

SUITE DE LA
THÉORIE ÉLÉMENTAIRE
DE
LA CAPILLARITÉ
ET DE SES APPLICATIONS.

On trouve chez les mêmes Libraires
et du même Auteur :

DESCRIPTION, théorie et usage du cercle de réflexion de Borda, 1 vol. in-8°.

MÉMOIRE sur la loi relative à la densité des couches intérieures de la terre, et sur son aplatissement; 1 vol. in-4°.

MÉMOIRE sur la détermination des deux points d'où partent les droites par rapport auxquelles tous les moments d'inertie de la terre sont égaux entre eux; 1 vol. in-4°.

THÉORIE élémentaire de la capillarité, suivie de ses principales applications à la physique, à la chimie et aux corps organisés; 1 vol. in-8°.

INSTRUCTION théorique et applications de la règle logarithmique ou à calculs, 2^e édition; 1 vol. in-8°.

Tout exemplaire qui ne portera pas, comme ci-dessous, la signature de l'auteur, sera réputé contrefait. Les mesures nécessaires seront prises pour atteindre, conformément à la loi, les fabricateurs et les débitants de l'édition contrefaite.



PARIS — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET C^o,
Rue Racine, 28, près de l'Odéon

SUITE DE LA

THÉORIE ÉLÉMENTAIRE

DE

LA CAPILLARITÉ

ET

DE SES APPLICATIONS A LA PHYSIQUE, A LA CHIMIE
ET AUX CORPS ORGANISÉS.

PAR J.-F. ARTUR,

AGRÉGÉ SUPPLÉANT A PARIS, DOCTEUR ÈS SCIENCES,
DES ACADÉMIES DE CAEN, DE DIJON. VICE-PRÉSIDENT DU COMITÉ SCIENTIFIQUE
DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE STATISTIQUE UNIVERSELLE, ETC.



PARIS.

CARILIAN-GOËURY ET V^{OR} DALMONT,
LIBRAIRES DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,
QUAI DES AUGUSTINS, 39 ET 41 ;
L'AUTEUR, RUE SAINT-JACQUES, 56.

1849;

PRÉFACE DE L'AUTEUR.

Diverses circonstances m'obligent à rappeler les époques auxquelles j'ai communiqué différentes parties de mes publications à l'Académie des sciences ou à d'autres académies, ainsi qu'à des sociétés savantes ou industrielles.

J'indiquerai par C.R.H. les comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, par MM. les secrétaires perpétuels.

C.R.H., t. 2 (1^{er} février 1836).

Page 108. « Physique. — Théorie élémentaire de » la capillarité; par M. Artur.

» Commissaires : MM. Poisson, Dulong, Libri. »

Cette communication contenait les *trois premières parties* de ma *Théorie élémentaire de la capillarité*, publiée en 1842.

C.R.H., t. 18 (3 juin 1844).

Page 1063. « M. Artur adresse une note ayant

» pour titre : *Explication des résultats obtenus par*
 » M. Pelouze *relativement aux actions de l'oxyde*
 » *rouge de mercure sur le chlore.*

» Cette note est renvoyée à l'examen de M. Pe-
 » louze. »

C.R.H., t. 19 (11 novembre 1844).

Page 1018. « M. Artur adresse une note ayant
 » pour titre : *Explication des divers effets que pro-*
 » *duisent les différents corps, organisés ou non, sur*
 » *les polysulfures d'hydrogène.*

» Cette note est renvoyée, conformément au
 » désir exprimé par l'auteur, à l'examen de M. Pe-
 » louze. »

Ces deux dernières communications forment le
 n° 10.

C.R.H., t. 19 (16 décembre 1844).

Page 1365. « M. Clerget adresse une note ayant
 » pour titre : *Observations sur la question des phéno-*
 » *mènes électriques des trombes.* Dans cette note,
 » l'auteur, discutant les opinions émises récem-
 » ment par M. Peltier, conteste l'exactitude de
 » quelques-unes des circonstances mentionnées
 » relativement à la trombe de Châtenay. Ainsi,
 » quoique M. d'Arcet ait trouvé que certains frag-
 » ments de bois provenant des arbres mis en éclats
 » par la trombe, avaient perdu presque toute leur

» humidité, M. Clerget soutient que dans d'autres
 » fragments provenant de la même origine, et
 » examinés par lui, la proportion de séve était jus-
 » tement celle que présentent des morceaux cou-
 » pés dans un arbre sur pied. »

Page 1366. « M. Artur écrit relativement au
 » même ordre de phénomènes et pour rappeler
 » qu'il en a proposé une explication dans laquelle
 » il ne fait point intervenir l'action électrique.

» Ces deux communications sont renvoyées,
 » ainsi que la note de M. Peltier mentionnée par
 » M. Clerget, à l'examen d'une commission com-
 » posée de MM. Arago, Becquerel et Pouillet. »

C. R. H., t. 19 (23 décembre 1844).

Page 1405. « M. Artur adresse des *calculs relatifs*
 » *aux effets des trombes*, en n'admettant comme
 » causes de ces phénomènes que des différences de
 » pression atmosphérique. » *Voyez* ces calculs à la
 fin du n° 9.

C. R. H., t. 20 (27 janvier 1845).

Page 249. « *Météorologie. — Réflexions générales*
 » *sur la formation des trombes, et remarques sur di-*
 » *vers exemples de ce phénomène cités dans les Ann.*
 » *de chim. et de phys., par M. Artur.*
 » Commission précédemment nommée. » *Voyez*
 les n° 5 et 6.

A Messieurs les membres de l'Académie des sciences.

Quelques réflexions qui ont accompagné les expériences faites par M. Boutigny à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, le 5 de ce mois (mars 1845), me font présumer qu'elles ont été communiquées à l'Académie, c'est pourquoi je prends la liberté de vous envoyer la copie de la lettre que j'adresse à la Société d'encouragement.

Le bulletin de mars 1845 de cette société contient la communication de M. Boutigny à la page 113 et ma lettre à la page 116.

Cette lettre est mentionnée comme il suit dans les C.R.H., t. 20 (24 mars 1845) :

Page 860. « M. Artur rappelle que dans un ouvrage sur la capillarité, qu'il a précédemment » présenté à l'Académie, il a traité diverses questions relatives aux phénomènes que M. *Boutigny* » désigne sous le nom de *phénomènes de caléfaction*.

» (Renvoi à la commission chargée de faire un rapport sur les nouvelles expériences de M. *Boutigny*.) »

C.R.H., t. 20 (16 juin 1845).

Page 1743. « M. Artur écrit relativement à une » note qu'il dit avoir adressée pour la séance pré-

» cédente et dont il n'a pas été fait mention au
» *compte rendu*.

» On s'est assuré que cette pièce n'était pas par-
» venue au secrétariat. »

C. R. H., t. 20 (23 juin 1845).

Page 1803. « Physique. — M. Artur envoie une
» seconde copie d'une note qu'il avait adressée
» pour l'avant-dernière séance et qui n'était pas
» parvenue à temps à sa destination.

» Cette note contient les résultats des expé-
» riences faites par l'auteur, dans le but de com-
» parer les effets que le *rayonnement d'un corps so-*
» *lide* produit sur le cylindre d'un thermomètre,
» en se plaçant dans diverses circonstances :

» 1° Lorsque le rayonnement du corps chaud
» placé dans l'atmosphère n'a que l'air à traverser
» pour échauffer le cylindre du thermomètre;

» 2° Lorsque le rayonnement doit se faire à tra-
» vers un liquide : l'eau;

» 3° Lorsque le rayonnement doit se réfléchir
» sur l'eau.

» M. Artur varie ainsi les circonstances de l'ex-
» périence, afin d'en déduire des conséquences
» utiles relativement aux phénomènes que présen-
» tent les liquides froids au contact des solides
» chauds. »

Ces expériences forment le n° 13.

C.R.H., t. 25 (26 juillet 1847).

Page 175. « M. Artur présente trois notes ayant
 » pour titres : *Examen des travaux de M. Boutigny*
 » *sur les corps à l'état sphéroïdal.* — *Réflexions sur*
 » *la théorie électrique de M. Peltier.* — *Réflexions*
 » *sur la théorie de M. Peltier concernant la forma-*
 » *tion et l'équilibre des nuages.* »

C.R.H., t. 25 (2 août 1847).

Page 223. « M. Artur, qui avait adressé, dans la
 » précédente séance, des notes sur diverses ques-
 » tions de physique, exprime le regret de ne pas
 » en trouver dans le *compte rendu* une mention
 » plus détaillée. L'état des manuscrits (1), qui n'a

(1) Je suis étonné de cette expression, car j'ai toujours écrit mes manuscrits. J'entendis seulement M. le secrétaire perpétuel dire à M. le président : *C'est écrit en marge.* J'avais mis en marge mes observations relatives à chaque extrait de l'ouvrage de M. Boutigny.

J'ajouterai enfin que mes deux lettres du 24 juillet 1847 renfermaient les passages suivants, savoir :

1° Dans celle qui était relative à l'indication du contenu des nos 1, 2, 3, 7, 8.

« D'après mes diverses communications, je pense que l'Académie peut se prononcer sur les causes véritables de la production des trombes : en le faisant, elle fixera désormais l'opinion générale sur ces funestes sinistres qui se renouvellent trop souvent, et, par suite, elle fera éviter les procès entre les compagnies et les assurés, en les mettant à même de régler d'avance les droits et la responsabilité de chacune des parties. »

2° Dans celle qui était relative à l'indication du contenu des nos 12, 14, 15, 16, 17, 18.

« Je pense que cette communication mettra l'Académie à même

» pas permis qu'on les renvoyât à l'examen d'une
 » commission, a été cause de la concision de l'ar-
 » ticle rappelé; nous ajouterons cependant aux ti-
 » tres que nous avons reproduits, les trois sui-
 » vants : « Détermination du maximum que peut
 » avoir le rayon d'un cylindre en acier pour flotter
 » sur l'eau; » « Observations générales sur les di-
 » verses directions qui proviennent des mouve-
 » ments de translation et de rotation d'une trombe,
 » selon qu'elle tourne de gauche à droite ou de
 » droite à gauche; » et enfin : « Description de la
 » trombe de Malaunay et Monville, près Rouen. »

Ces diverses parties forment les nos 1, 2, 3, 7, 8, 12, 14, 15, 16, 17, 18. Le n° 11 diffère essentiellement de ce que j'avais écrit au sujet de la « Détermination du maximum que peut avoir le rayon d'un cylindre en acier pour flotter sur l'eau. »

J'adressai à l'Académie de Rouen, ainsi qu'à la Société libre d'émulation de la même ville :

1° Le 8 novembre 1845, le contenu des nos 1, 2, 3, en leur exprimant le désir de n'en rien publier

» de se prononcer sur les véritables causes des phénomènes que
 » présentent les liquides aux contacts des solides plus ou moins
 » chauds : en le faisant, elle rendra service à la science, en fixant
 » l'opinion générale sur cette classe de phénomènes que l'on a si
 » diversement étudiée, commentée, expliquée, etc. »

avant la fin du procès entre les compagnies et les assurés ;

2° Le 25 juillet 1846, le contenu des n° 7 et 8.

Je remis au secrétariat de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, savoir :

1° Le samedi 18 décembre 1847, un paquet cacheté renfermant le contenu des n° 19 et 20 ;

2° Le mercredi 17 janvier 1849, un autre paquet renfermant le contenu du n° 11.

Ce fut en janvier 1849 que je lus la *Note* de M. Pouillet et le *Rapport* des experts, d'après lesquels je rédigeai le n° 4, sans changer les n° 2 et 3.

SUITE DE LA

THÉORIE ÉLÉMENTAIRE

DE

LA CAPILLARITÉ

ET DE SES APPLICATIONS.

Observations générales sur les diverses directions des résultantes des deux actions, qui ont lieu à chaque endroit, et qui proviennent des mouvements de translation et de rotation d'une trombe, selon qu'elle tourne de droite à gauche ou de gauche à droite.

1. Chacune des flèches M, *fig. 1 et 2*, indique la direction du mouvement de *translation* de la trombe.

Les flèches L et K, *fig. 1 et 2*, *id...* *rotation*, *id.*

Aux divers endroits des deux circonférences, *fig. 1 et 2* :

1° Chaque ligne pleine indique la direction du mouvement de *translation* de la trombe ;

2° Chaque ligne en points, *id...* *rotation*, *id.* ;

3° Chaque ligne intermédiaire aux deux premières, qui est tracée au moyen de deux traits séparés par un point, représente la direction de la *résultante* des deux mouvements de *translation* et de *rotation* de la trombe. Ces *résultantes* sont d'autant plus rapprochées des lignes du 2° que la vitesse provenant de la *rotation* de la trombe est plus grande par rapport à son mouvement de *translation*.

La *fig. 1* représente l'une des circonférences décrites autour

de l'axe de rotation d'une trombe, qui tourne de *droite à gauche*.

La *fig. 2* *id...*, *gauche à droite*.

Dans la *fig. 1* :

En A, les mouvements de translation et de rotation *s'ajoutent*. C'est le *maximum* d'action ;

En B, *id...* *sont opposés*. C'est le *minimum* d'action ;

En allant de A en D, l'*intensité de la résultante* des mouvements de translation et de rotation *diminue*, et cette *diminution* continue de D en B, pour *augmenter* ensuite de B en E, puis de E en A.

Dans la *fig. 2* :

En A, les mouvements de translation et de rotation *sont opposés*. C'est le *minimum* d'action ;

En B, *id...* *s'ajoutent*. C'est le *maximum* d'action ;

En allant de A en D, l'*intensité de la résultante* des mouvements de translation et de rotation *augmente*, et cette *augmentation* continue de D en B, pour *diminuer* ensuite de B en E, puis de E en A.

Ce qui précède s'applique aux circonférences analogues aux précédentes dans toute l'étendue de chaque trombe.

Description et désastres de la trombe de Malaunay et Monville, près Rouen (1).

2. Le samedi 4 octobre 1845, je visitai les désastres que la trombe du 19 août précédent avait occasionnés, entre les villages de Malaunay et Monville, à 13 kilomètres au nord de Rouen.

En partant de Rouen, la sortie de Malaunay se trouve à 12 kilomètres, entre le nord et le nord-nord-ouest de Rouen, à l'endroit où la grande route de Dieppe tourne à gauche pour traverser la vallée de Cailly, et où la route dé-

(1) Le 8 novembre 1845, j'envoyai cette *Description* à l'Académie et à la Société libre d'émulation de Rouen.

partementale de Malaunay à Monville commence et suit le bas du coteau, situé au midi de la même vallée, dans laquelle se trouvent les trois fabriques abattues, qui sont peu éloignées les unes des autres sur les extrémités des territoires des deux communes ci-dessus nommées.

Au fond de la même vallée, dont la direction moyenne est le nord-est, en allant de Malaunay à Monville, coule un fort ruisseau, qui sert de moteur à des fabriques.

Le mardi 19 août 1845, entre midi et demi et une heure, après une matinée nuageuse et chaude, pendant laquelle on avait entendu le tonnerre et vu des éclairs, sans que rien annonçât un aussi terrible météore, un nuage peu étendu se détacha des autres et descendit, en tournant sur lui-même, au-dessus de la vallée du Houleme : cette trombe, ainsi formée, se dirigea au nord, en ébranchant plus ou moins, rompant, abattant dans diverses directions, arrachant, transportant, etc., des arbres et particulièrement de gros pommiers sur diverses propriétés, avant d'arriver à l'extrémité ouest de l'avenue de chênes de moyennes grosseurs, située sur le plateau, dans la ferme de M. Bocquemare, qu'elle rencontra à peu près perpendiculairement, et dans laquelle il y avait des arbres plus ou moins ébranchés et d'autres rompus plus ou moins haut, dans une longueur d'environ 300 mètres, en y comprenant les baliveaux endommagés du taillis, qui faisaient suite à l'avenue, ainsi que les pommiers abattus au midi de sa direction sur le commencement de la descente du coteau.

La trombe s'étendait peut-être plus loin au-dessus du penchant du même coteau, sans y avoir sensiblement endommagé des végétaux.

La tige creuse et ouverte d'un côté, depuis le haut jusqu'en bas, de l'un des pommiers abattus, avait près d'un mètre de diamètre. Quoique né dans la Basse-Normandie, je n'en avais jamais vu une aussi grosse.

Le météore avait transporté dans la même avenue un gros pommier, dont la tige creuse était rompue et non arrachée.

Après avoir continué ses ravages sur des baliveaux de divers taillis et sur d'autres pommiers de la plaine, parmi lesquels on en remarquait, à la droite de la trombe, une rangée à peu près parallèle à sa direction, sur lesquels il y en avait d'abattus entre ceux qui étaient restés sensiblement intacts, le météore descendit un petit vallon, appelé gorge de Saint-Maurice, situé au sud-sud-ouest de la filature détruite de MM. Marion et Neveu, sur le coteau couvert de taillis qui se trouve à droite de la route départementale qui va de Malaunay à Monville.

En descendant ce vallon, le météore avait plus ou moins ébranché, rompu plus ou moins haut, abattu exactement dans la même direction les superbes hêtres de moyennes grosseurs qui étaient sur la droite de la trombe et du vallon en le descendant, le long d'un sentier dont la direction moyenne était à peu près celle de la trombe.

Sur la gauche de la trombe et du même vallon, il y avait des baliveaux abattus dans diverses directions, ainsi que des pommiers situés entre le taillis et la route départementale.

Après avoir traversé un peu obliquement cette route, située entre le coteau et la vallée, la trombe abattit dans diverses directions, arracha, etc., des pommiers dans une largeur d'environ 500 mètres; tandis qu'au bas du coteau, l'étendue des désastres n'était que de 300 mètres environ.

On peut se rendre compte de cette différence, en observant que du côté de Malaunay, les deux limites des désastres se correspondaient aux deux bords de la route et avaient eu lieu sur des pommiers; tandis que du côté de Monville, les derniers arbres endommagés au bas du coteau étaient des baliveaux, et ceux du bord de la vallée étaient des pommiers, dont la tête offre toujours plus de prise aux diverses actions de l'air.

L'élargissement de ces derniers dégâts, par rapport à ceux qui existaient à l'avenue de chênes située sur le plateau, peut être attribué :

1° A l'augmentation du diamètre de la trombe ou à l'ellipticité de sa section à la surface du sol;

2° A ce qu'elle occasionnait des désastres dans une plus grande largeur sur les pommiers que sur les autres arbres;

3° A ce qu'elle n'avait pas agi sensiblement sur les végétaux du coteau qui faisait suite à l'avenue de chênes.

Enfin j'observerai que plusieurs et même toutes les actions précédentes peuvent avoir influé en même temps sur l'élargissement des désastres, depuis l'avenue de chênes jusqu'à l'arrivée de la trombe dans la vallée de Malaunay et Monville.

Parvenue ainsi dans la vallée, entre Malaunay et Monville, la trombe, gênée dans ses mouvements de translation et de rotation par l'air situé entre elle et le coteau opposé qu'elle rencontrait obliquement, se dévia vers la droite de sa première direction, en diminuant toutefois de plus en plus la distance qui se trouvait entre elle et le même coteau opposé, qu'elle franchit après avoir successivement abattu trois fabriques, situées au fond de la vallée, plus ou moins endommagées d'autres maisons, rompu et abattu plusieurs arbres.

La première fabrique entièrement détruite était la plus près de Malaunay, et exploitée par MM. Marion et Neveu.

La deuxième usine entièrement détruite appartenait à MM. Mare frères. La résistance que cette fabrique opposa aux efforts de la trombe, n° 3, dut affaiblir son action sur la maison endommagée, qui était à sa gauche et encore sur la droite de la trombe. Quant à la maison, située plus à droite de la trombe que l'usine, qui fut aussi endommagée et dont on me dit que l'un des planchers avait été soulevé, sa position me fait penser qu'elle fut seulement atteinte par l'extrémité affaiblie du tourbillon, qui existe toujours entre ce dernier et les premières parties de l'atmosphère qui en sont indépendantes.

La troisième fabrique entièrement détruite appartenait à M. Picquot. En ajoutant à ce qui précède la gêne que la trombe éprouvait incontestablement de la part de l'air situé entre elle et le coteau dont elle s'approchait de plus en plus,

et qu'elle finit par franchir, on peut se rendre compte des causes qui firent que des maisons situées près de cette dernière usine furent seulement plus ou moins endommagées.

De cette dernière fabrique je vis :

1° Des baliveaux rompus sur le penchant du coteau que la trombe avait franchi, sans qu'il m'en parût d'endommagés à sa partie supérieure ;

2° De petites maisons situées au pied du même coteau, et au-dessus desquelles la trombe avait dû passer, qui ne me parurent pas endommagées. Il est probable que le coteau les avait garanties des actions de la trombe, comme un mur, une haie, etc., mettonç à l'abri du vent les objets situés entre eux et le courant d'air.

