  | 732,35            | -18,4            |                  | -25,5        | -9,0   | Beau.                             | N. N.                |
| 15     | 743,72             | -16,2            |                  | 743,39          | -13,3            |                  | 743,26            | -21,2            |                  | 740,06            | -16,5            |                  | -21,7        | -12,3  | Pluie.                            | S. S.                |
| 16     | 730,33             | -19,1            |                  | 730,70          | -22,3            |                  | 749,37            | -19,3            |                  | 730,44            | -19,2            |                  | -22,2        | -12,4  | Très nuageux.                     | S. S. O.             |
| 17     | 731,15             | -18,9            |                  | 736,99          | -19,9            |                  | 731,27            | -19,2            |                  | 732,76            | -16,0            |                  | -23,9        | -12,1  | Pluie par momens.                 | S. S. O.             |
| 18     | 736,75             | -18,1            |                  | 736,99          | -19,9            |                  | 736,33            | -22,4            |                  | 737,52            | -16,3            |                  | -23,8        | -14,0  | Très nuageux.                     | O.                   |
| 19     | 733,39             | -18,3            |                  | 736,01          | -19,3            |                  | 736,44            | -18,3            |                  | 737,31            | -12,7            |                  | -21,1        | -15,0  | Nuageux.                          | O.                   |
| 20     | 738,43             | -13,0            |                  | 737,94          | -17,5            |                  | 738,19            | -15,9            |                  | 738,31            | -14,3            |                  | -19,0        | -10,0  | Très nuageux.                     | O. N. O.             |
| 21     | 761,26             | -15,3            |                  | 761,16          | -16,0            |                  | 760,33            | -16,6            |                  | 761,75            | -12,7            |                  | -17,9        | -7,4   | Nuageux.                          | O. N. O.             |
| 22     | 762,97             | -13,9            |                  | 762,73          | -17,0            |                  | 762,18            | -18,3            |                  | 762,73            | -15,3            |                  | -19,4        | -6,5   | Serein.                           | S. O.                |
| 23     | 763,74             | -17,7            |                  | 763,10          | -22,4            |                  | 762,32            | -23,0            |                  | 762,32            | -17,3            |                  | -23,7        | -15,1  | Très nuageux.                     | S. S.                |
| 24     | 761,46             | -20,2            |                  | 760,34          | -23,6            |                  | 739,07            | -24,5            |                  | 733,05            | -18,2            |                  | -26,6        | -11,1  | Beau.                             | S. S.                |
| 25     | 733,36             | -21,5            |                  | 736,01          | -23,8            |                  | 733,14            | -27,0            |                  | 733,06            | -19,0            |                  | -29,1        | -11,3  | Beau.                             | S. E.                |
| 26     | 733,36             | -13,4            |                  | 733,34          | -21,0            |                  | 734,74            | -21,3            |                  | 734,05            | -19,0            |                  | -22,0        | -12,7  | Couvert.                          | N. E.                |
| 27     | 732,29             | -18,2            |                  | 732,61          | -18,4            |                  | 733,05            | -17,4            |                  | 734,31            | -15,2            |                  | -19,0        | -14,3  | Couvert.                          | O. N. O.             |
| 28     | 737,05             | -13,0            |                  | 737,34          | -18,2            |                  | 737,59            | -18,6            |                  | 738,77            | -13,3            |                  | -20,2        | -9,5   | Nuageux.                          | O. N. O.             |
| 29     | 737,37             | -16,8            |                  | 736,30          | -20,2            |                  | 735,67            | -21,6            |                  | 735,50            | -15,3            |                  | -23,0        | -8,2   | Serein.                           | S. E.                |
| 30     | 735,38             | -22,2            |                  | 733,38          | -22,2            |                  | 735,33            | -20,2            |                  | 735,33            | -17,2            |                  | -24,6        | -9,3   | Couvert.                          | O. S. O.             |
| 31     | 749,52             | -27,3            |                  | 747,47          | -22,6            |                  | 746,33            | -16,2            |                  | 744,36            | -13,0            |                  | -23,4        | -14,7  | Couvert.                          | S. O. violent.       |
| 1      | 759,48             | -20,1            |                  | 739,12          | -22,3            |                  | 738,72            | -23,3            |                  | 730,56            | -18,2            |                  | -24,1        | -12,6  | Moyenne du 1 <sup>er</sup> au 10. | Pluie en centimètres |
| 2      | 736,44             | -17,3            |                  | 736,00          | -19,3            |                  | 735,67            | -20,0            |                  | 736,15            | -13,7            |                  | -22,1        | -11,6  | Moyenne du 11 au 20.              | Cour . . . . 2,363   |
| 3      | 737,30             | -18,3            |                  | 737,01          | -20,7            |                  | 736,42            | -20,3            |                  | 736,47            | -16,4            |                  | -23,0        | -10,3  | Moyenne du 21 au 31.              | Terrasse . . . 2,641 |
|        | 737,30             | -18,6            |                  | 737,57          | -20,9            |                  | 736,92            | -21,3            |                  | 737,50            | -16,3            |                  | -23,1        | -11,7  | Moyennes du mois . . . .          | + 17,4               |

---

# TABLE DES MATIÈRES

CONTENUS

DANS CE VOLUME.