Je ne vis aucune trace des actions électriques sur les arbres du plateau et de la vallée, ni sur les débris des trois fabriques.

Des renseignements que j'obtins d'un homme qui travaillait aux hêtres abattus, d'un pâtre de la ferme de M. Bocquemare, et d'autres personnes qui avaient vu le météore de plus ou moins près, il résulte :

1° Qu'après avoir franchi le dernier coteau, la trombe avait encore enlevé le toit d'une maison, arraché des pommiers, etc. ;

2° Qu'une cabane de berger avait été enlevée sur le plateau, avant que la trombe ne fût parvenue au vallon ;

3° Qu'aucun arbre du plateau, du coteau et de la vallée n'était frappé de la foudre ;

4° Que la trombe allait vite et qu'elle paraissait çomme en feu, surtout aux personnes qui en étaient éloignées ;

5° Que le nombre des personnes employées dans les trois fabriques détruites dépassait quatre cents, sur lesquelles il y en avait eu soixante à soixante-dix de tuées sur le coup, et au moins autant de plus ou moins grièvement blessées ;

6° Que la trombe fut suivie d'un vent violent et d'une pluie abondante.

L'un des ouvriers qui déblayaient la fabrique de MM. Mare

pour en retirer des ballots de coton enfouis sous les décombres, me dit qu'il était dans la maison voisine et endommagée à gauche de la fabrique détruite, que l'on ressentit l'odeur sulfureuse, que les fers avaient été trouvés aimantés le lendemain du météore, que des parcelles de coton avaient été plus ou moins charbonnées ou brûlées, que des briques des murs abattus avaient été trouvées chaudes, que le plancher de la maison voisine, située à droite de la fabrique, avait été soulevé, et que l'une de ses poutres était charbonnée; qu'après le passage de la trombe, la même maison paraissait tellement en feu, que des personnes y étaient accourues comme à un incendie.

Sur ma demande, il répondit qu'aucun débris des trois fabriques détruites ne portait de traces de la foudre.

Cette trombe, qui prit naissance au-dessus de la vallée du Houlme, ne termina pas les actions de l'ouragan du côté du midi; car la violence du vent qui la suivit se fit fortement sentir sur les arbres du jardin de M. Vivet, vice-président de la Société libre d'émulation de Rouen, puis à Paris, entre deux et trois heures de l'après-midi, sur ceux du jardin de l'institution de M. Savouré, rue de la Clef, n° 7, et auprès de l'hôtel de ville, sur les toits de plusieurs maisons qui eurent des tuiles enlevées, des plombs endommagés, etc.

Vers trois heures, le même ouragan abattit plus d'une douzaine de peupliers à Bièvre, situé à un myriamètre et demi au sud-ouest de Paris.

Le retard des actions de l'ouragan dans Paris prouve qu'il se propageait, comme les autres, en sens inverse de la direction du vent, qui venait du midi; d'où il suit qu'il provenait d'une raréfaction de l'air.

L'étendue de l'atmosphère dans laquelle on est obligé d'admettre une grande raréfaction de l'air, pour produire le vent violent qui suivit la trombe sur une longueur de plus de 10 myriamètres, surpasse incontestablement de beaucoup celle qui est nécessaire au développement de la trombe, de 150 à 250 mètres de rayon, qui occasionna les dégâts ci-dessus indiqués.

Le rayonnement des nuages et celui du sol très-accidenté des environs de Malaunay et Monville furent sans doute les causes principales de la raréfaction de la grande portion de l'atmosphère, qui occasionna la trombe locale et le vent violent qui la suivit dans une étendue considérable.

Détermination du sens de la rotation de la trombe de Malaunay et Monville, ainsi que de celle de Châtenay.

3. Les hêtres abattus sur la droite de la trombe et de la gorge de Saint-Maurice, en la descendant, étaient tous couchés parallèlement entre eux, dans le sens indiqué par la résultante en F, *fig. 1*; d'où il résulte que la *trombe* tournait de *droite à gauche*.

Aucun de ces hêtres n'étant abattu dans le sens de la résultante en I, *fig. 1*, il faut en conclure qu'en F la trombe avait eu assez de force pour ébrancher plus ou moins, rompre ou abattre tous les arbres qui n'étaient pas en état de lui résister, et qu'en I les hêtres mutilés n'offraient plus assez de prise au météore pour en déraciner.

Si l'on objectait que la *trombe* tournait de *gauche à droite*, *fig. 2*, et que ce fut seulement en I que les mêmes hêtres furent abattus, il s'ensuivrait que tous ces arbres auraient d'abord résisté aux actions en F, *fig. 2*, pour céder ensuite à des forces d'égales intensités en I; ce qu'il est impossible d'admettre.

Les diverses directions suivant lesquelles les pommiers et les baliveaux étaient abattus sur la gauche de la trombe, prouvent qu'il y en eut qui cédèrent à ses efforts en G et d'autres en H, *fig. 1*; ce que l'on conçoit aisément en observant que son *minimum* d'action avait lieu en B.

On peut dire que les directions des résultantes en G et en H, *fig. 2*, donnent aussi les divers sens suivant lesquels les mêmes arbres étaient abattus; mais les branches tordues autour des baliveaux dont le pied avait résisté sur la gauche

de la trombe, l'étaient dans le sens indiqué par la flèche L, *fig. 1*, et non dans celui de la flèche L, *fig. 2*.

Il est encore bon d'ajouter que le plus grand nombre des arbres abattus se trouvaient sur la *droite* de la *trombe*; ce qui prouve que le *maximum* d'action avait eu lieu du même côté.

La maison endommagée qui était à gauche de la fabrique détruite de MM. Mare, et encore sur la droite de la trombe, se trouvait donc située en F, *fig. 1*, dans la position la plus convenable pour être garantie des efforts du météore par la résistance de la fabrique.

Conclusion. Il résulte de l'examen des faits qui précèdent : que la *trombe* de Malaunay et Monville tournait de *droite à gauche*, qu'elle fut accompagnée de décharges électriques dans son intérieur et même sur divers objets terrestres, comme il s'en fait souvent entre les nuages et sur des objets terrestres dans bien des orages et des ouragans; que cette électricité occasionna l'odeur sulfureuse, et peut-être l'aimantation des fers dans les fabriques détruites : on peut même admettre que des parcelles de coton furent plus ou moins charbonnées ou brûlées, qu'une poutre fut sensiblement charbonnée dans une maison endommagée. Quant aux briques chaudes, je pense qu'elles provenaient de la cheminée dans laquelle il y avait probablement du feu : dans tous les cas, je soutiens que les éclairs et le tonnerre qui précédèrent la trombe ne furent pas la cause de sa formation (*voy.*, n° 6, la réfutation de la théorie de M. Arago, et nos 7 et 8, les réflexions sur celle de M. Peltier, ainsi que les calculs du n° 9), que son électricité ne mit le feu nulle part; que les arbres du plateau de la ferme à M. Bocquemare, ceux de la gorge de Saint-Maurice et de la vallée de Malaunay et Monville, qui étaient plus ou moins ébranchés, abattus, arrachés, transportés, etc., ainsi que les fabriques détruites et les autres maisons plus ou moins endommagées, le furent par la réunion des actions ascensionnelle, de translation et de rotation de la trombe, comme un coup de vent endommage, renverse, emporte, etc., divers objets.

L'électricité qui accompagnait la trombe provenait de celle qui existait préalablement dans cette partie de l'atmosphère et de celle qui se développait successivement pendant le météore.

Observation. Depuis longtemps et à plusieurs reprises, j'ai fait diverses expériences pour prouver l'opinion que je me suis formée sur les causes qui peuvent occasionner le développement de l'électricité dans l'atmosphère, mais jusqu'à présent ces tentatives ont été sans succès.

Le transport au *nord* sur la *droite* de la *trombe* de Fontenay-lès-Louvres et de Châtenay, qui allait du midi au nord, n° 117 de ma *Capillarité* :

1° De tous les débris des toits plus ou moins endommagés à l'ouest des deux villages ;

2° Des pommiers enlevés et transportés hors du clos de Fontenay-lès-Louvres et de celui tombé dans le parc de Châtenay.

Enfin le résultat évident d'efforts constamment plus énergiques sur la *droite* du météore que sur sa *gauche*, prouve que la *trombe* tournait de *droite à gauche*.

L'air venant du midi, pour rétablir l'équilibre atmosphérique aux environs de Fontenay-lès-Louvres et de Châtenay, fut arrêté sur sa *gauche* par la hauteur d'Écouen, ce qui contribua certainement à déterminer le *sens* de la rotation de la *trombe*, qui eut lieu de *droite à gauche*.

4. Avant d'entrer dans l'examen de la *Note* de M. Pouillet, insérée C.R.H., t. XXI (8 septembre 1845), p. 545, et du *Rapport* des experts, MM. Becquerel, Péclot et Lamé, sur le météore de Malaunay et Monville, je vais indiquer brièvement les différents effets principaux qui peuvent être produits par les trombes et par l'électricité.

Les trombes, par leurs forces ascensionnelle, de translation et de rotation, peuvent :

1° Elever des corps, les transporter, etc.; effeuiller des végétaux, les tordre, les rompre, les abattre, les arracher, les transporter, etc. ;

2° Soulever des planchers, des toits, et même les transporter; renverser des murs, en transporter des débris plus ou moins loin, etc.

L'électricité peut :

1° Échauffer, fondre et même volatiliser les conduits qui ne lui offrent pas une issue suffisante;

2° Faire sur des végétaux un sillon plus ou moins long, large, profond, dont la surface est quelquefois noirâtre ou même eharbonnée;

3° Évaporer de la sève des végétaux, et par suite en détacher l'écorce, les fendre, les diviser en bien des parties, qui sont quelquefois éparpillées et plus ou moins desséchées;

4° Évaporer de l'eau des murs, des rochers, etc., à une température assez élevée pour en écarter des parties et même en lancer plus ou moins loin.

Personne, à ma connaissance, n'ayant indiqué avant moi les diverses directions des résultantes des mouvements de translation et de rotation des trombes, n° 1, ainsi que la différence des intensités de leurs actions sur les deux côtés, il n'est pas étonnant que les effets de ces diverses directions et de cette différence d'intensités aient échappé :

1° A. M. Pouillet, dans sa *Note*;

2° A. MM. Becquerel, Pécelet et Lamé, dans leur *Rapport*, comme experts.

Avec ces connaissances, je pense :

1° Que M. Pouillet aurait bientôt reconnu que les divers désastres avaient été occasionnés par une *trombe* qui tournait de droite à gauche;

2° Que MM. les experts se seraient rendu compte de bien des effets qui les ont embarrassés, s'ils avaient connu le sens de la rotation de la trombe.

MM. les experts :

1° Indiquent 3,500 mètres pour la longueur de la vallée de Cailly, du nom de sa petite rivière, entre Malaunay et Monville, et le nord-est pour sa direction, en allant du premier village au deuxième; ils lui assignent 100 à 150 mètres de

profondeur et 500 mètres de largeur, avec des coteaux couverts de bois ou de broussailles dont les pentes sont assez roides. *Voy.* p. 6.

M. Pouillet diffère seulement des experts en indiquant 100 à 130 mètres de profondeur et 400 à 500 mètres de largeur. *Voy.* p. 547.

2° Donnent 217 mètres pour la largeur des désastres du météore sur le plateau de la ferme à M. Bocquemare, dont 89 mètres appartiennent à la partie centrale. *Voy.* p. 9.

3° Donnent 428 mètres *id.* sur la route de Malaunay à Monville, et 307 mètres au delà de la vallée. *Voy.* p. 10 et 12.

M. Pouillet indique une centaine de mètres pour la largeur de la bande centrale et la plus énergique sur le plateau de la ferme à M. Bocquemare, p. 548, ainsi que dans la vallée, p. 554 ; mais il donne 250 mètres de largeur à chacune des deux bandes latérales sur le même plateau, p. 548, puis, au fond de la vallée, il porte jusqu'à 300 ou 400 mètres la largeur de la bande de gauche, et au double celle de la bande de droite, p. 554 et 555.

D'après la direction de la trombe sur le plateau de la ferme à M. Bocquemare, et à son arrivée dans la vallée de Malaunay et Monville, il suffit des largeurs admises par MM. les experts pour lui faire atteindre les fabriques détruites, au moyen de la marche naturelle que j'ai indiquée n° 2, sans recourir à des mouvements en zigzag, comme on le fait dans le *Rapport*, p. 10, 11 et 12.

Comme on peut voir n°s 6, 7, 8, 9, ma réfutation, mes réflexions et mes calculs relatifs aux trombes, je me bornerai à examiner ici ce que l'électricité a pu produire dans les effets de la trombe de Malaunay et Monville.

A la page 41 du *Rapport* des experts, on lit ce qui suit :

« Nous conviendrons que, si nous n'eussions eu à considérer que les traces encore existantes du météore pour remonter à son origine, nous aurions pu éprouver quelque hésitation ; mais quand on voit le concours des faits rap-

» portés par de nombreux témoins oculaires, tels que le
 » tourbillonnement des nuages, noyau du météore, sa forme
 » conique, la base en haut, le sommet en bas, les coups de
 » tonnerre, les éclairs qui le sillonnent, le roulement bruyant
 » qui le précède, l'odeur de soufre qu'il laisse dans les lieux
 » qu'il a frappés, le doute alors n'est plus possible : *le météore*
 » *est une trombe, une trombe bien définie.* »

Il est certain pour moi que le *météore* était une *trombe*, et, de plus, qu'elle tournait de *droite à gauche*, n° 3; mais je ne trouve rien qui indique une part sensible de l'action électrique dans les désastres sur le plateau de la ferme à M. Bocquemare, sur la pente du coteau et dans la vallée de Malaunay et Monville.

En effet, les témoins rapportent qu'ils ont vu du feu, des flammes, des éclairs, entendu le tonnerre, ressenti l'odeur sulfureuse, etc.; mais il ne faut que des quantités ordinaires d'électricité (qu'elles proviennent d'une forte tension dans peu d'étendue ou d'une faible tension dans une étendue plus ou moins grande) pour produire ces résultats.

Le témoin Guillaume Lagoguée, constructeur mécanicien, dépose ainsi, p. 18 du *Rapport des experts*: « Un
 » ouvrier de la filature de M. Picquot a été jeté dans la ri-
 » vière avec son métier; il en a été retiré sans blessures ap-
 » parentes; mais il m'a dit qu'il se sentait les membres tel-
 » lement brisés, qu'il perdait l'espoir de jamais travailler. »

Je suis persuadé que c'était le résultat des actions électriques; mais on est obligé de convenir que leurs effets, qui avaient été incapables de tuer un homme, ne pouvaient occasionner aucune action comparable à celle des dégâts produits.

Des témoins disent qu'ils ont remarqué une couche noire sur des ouvriers tués ou blessés, mais aucun n'attribue la mort des premiers aux effets de la foudre. Il est tout naturel qu'au milieu de ces désastres, de la poussière se soit fortement attachée à la peau, qui devait être en sueur par suite de la température élevée de l'air, du travail des ouvriers,

de leur frayeur, des efforts qu'ils faisaient pour se dégager, etc.

Les briques chaudes, au point de ne pas pouvoir les tenir à la main, qui étaient plus ou moins éparpillées dans les décombres, provenaient sans doute de la cheminée, dans laquelle il y avait probablement du feu (je n'ai rien vu qui constate sa présence ou son absence); car je ne conçois pas que la foudre ait pu échauffer ainsi des corps aussi réfractaires, lorsqu'elle ne pouvait pas occasionner la mort d'un seul homme ou laisser d'autres grandes traces évidentes de son action.

L'électricité qui peut accompagner les trombes provient, comme celle des orages et des ouragans, de celle qui préexistait dans cette partie de l'atmosphère et de celle qui se développe successivement pendant le météore.

Contrairement à l'opinion des experts, je regarde comme certain que les diverses actions d'une trombe sur les arbres qu'elle tord, rompt, etc., peuvent y occasionner des divisions, des fentes, etc., qui permettent d'en détacher plus ou moins aisément des lanières, des lames, etc.

Comme la trombe de Malaunay et Monville faisait partie d'un ouragan qui s'étendit au delà de Paris, n° 2, à Orléans et aux environs, ainsi qu'au sud-ouest de la forêt de Sénart, près Paris (voy. C. R. H., t. XXI (1^{er} septembre 1845), p. 533 et 534), il ne serait pas impossible que des dégâts plus ou moins éloignés de Malaunay et Monville ne fussent dus qu'à l'ouragan et non à la trombe.

Enfin, je terminerai en observant que les trombes et les tourbillons, qui élèvent si souvent de la poussière sur les grandes routes, surtout pendant les journées chaudes, ne diffèrent pas plus entre eux que les ouragans et les vents ordinaires; or personne, à ma connaissance, n'a osé dire que l'électricité était la cause de tous ces phénomènes, à l'exception des trombes, pour lesquelles on établit ainsi une anomalie que rien ne vient justifier.

5. Avant d'entrer dans l'examen des diverses théories que

l'on a imaginées pour expliquer la formation des trombes, il est nécessaire d'indiquer les faits suivants, qui résultent des descriptions de celles que j'ai trouvées dans les *Ann. de chim. et de phys.*

Dans les descriptions des deux trombes que l'on trouve aux p. 71 et 217 du t. XIX, et dans celle du t. XLV, p. 424, il est dit qu'elles eurent lieu *sans éclairs ni tonnerre*.

On ne fait *aucune mention d'éclairs ni de tonnerre* dans les huit trombes : t. XVIII, p. 191; t. XXI, p. 407, 408, 409, 410; t. XXIV, p. 437; t. XXXVI, p. 415; t. XLII, p. 419.

Il y eut *un éclair extrêmement vif, suivi d'un horrible coup de tonnerre*, après la fin de la trombe, t. XXXIX, p. 431.

Dans la soirée de la trombe, t. XIX, p. 70, il y eut des *éclairs fréquents et du tonnerre*.

On *entendit le tonnerre*, ou bien on *vit des flammes, des éclairs ou du feu* durant les cinq trombes : t. XXIV, p. 433, 438, 438; t. XXXIII, p. 426; t. XLII, p. 420.

Au sujet de la trombe, t. LXI, p. 174, on dit : « Le tonnerre, qui se faisait entendre avec violence depuis onze heures du matin (la trombe commença vers midi), cessa complètement dès que la colonne atteignit la terre; il ne recommença qu'après la disparition du météore. »

6. Dans les *Notices scientifiques* par M. Arago, *Annuaire du bureau des longitudes de 1838*, p. 463, on lit ce qui suit : « La matière de la foudre fond, ou du moins fait passer subitement à l'état d'incandescence, des fils métalliques d'une faible grosseur; ne doit-on pas en conclure qu'elle rendra aussi subitement incandescents les minces filets d'eau qu'elle trouvera sur son passage? En consultant la table que nous avons donnée, M. Dulong et moi, de l'élasticité de la vapeur, correspondant à divers degrés du thermomètre, on trouvera qu'elle est déjà de 45 atmosphères quand l'eau atteint le 260° degré centigrade. Quelle force cette vapeur ne doit-elle pas avoir à la température bien

» plus considérable du fer rouge? Une telle force serait évidemment suffisante pour expliquer, sous le rapport de l'intensité, tout ce que nous connaissons de l'action mécanique de la foudre. »

Si la cause indiquée ci-dessus était celle qui occasionne les trombes, il en résulterait nécessairement qu'avant la formation de ces météores il y aurait, dans une étendue suffisante de l'atmosphère, un éparpillement des nuages, qui serait produit par une action au moins égale à la réaction qui viendrait ensuite occasionner chaque tourbillon plus ou moins désastreux. Cette dispersion des nuages avant la formation de chaque trombe n'ayant jamais été observée, il faut en conclure que la dilatation de la partie atmosphérique, qui est la cause primitive de la formation de la trombe, provient d'une ou de plusieurs actions lentes. (Voy. celle que j'ai indiquée au n° 116 de ma *Théorie capillaire*, ainsi que les développements ci-après, n° 9.) On peut même ajouter que la multiplicité et l'intensité des éclairs et du tonnerre n'ont jamais paru occasionner une dispersion des nuages, dans une étendue de l'atmosphère comparable à celle qui est nécessaire à la production d'une trombe.

La trombe du t. LXI, p. 174, des *Ann. de chim. et de phys.*, est la seule, sur dix-neuf, n° 5, dans laquelle on dit qu'elle fut précédée du tonnerre; mais rien ne peut faire soupçonner une dispersion de nuages avant son apparition.

La trombe de Châtenay, dont j'ai indiqué les ravages au n° 117 de ma *Capillarité*, ne laissa aucune trace de la foudre avant le parc du château, où elle termina ses actions désastreuses.

*Réflexions sur la théorie de la formation et de l'équilibre
des nuages de Ath. Peltier.*

7. Sans entrer d'abord dans l'examen général de la théorie électrique de feu Peltier, d'après laquelle il n'admet que le seul fluide résineux plus ou moins coercé à la surface de la

terre et des autres corps (*voyez* le numéro suivant), et de laquelle il déduit (*voyez* son Mémoire sur les diverses espèces de brouillards, lu le 2 juillet 1842 à l'Académie royale de Bruxelles et publié dans le t. XV, 2^e partie des mémoires couronnés) :

1^o Les brouillards simples :

« Ces brouillards ne peuvent exister dans cet état de simplicité primitive que lorsque les vapeurs élastiques supérieures réagissent avec une tension résineuse égale à celle de la terre et neutralisent ainsi les effets de cette dernière. »

2^o Les brouillards résineux, qu'il divise en deux espèces :

Première espèce. « Les brouillards résineux, provenant de l'accroissement dans la pesanteur des vapeurs, ne sont qu'une nue résineuse abaissée par sa gravité jusqu'à la surface du sol, et non un *brouillard* proprement dit. »

Deuxième espèce. « Pour que des vapeurs résineuses soient maintenues près du sol, il faut donc : 1^o que les régions élevées de l'atmosphère soient le réceptacle de vapeurs fortement résineuses, possédant une réaction au moins égale à celle du globe ; 2^o que les vapeurs inférieures soient assez raréfiées pour être faiblement conductrices, et qu'elles puissent ainsi garder la tension résineuse qu'elles possèdent. Il faut la coexistence de ces circonstances pour que l'électricité résineuse de ces vapeurs inférieures ne s'écoule pas dans le globe, ou que ces vapeurs ne soient pas massées en nuages avec une périphérie électrique qui en faciliterait la décharge. »

3^o Les brouillards vitrés, qu'il divise en deux espèces :

Première espèce. « La première est celle qui a lieu sous un ciel serein, sans autre influence électrique que celle du globe. Cette espèce a ses portions inférieures plus vitrées que les supérieures, et elles sont puissamment attirées par le globe. »

Deuxième espèce. « L'autre espèce est celle qui est formée sous l'influence de masses de vapeurs fortement résineuses

» qui dominent dans les couches supérieures, Cette dernière
 » a ses portions supérieures plus vitrées que les inférieu-
 » res. »

J'observerai que si les actions électriques « du vaste cou-
 rant (que suppose l'auteur) qui s'avance constamment des
 tropiques vers les pôles, dans les hautes régions de l'atmo-
 sphère, » agissaient sur les divers brouillards avec des in-
 tensités aussi variables qu'il la prétend, leurs influences
 électriques, réunies à celles des brouillards sur les corps iso-
 lés ou non à la surface de la terre, occasionneraient néces-
 sairement des variations appréciables sur les poids de ces
 derniers : ces variations, qui dépendraient du temps, de la
 nature, du volume et de la forme des corps, auraient sans
 doute été constatées dans les diverses pesées des analyses
 chimiques, et surtout sur la durée de chaque oscillation des
 moteurs des pendules ; ce qui n'a jamais été remarqué dans
 les observatoires ou ailleurs.

Pour calculer l'influence de ces actions sur la durée de
 l'oscillation du pendule simple, dont $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ repré-
 sente la relation qui existe entre le temps t de l'oscillation,
 la longueur l du pendule simple et la vitesse g qu'acquie-
 rent les corps qui tombent librement dans le vide pendant
 l'unité de temps, il faut déterminer la variation qu'éprouve
 t , lorsque g augmente ou diminue de α .

L'expression précédente donne

$$\begin{aligned}
 t_1 &= \pi \sqrt{\frac{l}{g \pm \alpha}} = \pi \sqrt{l} (g \pm \alpha)^{-\frac{1}{2}} = \pi \sqrt{l} \left(g^{-\frac{1}{2}} \mp \frac{1}{2} g^{-\frac{3}{2}} \alpha + \text{etc.} \right) \\
 &= \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \mp \frac{1}{2} \pi \sqrt{\frac{l}{g^3}} \alpha + \text{etc.} = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \mp \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \frac{\alpha}{2g} + \text{etc.}
 \end{aligned}$$

qui conduit à

$$t - t_1 = \pm \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot \frac{\alpha}{2g} - \text{etc.}$$

puis à

$$\frac{t-t_1}{t} = \pm \frac{\alpha}{2g} - \text{etc.}$$

Si la réunion des actions électriques des vapeurs, des nuages et du courant supérieur de l'atmosphère, admis de l'équateur au pôle par feu Peltier, influait seulement de $\frac{1}{1000}$ sur le poids des corps à la surface de la terre, il en résulterait une variation $\frac{\alpha}{2g} = \frac{1}{2000}$ (en s'arrêtant au premier terme du développement du rapport $\frac{t-t_1}{t}$) sur la durée de chaque oscillation du moteur d'une pendule, et par suite $\frac{3600''}{2000} = 1'',8$ pendant une heure, puis $\frac{86400''}{2000} = 43'',2$ durant un jour.

Une pareille variation n'aurait pas échappé aux astronomes et aux autres observateurs. On peut ajouter que les effets d'une variation de pesanteur dix fois moindre et même inférieure auraient été constatés depuis longtemps.

D'après ce qui précède, il ne me paraît pas possible d'admettre la théorie des nuages de feu Peltier, non plus que les applications qu'il en fait aux trombes et à d'autres météores.

Réflexions sur la théorie électrique de Ath. Peltier,

8. « Résumé, » Voyez ce résumé de l'auteur dans les *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. IV, p. 428 (1842).

« 1^o La matière pondérable seule a la puissance de coércer » la cause des phénomènes électriques ; le phénomène qu' » produit cette coércition est celui qu'on a nommé impropre- » ment *électricité résineuse*, et plus improprement encore » *électricité négative*.

« 2^o L'espace pur, privé de matière pondérable, ne coer- » çant pas cette cause d'une manière spéciale, ne peut réagir

» avec une force égale contre une action *résineuse*; cette négation de réaction *résineuse* se nomme *électricité vitrée*, ou plus improprement encore *électricité positive*.

» 3° La terre, comme corps pondérable, possède une tension *résineuse* puissante, et l'espace céleste qui l'environne ne possédant pas cet état, est à l'état *résineux en moins* ou *vitré*.

» 4° La terre, comme tout globe électrique au milieu d'un espace libre, a sa tension à la surface, et cette tension peut augmenter ou diminuer dans certains points, suivant que les corps placés au-dessus ont une tension moindre ou plus grande, c'est-à-dire suivant que ces corps sont *vitrés* ou *résineux* par rapport à la moyenne électrique du globe.

» 5° Tout corps placé à la surface de la terre partage sa tension *résineuse*; cette tension augmente d'autant plus qu'il forme une plus grande saillie dans l'espace. Ainsi les montagnes, les monuments et même les êtres organisés ont des tensions *résineuses* plus fortes que le sol sur lequel ils reposent, etc. »

En négligeant d'abord le faible aplatissement de la terre, dont CD, *fig. 3*, représente le rayon, et en admettant que le fluide *résineux* est uniformément coércé à sa surface supposée régulière, il en résulterait que chaque partie de celui qui est coércé uniquement par un corps situé en A, ou en même temps par des actions extérieures, serait en équilibre sous l'influence répulsive de celui du globe terrestre, dont l'action agit en raison inverse du carré de la distance; tandis qu'en B, la résultante des mêmes actions du globe tendrait à l'éloigner du centre C, comme si elles y étaient toutes réunies. (Lois de la mécanique.)

Il en résulterait donc une diminution sensible sur les poids des corps à l'état naturel ou non, et par suite sur les conséquences qui en dépendent, n° 7, lorsqu'on les transporterait du *dedans* au *dehors* de la couche *résineuse* de la terre

qu'admettait feu Peltier, et dont j'ai d'abord supposé l'action uniforme dans toute son étendue.

L'irrégularité de la couche *résineuse*, répandue à la surface plus ou moins ondulée de la terre, se trouve encore influencée par les actions variables de l'électricité des nuages, des brouillards, du courant supérieur de l'atmosphère, etc., n° 7; mais cela n'empêche pas de la diviser en deux parties, savoir :

L'une produisant les actions d'une couche uniformément répandue à la surface sphérique de la terre, et dont l'intensité en chaque endroit est égale à la plus faible de toutes celles qui existent au même instant;

L'autre représentant les excès sur la couche précédente des actions qui existent au même instant dans chaque endroit.

La première de ces deux parties annule ses effets sur le fluide naturel ou non d'un corps situé en A, *fig. 3*, et elle tend à l'éloigner du point C, quand il est en B, comme on l'a vu ci-dessus.

La deuxième tend toujours à éloigner du point C le fluide naturel ou non d'un corps situé en B, suivant une direction plus ou moins inclinée sur CB, et elle agit généralement sur le fluide du même corps, placé en A, pour l'éloigner ou pour l'approcher du point C, suivant une direction qui dépend de ses différentes intensités aux divers endroits de la surface terrestre.

Il résulte de cet examen, que la variation d'intensité de la couche *résineuse* à la surface plus ou moins irrégulière de notre planète, et par suite les différences qui en proviendraient sur les diverses résultantes qu'en éprouverait le fluide naturel ou non de chaque corps, placé successivement en A et en B, *fig. 3*, pourraient être alternativement moindres et plus grandes que chacune des différences qui auraient lieu, si cette couche *résineuse* était uniformément répandue à la surface de la terre supposée sphérique.

Sans chercher ici à décider la question relative à l'exis-

tence d'un ou de deux agents électriques, j'observerai que les conséquences précédentes, qui résultent de la manière dont feu Peltier considérait la répartition du seul fluide résineux, n'ayant jamais été remarquées ni sur les poids des corps ni sur les résultats qui en dépendent, il ne me paraît pas possible d'admettre sa théorie.

9. Après avoir indiqué les faits qui ne me permettent pas d'admettre les diverses causes auxquelles on a eu recours pour expliquer la formation des trombes, je crois devoir encore ajouter les détails qui suivent, pour les joindre à ce que j'ai dit au n° 116 de ma *Théorie élémentaire de la capillarité* :

1° Si les vésicules étaient à 40° de température et posées verticalement l'une sur l'autre dans de l'eau saturée à 30°, qui supporterait à lui seul 0^m,76 de mercure, on aurait vis-à-vis 40° du *tableau*, n° 115 :

$$\left. \begin{array}{l} 4,891 - 4,732 = 0^{\text{ms}},159 \text{ dans la } 3^{\text{e}} \text{ colonne} \\ 0,206 - 0,123 = 0,083 \text{ id. } 6^{\text{e}} \text{ id.} \end{array} \right\},$$

d'où $0,159 - 0,083 = 0^{\text{ms}},076$ dans la 7^e colonne, puis, n° 116, $0^{\text{ms}},076 \times 50000 = 3800^{\text{ms}} = 3^{\text{sr}},8$ pour le poids des enveloppes liquides qui existeraient dans un kilomètre en hauteur.

Ces 3^{sr},8 d'eau correspondent à 3,8 centimètres cubes, ou au volume du cylindre, qui a pour base le cercle de un centimètre de rayon et pour hauteur $\frac{3,8}{3,1416} = 1,21$ centimètre.

2° *Id.* 30° *id.* 20° *id.* 30° *id.*

$$\left. \begin{array}{l} 5,062 - 4,891 = 0^{\text{ms}},171 \text{ dans la } 3^{\text{e}} \text{ colonne} \\ 0,123 - 0,072 = 0,051 \text{ id. } 6^{\text{e}} \text{ id.} \end{array} \right\},$$

d'où $0,171 - 0,051 = 0^{\text{ms}},120$ dans la 7^e colonne, puis $0^{\text{ms}},120 \times 50000 = 6000^{\text{ms}} = 6^{\text{sr}} \text{ id.}$

Ces 6^{sr} *id.* 6 *id.* hauteur $\frac{6}{3,1416} = 1,91$ centimètre.

3° *Id.* 20° *id.* 10° *id.* 20° *id.*

$$\left. \begin{array}{l} \{ 5,245 - 5,062 = 0^{\text{mg}},183 \text{ dans la } 3^{\text{e}} \text{ colonne} \} \\ \{ 0,072 - 0,041 = 0,031 \text{ id. } 6^{\text{d}} \text{ id.} \} \end{array} \right\}$$

d'où $0,183 - 0,031 = 0^{\text{mg}},152$ dans la 7^e colonne, puis
 $0^{\text{mg}},152 \times 50000 = 7600^{\text{mg}} = 7^{\text{gr}},6 \text{ id.}$

Ces 7^{gr},6 *id.* 7,6 *id.* hauteur $\frac{7,6}{3,1416} = 2,42$ centimètres.

4° *Id.* 10° *id.* 0° *id.* 10° *id.*

$$\left. \begin{array}{l} \{ 5,441 - 5,245 = 0^{\text{mg}},196 \text{ dans la } 3^{\text{e}} \text{ colonne} \} \\ \{ 0,041 - 0,023 = 0,018 \text{ id. } 6^{\text{e}} \text{ id.} \} \end{array} \right\}$$

d'où $0,196 - 0,018 = 0^{\text{mg}},178$ dans la 7^e colonne, puis
 $0^{\text{mg}},178 \times 50000 = 8^{\text{mg}},900 = 8^{\text{gr}},9 \text{ id.}$

Ces 8^{gr},9 *id.* 8,9 *id.* hauteur $\frac{8,9}{3,1416} = 2,83$ centimètres.

La somme de ces quatre hauteurs partielles donne la hauteur totale 8,37 centimètres obtenue au n° 116 de ma *Capillarité*.

Malgré les résultats précédents, qui prouvent que, pour une même variation de température entre les vésicules et l'air extérieur, les quantités maximums de l'eau vésiculaire augmentent à mesure que la température atmosphérique diminue, c'est encore pendant l'été que les averse^s sont les plus considérables et les plus fréquentes; ce qui prouve qu'à cette dernière époque le rayonnement du soleil, du sol, des nuages, des vésicules entre elles, etc., élève assez la température des vésicules au-dessus de celle du milieu ambiant pour compenser et même excéder le désavantage qui résulte de l'élévation de la température atmosphérique.

En représentant par *h* centimètres la longueur variable, dont une trombe fait descendre le baromètre durant son passage au-dessus de chaque endroit du sol, elle y produit une force ascensionnelle variable, qui est égale à la pression d'une colonne mercurielle, ayant *h* centimètres de hauteur, ou à celle d'une colonne d'eau, qui a 13,59 *h* centimètres d'élé-

vation, en admettant 13,59 pour la densité du mercure.

La valeur de h est à chaque instant le résultat de la force ascensionnelle, qui provient de la raréfaction de l'air de la *trombe* et de l'affaiblissement de la pression que produisent ses mouvements de rotation et de translation.

Le gramme étant le poids d'un centimètre cube d'eau, il s'ensuit que $13,59 h$ représente aussi en grammes la force ascensionnelle qui agit sur chaque centimètre carré des parties horizontales inférieures des surfaces au-dessus desquelles agit la *trombe*.

En partant de la valeur 47^{mm} calculée au n° 116 de ma *Capillarité*, et de l'abaissement maximum 60^{mm} du baromètre obtenu par M. Espy au centre des *tornados* (il appelle ainsi les *trombes* et les *ouragans*) par rapport à sa hauteur vers les bords [voyez les C. R. H., t. XII, p. 454 (1841)], on a $\left\{ \begin{array}{l} h=4,7 \\ h=6,0 \end{array} \right\}$ centimètres, et par suite $\left\{ \begin{array}{l} 13,59 h=63,873 \\ 13,59 h=81,54 \end{array} \right\}$ centimètres, pour la hauteur de la colonne d'eau représentant la force ascensionnelle $\left. \begin{array}{l} \text{calculée} \\ \text{maximum} \end{array} \right\}$ qui agit sur chaque partie inférieure des surfaces horizontales au-dessus desquelles passe la *trombe*.

Cette force exerçant son action variable pendant toute la durée du temps que la *trombe* agit sur chaque endroit, et étant toujours bien supérieure aux poids des divers toits en tuile, dont l'épaisseur moyenne n'a qu'un petit nombre de centimètres, et à plus forte raison relativement à ceux des divers toits en ardoise, dont l'épaisseur moyenne est si petite, on ne doit pas être surpris qu'elle enlève et transporte plus ou moins loin les différentes parties de ces toits, qui cèdent les premières à l'excès de la force expansive de l'air, plus ou moins renfermé au-dessous, sur sa pression à l'extérieur.

La même action surpasse toujours de beaucoup le poids total des diverses parties des toits en chaume qui sont liées entre elles.

Cette force ascensionnelle produisant une action

{ calculée } de { 63,873 } grammes sur chaque *centimètre*
 { maximum } de { 81,54 } carré de surface horizontale, il en résulte

{ 63,873 × 100² = 638730 } grammes, ou { 638,73 } kilo-
 { 81,54 × 100² = 815400 } grammes sur un *mètre carré*.

Lorsque ces dernières forces ascensionnelles agissent sur les surfaces inférieures et horizontales des têtes de divers pommiers qui ont 1, 2, 3 ou 4 mètres de rayon, elles tendent à les soulever avec des actions { calculées } qui sont représentées par { maximums }

$$638,73 \times 3,14 \times \begin{pmatrix} 1^2 \\ 2^2 \\ 3^2 \\ 4^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2005,6122 \\ 8022,4488 \\ 18050,5098 \\ 32089,7952 \end{pmatrix} \text{ kilogrammes,}$$

$$815,4 \times 3,14 \times \begin{pmatrix} 1^2 \\ 2^2 \\ 3^2 \\ 4^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2560,356 \\ 10241,424 \\ 23043,204 \\ 40965,696 \end{pmatrix} \text{ kilogrammes,}$$

en prenant 3,14 pour le rapport de la circonférence au diamètre.

En observant que la force variable qui soulève la tête de chaque pommier pendant toute la durée du temps que la *trombe* passe au-dessus, se trouve encore aidée par le mouvement toujours rapide de sa rotation et par celui de sa translation, qui agissent en même temps et de la manière la plus convenable sur la tête de chaque arbre pour en tordre le pied et le renverser, on ne doit pas être surpris des ruptures successives de ses racines à partir de celles qui cèdent les premières à la réunion des divers efforts qui tendent à les briser.

Lorsque les valeurs { $h = 4,7$ } centimètres sont réduites à la moitié, au tiers, aux deux tiers, etc., les résultats ob-

tenus ci-dessus sont aussi réduits à la moitié, au tiers, aux deux tiers, etc., de leurs valeurs.

Le 19 août 1845, M. Preisser, professeur de chimie et de physique à l'École municipale de Rouen, trouva $757^{\text{mm}},25$ à 9 heures du matin et $740^{\text{mm}},91$ à 1 heure de l'après-midi pour les hauteurs du baromètre : le vent était au sud-ouest et la température à $16^{\circ},30$.

M. Preisser observe journellement à 2 heures de l'après-midi; mais l'état de l'atmosphère le fit observer à 1 heure.

Il est très-probable, pour ne pas dire certain, que la force ascensionnelle de la trombe de Malaunay et Monville surpassait la descente $16^{\text{mm}},34$ du baromètre à Rouen, depuis 9 heures jusqu'à 1 heure. D'après les résultats des calculs précédents, cette force ascensionnelle et celle de translation et de rotation de la trombe suffisent pour en expliquer les désastres.

Si j'ai pris l'exemple du pommier, c'est parce que le poids de ses fruits fait ordinairement prendre au-dessous de sa tête, souvent très-touffue et rigide, une forme étendue et à peu près horizontale, qui est toujours très-convenable pour le faire enlever par la force ascensionnelle d'une trombe, immédiatement après la rupture de ses racines.

À l'égard des arbres plus élevés que le pommier, et dont le dessous de la tête, moins horizontale, moins touffue et moins rigide, ne présente pas à la trombe la même facilité pour les enlever, elle ne fait ordinairement que les renverser, les rompre ou les tordre, ou seulement elle rompt ou tord autour d'eux plus ou moins de branches, et même elle se borne quelquefois à les effeuiller.