---

|                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Mémoire sur les Rapports entre le Pouvoir conducteur des Liquides pour les Courans électriques, et la Décomposition chimique qu'ils éprouvent; par MM. BOTTO et AVOGADRO.                                                                         | 5   |
| Quelques faits résultant de la Réflexion des Ondes sonores; par M. N. SAVART.                                                                                                                                                                     | 20  |
| Recherches sur la Production de la Phosphorescence et sur diverses Propriétés de l'Étincelle électrique; par M. EDMOND BECQUEBEL.                                                                                                                 | 36  |
| Système d'Expériences à l'aide duquel la théorie de l'Émission et celles des Ondes seront soumises à des épreuves décisives; par M. ARAGO.                                                                                                        | 49  |
| Recherches sur l'Influence de la Nourriture des Vaches, sur la Quantité et la Constitution chimique du Lait; par MM. BOUSSINGAULT et LE BEL.                                                                                                      | 65  |
| Mémoire sur un nouveau Condensateur électrique; par M. PÉCLET.                                                                                                                                                                                    | 80  |
| Mémoire sur l'Influence de l'Action chimique dans la production de l'électricité par le Frottement; par M. PÉCLET.                                                                                                                                | 83  |
| De la Force chimique du Courant électrique, et de ses Rapports avec le mode de Combinaison des Corps décomposés; par M. CH. MATTEUCCI.                                                                                                            | 90  |
| Observations météorologiques du mois de mai.                                                                                                                                                                                                      | 112 |
| Analyses comparées des Alimens consommés et des Produits rendus par une Vache laitière; recherches entreprises dans le but d'examiner si les animaux herbivores empruntent de l'azote à l'atmosphère; par M. BOUSSINGAULT.                        | 113 |
| Analyses comparées des Alimens consommés et des Produits rendus par un Cheval soumis à la ration d'entretien; suite des recherches entreprises dans le but d'examiner si les herbivores prélèvent de l'azote à l'atmosphère; par M. BOUSSINGAULT. | 128 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Lettre de M. BERZÉLIUS à M. PELOUZE.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 137 |
| <b>Sur les Phénomènes de la Fermentation et de la Putréfaction ,<br/>et sur les causes qui les provoquent ; par M. J. LIEBIG.</b>                                                                                                                                                                                                                                                | 147 |
| <b>De l'Action du Chlore sur la Quinine ; par J.-J. ANDRÉ.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 195 |
| <b>Lettre de M. LEFEBVRE relative à un Voyage dans le Sennaar<br/>et aux Puits artésiens des oasis d'Égypte.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                 | 201 |
| <b>Mémoire sur la Propagation de la Chaleur dans les Liquides ;<br/>par M. C. DESPRETZ.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 206 |
| <b>Analyse des Eaux d'Hamman Meskoutin (Bains-Maudits), si-<br/>tuées à moitié chemin de Bone à Constantine ; par M. le doc-<br/>teur GUYON.</b>                                                                                                                                                                                                                                 | 223 |
| <b>Observations météorologiques du mois de juin.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 224 |
| <b>Mémoire sur la Formation des Tables des Rapports qu'il y a<br/>entre la Force d'un Courant électrique et la Déviation des ai-<br/>guilles des multiplicateurs ; suivi de Recherches sur les Causes<br/>de Perturbation des couples thermo-électriques et sur les<br/>moyens de s'en garantir dans leur emploi à la mesure des<br/>températures moyennes ; par M. PELTIER.</b> | 225 |
| <b>Le Daguerriotype.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 313 |
| <b>Note additionnelle sur les Oxichlorides à radicaux composés ;<br/>par M. BERZÉLIUS.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 340 |
| <b>Note sur la Propriété Décapante d'un Chlorure double de Zinc<br/>et d'Ammoniaque ; par M. GOLFIER-BESSEYRE.</b>                                                                                                                                                                                                                                                               | 344 |
| <b>Notice sur le Télégraphe galvanique de M. STEINHEIL.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 347 |
| <b>Observations météorologiques du mois de juillet.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 352 |
| <b>De l'Action du Chlore sur les Éthers Hydrochloriques de l'al-<br/>cool et de l'esprit de bois, et de plusieurs points de la Thé-<br/>orie des Éthers ; par M. V. REGNAULT.</b>                                                                                                                                                                                                | 353 |
| <b>Sur l'Action d'un Faisceau de fil de fer dans l'interruption du<br/>circuit galvanique ; par M. GUSTAVE MAGNUS.</b>                                                                                                                                                                                                                                                           | 431 |
| <b>Tremblement de Terre du Chili.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 442 |
| <b>Note sur l'Acide Chlorosulfurique ; par M. V. REGNAULT.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 445 |
| <b>Observations météorologiques du mois d'août.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 446 |

FIN DE LA TABLE.