Relativement aux actions d'une trombe sur les divers objets qu'elle rencontre, on peut observer, n° 1 :

1° Qu'aux deux bords de l'espace que sa translation lui fait parcourir, elle tend à renverser les objets, savoir : à
 { l'un } par la { somme } de ses mouvements de rota-
 { l'autre } { différence } tion et de translation;

2° Què sur chacun des autres objets, la résultante des efforts de ses mouvements de rotation et de translation change continuellement de direction et d'intensité.

Il faut encore ajouter que les actions d'une trombe varient :

1° D'un endroit à l'autre dans chaque *section* perpendiculaire à son axe de rotation, dont le mouvement représente celui de sa translation ; .

2° De l'une de ces *sections* à l'autre.

Enfin les divers efforts d'une trombe peuvent agir avec toute leur énergie sur les différents corps qu'elle rencontre, ou bien se trouver plus ou moins gênés dans leur action par d'autres obstacles.

Quoique le mot *tornado*, employé par M. Espy pour désigner une *trombe* ou un *ouragan*, me paraisse convenir réellement à tous les déplacements de l'air qui proviennent d'une raréfaction occasionnée par des causes quelconques dans une portion plus ou moins étendue de l'atmosphère (car je ne pense pas qu'il arrive une seule fois que l'air, qui se précipite avec plus ou moins de vitesse pour rétablir l'équilibre dans l'atmosphère, produise une rotation sans la transporter ou bien un transport sans rotation régulière ou non), je ne suis cependant pas disposé à l'admettre, à cause des grandes différences que l'on observe entre les étendues et les effets produits par ces divers déplacements de l'air, selon que la vitesse de rotation l'emporte sur celle de translation ou réciproquement.

J'ajouterai enfin que les divers mouvements de l'air, dont la réunion engendre réellement un *tornado* plus ou moins régulier, et qui peut être plus ou moins étendu, désastreux, etc., selon la grandeur de l'espace dans lequel s'étend le plus ou moins de raréfaction de l'air et les différentes vitesses qu'il acquiert en arrivant dans la portion raréfiée de l'atmosphère, suivant les circonstances qui déterminent ces divers mouvements et celles qui les environnent, telles que les divers courants d'air déjà existants, qui peuvent favo-

riser ou gêner le résultat des actions ci-dessus indiquées, les irrégularités du sol et les différents objets que le météore rencontre, etc., donnent naissance à $\left\{ \begin{array}{l} \text{un tourbillon} \\ \text{une trombe} \end{array} \right\}$, quand leur résultat produit dans l'atmosphère une vitesse de rotation $\left\{ \begin{array}{l} \text{ordinaire} \\ \text{extraordinaire} \end{array} \right\}$ qui l'emporte sur celle de translation, et à $\left\{ \begin{array}{l} \text{un vent plus ou moins fort} \\ \text{un ouragan ou une tempête} \end{array} \right\}$, lorsque le résultat engendre dans l'atmosphère une vitesse de translation $\left\{ \begin{array}{l} \text{ordinaire} \\ \text{extraordinaire} \end{array} \right\}$ qui surpasse celle de rotation.

10. Aux explications nos 85...111 de ma *Théorie élémentaire de la capillarité*, qui sont relatives aux effets dits de *contact* en chimie, je vais d'abord ajouter les suivantes, pour justifier de plus en plus l'exactitude de la théorie que j'en ai donnée, d'après les diverses intensités des actions capillaires entre les solides poreux, en poussière, en copeaux, en limailles, etc., et les liquides ou les gaz, ainsi qu'entre les liquides et les gaz.

1° *Explication des divers effets que produisent les différents corps, organisés ou non, sur les polysulfures d'hydrogène.*

Le polysulfure d'hydrogène, et plus exactement les divers polysulfures d'hydrogène, que l'on peut évidemment considérer comme étant des composés de gaz sulfhydrique et de plus ou moins de soufre, sont des liquides jaunes tirant quelquefois sur le brun verdâtre, qui se décomposent promptement en gaz sulfhydrique et en un dépôt de soufre à la température de 100°. Cette action commence à s'effectuer vers 60° à 70°.

Le charbon très-divisé, le platine, l'or, l'iridium et plusieurs autres métaux en poudre condensent assez les polysulfures d'hydrogène dans leurs espaces capillaires pour en élever la température au degré qui provoque le dégagement de leur gaz sulfhydrique, lequel continue ensuite au moyen

de la chaleur que dégage successivement la décomposition du liquide.

Le bioxyde de manganèse, la magnésie, la silice, des fragments pulvérisés de baryte, de strontiane, de chaux, de potasse, de soude, provoquent assez énergiquement la décomposition des polysulfures d'hydrogène, pour qu'il en résulte tout à coup une vive effervescence, qui est due à la promptitude avec laquelle le gaz sulfhydrique se dégage.

La potasse et la soude ont tant d'action sur les polysulfures d'hydrogène, que leurs dissolutions conservent encore assez d'effet pour en provoquer une décomposition tellement énergique, que la liqueur agitée entre comme en ébullition, par suite de la promptitude avec laquelle le gaz sulfhydrique s'en dégage.

L'ammoniaque agit sur les polysulfures d'hydrogène avec autant d'énergie que les dissolutions de potasse et de soude.

Les oxydes d'or, d'argent, etc., provoquent si énergiquement la décomposition des polysulfures d'hydrogène, que la température qui en résulte les réduit eux-mêmes, et que le calorique dégagé par ces deux décompositions et par la formation de l'eau produit l'incandescence.

Comme les substances précédentes, tous les sulfures tendent à provoquer la décomposition des polysulfures d'hydrogène, et par conséquent à en dégager le gaz sulfhydrique.

L'effervescence est très-sensible avec le sulfure de plomb pulvérisé, très-vive avec le kermès et le soufre doré, plus vive encore avec les sulfures alcalins en poudre, et forte avec les persulfures alcalins dissous, qui font précipiter du soufre et dégager du gaz sulfhydrique.

Le sucre, l'amidon, la fibrine, la chair musculaire agissent lentement sur les polysulfures d'hydrogène. L'action des matières animales surpasse cependant celle des végétales.

L'affinité des divers acides pour les polysulfures d'hydrogène donne seulement plus ou moins de fixité à ces derniers, sans jamais élever assez leur température pour en provo-

quer la décomposition. Ainsi, les polysulfures d'hydrogène purs s'altèrent à la manière du bioxyde d'hydrogène, tandis qu'au contact de quelques gouttes d'eau acidulée ils se conservent très-longtemps. Le bioxyde de manganèse ne décompose pas les polysulfures d'hydrogène, lorsqu'ils sont en contact avec les acides.

2° *Explication des résultats obtenus par M. J. Pelquze, et consignés dans les C. R. H., t. XVI, p. 43 (1843).*

L'oxyde rouge de mercure amorphe, lavé et séché à la température ordinaire, condense assez le chlore sec (il en liquéfie probablement une partie) dans ses pores, nos 100, 101 et même 102 par analogie, de ma *Capillarité*, pour produire la température à laquelle se décompose le solide, dont l'oxygène dégagé ne peut s'unir au chlore trop échauffé; mais ce dernier se combine avec le mercure.

La même action se continue au moyen des condensations successives du chlore qui pénètre dans les pores de l'oxyde, et de la chaleur que dégage le bichlorure de mercure en se formant.

En plongeant le même oxyde dans du chlore suffisamment refroidi, la condensation qu'éprouve ce dernier dans les pores du solide élève encore assez sa température pour dégager l'oxygène, mais non pour s'opposer à l'union des deux gaz dans les pores mêmes, ou bien hors les pores, avant que l'oxygène ait perdu les propriétés dues à son état naissant.

La même action se continue au moyen des condensations successives du chlore qui pénètre dans les pores de l'oxyde et de la chaleur que dégage l'acide hypochloreux en se formant, sans que la température s'élève assez pour s'opposer à l'union des deux gaz.

Lorsque le chlore arrive rapidement sur l'oxyde amorphe contenu dans un tube, sa condensation dans les pores du solide est assez prompte pour en élever la température au degré qui produit les effets du premier résultat ci-dessus indiqué; mais quand le chlore arrive lentement sur le même solide, les condensations successives qu'il éprouve, en péné-

traçant peu à peu dans les pores de l'oxyde, élèvent encore assez sa température pour dégager l'oxygène du solide, et pas suffisamment pour s'opposer à son union avec le chlore.

Enfin, quand le tube est entouré de glace, quelque rapide que soit le courant de chlore qui le traverse, la température ne s'élève jamais assez pour s'opposer à la formation de l'acide hydrochlorique.

Quand l'oxyde a déjà été incomplètement décomposé, son action sur le chlore est diminuée par l'agrandissement de ses pores, qui provient de l'oxygène enlevé, et probablement aussi par une moindre affinité du contour des pores pour le gaz; ce qui réduit l'effet à la décomposition de l'oxyde, sans empêcher aux deux gaz de s'unir, malgré la chaleur que dégage successivement l'acide hypochloreux en se formant.

Le même oxyde, calciné à 300° ou 400°, condense assez le chlore pour en élever la température au degré qui dégage l'oxygène sans s'opposer à son union avec le chlore. Il résulte de cette expérience que l'oxyde rouge de mercure amorphe chauffé à 300° ou 400°, puis refroidi, conserve des pores plus grands qu'avant l'élevation de sa température, ou bien retient moins de l'humidité qui augmentait son affinité pour le gaz. Il est assez probable que ces deux effets ont lieu en même temps.

En comparant les effets de l'oxyde calciné sur le chlore :

- 1° Après son refroidissement dans un espace sec;
- 2° Après l'avoir laissé plusieurs jours dans l'atmosphère ou dans un espace humide.

On reconnaît sans doute l'effet de chacune des deux causes ci-dessus indiquées.

Le chlore ne pouvant pas pénétrer dans les pores de l'oxyde cristallisé en paillettes plus ou moins petites ou en aiguilles microscopiques, brillantes à la lumière du soleil, il n'en résulte pas, comme pour l'oxyde amorphe, des condensations du gaz, et par suite une température susceptible de provoquer le dégagement de l'oxygène.

L'action plus ou moins sensible entre le chlore et l'oxyde

crystallisé, surtout à l'état de poudre très-ténue, se trouve provoquée par l'élévation de la température qu'occasionnent en plus ou moins d'endroits les condensations du chlore dans les espaces capillaires qui existent entre les petites parties de la poussière.

En chauffant de plus en plus le chlore ou la poudre très-ténue de l'oxyde cristallisé, et mieux encore les deux substances en même temps, je regarde comme certain qu'en les mettant ensuite en contact, l'on parviendra, au-dessous de la température qui décompose le solide, à en dégager l'oxygène au moyen des condensations du chlore dans les espaces capillaires formés par la poussière des cristaux, et à en obtenir du bichlorure de mercure ou de l'acide hypochloreux, selon l'élévation de la température, qui résultera d'abord des actions capillaires, puis du calorique dégagé par les combinaisons successives qui en seront la suite.

3° A ces explications, j'ajouterai encore quelques détails relativement aux expériences de M. Pouillet, qui sont publiées dans les *Ann. de chim. et de phys.*, t. XX, p. 141 (1822), dont le but était de prouver qu'il y a toujours une élévation de température, lors du contact d'un liquide avec chacun des solides qu'il mouille, n° 15 de ma *Capillarité*.

Pour rendre sensibles ces élévations de la température, l'auteur emploie des poussières, des limailles, des filaments, des solides dans les pores desquels les liquides peuvent pénétrer, etc., afin, dit-il, d'augmenter sous les mêmes volumes les étendues totales des surfaces de contact entre les deux substances.

Sans entrer ici dans les détails indiqués par l'auteur, au sujet des précautions qu'il faut prendre pour dessécher chaque solide, pour que les deux substances mises en contact aient exactement la même température, pour éviter les frottements qui dégagent de la chaleur, etc., j'observerai que les différentes élévations de la température proviennent d'un bien plus grand nombre de causes que ne l'admet M. Pouillet : en effet, elles dépendent de l'affinité entre chaque so-

lide et le liquide, du nombre, de l'étendue et de la forme des espaces capillaires, n° 85 de ma *Capillarité*, du plus ou moins de dessiccation des solides, de la quantité de calorique dégagée par une même compression de chaque liquide, des capacités et des conductibilités des deux corps pour le calorique, de la quantité totale des matières employées, surtout quand il y en a peu, et de son rapport avec les parties plus ou moins condensées du liquide, de la promptitude avec laquelle chaque liquide pénètre dans les espaces capillaires, du plus ou moins d'altération des corps organisés, etc.

En mettant successivement l'eau distillée, l'huile ordinaire ou l'huile essentielle de térébenthine, l'alcool et l'éther acétique au contact des corps inorganiques secs et poreux ou en poussières, limailles, etc., qui suivent : verre, fer, cuivre, zinc, bismuth, antimoine, étain, porcelaine, brique, argile, silice, alumine, magnésie, tritoxyle de fer, peroxyde de manganèse, oxyde de zinc, deutoxyde de cuivre, litharge, oxyde de chrome, soufre, l'auteur a obtenu des élévations de température qui ont varié entre 0°,141 et 0°,940.

Les mêmes liquides ont donné des élévations de température qui ont varié entre 0°,83 et 10°,20, avec les substances organisées suivantes, dans leur état naturel ou bien desséchées, divisées, pulvérisées, etc. : charbon, amidon, sciure de bois, racines de saxifrage, de pareirabrava, de réglisse, de valériane, de bistorte et d'iris, farines de blé, de blé de Turquie, d'orge, de seigle, d'avoine et de lin, graines de blé, de maïs, d'orge, de seigle, de gruau, d'avoine, d'alpiste, de pavot, de millet et de navette, coton, fil, papier ordinaire, papier desséché, cheveux, laine, ivoire, baleine, cuir neuf, cuir un peu charbonné, éponge, vessie de porc, tendon de bœuf, membranes très-minces d'intestins de mouton.

Il est nécessaire d'observer, en terminant, que les différentes élévations de la température obtenues par M. Pouillet sont celles que la masse totale des deux substances mises en contact dans chaque expérience communique à ses dépens.

au thermomètre, abstraction faite de la déperdition de son calorique par son contact avec l'air et les parois, par son rayonnement, etc., et non le *maximum* d'élévation de température qui a lieu dans les espaces capillaires.

11. En représentant par l la longueur, et par r le rayon maximum de l'aiguille non mouillée qui flotte encore, et dont le poids est égal à celui de l'eau qu'elle déplace et à la résistance R que la cohésion de la surface libre du liquide oppose à sa chute dans chaque unité de longueur, on a

$$\pi r^2 l \times 7,8 = Rl + \pi r^2 l \times 3,$$

en adoptant 7,8 pour la densité de l'aiguille, et en estimant que le solide déplace un volume de liquide dont le poids équivaut à trois fois celui du volume de l'aiguille, n° 34 de ma *Capillarité*. Dans cette estimation, on comprend l'augmentation du poids du fluide, qui provient de l'accroissement de sa densité à sa surface libre.

On en tire

$$R = (7,8 - 3)\pi r^2.$$

En posant successivement sur l'eau des aiguilles d'un diamètre de plus en plus grand, jusqu'à ce qu'elles s'enfoncent dans le liquide, le rayon de la plus grosse qui flotte approche d'autant plus de r que l'on prend plus de précautions pour diminuer la secousse du solide que l'on pose sur le fluide.

Le jeudi 23 mars 1848, pendant que la température de ma chambre était de 13° à 14°, divers essais m'ont conduit à $r = 0^{\text{mm}},5$; ce qui donne, en observant que le *milligramme* est le poids de un millimètre cube d'eau,

$$R = (7,8 - 3) \times 3,14 \times \overline{0,5^2} = 3^{\text{mg}},768$$

pour la résistance que la cohésion à la surface libre de ce liquide oppose moyennement à la chute d'une aiguille non mouillée dans chaque *millimètre* de sa longueur.

En représentant par r'^{mm} le rayon de l'aiguille que cette cohésion soutient, on a

$$\pi r'^2 l \times 7,8 = 3,768l;$$

d'où

$$r' = \sqrt{\frac{3,768}{3,14 \times 7,8}} = 0^{\text{mm}},392.$$

Observations. Malgré les précautions que je prenais, je ne parvins jamais à faire flotter sur l'eau une aiguille qui avait un millimètre de diamètre; mais je pense que cela provenait de la petite vitesse qu'elle avait toujours en tombant sur le liquide.

En adoptant seulement $r = 0^{\text{mm}},4$, qui est certainement trop petit, on a

$$R = (7,8 - 3) \times 3,14 \times 0,4^2 = 2^{\text{mg}},41152$$

et

$$r' = \sqrt{\frac{2,41152}{3,14 \times 7,8}} = 0^{\text{mm}},314.$$

J'ajouterai encore que l'effet de la secousse du solide sur la surface libre de l'eau, et celui des petites diminutions successives des largeurs du liquide sur lesquelles portent les deux extrémités de l'aiguille, surpassent sans aucun doute l'affaiblissement du poids du solide, qui résulte de la diminution de ses rayons vers les extrémités et la résistance de l'eau aux deux bouts de l'aiguille.

Après la publication de ma *Théorie élémentaire de la capillarité*, feu Bouvard me dit que le comte de Rumford avait indiqué la condensation de l'eau à sa surface libre, dans un ouvrage en deux petits volumes, que je n'ai pas pu me procurer; mais je me suis assuré du fait en lisant les

XXXIII, p. 3, XXXIV, p. 301, XXXV, p. 3, des années 1805 et 1807 de la *Bibliothèque britannique*, rédigée à Genève; puis il ajouta que l'annonce de cette découverte fut

si mal reçue, que son auteur en acquit par dérision le surnom de la *Peau de l'eau*.

Au moyen d'une tige mouillée (bois, etc.), on pousse aisément sans le toucher un corps abaissant l'eau et flottant dessus au contact d'un autre qui est dans le même cas : de cette manière je suis parvenu plusieurs fois à faire nager côte à côte jusqu'à *six aiguilles égales*, dont la tête de chacune correspondait à la pointe de l'autre, qui avaient 37 millimètres de longueur et 4 millimètres pour la somme de leurs diamètres.

Avant de commencer chacune des trois expériences qui suivent :

1° Je nettoyait et polissais le fil de fer en le faisant aller et venir au milieu de la cendre, contenue dans un carton mince que je pressais entre mes doigts ;

2° Je coupais à vue d'œil, vis-à-vis une ligne divisée en *millimètres*, le même fil de fer en bouts qui avaient *un centimètre* de longueur : la plus grande différence entre les longueurs de ces fils n'excédait pas *un millimètre* ;

3° Je mettais les bouts de fil de fer avec du suif sur du carton mince, que je pliais en deux, pour frotter le tout ensemble entre mes doigts ;

4° J'essayais ensuite et à plusieurs reprises les mêmes bouts de fil de fer entre d'autres parties du même carton, sans y mettre de suif et en agissant comme au 3°, jusqu'à ce que la couche grasse qui recouvrait les fils ne les fit plus adhérer entre eux ;

5° Enfin je frottais entre mes doigts les mêmes bouts de fil de fer.

Ces préparatifs avaient pour but d'obtenir des bouts de fil de fer dont les surfaces fussent polies et enduites d'une très-mince couche d'un corps gras solide qui leur fit abaisser la surface condensée de l'eau.

Pendant que la température de ma chambre était d'environ 12°, je fis flotter côte à côte et successivement, sur de

l'eau ordinaire, les nombres suivants de bouts de fil de fer préparés ci-dessus.

Les deux premières expériences furent faites le vendredi 17 mars 1848, et la dernière le dimanche suivant.

1° 16 bouts, dont la somme des diamètres fut trouvée de 8 millimètres, en la mesurant, pendant qu'ils flottaient, au moyen d'une droite divisée en millimètres ;

2° 35 *id.*, 17 millimètres, *id.* ;

3° 56 *id.*, 27 millimètres, *id.*

Je laissai ces 56 derniers bouts de fil de fer flotter sur l'eau jusqu'au lendemain.

D'ailleurs 21 bouts de ces fils de fer mis côte à côte sur une ligne divisée en millimètres en occupaient dix divisions.

Au moyen d'un ou de deux corps mouillés et plongés dans l'eau (bois), je poussais à mon gré chacune de ces masses métalliques flottantes sans les toucher.

Ces mêmes masses flottaient malgré les secousses involontaires occasionnées par le transport du vase ou par l'eau versée doucement dedans.

En approchant l'œil du plan horizontal de la surface libre de l'eau, je finissais par ne plus voir directement les fils des deux dernières expériences, lorsque j'étais sur le prolongement de leur direction ; mais dans le sens perpendiculaire à cette direction, j'apercevais toujours directement les plus éloignés de moi.

En poussant doucement chaque bout de fil de fer vers l'une des extrémités de la masse flottante, il se place de lui-même à côté du dernier.

Les extrémités de tous les fils de fer ne se correspondaient cependant pas exactement :

1° A cause des différences de leurs longueurs ;

2° A cause de leur frottement, quand il surpassait la différence des actions capillaires qui agissaient aux extrémités pour les faire coïncider.

Lors même qu'il serait impossible de faire flotter un nombre indéfini de ces bouts de fils de fer, qui ont très-près de

0^{mm},5 de diamètre, il n'en faudrait pas moins conclure que l'on pourrait couvrir une surface indéfinie d'eau avec des fils de fer d'un moindre diamètre, en les faisant successivement arriver aux côtés et aux extrémités de ceux qui nagent déjà. Ce résultat s'accorde avec les valeurs 0^{mm},392 et 0^{mm},314 de r' obtenues ci-dessus.

Enfin, pour terminer ces expériences, qui demandent assez de temps et de précautions, le samedi 13 janvier 1849, je passai successivement sur le suif et auprès de la mèche d'une chandelle allumée plusieurs bouts de fil de fer, sur lesquels j'étendis ensuite le mieux possible le corps gras enlevé, en le frottant à plusieurs reprises entre mes doigts et dans mes mains, que j'essuyais successivement, jusqu'à ce que la couche devint insensible.

Après avoir coupé ces fils de fer en bouts d'environ *un centimètre* de longueur, j'en fis arriver *un cent* côte à côte, pendant que la température de ma chambre était de 10° à 10° $\frac{1}{2}$, puis j'en mis *trente* côte à côte au bout des premiers, dans la direction qui leur était perpendiculaire, afin de prouver que l'on pouvait ainsi en disposer tout autour.

Ces *cent* fils de fer donnaient plus de *cinquante millimètres* pour la longueur qu'ils occupaient côte à côte, quoique vingt-huit mis côte à côte sur une droite divisée n'occupassent que 10 millimètres : cela provenait des *côtrbures* de ces fils flottants, qui laissaient entre eux des vides apparents dans bien des parties de leurs longueurs.

J'ajouterai que le soir du mercredi suivant, ces fils flottaient encore et que leurs extrémités étaient loin de se correspondre exactement, par suite de leurs différentes longueurs et surtout par leurs frottements, qui empêchaient aux faibles actions capillaires agissant à leurs extrémités de les ramener le mieux possible à coïncider. Le contact de l'eau avait oxydé leurs extrémités non recouvertes de suif, car le liquide y était *rougé brun*. Il y avait de l'oxyde déposé au fond du vase.

Pendant les quatre jours, la température de ma chambre ne varia guère qu'entre 10° et 12°.

En prenant de longs bouts de fil de fer, on s'expose à ce que leurs courbures et leurs autres irrégularités percent la couche condensée de la surface du liquide, ce qui diminue toujours la résistance de ce dernier.

C'est ici qu'il convient d'expliquer les résultats de l'expérience suivante, qui est extraite du « Mémoire sur la cohésion des liquides et sur leur adhérence aux corps solides, » par M. F. Donny, » inséré dans les *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. XVI, p. 167 (1846).

On lit à la page 169 :

« L'instrument dont j'ai fait usage pour les observations » dont il s'agit, se composait d'un disque de verre à glace » soutenu par trois vis de rappel, au moyen desquelles je lui » donnais une position parfaitement horizontale; sous le » disque se trouvait un vase rempli d'eau, supporté lui-même par une vis, qui me permettait de l'élever ou de » l'abaisser graduellement. Dans cette expérience, c'était » donc le liquide qui s'abaissait et le disque qui demeurait » fixe, tandis que le contraire a lieu dans le procédé ordinairement employé; mais il est évident que, lorsqu'il ne » s'agit que des modifications qu'éprouve la colonne liquide, » il est indifférent que le niveau du liquide s'éloigne du » disque ou que le disque s'éloigne du niveau du liquide.

« Au moyen du procédé que je viens de décrire, il m'était facile d'arrêter l'expérience à un instant quelconque, » pour en observer la marche à loisir.

« Cela posé, voici ce que j'ai observé. D'abord, la colonne » suspendue au disque se rétrécit à mesure que sa hauteur » augmente; mais tant que cette hauteur n'a pas atteint une » certaine limite, la partie supérieure de la colonne occupe » la totalité de la surface inférieure du disque, *fig. 4.*

« Au moment où l'on dépasse la limite dont je viens de » parler, la colonne liquide commence à se rétrécir dans sa » totalité, de manière que sa partie supérieure n'occupe

» plus qu'une portion de la surface du disque, *fig. 4 bis*.
 » Cette portion se rétrécit de plus en plus en même temps
 » que le reste de la colonne, à mesure que celle-ci continue
 » à s'étendre en hauteur. Lorsqu'on opère très-lentement,
 » on peut réduire cette portion à un très-petit espace, *fig. 4*
 » *ter*.

» Enfin il arrive un moment où la partie la plus mince de
 » la colonne se rétrécit spontanément (sans que l'on abaisse
 » d'avantage le niveau du liquide), jusqu'à ce que réduite à
 » un très-petit diamètre elle se divise d'elle-même, et amène
 » ainsi la rupture de la colonne, dont une partie remonte
 » vers le disque tandis que l'autre retombe au niveau de la
 » masse. »

Explication. Le contour de l'eau élevée étant condensé, comme toute surface libre et liquide, nos 6 et 34 de ma *Capillarité*, il s'ensuit que les colonnes centrales de la même partie se divisent lorsque la cohésion intérieure ne peut plus les soutenir, ce qui rétrécit de plus en plus les diverses sections horizontales du fluide élevé, jusqu'à ce qu'il ne reste plus que le contour condensé, qui finit aussi par se rompre quand le disque est suffisamment au-dessus du niveau dans le vase.

L'adhérence de la plaque mouillée au liquide diminue en même temps que les surfaces des sections horizontales de la partie élevée du fluide se rétrécissent, ou, ce qui revient au même, que les colonnes centrales se divisent.

Il est bon d'observer, en passant, que la force nécessaire pour détacher d'un liquide une surface mouillée, plane et horizontale, est sensiblement proportionnelle à son étendue, lorsque cette dernière est assez grande pour négliger l'accroissement de la cohésion du fluide, qui provient de sa condensation sur le contour de la partie élevée.

12. Examen de la *Nouvelle branche de physique ou études sur les corps à l'état sphéroïdal*, par P. H. BOUTIGNY (d'Évreux), ancien pharmacien, chevalier de l'ordre royal de la Légion d'honneur, etc. 2^e édit. (1847).

Avant de commencer cet examen, je suis obligé de dire qu'après avoir lu mes observations, insérées à la page 116 du Bulletin de mars 1845 de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, au sujet des expériences qu'il avait faites à la même Société le 5 mars 1845, et qui sont indiquées à la page 113 du même Bulletin, M. Boutigny vint chez moi, le 13 mai 1845, chercher un exemplaire de ma *Théorie élémentaire de la capillarité*, qui parut au mois d'août 1842. A la séance de l'Académie des sciences, du 1^{er} février 1836, j'en avais exposé le contenu des *trois premières parties*.

A la page 115 du *Précis analytique des travaux de l'Académie royale des sciences, belles-lettres et arts de Rouen pendant l'année 1843* et publié en 1844, on trouve des *Recherches sur la vaporisation dans les vases assez chauds pour que les liquides ne les touchent pas*, par M. PÉKSON.

L'auteur déduit des formules du rayonnement, qu'un liquide situé dans un vase chaud n'en reçoit pas assez de calorifique rayonnant pour s'évaporer aussi promptement qu'il le fait.

M. Boutigny n'a pas parlé de ce travail qu'il devait cependant connaître, car :

1° Il est de l'Académie de Rouen ;

2° A la page 113 et aux suivantes, il insiste tellement pour réfuter l'opinion que les liquides arrondis sont *soutenus* dans les vases chauds par un coussin de vapeur, que l'on ne peut guère mettre en doute qu'il avait en vue l'expression :

« *Le liquide est soutenu par la vapeur* »

que l'on trouve à la dernière ligne de la page 116 du *Précis des travaux de l'Académie de Rouen*.

Pour exprimer exactement ce qui se passe, il faut mettre *soulevé* au lieu de *soutenu*, et dire :

Dans les vases chauds, chaque liquide arrondi est plus ou moins soulevé par la vapeur qui se dégage entre sa surface et celle du vase, n° 77 de ma Capillarité.

Après que chacun aura vérifié l'exactitude de ce qui précède, il sera comme moi surpris du début suivant de M. Boutigny dans son

« *Avant-propos.*

» Il est principalement question dans cet ouvrage des
» phénomènes remarquables que présentent les corps proje-
» tés sur des surfaces relativement chaudes. Jusqu'ici l'étude
» de ces phénomènes a été complètement négligée, et tout ce
» que l'on en savait se réduisait, pour ainsi dire, à ce qui
» concerne l'eau projetée dans un vase incandescent. On
» n'avait donc sur cette propriété de la matière que des no-
» tions erronées. »

Remarques générales. 1° Pour éviter d'extraire de la deuxième édition de l'ouvrage de M. Boutigny la plupart des passages auxquels se rapporteront mes observations, je me bornerai souvent à les indiquer.

2° Je n'ai souvent mis que les numéros de ma *Théorie élémentaire de la capillarité*, auxquels je renvoie pour les expériences et les résultats des divers observateurs, car les sources y sont indiquées.

« PREMIÈRE PARTIE. — *Physique.* »

A partir de la page 3, M. Boutigny indique plusieurs expériences, desquelles il conclut la loi suivante, page 5 :

« Mais, sauf quelques exceptions qui se trouvent dans les
» gaz permanents liquéfiés, on peut poser en principe que la
» température nécessaire pour faire passer les corps à l'état
» sphéroïdal doit être d'autant plus élevée que leur point

» d'ébullition l'est d'avantage. M. Baudrimont a fait cette
» remarque à l'époque où je la faisais moi-même.»

Cette loi n'est pas vraie ; car aux températures ordinaires de l'atmosphère :

Le mercure ne mouille pas le verre, le fer, le platine, etc. ;

L'eau ne mouille pas les corps gras, les résines, les gommes, les feuilles de choux, etc.

Voyez, n° 15 de ma *Capillarité*, les causes d'où dépendent les divers espèces de contacts entre un solide et un liquide.

Les 7^e, 8^e, 9^e et 10^e expériences de M. Boutigny, p. 7 et 8, sont des répétitions de celles de M. Baudrimont. Voyez le n° 79 de ma *Capillarité*.

Dans les *Ann. de chim. et de phys.*, t. XXXVI, p. 5 (1827), on trouve un Mémoire de M. Pouillet, lu à l'Académie des sciences le 4 juillet 1825, qui contient des expériences analogues aux précédentes et surtout à la suivante, mais sans indication des temps d'évaporation de quantités données des divers liquides aux différentes températures du vase.

Les expériences précédentes ainsi que la 11^e, p. 9, conduisent M. Boutigny à cette conclusion :

« Ainsi ces dernières expériences confirment les résultats
» que nous ont donnés les autres expériences, et nous croyons
» qu'il est maintenant positivement établi que l'évaporation
» de l'eau à l'état sphéroïdal est d'autant plus rapide que le
» vase qui la contient est plus chaud. » C'est conforme à la théorie, n° 79 de ma *Capillarité*, et plus ou moins contraire à une action répulsive entre le vase chaud et le liquide froid, qui devrait d'autant plus éloigner ce dernier du premier que la température du solide serait plus élevée ; d'où il résulterait une diminution du calorique transmis par le contact imparfait du vase au liquide, à mesure que le solide serait plus chaud.

La 12^e expérience, p. 10, de M. Boutigny, est la répétition de celle de M. Laurent. Voyez le n° 79 de ma *Capillarité*, où se trouvent aussi mes réflexions à ce sujet.

Le peu de profondeur du vase de M. Boutigny le dispensa

d'entourer d'eau la tige de son thermomètre, comme M. Laurent avait été obligé de le faire dans son creuset.

L'expérience de M. Boutigny, relative au soleil d'Herschel, p. 162, est cette 12^e expérience, et par suite celle de M. Laurent, en y remplaçant l'eau par l'acide sulfureux anhydre liquéfié, dans laquelle on emploie deux thermomètres, l'un plongé dans l'acide et l'autre dans la partie du vase qui est vide de liquide, lequel a seulement une ouverture suffisante pour dégager successivement le peu de gaz qui se forme.

Les résultats de cette dernière expérience sont conformes aux théories connues. En effet, le thermomètre plongé dans l'acide se fixe à -11° , qui est celui de l'ébullition de ce liquide, et l'autre s'élève successivement jusqu'à la température que détermine le calorique qu'il reçoit.

Lorsque l'eau mouille le vase par suite du refroidissement de ce dernier, suite de l'expérience 12^e, p. 11, les températures de ces deux substances se rapprochent promptement, et le fluide entre en ébullition, lorsque sa masse n'exige pas, pour y arriver, plus de calorique que n'en peut fournir le solide, en descendant au degré de l'ébullition du liquide.

Viennent ensuite des expériences analogues à la 12^e sur l'alcool absolu, l'oxyde d'éthyle, le chlorure d'éthyle et l'acide sulfureux.

Puis l'auteur en déduit la loi suivante à la page 12 :

« Je pense que l'on peut déduire de ces observations cette » loi remarquable : *La température des corps à l'état sphéroïdal, quelle que soit d'ailleurs celle du vase qui les contient, est invariable et toujours inférieure à celle de leur ébullition; elle est proportionnelle à celle-ci et de $+96^{\circ},5$ pour l'eau.* »

Cette loi n'est pas vraie, car :

1^o Aux températures ordinaires de l'atmosphère ;

Le mercure ne mouille pas le verre, le fer, le platine, etc. ;

L'eau ne mouille pas les corps gras, les résines, les gommes, les feuilles de choux, etc., etc. ;

2^o La loi, déduite ci-dessus des 7^e, 8^e, 9^e, 10^e et 11^e expé-

riences, exige que le liquide soit à une température d'autant plus élevée que le vase est plus chaud, puisque, sans cela, il ne dégagerait pas plus de vapeur dans le même temps.

La 13^e expérience, p. 13, de M. Boutigny, est une variation de la 12^e pour l'eau.

D'après ce qui précède et le contenu des nos 77, 78 et 79 de ma *Capillarité*, on se rend aisément compte des divers résultats des expériences 14^e...., 20^e de M. Boutigny.

On peut d'ailleurs rappeler que la température de chaque corps s'élève ou s'abaisse jusqu'à ce qu'il perde par son rayonnement et son évaporation autant de calorique qu'il s'en approprie, et que la congélation de la vapeur atmosphérique ou de l'eau, contenue ou non dans un vase, au contact de l'acide sulfureux anhydre liquéfié, qui s'évapore avec plus ou moins de promptitude à -11° , est analogue à la solidification du soufre, du plomb, de l'étain, etc., fondus que l'on introduit dans de l'eau bouillante, contenue dans un vase chauffé par un foyer plus ou moins ardent.

A l'égard de la 21^e expérience, p. 24, de M. Boutigny, la haute température du fer de l'obus lui fait enlever l'oxygène de la vapeur d'eau, qui le touche successivement à sa surface intérieure, et le mélange de l'air avec l'hydrogène dégagé acquiert la température nécessaire à la formation de l'eau, en sortant par l'orifice étroit de l'obus.

13. Avant de continuer l'examen de l'ouvrage de M. Boutigny, je crois nécessaire d'indiquer les résultats de mes expériences sur les effets que le rayonnement d'un solide chaud produit sur le cylindre d'un thermomètre :

1^o Lorsque le rayonnement du corps chaud, placé dans l'atmosphère, n'a que l'air à traverser pour échauffer le cylindre d'un thermomètre ;

2^o *Id.*, est obligé de pénétrer dans l'eau pour échauffer, *id.* ;

3^o *Id.*, est obligé de se réfléchir sur l'eau avant d'échauffer, *id.*

Les *fig.* 5, 7 et 8 représentent les dimensions de la section

principale du vieux clou en fer et à vis dont je me servais pour déterminer les divers effets ci-dessus indiqués du rayonnement.

$NQ = 35$. L'hélice s'étendait sur cette partie.

$QS = 12$. Le clou s'équarriissait de PQ en RS.

$SM = 43$. C'était la partie équarrie du clou.

$ON = 8$. C'était le diamètre du clou en ON.

$LM = 9$. C'était le côté du carré en LM.

$IK = 26$. C'était le diamètre de la tête du clou.

$Hh = 5$. C'était l'épaisseur du milieu de la tête du clou,

fig. 5.

$hh' = 2$. *Id.* du bord *id.*

Avant de commencer les expériences, j'avais enlevé l'oxyde à la partie inférieure IHK de la tête du clou, en la mettant à plusieurs reprises dans un mélange des acides azotique et chlorhydrique concentrés, et en l'essuyant à chaque fois avec du papier commun.

Le dessous IHK de la tête du clou était resté terne, rugueux, etc., et par conséquent très-propre à émettre du calorique rayonnant.

Les échauffements successifs du clou en rendirent la tête de plus en plus terne et oxydée. Je ne fis rien pour la polir ou la désoxyder.

La *fig. 6* représente un vieil écrou rectangulaire en fer rouillé, dont $im = kl = 14^{\text{mm}}$ était le diamètre intérieur de l'hélice de l'écrou, $ab = ad = 31^{\text{mm}}$ et $ae = 11^{\text{mm}}$.

$iklm$, *fig. 5*, 7 et 8, représente la section de l'écrou, *fig. 6*, posé sur la tête IHK du clou, pour en augmenter la masse.

Le samedi 24 mai 1845, je suspendis horizontalement le thermomètre à mercure UC, *fig. 5*, dont la partie renflée et cylindrique ABCD, non compris les extrémités arrondies, avait 37^{mm} de longueur et 8^{mm} de diamètre extérieur. Le verre y était peu épais.

Sur la tige TU, il y avait 163^{mm} entre 0° et 100° .

L'érou étant posé sur la tête du clou, *fig. 5*, je chauffai plusieurs fois le tout dans du charbon plus ou moins enflammé, pour le suspendre ensuite au-dessus du milieu X du cylindre ABCD du thermomètre UC, qui n'en recevait que des rayons directs.

	HEURES des observations.		TEMPÉRATURES du thermomètre.	CHALEURS du clou muni de l'érou.
	heures.	minutes.	degrés,	
Première expérience : HX = 115 ^{mm} .	10	5	15,4	Rouge très-intense.
	10	8	19,0	
	10	9	19,1	
	10	10	19,0	
	10	13	18,0	
Deuxième expérience : HX = 63 ^{mm} .	11	25	16,2	Un peu moins chaud que dans la première expérience.
	11	28	24,0	
	11	29	24,6	
	11	30	24,4	
	11	31	24,0	
Troisième expérience : HX = 49 ^{mm} .	1	35	16,4	Peut-être un peu plus chaud que dans la première expé- rience.
	1	37 1/2	29,0	
	1	38	30,0	
	1	39	30,0	
	1	40	29,2	
	1	41	28,0	

Sous l'influence du rayonnement direct de IHK, *fig. 5*, les élévations 3°, 7, 8°, 4, 13° 6 de la température, pendant les 1^{re}, 2^e, 3^e expériences, ne sont pas en raison inverse des carrés des distances 115^{mm}, 63^{mm}, 49^{mm} : cela provient du refroidissement du thermomètre UC dans l'air, qui est d'autant plus grand que sa température est plus élevée au-dessus de celle du milieu environnant, ainsi que du thermomètre qui n'était pas encore descendu à la température de l'air aux commencements des deux dernières expériences.

En remplaçant 16°, 2 et 16°, 4 par 15°, 4, les trois élévations du thermomètre deviennent 3°, 7, 9°, 2, 14°, 6.

En partant de l'élévation 9°, 2, qui correspond à la dis-

tance $HX = 63^{\text{mm}}$, les élévations en raison inverse des carrés des distances donneraient $2^{\circ},8$ au lieu de $3^{\circ},7$ pour $HX = 115^{\text{mm}}$, et $15^{\circ},2$ au lieu de $14^{\circ},6$ pour $HX = 49^{\text{mm}}$.

Le mercredi 21 mai 1845, je plaçai le cylindre ABCD, *fig. 7*, de mon thermomètre, au-dessous du niveau EF de l'eau d'une cuvette, que j'avais inclinée le plus possible, pour approcher AB de la direction horizontale, en posant B sur le fond du vase et TU sur son bord abaissé; puis j'opérai comme ci-dessus.

	HEURES des observations.		TEMPÉRATURES du thermomètre.	CHALEURS du clou muni de l'écrou.
	heures.	min.	degrés.	
Première expérience.	2	35	14,8	Très-rouge.
	2	38 1/2	20,1	
	2	41	20,0	
Deuxième expérience.	3	20	16,8	Très-rouge. Il avait été chauffé dans du charbon qui donnait de la flamme.
	3	22	22,8	
	3	26	22,5	
Troisième expérience.	3	50	17,7	Assez rouge. Un peu moins chaud que dans la 2 ^e expérience.
	3	55	18,9	
	4	0	19,4	
	4	5	19,2	

Pour les deux premières expériences,

$$HG = 2^{\text{mm}},5, \quad ED = 1^{\text{mm}}, \quad FC = 4^{\text{mm}}.$$

Pour la troisième expérience,

$$HG = 3^{\text{mm}}, \quad ED = 5^{\text{mm}}, \quad FC = 10^{\text{mm}}.$$

Entre les expériences, j'agitais plusieurs fois l'eau de la cuvette pour ramener le thermomètre à la température moyenne du liquide.

Dans les deux premières expériences, les élévations de la température ont seulement été de $5^{\circ},3$ et $6^{\circ},0$, quoique la distance HX fût réduite à

$$HG + GX = 2,5 + \frac{1+4}{2} = 5^{\text{mm}}.$$

Dans la troisième expérience, l'élévation de la température n'a été que de $1^{\circ},7$ pour

$$HX = HG + GX = 3 + \frac{5+10}{2} = 10^{\text{mm}},5.$$

Les résultats de ces trois dernières expériences, comparés à ceux des trois premières, prouvent que le rayonnement d'un corps chaud élève beaucoup moins la température d'un thermomètre placé dans l'eau, que si cet instrument s'en trouvait à la même distance et dans l'air.

Je vais maintenant indiquer les résultats que j'obtins en faisant réfléchir sur l'eau les rayons émis par le même corps chaud, avant leur arrivée sur le cylindre de mon thermomètre, placé horizontalement dans l'air.

La *fig. 8* représente les sections verticales par un plan perpendiculaire à la direction du thermomètre :

1° Du clou, *fig. 5*, incliné d'environ 45° et muni du même écrou ;

2° De la section *ed* du milieu du cylindre ABCD du thermomètre, *fig. 5*, suspendu horizontalement dans l'air ;

3° D'un écran vertical *gh*, en carton mince, situé entre le clou et le thermomètre, et librement suspendu dans une direction parallèle au dernier ;

4° Du niveau *ac* de l'eau contenue dans la même cuvette que ci-dessus.

Observations du vendredi 23 mai 1845.

	HEURES des observations.		TEMPÉRATURES du thermomètre.	CHALEURS du clou munj de l'érou.
	heures.	minutes.	degrés.	
Première expérience.	9	40	13,0	Très-rouge. Je l'ai quelquefois employé plus chaud.
	9	43	19,0	
	9	45	18,8	
Deuxième expérience.	11	45	13,6	Un peu moins chaud que dans la première expérience.
	11	48	18,8	
	11	52 1/2	18,0	
Troisième expérience.	2	30	13,6	Plus chaud que dans la première expérience.
	2	33	21,0	
	2	35	20,8	

Après la 1^{re} expérience, je déterminai les cinq lignes suivantes de la *fig. 8*, en écartant successivement les deux pointes d'un compas de la longueur de chacune d'elles, et en portant ensuite son ouverture sur une droite divisée en *millimètres*.

A l'égard des deux dernières lignes, je plaçais toujours à vue d'œil le clou, comme je le tenais pendant les expériences.

$$bh = 13^{\text{mm}}, fe = 11^{\text{mm}}, dc = 12^{\text{mm}}, Hg = 12^{\text{mm}}, Ha = 15^{\text{mm}}.$$

Après ces trois expériences, je mesurai les mêmes droites de la manière indiquée ci-après, avant celles du 26 mai.

$$bh = 14^{\text{mm}}, fe = 12^{\text{mm}}, dc = 13^{\text{mm}}, Hg = 15^{\text{mm}}, Ha = 15^{\text{mm}}.$$

Ces dernières mesures me semblent plus exactes que les premières.

Remarque. Chaque longueur de *bh* surpassant de 1^{mm} celle de *dc*, qui lui correspond, il est probable que le dessous du thermomètre reçut quelques rayons directs de la partie inférieure de la tête de clou; ce qui n'eut pas lieu dans les trois expériences suivantes.

Observations du lundi 26 mai 1845.

Avant les trois expériences qui suivent, je déterminai les cinq lignes indiquées ci-après, en coupant peu à peu un petit bout de bois, jusqu'à ce qu'il fût égal à chacune d'elles, et en le posant ensuite sur une droite divisée en millimètres.

$bh = 7^{\text{mm}}$, $fe = 10^{\text{mm}}$, $dc = 10^{\text{mm}}$, $Hg = 15^{\text{mm}}$, $Ha = 15^{\text{mm}}$.

	HEURES des observations		TEMPÉRATURES du thermomètre.	CHALEURS du clou muni de l'écrou.
	heures.	min.	degrés.	
Première expérience.	11	20	15,7	Rouge très-intense. En l'ôtant du feu, le charbon était enflammé autour. Jamais le clou n'avait été plus chaud.
	11	22	21,0	
	11	23	22,3	
	11	24	22,9	
	11	25	22,9	
	11	26	22,6	
	11	27	22,3	
Deuxième expérience.	0	55	16,5	Peut-être un peu moins chaud que dans la première expérience.
	1	0	23,9	
Troisième expérience.	2	55	17,2	Rouge au jour. Il était bien moins chaud que dans les deux premières expériences.
	2	58	22,0	
	2	59	22,5	
	3	0	22,5	
	3	3	22,0	

Après ces trois expériences, je mesurai les cinq lignes suivantes, comme je l'avais fait avant de les commencer.

$bh = 8^{\text{mm}}$, $fe = 10^{\text{mm}}$, $dc = 10^{\text{mm}}$, $Hg = 15^{\text{mm}}$, $Ha = 15^{\text{mm}}$.

Pendant ces trois dernières expériences, j'avais eu le soin de conserver autant que possible les longueurs primitives des trois droites bh , fe , dc , en remettant l'écran et le thermomètre dans leurs premières positions respectives, lorsqu'ils en avaient été dérangés.

Les élévations $7^{\circ},4$, $7^{\circ},2$, $7^{\circ},4$ de la température du thermomètre, pendant la 3^e expérience du 23 mai, et durant les 1^{re} et 2^e expériences du 26 mai, sont à très-peu près les mêmes, et correspondent à des chaleurs du clou qui étaient sensiblement égales.

Il est bon d'observer que dans la 3^e expérience du 23 mai, la distance moyenne de la tête du clou au thermomètre, parcourue par les rayons réfléchis, surpassait un peu celle des deux premières du 26 mai; mais par compensation la hauteur bh du dessous de l'écran au-dessus de l'eau était la plus grande le 23 mai.

Dans les expériences des 23 et 26 mai, les rayons calorifiques du milieu de la tête du clou, qui se réfléchissaient à la surface de l'eau, *fig. 8*, parcouraient au plus 37^{mm} pour arriver au thermomètre.

Malgré ce rapprochement, les élévations des températures du thermomètre n'ont jamais surpassé $7^{\circ},4$; tandis que dans la 2^e expérience du 24 mai, j'obtins $8^{\circ},4$ et mieux $9^{\circ},2$, quoique les rayons directs eussent 63^{mm} à parcourir, et que le clou ne fût pas aussi chaud que je l'avais quelquefois employé.

Le carré 3969 de 63 étant à peu près le triple de celui 1369 de 37, il résulte de ce qui précède que les rayons calorifiques réfléchis à la surface de l'eau, sous l'angle de 45° , peuvent au plus être estimés au tiers de ceux que l'émission y envoie directement; car la différence entre les élévations $8^{\circ},4$ ou mieux $9^{\circ},2$ et $7^{\circ},4$ du thermomètre peut être regardée comme compensant au moins l'effet des rayons émis par la tête du clou que l'écran gh , *fig. 8*, arrêtait, et qui seraient arrivés au thermomètre ed après leur réflexion à la surface de l'eau.

Les deux comparaisons suivantes conduisent au même résultat.

L'élévation $13^{\circ},6$ ($14^{\circ},6$ donnerait encore plus) à 49^{mm} de distance donne $\frac{49}{37} \times \frac{13,6}{7,4} = 3,22$, qui surpasse 3, malgré

la plus grande perte de chaleur que l'élévation de la température faisait éprouver au thermomètre dans la 3^e expérience du 24 mai que dans celles des 23 et 26 mai.

$$Id. 3^{\circ}, 7 \text{ à } 115^{\text{mm}} \text{ id. } \frac{115}{37} \times \frac{3,7}{7,4} = 4,83, \text{ qui approche}$$

de 5 ; mais, dans ce cas, le thermomètre perdait moins de chaleur dans la 1^{re} expérience du 24 mai que dans celles des 23 et 26 mai.

Il résulte des expériences précédentes :

1^o Que le rayonnement d'un corps chaud élève beaucoup moins la température d'un thermomètre placé dans l'eau, que si ce dernier s'en trouvait à la même distance et dans l'air ;

2^o Que sous l'angle de 45°, les rayons calorifiques, réfléchis à la surface de l'eau, peuvent être évalués au plus à un tiers de ceux qui sont émis.

Dans les nos 77, 78, 79 de ma *Capillarité*, j'ai prouvé qu'un liquide et un solide assez chaud n'ont qu'un contact imparfait, qui est analogue à celui d'une membrane très-flexible et remplie de liquide posée sur un solide, et par suite que le premier ne reçoit que le calorique rayonnant du second et celui qui est transmis par le contact imparfait : le premier est bien moindre pour un corps poli que pour la tête du clou employée ci-dessus.

D'après les résultats des expériences précédentes, le calorique rayonnant du corps chaud et poli se divise en deux parties, en arrivant à la surface du liquide qui ne le mouille pas.

L'une, qui se réfléchit régulièrement ou non, dépend de l'angle que fait chaque rayon calorifique avec la surface du liquide ;

L'autre pénètre dans le fluide : une portion le traverse et l'autre est employée à l'évaporer et à l'échauffer, tant que le liquide s'en approprie plus qu'il n'en perd. Cette évaporation s'effectue cependant avec lenteur ; car toutes les va-

peurs absorbent beaucoup de calorique à l'état latent et les corps polis rayonnent peu. On ne doit donc pas être surpris qu'avant de bouillir, l'évaporation d'un liquide absorbe toute la partie du calorique rayonnant d'un corps chaud et poli, que le fluide s'approprie, ainsi que celle qui lui est transmise par le contact imparfait.

14. Reprenons maintenant la suite du n° 12, en continuant l'examen de l'ouvrage de M. Boutigny.

Les expériences 22^e et 23^e, p. 24 et 25, reviennent à celles du 1^{er} et du 2^o, n° 13. On peut encore ajouter que dans la 23^e expérience, l'évaporation de l'eau arrondie limite l'élévation de sa température, et par suite celle du matras qu'elle mouille, comme un liquide en ébullition en non maintient à sa température les corps situés dans son intérieur.

Enfin, j'observerai qu'un solide si ué dans l'intérieur d'un liquide, qui le mouille ou non, partage plus ou moins promptement avec lui le calorique qu'il peut s'approprier pour élever sa température au-dessus de celle du fluide.

A l'égard des 24^e et 25^e expériences, p. 25, je dirai que M. Laurent a trouvé que l'eau légèrement noircie avec de l'encre de Chine s'évapore un peu plus vite que l'eau pure, n° 79 de ma *Capillarité* : il résulte de cette expérience que l'eau s'approprie d'autant plus du calorique rayonnant, qui pénètre de dans, qu'elle est moins transparente.

M. Pouillet était parvenu à un résultat analogue. Voyez le renvoi (1) des *Ann. de chim. et de phys.*, t. XXXVI, p. 10.

M. Boutigny aurait sans doute obtenu le même résultat, s'il avait convenablement opéré dans ce but.

Les substances insolubles que l'on introduit dans un liquide ne peuvent qu'augmenter plus ou moins la quantité du calorique rayonnant que le fluide s'approprie.

En admettant que l'eau salée s'approprie autant du calorique rayonnant que l'eau pure, il faut que sa température surpasse celle de cette dernière, pour fournir, dans un temps donné, la même quantité de vapeur : c'est la cause principale qui fait exiger plus de 104° à celle qui contient 29 pour 100

de sel et qui bout à $108^{\circ},5$, avant qu'elle ne parvienne à la température constante, pour laquelle sa vapeur emporte successivement autant de calorique que le liquide s'en approprie.

Si l'eau salée s'approprie plus ou moins du calorique rayonnant que l'eau pure, sa température stable n'en est pas moins celle qui correspond au dégagement de la quantité de vapeur, qui emporte successivement autant de calorique que le liquide s'en approprie. Dans tous les cas, il faut tenir compte du plus ou moins de rayonnement du liquide et du vase échauffé ainsi que des diverses circonstances accessoires.

Pour simplifier le raisonnement ci-dessus, on a omis le calorique transmis, qui peut varier par suite de chaque contact plus ou moins imparfait.

Relativement aux petits corps introduits dans un liquide qui ne mouille pas un vase :

1° Quand ils sont dans le liquide et assez petits pour que la condensation de la surface du fluide les retienne dans son intérieur, n^{os} 6 et 34 de ma *Capillarité*, ils ne peuvent pas rétablir le contact intime entre le solide et le liquide. C'était le cas dans lequel se trouvait M. Boutigny ;

2° Lorsque les petits corps solides se trouvent à l'extérieur du liquide ou qu'ils y parviennent en traversant la couche condensée de sa surface, ils peuvent quelquefois rétablir le contact intime entre le vase et le fluide. C'était le cas de M. Marchaud. Voyez les n^{os} 77, 78, 79 de ma *Capillarité*.

Au sujet du § V de l'auteur, p. 27, 28, 29, 30 :

On peut voir au n^o 15 de ma *Capillarité*, les causes d'où dépendent les diverses espèces de contacts entre un solide et un liquide.

J'ajouterai que les condensations des divers liquides à leurs surfaces libres, n^{os} 6 et 34 de ma *Capillarité*, peuvent faire que l'un d'eux s'arrondisse sur un autre. Il est même possible que cette condensation fasse supporter à un liquide un certain volume d'un autre liquide plus dense que le pre-

mier ; car c'est analogue à l'aiguille qui flotte sur l'eau, n° 34 de ma *Capillarité*.

Relativement à la 29^e expérience, p. 30 :

La vapeur qui se dégage successivement entre la surface condensée du liquide, n° 6 et 34 de ma *Capillarité*, et son support, fait mouvoir le premier, en le *soulevant* plus ou moins, n° 77 de ma *Capillarité*. Voyez ci-après l'explication de la 62^e expérience. De plus, la durée des impressions de la lumière sur la rétine et les déviations que les rayons lumineux éprouvent en passant entre le solide et les bords du fluide soulevé ou non, sont des causes qui contribuent à entretenir la permanence de la vision.

La 30^e expérience, p. 31, prouve que le globule d'eau, qui ne mouille pas la capsule chaude sur laquelle on a tracé des lignes parallèles, forme une loupe que la lumière traverse ; d'où il suit que cette dernière n'est pas réfléchiée en totalité à la surface du liquide, comme l'auteur le prétend dans son ouvrage, p. 24, 25, 26.

A l'égard des acides qui attaquent certains métaux à froid, et qui ne le font plus quand ils s'arrondissent sur les mêmes corps chauds, cela provient du défaut de contact intime entre chaque liquide et le solide chaud. Voyez surtout l'exemple du n° 15 de ma *Capillarité*, qui est relatif à l'imperfection du contact entre le mercure et le verre, et même, n° 75, les diverses actions de l'acide azotique plus ou moins étendu d'eau sur l'étain, le fer, le zinc.

Quant à l'anneau liquide formé autour d'un cylindre en fer ou en argent, chauffé à blanc, 35^e expérience, p. 33, que l'on plonge verticalement dans de l'eau que contient une capsule en argent presque plane et chaude, le phénomène est analogue aux autres, et n'a absolument aucun rapport direct ou indirect avec l'anneau de Saturne.

A l'égard de la capsule très-épaisse en argent et portée au rouge blanc, 36^e expérience, p. 33, que l'auteur plonge rapidement dans de l'eau, pour enlever du liquide, qui bout seulement quand le contact se rétablit entre les deux sub-

stances, par suite du refroidissement des parois, il suffit de remarquer que la prompte immersion du vase chaud, qui n'est pas mouillé, ne lui donne pas le temps de se refroidir assez pour établir de suite son contact intime avec le liquide, et que cet effet n'a lieu qu'après un temps plus ou moins long, etc. Voyez d'ailleurs mes réflexions, n° 12, sur la suite de la 12^e expérience, p. 11, de M. Boutigny.

A la page 38, l'auteur s'exprime ainsi : « Les sphéroïdes de nos laboratoires (j'ose à peine le dire) seraient tout simplement des satellites de la terre, etc. » Comme il est impossible de concevoir ce que M. Boutigny entend par ces comparaisons, je me bornerai à remarquer sa contradiction dans ce qui suit, p. 38 : « Leur volume (des sphéroïdes) est proportionnel à leur densité et en raison inverse de cette densité. »

Dans la 42^e expérience, p. 47, l'échauffement des parois non recouvertes de liquide est conforme à la théorie de la chaleur, et le fluide s'arrondit dessus en y arrivant jusqu'à ce que le solide soit suffisamment refroidi, comme on devait s'y attendre.

Pour remédier aux inconvénients qui pourraient en résulter dans les chaudières à vapeur, les règlements interdisent la construction de celles dont les parties non recouvertes de liquide pourraient être suréchauffées par la flamme, par un courant d'air chaud, etc.

Il résulte aussi de là que l'on doit éviter de chauffer les parties d'une chaudière qui sont peu au-dessous du niveau de l'eau, dans la crainte que la chaleur ne se propage aux parties solides situées au-dessus du liquide ; ce qui est contraire à l'opinion de M. Boutigny, p. 57, qui recommande de chauffer seulement le contour de la chaudière.

La couche condensée, n° 6 et 34 de ma *Capillarité*, de la surface de l'eau, qui ne mouille pas la capsule rouge et percée de petits trous très-rapprochés de la 62^e expérience, p. 85, s'oppose à l'entrée du liquide dans ces petits trous, laquelle entrée se trouve au contraire favorisée par les ac-

tions capillaires des mêmes ouvertures, quand les parois sont assez refroidies pour être mouillées.

La fuite de la vapeur par les petits trous, tant que la capsule n'est pas mouillée, prouve qu'il s'en forme à la partie inférieure de l'eau, et par suite que cette vapeur est obligée de soulever le liquide pour se dégager, quand le vase n'est pas percé. Voyez ci-dessus mes réflexions relativement à la 29^e expérience.

La différence des temps de l'évaporation dans le vide d'une même quantité d'eau, placée sur la platine d'une machine pneumatique, sous le récipient de laquelle on a mis de l'acide sulfurique récemment calciné, lorsqu'elle est dans une capsule en argent à l'état ordinaire, et quand cette dernière a été noircie intérieurement en la promenant sur la flamme d'une chandelle, 66^e et 67^e expérience, p. 86 et 87, provient de ce que le vase mouillé cède successivement par son contact intime du calorique au liquide qui s'évapore, tandis que le vase noirci n'étant pas mouillé (nouvelle preuve qu'un liquide ne mouille pas toujours un solide, qui est aux températures ordinaires de l'atmosphère), il n'envoie que du calorique rayonnant au même fluide et de la chaleur transmise par son contact imparfait.

Les résultats obtenus dans la 70^e expérience, p. 88, avec des capsules en argent de différentes épaisseurs, que l'on chauffe également, proviennent des divers espaces de temps que les vases mettent à se refroidir pour être mouillés.

71^e expérience, p. 88. L'égalité du temps nécessaire à l'évaporation de dix grammes d'eau distillée dans des capsules en argent de différentes épaisseurs, lorsqu'elles sont successivement exposées à la flamme de la même lampe, provient de la facilité avec laquelle on sait que le calorique traverse l'argent.

La 72^e expérience, p. 90, prouve qu'une capsule en platine n'est pas mouillée par l'eau, lorsqu'elle est chauffée au rouge par les rayons solaires concentrés au foyer d'une puissante lentille à échelons.

« DEUXIÈME PARTIE. — *Chimie.* »

Dans les pages 91...96, M. Bouigny indique d'abord quelques expériences avant d'arriver aux « Propriétés de la molécule inanimée à l'état sphéroïdal (ether) et de la molécule animée (animal), » p. 96, etc.

Il est impossible de comprendre ce que l'auteur entend par ces deux espèces de molécules, et à plus forte raison ce qu'il en dit.

Pages 96...111, l'auteur cite diverses expériences pour appuyer ce qui précède, puis il en indique d'autres qui sont relatives à des actions chimiques, qui se rapportent aux liquides à l'état sphéroïdal, aux actions chimiques des corps divisés sur le bioxyde d'hydrogène. A l'égard de ces dernières actions et de celles dites de *contact* en chimie, voyez les nos 75, 100...112 de ma *Capillarité*.

« TROISIÈME PARTIE. — *Théorie.* »

Dans les pages 113...120, l'auteur s'étend beaucoup pour établir que les faibles densités de l'air plus ou moins raréfié et de la vapeur ne peuvent pas *soutenir* les liquides.

Les liquides arrondis dans des vases chauds ne sont pas *soutenus*, mais *soulevés* par les vapeurs qui se dégagent entre eux et le fond des solides. Voyez ce que j'ai dit au n° 12 de l'expression de M. Person, qui est extraite de la page 116 du *Précis des travaux de l'Académie de Bouen*, ainsi que mes réflexions, n° 14, relativement aux 29^e et 62^e expériences de M. Bouigny.

Relativement à ce que dit l'auteur du contact entre le mercure et le verre ou le marbre, ainsi qu'entre un solide et les corps gras, p. 120, 121, il suffit d'observer que la construction de nos baromètres serait impossible, s'il y avait un *intervalle appréciable* entre le mercure et le verre. Voyez, n° 15 de ma *Capillarité*, les actions qui établissent les diffé-

rentes espèces de contacts entre un solide et un liquide.

Au sujet de l'aimant, qui perd ses propriétés lorsqu'on le chauffe suffisamment, p. 121, il ne les reprend pas en se refroidissant, comme le dit l'auteur, qui a confondu l'action plus ou moins énergique de l'aimant avec le magnétisme qu'une barre de fer ou d'acier non trempé, ou enfin d'acier trempé et porté au rouge, acquiert lorsqu'elle est parallèle à l'axe magnétique de la terre.

Aux pages 122...125, l'auteur indique les raisons qui lui font adopter l'expression *état sphéroïdal*.

J'observerai que les actions moléculaires d'un liquide qui n'a aucune affinité pour un solide, tendent évidemment à lui donner la forme sphérique, et que sa pesanteur l'aplatit seulement plus ou moins quand il y en a peu; mais dans les autres cas la surface du fluide prend toujours la forme intérieure du vase qui le contient. Pour plus de détails à cet égard, voyez le n° 16.

Pages 125...130, M. Boutigny cherche à établir que la division des corps en solides, liquides, gaz, est *arbitraire*.

Tous les physiciens savent que cette division est *caractéristique* et non *arbitraire*. Voyez, n° 113 de ma *Capillarité*, la division que j'ai établie entre les corps désignés par le mot *solide*.

Pour rendre compte des températures des liquides à l'état *sphéroïdal*, qui sont inférieures à celles de leurs ébullitions, l'auteur cherche à prouver que le calorique se réfléchit en totalité à leurs surfaces, p. 130...136.

Quoiqu'il suffise de renvoyer à mes expériences, n° 13, et aux diverses réflexions, n°s 12 et 14, sur la plupart des expériences de M. Boutigny, pour expliquer ce phénomène, j'ajouterai encore que la température de chaque liquide reste constante quand il s'approprie successivement autant de calorique qu'il en perd par évaporation, par rayonnement, etc.

L'auteur s'exprime ainsi à la page 136 : « Quelle est la cause de l'état sphéroïdal, etc. ? » Voyez le n° 15 de ma *Capillarité*.

A l'égard du contenu des pages 136...148, relativement aux

actions capillaires, aux idées d'Ampère, de Peltier sur la constitution des corps, etc., il m'est impossible d'entrer dans des détails convenables à ce sujet, sans dépasser les bornes de l'examen de la *Nouvelle branche de physique de M. Boutigny*.

M. Boutigny s'exprime ainsi à la page 148 : « Les corps à l'état sphéroïdal sont-ils soumis à la loi de *Newton* sur l'attraction? » Et à la page 150 : « Les corps à l'état sphéroïdal obéissent aux lois de l'attraction, et ils peuvent être considérés, par rapport à la terre, comme de véritables satellites. »

L'auteur ne paraissant pas vouloir se borner à prouver que le poids d'un corps reste invariable lorsqu'il passe à l'état sphéroïdal, il est impossible de comprendre ce qu'il entend par la première question. Quant à la fin du deuxième extrait, elle est sans aucun fondement.

Dans les pages 152...170, l'auteur se livre à des considérations très-étendues relativement aux idées de *Newton*, de *Buffon*, de *Laplace*, d'*Herschel*, sur l'univers, etc., sur la constitution du soleil d'après *Herschel*, qui serait composé de trois parties que M. Boutigny énonce et cherche à représenter par l'expérience p. 162, etc.

Les diverses idées des auteurs précédents sur l'univers sont étrangères à l'examen de la *Nouvelle branche de physique de M. Boutigny*. Quant à sa représentation du soleil d'*Herschel*, voyez ce que j'ai dit à la suite de sa 12^e expérience, n^o 12.

Pages 171...174. D'après les opinions de l'auteur sur la répulsion entre un corps incandescent et un autre corps chaud ou froid, il parle de la formation de l'anneau de *Saturne*, et il rappelle les idées de quelques auteurs à cet égard, etc.

Comme il n'y a aucun rapport entre l'anneau ou plutôt les anneaux de *Saturne* et les liquides qui ne mouillent pas les solides, n^o 15 de ma *Capillarité*, je me bornerai à dire que chacun de ces anneaux tourne autour de la planète comme un satellite qui s'en trouverait à la même distance.

Relativement à l'idée, p. 174...177, que la terre a été une comète, elle n'est pas fondée sur des faits assez probables pour la discuter.

Dans le renvoi qui est au bas de la page 139, M. Boutigny s'exprime ainsi :

« Pour nous, l'éther c'est le principe des corps, c'est » leur état primordial, c'est la matière dans un état de té- » nuité extrême, ténuité qui l'empêche d'être palpable, » d'être saisissable, et c'est pour cela que nous préférons le » mot *impondéré* au mot *impondérable*. »

Cette définition de l'éther n'est autre chose que celle des *molécules* de chaque corps simple.

Il résulte donc de ce qui précède, que l'auteur attache au mot *molécule* une ou des idées qui ne se rapportent pas à la signification réelle du mot.

Le contenu des pages 177, 178, 179, prouvé au surplus que l'auteur confond les *molécules* des gaz avec les *vésicules* des nuages (sur lesquelles je me suis très-étendu nos 114, 115, 116 de ma *Capillarité*), qui sont des sphères creuses dont l'enveloppe est de l'eau à l'état liquide.

Cette confusion se retrouve à la page 186, au sujet des brouillards, que l'auteur confond avec la vapeur d'eau au-dessous de 100°, qui est invisible comme au-dessus de 100°.

Après avoir parlé des changements que la terre a éprouvés ou dû éprouver, etc., M. Boutigny dit, p. 194, qu'une éruption volcanique d'une force prodigieuse lança une partie de la terre dans l'espace pour en former la lune, où finit la sphère d'attraction de la terre et où commence celle du soleil, etc.

Il est bon de rappeler que l'attraction de la terre s'étend au delà de la lune, et que celle du soleil agit sur toutes les planètes, etc.

L'auteur donne ensuite trois preuves pour appuyer ses idées sur la formation de la lune.

À l'égard de la première preuve, p. 196, j'observerai qu'il se forme continuellement des dépôts, au fond des eaux,

qui enveloppent des corps plus ou moins fragiles et qui conservent intacts les mêmes corps ou leurs empreintes quand ils se décomposent.

Quoiqu'il soit possible de faire bien des réflexions relativement au contenu de la deuxième preuve, p. 196, je me bornerai à dire que les irrégularités qui existent à la surface de la terre sont excessivement petites par rapport à ses dimensions, et que chacune des cavités qui en résulte ne donne qu'un espace très-petit comparativement au volume de la lune.

Relativement à la troisième preuve, p. 197, je dirai :

1° Que la lune est trop éloignée de nous pour constater que sa surface est volcanique ;

2° Qu'en admettant 5 pour la densité moyenne de la terre, et en adoptant, comme l'auteur, le rapport 2,8 : 2 pour celui de cette densité à celle de la lune, on est conduit à $2,8 : 2 :: 5 : x = 3,57$ pour la densité moyennée de notre satellite, laquelle surpasse de beaucoup la densité moyenne des corps connus à la surface de notre planète.

Au sujet des *aérolithes*, p. 204, que M. Boutigny prétend venir du soleil, j'observerai :

Premièrement, qu'aucun de ceux qui sont tombés à la surface de la terre n'est lumineux par lui-même ;

Deuxièmement, que l'auteur aurait dû dire comment il reconnut que le bolide observé par lui le 2 novembre 1840, à 8^h 22' du soir, à moitié route environ d'Évreux à Pacy-sur-Eure :

1° Était d'abord à une distance de la terre double de celle à laquelle s'en trouve la lune ;

2° Qu'il dépassa la lune, en s'approchant de la terre, pour se diriger ensuite vers notre satellite et tomber dessus, après avoir décrit une courbe convexe par rapport à notre globe, car la vue indique seulement la direction sur laquelle se trouve un objet lumineux ou non que l'on aperçoit.

15. Après l'examen de l'ouvrage de M. Boutigny, il est nécessaire d'indiquer brièvement quelques-uns des faits or-

dinaires et bien connus, qui sont analogues à ceux sur lesquels l'auteur s'est appuyé pour proposer un *quatrième état des corps*.

Un vase bon conducteur de calorique, ouvert et rempli d'un liquide, ne s'élève pas au-dessus de la température de l'ébullition du fluide qu'il contient, surtout quand il en est mouillé, quoiqu'il soit au contact de flamme dont la température surpasse celle des corps portés au rouge blanc.

Lorsqu'un liquide ne mouille pas un vase que l'on chauffe, son évaporation peut emporter tout le calorique qu'il s'approprie, avant le degré de son ébullition, par suite de son peu d'échauffement au contact plus ou moins imparfait du solide, n° 15 de ma *Capillarité*, et par la faible quantité du calorique rayonnant qu'il absorbe, surtout quand il est transparent.

Quand le liquide mouille le vase, le calorique du foyer n'a que les parois à traverser pour échauffer par contact le fluide qui touche intimement le solide.

Lorsque le liquide ne mouille pas le vase, le calorique du foyer en traverse d'abord les parois, comme pour le cas du solide mouillé; mais ensuite ce n'est que par le contact plus ou moins imparfait, n° 15 de ma *Capillarité*, et par le rayonnement intérieur du vase échauffé, que le fluide acquiert du calorique pour réparer celui que son évaporation emporte.

Il suit de ce qui précède, qu'en chauffant un vase fermé dans lequel se trouve un liquide froid, ce dernier s'échauffe de plus en plus, soit qu'il mouille ou qu'il ne mouille pas les parois; mais, dans le premier cas, l'échauffement est plus rapide que dans le dernier.

Tout solide situé dans l'intérieur d'un liquide que l'on chauffe, qui mouille ou ne mouille pas le vase, ne s'échauffe pas sensiblement plus que le fluide environnant, avec lequel il partage plus ou moins promptement le calorique qu'il peut s'approprier pour élever sa température au-dessus de celle du liquide.

16. Il résulte donc de l'examen général de la *Nouvelle branche de physique de M. Boutigny*, qu'un liquide qui ne mouille pas un solide n'est pas pour cela dans un autre état que quand il le mouille, mais que son défaut de contact intime avec les parois, son plus ou moins de transparence, etc., modifient plus ou moins la quantité de calorique qu'il peut s'approprier dans les circonstances où il se trouve.

L'expression de *liquide à l'état sphéroïdal* doit donc être rejetée.

Elle ne s'applique d'ailleurs qu'à la forme des petits volumes liquides (soutenus par une surface non mouillée, qui est un plan horizontal ou un vase peu courbe), dont les contours sont déterminés par leurs actions moléculaires, qui tendent évidemment à leur donner la forme sphérique, et par la pesanteur, qui les aplatit de plus en plus à mesure que ces mêmes volumes deviennent plus considérables.

Pour les grands volumes, la forme extérieure de chaque liquide est toujours celle de l'intérieur du vase qui le contient.

Il faut donc conserver les expressions de *solide mouillé* ou *non mouillé par un liquide*, en ayant égard :

Premièrement, aux divers cas qui peuvent se présenter, n° 15 de ma *Capillarité* ;

Deuxièmement, aux actions accessoires qui agissent sur le contact, telles que :

1° L'ébranlement qui peut altérer ou même détruire l'accroissement de condensation à la surface libre ou non des liquides n° 6, 34, 77 de ma *Capillarité* ;

2° Le dépoli des surfaces, la poussière qui les recouvre, etc., qui modifient le contact, etc., n° 78, 79 de ma *Capillarité*.

17. Je dois actuellement rendre justice à M. Boutigny, en indiquant brièvement ce qui lui appartient.

M. Boutigny a le premier congelé l'eau dans un vase chaud, au moyen de l'acide sulfureux liquide ; il a répété et varié de plusieurs manières les expériences de ses prédécesseurs,

pour en faire un ensemble qui constate les diverses propriétés que l'on observe, en introduisant différents liquides dans des vases polis plus ou moins chauds.

18. Ayant terminé ce que j'avais à dire sur l'ouvrage de M. Boutigny, je crois convenable d'indiquer la congélation du mercure dans un vase chaud, par M. Faraday. *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. XIX, p. 383 (1847).

« *Congélation du mercure en trois secondes, en vertu de l'état sphéroïdal, dans un creuset incandescent.* [Extrait d'une lettre de M. Faraday à M. Boutigny (d'Évreux).]

« J'ai fait une expérience que je ne trouve pas dans votre ouvrage, quoiqu'il y en ait une qui s'en rapproche et qui a été faite par M. Dumas; elle est décrite à la page 102. Il m'a été possible, en vertu de l'état sphéroïdal, de congeler du mercure avec la plus grande facilité, dans un creuset rouge de feu. J'ai d'abord fait rougir un creuset en platine et l'ai maintenu à cette température; j'y ai introduit de l'éther, puis de l'acide carbonique solide; et enfin j'ai plongé dans le mélange à l'état sphéroïdal une capsule métallique contenant environ 31 grammes de mercure, qui s'est solidifié au bout de deux ou trois secondes. Il a paru très-étrange que du mercure plongé dans un creuset rouge de feu ait pu en sortir congelé. »

Ce résultat est analogue à celui de la congélation de l'eau par M. Boutigny, 15^e et 16^e expérience de la 2^e édition, que j'ai expliquée n^o 79 de ma *Capillarité*; en effet :

L'acide sulfureux anhydre liquéfié s'évapore à -11° , et fait congeler l'eau, qui n'exige que 0° pour se solidifier.

De même, le mélange d'éther et d'acide carbonique solidifié s'évapore à une température que l'on évalue à -80° , et fait congeler le mercure qui n'exige que -39° pour se solidifier.

Observation. Le n^o 79 de ma *Capillarité* contient ce qui suit :

« Il est probable que l'acide sulfureux n'est pas le seul »
 » gaz liquéfié qui ait un contact imparfait avec le platine ou
 » un autre solide assez chaud, et qui se mélange assez bien
 » avec l'eau ou un autre liquide ordinaire, pour le congeler
 » par sa gazéification. »

19. *Équations de la section de la surface de chaque ménisque, situé entre deux plaques parallèles et verticales, par un plan vertical qui leur est perpendiculaire.*

1° Entre deux plaques parallèles, verticales, mouillées et rapprochées ab et cd , *fig. 9*, la section $ee'ff$ de la surface du ménisque concave, par un plan vertical et perpendiculaire aux plaques, coïncide évidemment avec la courbe que prend une chaîne ou corde pesante et parfaitement flexible, de la longueur inconnue $ee'ff$, retenue par la cohésion du liquide à ses extrémités e et f , situées sur les deux couches du fluide adhérentes aux parois n^{os} 45...50 de *ma Capillarité*, et dont le poids de chaque point e' est celui de la colonne $e'E'$ du liquide, comprise entre e' et le niveau extérieur EF du fluide.

Prenons dans le plan vertical de la courbe $ee'ff$, *fig. 9*, l'horizontale ex et la verticale ey pour les axes rectangulaires des coordonnées, et menons les tangentes Tt et $T't'$ en e et en e' ; puis représentons par T la tension en e , qui est égale à la cohésion du liquide dans la largeur constante et arbitraire que l'on donne à la section $ee'ff$, par α et β les angles xeT et yeT de sa direction eT avec ex et ey , par T' la tension en e' dans la même largeur et par α' et β' les angles de sa direction $e'T'$ avec ex et ey .

Pour l'équilibre de la portion ee' de la courbe $ee'ff$, la théorie du polygone funiculaire et celle de la chaînette exigent que les sommes des composantes horizontales et verticales des forces appliquées depuis e jusqu'en e' soient nulles; ce qui donne

$$\begin{aligned} T \cos \alpha + T' \cos \alpha' &= 0 \\ T \cos \beta + T' \cos \beta' + P &= 0, \end{aligned}$$

en désignant par P le poids des colonnes liquides, depuis e jusqu'en e' , dans la même largeur que ci-dessus.

Tirant les valeurs de $T' \cos \alpha'$ et de $T' \cos \beta'$ pour diviser ensuite la dernière par la première, on obtient

$$\frac{\cos \beta'}{\cos \alpha'} = \frac{T \cos \beta + P}{T \cos \alpha}.$$

Les cosinus de α' et de β' étant proportionnels à dx et à dy , on a

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\cos \beta'}{\cos \alpha'} = \frac{T \cos \beta + P}{T \cos \alpha} = \frac{-T \sin c + P}{-T \cos c},$$

en faisant l'angle $xet = c$ et en observant que

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \cos xeT = -\cos xet = -\cos c \\ \cos \beta &= \cos yeT = -\cos yet = -\sin xet = -\sin c; \end{aligned}$$

d'où l'on tire

$$T \sin c dx - T \cos c dy = P dx \quad (1)$$

pour l'équation différentielle de la courbe $ee'ff'$, à laquelle il faut joindre $dP = dx \times$ le poids de la colonne liquide $e'E'$ dans la même largeur que ci-dessus, qui revient à

$$dP = \rho(h + i - y) dx \quad (2)$$

en représentant la hauteur $f'F'$ du dessous du ménisque par h , $f'i$ par i , et la densité du liquide par ρ .

Tirant de l'équation (2) la valeur de dx pour la substituer dans l'équation (1), on obtient, en chassant le dénominateur,

$$T \sin c dP - T \cos c \rho(h + i - y) dy = P dP$$

ou

$$(T \sin c - P) dP - T \cos c \rho(h + i - y) dy = 0 \quad (3).$$

Pour intégrer cette dernière équation faisons,

$$\begin{aligned} & T \sin c - P = P' \quad \text{et} \quad h + i - y = y', \\ \text{d'où} \quad & -dP = dP' \quad \text{et} \quad -dy = dy', \end{aligned}$$

car $T \sin c$, h et i sont des constantes pour chaque distance de deux plaques ab et cd , *fig. 9*, mouillées par un même liquide.

Substituant ces valeurs dans l'équation (3), on obtient

$$-P'dP' + T \cos c \rho y' dy' = 0$$

dont l'intégrale est

$$-\frac{P'^2}{2} + T \cos c \rho \frac{y'^2}{2} = \frac{1}{2} C$$

ou

$$-(T \sin c - P)^2 + T \cos c \rho (h + i - y)^2 = C.$$

Au milieu f' de la courbe $ee'f'f$, *fig. 9*, on a $y = i$ et le poids P égal à la composante verticale $T \sin c$ de la cohésion T du liquide en e , dans la même largeur que ci-dessus, laquelle composante verticale prise de *bas en haut* soutient évidemment toutes les colonnes fluides, depuis e jusqu'en f' , ce qui donne

$$\rho h^2 T \cos c = C.$$

Substituant cette valeur de la constante C dans l'intégrale précédente, on obtient

$$-(T \sin c - P)^2 + \rho (h + i - y)^2 T \cos c = \rho h^2 T \cos c \quad (4)$$

pour l'équation de la courbe $ee'f'f$, *fig. 9*, en fonction de y et de P , puisque les autres quantités qu'elle renferme sont constantes pour chaque liquide et une même distance des plaques mouillées. *Voyez-en l'application au n° 24.*

L'équation (1) donne

$$dy = \frac{T \sin c - P}{T \cos c} dx,$$

et sa différentielle

$$-T \cos c d^2y = dP dx$$

conduit à

$$d^2y = -\frac{dP}{T \cos c} dx = -\frac{\rho(h+i-y)}{T \cos c} dx^2.$$

Substituant ces valeurs dans celle $\gamma = -\frac{(dx^2 + dy^2)^{\frac{3}{2}}}{dx d^2y}$

du rayon de courbure, on obtient

$$\gamma = -\frac{\left[dx^2 + \left(\frac{T \sin c - P}{T \cos c} \right)^2 dx^2 \right]^{\frac{3}{2}}}{dx \times -\frac{\rho(h+i-y)}{T \cos c} dx^2} = \frac{[T^2 \cos^2 c + (T \sin c - P)^2]^{\frac{3}{2}}}{\rho(h+i-y) T^2 \cos^2 c}.$$

Au point *f*, *fig. 9*, $P = T \sin c$, $y = i$ et la valeur γ' de γ se réduit à $\gamma' = \frac{T \cos c}{\rho h}$.

Cette valeur de γ' devient infinie lorsque $h = 0$, c'est-à-dire quand les deux plaques parallèles et mouillées sont assez éloignées l'une de l'autre pour que les élévations du liquide auprès d'elles ne s'atteignent pas.

En *e*, *fig. 9*, $P = 0$, $y = 0$ et la valeur γ'' de γ devient

$$\gamma'' = \frac{(T^2 \cos^2 c + T^2 \sin^2 c)^{\frac{3}{2}}}{\rho(h+i) T^2 \cos^2 c} = \frac{T^3}{\rho(h+i) T^2 \cos^2 c} = \frac{T}{\rho(h+i) \cos^2 c}.$$

2° Lorsque les plaques *ab* et *ed*, *fig. 10*, ne sont pas mouillées et que le liquide s'élève entre elles, ce qui renferme les cas pour lesquels S se trouve compris entre $\frac{1}{2}L$ et L , n° 15 de ma *Capillarité*, les équations (1) et (2), ainsi que celles qui en dérivent, appartiennent encore à la section *ee'ff* de la surface du ménisque concave par un plan vertical et perpendiculaire aux plaques; mais alors les extrémités *e* et *f* de la courbe *ee'ff* sont sur les surfaces intérieures des plaques *ab* et *cd*, et chaque composante verticale est prise de bas en

haut $T \sin c$ de la force T , tangente en e et en f , représente la valeur $2S - L$ qui élève le fluide auprès du solide dans la même largeur que précédemment.

3° Quand $2S - L = 0$, le liquide conserve sa surface plane jusqu'auprès de la paroi, n° 15 de ma *Capillarité*.

Dans ce cas, dP et P sont nuls ; ce qui réduit la courbe $ee'ff$, *fig. 10*, à l'axe ef , qui coïncide alors avec la droite EF ; car cette courbe $ee'ff$ revient à celle que prendrait une corde ou chaîne non pesante qui serait retenue à ses deux extrémités, situées en E et en F .

L'équation (4) y conduit aussi, car $T \sin c = 2S - L = 0$, $P = 0$, $h = 0$, $i = 0$, la réduisent à $\rho T \cos c \times y^2 = 0$, qui donne $y = 0$.

4° Enfin lorsque $2S - L < 0$, le liquide s'abaisse auprès de la paroi, etc., n° 15 de ma *Capillarité*.

Chaque point e' de la section $ee'ff$, *fig. 10*, de la surface du ménisque convexe par un plan vertical et perpendiculaire aux plaques, se trouve poussé de *bas en haut* par une pression égale au poids de la colonne du liquide qui aurait pour hauteur $e'E'$, et chaque extrémité e et f de cette section est retenue par une force T , tangente en e et en f , dont la composante verticale $T \sin c$, prise de *haut en bas*, au lieu de l'être de *bas en haut*, comme pour le ménisque concave $ee'ff$, *fig. 10*, est égale à $L - 2S$.

En faisant tourner d'une demi-révolution, autour de l'horizontale EF , *fig. 10*, la surface plane, verticale et inférieure $Eee'ffF$, la section inférieure $ee'ff$ du ménisque convexe prend évidemment une position analogue à la section supérieure $ee'ff$ du ménisque concave.

Pour chaque liquide ou pour deux liquides de même densité, la section inférieure $ee'ff$ renversée coïncide avec la supérieure $ee'ff$, lorsque les forces T sont égales et symétriquement inclinées relativement à l'horizontale EF ; car l'équilibre exige alors que les poids du liquide élevé ou supprimé par rapport à l'horizontale EF soient égaux, et qu'à

partir de e les poids, et par suite les longueurs $e'E'$ des colonnes correspondantes, au-dessus et au-dessous de EF , soient égales entre elles.

20. *Équations de la section principale et verticale de la surface de chaque ménisque, situé dans un tube cylindrique et vertical.*

1° Dans un tube cylindrique, vertical et mouillé, menons par son axe iF' un plan qui rencontre les parois suivant ab et cd , *fig. 11*, et la surface du ménisque concave suivant la courbe $ee'ff$.

La *fig. 11 bis* représente la projection du ménisque de la *fig. 11* sur le plan horizontal EF de la surface extérieure du liquide.

Soient $\alpha\gamma$ et $\beta\delta$, *fig. 11 bis*, les traces de deux plans menés par l'axe iF' du tube $abcd$, *fig. 11*, qui font entre eux un très-petit-angle, et EF , *fig. 11* et *11 bis*, la trace du plan médian aux deux premiers, lequel rencontre la surface du ménisque concave suivant la courbe $ee'ff$.

Comme entre deux plaques parallèles, n° 19, la section $ee'ff$, *fig. 11*, de la surface du ménisque concave par le plan médian $eEFf$ coïncide évidemment avec la courbe que prend une chaîne ou corde pesante et parfaitement flexible, de la longueur inconnue $ee'ff$, retenue à ses extrémités e et f , situées sur la couche du fluide adhérente à la paroi intérieure, n°s 45... 50 de ma *Capillarité*, dans les étendues $\alpha\beta$ et $\gamma\delta$, *fig. 11 bis*, et dont le poids de chaque point e' , *fig. 11*, est celui de toutes les colonnes liquides égales à $e'E'$, qui correspondent à l'arc circulaire $\alpha'\beta'$, *fig. 11 bis*, concentrique à $\alpha\beta$; d'où il résulte que l'équation (1), n° 19, lui appartient, en observant que dans ce cas, P représente le poids des colonnes liquides correspondantes à la portion de la surface du ménisque, dont la projection est $\alpha\beta\beta'a'$, *fig. 11 bis*, ainsi que l'équation (2), en y remplaçant

$$\rho (h+i-y) \text{ par } \frac{r-e-x}{r-e} \rho (h+i-y);$$

car on a :

$$\alpha'\beta' = \alpha\beta \times \frac{E'F'}{EF'} = \alpha\beta \times \frac{r-e-x}{r-e},$$

en représentant par r le rayon intérieur du tube et par e l'épaisseur de la couche fluide adhérente à la paroi ; ce qui donne

$$\left\{ \begin{array}{l} T \sin c dx - T \cos c dy = P dx \\ dP = \frac{r-e-x}{r-e} \rho (h+i-y) dx \end{array} \right\} (5)$$

pour les deux équations entre x, y, P, dx, dy, dP qui remplacent les équations (1) et (2), n° 19.

La valeur de dx , tirée de la dernière des équations (5) et substituée dans la première, y introduit x , qui empêche de l'intégrer, comme on l'a fait pour le résultat analogue des équations (1) et (2), n° 19.

La première des équations (5) donne

$$dy = \frac{(T \sin c - P) dx}{T \cos c},$$

et sa différentielle

$$-T \cos c d^2y = dP dx$$

conduit à

$$d^2y = -\frac{dP}{T \cos c} dx = -\frac{\frac{r-e-x}{r-e} \rho (h+i-y)}{T \cos c} dx^2.$$

Substituant ces valeurs dans celle $\gamma = -\frac{(dx^2 + dy^2)^{\frac{3}{2}}}{dx dy}$ du rayon de courbure, on obtient

$$\gamma = -\frac{\left[dx^2 + \left(\frac{T \sin c - P}{T \cos c} \right)^2 dx^2 \right]^{\frac{3}{2}}}{dx \times -\frac{r-e-x}{r-e} \cdot \frac{\rho (h+i-y)}{T \cos c} dx^2} = \frac{[T^2 \cos^2 c + (T \sin c - P)^2]^{\frac{3}{2}}}{\frac{r-e-x}{r-e} \rho (h+i-y) T^2 \cos^2 c}$$

Au point f' , *fig. 11*, $P = T \sin c$, $y = i$, $x = r - e$ et la valeur de γ y devient infinie.

Observation. La définition donnée ci-dessus de la courbe $ee'f'f$, *fig. 11*, d'après laquelle on est parvenu aux équations (5), contenant implicitement que la colonne centrale $f'f'$ n'a pas de largeur, il s'ensuit que son poids est nul, et par suite qu'en f' l'élément de la courbe $ee'f'f$ est une droite horizontale, ce qui rend son rayon de courbure infini en f' , comme le calcul y conduit.

En e , *fig. 11*, $P = 0$, $y = 0$, $x = 0$ et la valeur γ'' de γ devient

$$\gamma'' = \frac{(T^2 \cos^2 c + T^2 \sin^2 c)^{\frac{3}{2}}}{\rho (h+i) T^2 \cos^2 c} = \frac{T}{\rho (h+i) \cos^2 c}.$$

Expression qui est la même que son analogue dans le numéro précédent; mais il faut observer que pour chaque liquide et les solides qu'il mouille, les facteurs T et ρ des deux expressions de γ'' sont évidemment égaux, $\cos^2 c$ diffère peu dans les tubes et entre les plaques parallèles; n° 21, mais $h+i$ de la dernière valeur se trouve sensiblement double de $h+i$ dans la première, lorsque le diamètre du tube, *fig. 11*, est égal à la distance des deux plaques parallèles, *fig. 9*; d'où il suit que dans ce cas, le rayon de courbure en e de la courbe $ee'f'f$, *fig. 9*, est à peu près le double de celui en e , *fig. 11*.

Dans les mêmes circonstances, les rayons de courbure en e , *fig. 9* et *11*, sont sensiblement égaux, lorsque le rayon du tube, *fig. 11*, est égal à la distance des plaques, *fig. 9*; car les deux valeurs de $h+i$ diffèrent peu, nos 2, 20, 25 de ma *Capillarité*.

2° Lorsque le tube $abcd$, *fig. 12*, n'est pas mouillé et que le liquide s'élève dedans, ce qui renferme les cas pour lesquels S se trouve compris entre $\frac{1}{2}L$ et L , n° 15 de ma *Capillarité*, les équations (5) ainsi que celles qui en dérivent, appartiennent encore à la section $ee'f'f$ de la surface du mé-

nisque concave par un plan mené par l'axe vertical fF' du tube ; mais alors les extrémités e et f de la courbe $ee'ff$ sont sur la surface intérieure du tube $abcd$, et chaque composante verticale et prise de bas en haut, $T \sin c$ de la force T , tangente en e et en f , représente la valeur $2S - L$ qui élève le fluide auprès du solide dans la même largeur $\alpha\beta$, *fig. 11 bis.*

3° Quand $2S - L = 0$, le liquide conserve sa surface plane jusqu'auprès de la paroi, n° 15 de ma *Capillarité.*

Dans ce cas, dP et P sont nuls ; ce qui réduit la courbe $ee'ff$, *fig. 12*, à l'axe ef , qui coïncide alors avec la droite EF ; car cette courbe $ee'ff$ revient à celle que prendrait une corde ou chaîne non pesante, qui serait retenue à ses deux extrémités, situées en E et en F .

La 1^{re} des équations (5) y conduit aussi, car $T \sin c = 2S - L = 0$ et $P = 0$ la réduisent à $-T \cos c dy = 0$, qui donne $dy = 0$, et par suite représente la droite EF , puisque le point e se trouve en E .

4° Enfin lorsque $2S - L < 0$, le liquide descend auprès de la paroi, etc., n° 15 de ma *Capillarité.*

Chaque endroit e' de la courbe $ee'ff$, *fig. 12*, qui représente la section de la surface du ménisque convexe par un plan mené par l'axe vertical $f'F'$ du tube, se trouve poussé de *bas en haut* par une pression égale aux poids des colonnes du liquide correspondantes à l'arc $\alpha'\beta'$, *fig. 11 bis*, qui auraient pour hauteur $e'E'$, *fig. 12*, et chaque extrémité e et f de cette section est retenue par une force T , tangente en e et en f , dont la composante verticale $T \sin c$, prise de *haut en bas*, au lieu de l'être de *bas en haut*, comme pour le ménisque concave $ee'ff$, *fig. 12*, est égale à $L - 2S$.

En faisant tourner d'une demi-révolution, autour de l'horizontale EF , *fig. 12*, la surface plane, verticale et inférieure $Eee'ffF$, la section inférieure $ee'ff$ du ménisque convexe prend évidemment une position analogue à la section supérieure $ee'ff$ du ménisque concave.

Pour chaque liquide ou pour deux liquides de même den-

sité, la section inférieure $ee'ff$ renversée coïncide avec la supérieure $ee'ff$, lorsque les forces T sont égales et symétriquement inclinées relativement à l'horizontale EF ; car l'équilibre exige alors que les poids du liquide élevé ou supprimé par rapport à l'horizontale EF soient égaux, et qu'à partir de e les poids, et par suite les longueurs $e'E'$ des colonnes correspondantes, au-dessus et au-dessous de EF , soient égales entre elles.

21. L'épaisseur moyenne $0^{\text{mm}},033$ de la couche d'eau adhérente au verre, n° 45 de ma *Capillarité*, et déduite des hauteurs dans des tubes de différents rayons, en admettant qu'elle est tangente au contour de chaque ménisque, surpasse celle $0^{\text{mm}},019$, n° 80 de ma *Capillarité*, qui résulte de son poids.

Depuis que j'ai obtenu les équations des surfaces des ménisques, n°s 19 et 20, d'où il résulte que les tangentes Tet en e à la courbe $ee'ff$, fig. 9 et 11, font avec l'horizontale ex des angles $xet = c$, qui dépendent des distances des plaques parallèles et verticales ainsi que des rayons des tubes, n°s 22 et 24, il s'ensuit que les composantes verticales et dirigées de bas en haut, qui sont numériquement égales à $T \sin xet = T \sin c$, n°s 19 et 20, de la cohésion invariable T à la surface libre de chaque liquide qui mouille un solide, ainsi que les valeurs numériques de $T \sin c$, qui correspondent aux autres cas, varient en même temps que les distances des plaques et les rayons des tubes.

En admettant que l'épaisseur e de la couche d'eau adhérente aux tubes mouillés est le minimum possible $0^{\text{mm}},019$, c'est-à-dire ce qui reste après le libre écoulement du fluide, et que le volume du ménisque équivaut au cylindre intérieur à la couche liquide, qui à la hauteur $\frac{1}{3}(r - 0,019)$, on a, n°s 53 et 54 de ma *Capillarité*,

$$T \sin xet = \frac{\text{Poids de l'eau élevée en dedans de la couche liquide adhérente au tube}}{\text{contour du ménisque}},$$

ou

$$\begin{aligned} T \sin c &= \frac{\delta \pi (r - 0,019)^2 h + \frac{1}{3} \delta \pi (r - 0,019)^3}{2\pi (r - 0,019)} \\ &= \frac{1}{3} \delta (r - 0,019) \left[h + \frac{1}{3} (r - 0,019) \right] \end{aligned}$$

pour la valeur numérique de la composante verticale L et dirigée de *bas en haut* qui soulève ce liquide dans *une unité* du contour de chaque ménisque formé en dedans de la couche fluide adhérente au solide.

La valeur $\delta = 0,9998$ à 10° , n° 54 de ma *Capillarité*, et celles

$$\left. \begin{array}{l} h = 7,225, 8,8875, 9,25, 9,33125, 9,35, 9,5, 38,3, 38,6375 \\ r = 1,718, 1,468, 1,443, 1,431, 1,429, 1,416, 0,387, 0,383 \end{array} \right\},$$

qui se correspondent à la fin du n° 43 de ma *Capillarité*, conduisent dans le même ordre aux suivantes pour $T \sin c$ et $T \sin c$, *fig. 11* :

$$6,617, 6,788, 6,923, 6,919, 6,922, 6,960, 7,068, 7,053.$$

La somme $\left\{ \begin{array}{l} 41^{\text{mg}}, 129 \\ 14, 121 \end{array} \right\}$ de ces $\left\{ \begin{array}{l} \text{six premières} \\ \text{deux dernières} \end{array} \right\}$ valeurs donne $\left\{ \begin{array}{l} 6^{\text{mg}}, 855 \\ 7, 060 \end{array} \right\}$ pour la moyenne dans le tube dont le rayon moyen est de

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{(1,718 + 1,468 + 1,443 + 1,431 + 1,429 + 1,416)}{6} \\ \quad = \frac{8,905}{6} = 1^{\text{mm}}, 484. \\ \frac{(0,387 + 0,383)}{2} = \frac{0,770}{2} = 0^{\text{mm}}, 385. \end{array} \right\}$$

Ces deux valeurs moyennes $6^{\text{mg}}, 855$ et $7^{\text{mg}}, 060$ (dont le rapport diffère peu de 33 : 34 et bien moins encore de 67 : 69, entre lesquels il se trouve compris) de $T \sin c$ dans les tubes qui ont les rayons moyens $1^{\text{mm}}, 484$ et $0^{\text{mm}}, 385$ prouvent que

malgré le cas extrême du minimum d'épaisseur de la couche d'eau adhérente au verre, il n'en résulte cependant que de faibles augmentations sur les valeurs des composantes verticales et prises de *bas en haut* $T \sin xet = T \sin c$, *fig.* 11, qui soulèvent le liquide dans une unité du contour de chaque ménisque à mesure que les rayons des tubes diminuent; ce qui permet d'adopter la loi du n° 45 de ma *Capillarité*, en se rappelant toutefois que dans cette hypothèse extrême de l'épaisseur minimum $0^{\text{mm}},019$ de la couche d'eau adhérente au verre, elle donne des hauteurs un peu trop faibles dans les tubes à petits rayons par rapport à celles qui ont réellement lieu dans les tubes à grands rayons.

Ces deux mêmes moyennes $6^{\text{mg}},855$ et $7^{\text{mg}},060$ représentant aussi le rapport $T \sin c : T \sin c'$ ou $\sin c : \sin c'$ des sinus des angles c et c' dans les tubes dont les rayons moyens ont $1^{\text{mm}},484$ et $0^{\text{mm}},385$, il s'ensuit que, dans la même hypothèse extrême, l'angle $xet = c$, *fig.* 11, augmente peu à mesure que les rayons des tubes diminuent.

Observation. Si l'on parvenait à déterminer exactement la valeur par laquelle il faut remplacer $\frac{1}{3}$ dans la hauteur $\frac{2}{3}(r - 0,019)$ du cylindre intérieur à la couche liquide adhérente au tube, qui est équivalent au volume du ménisque, cette valeur exacte $\left\{ \begin{array}{l} \text{augmenterait} \\ \text{diminuerait} \end{array} \right\}$ peu le rapport $6,855 : 7,060$ si elle était plus $\left\{ \begin{array}{l} \text{grande} \\ \text{petite} \end{array} \right\}$ que $\frac{1}{3}$.

En effet, si l'on met $\frac{2}{3}$ à la place de $\frac{1}{3}$, on obtient généralement

$$T \sin c = \frac{2}{3} \delta (r - 0,019) \left[h + \frac{1}{3} (r - 0,019) \right],$$

puis, dans le même ordre que ci-dessus, pour $T \sin c$

$$6,858, 6,963, 7,092, 7,085, 7,087, 7,122, 7,080, 7,064.$$

La somme $\left\{ \begin{array}{l} 42^{\text{mg}},207 \\ 14,144 \end{array} \right\}$ de ces $\left\{ \begin{array}{l} \text{six premières} \\ \text{deux dernières} \end{array} \right\}$ valeurs

donne $\left\{ \begin{array}{l} 7^{\text{mg}}, 034 \\ 7, 072 \end{array} \right\}$ pour la moyenne dans le tube qui a $\left\{ \begin{array}{l} 1^{\text{mm}}, 484 \\ 0, 385 \end{array} \right\}$ de rayon, et par suite le rapport $7,034 : 7,072$, qui surpasse excessivement peu $185 : 186$, à la place du précédent $6,855 : 7,060$.

Le résultat général des observations capillaires, n° 4 de ma *Capillarité*, prouve que la cohésion T , évidemment invariable à la surface libre de chaque liquide, soulève auprès de la même unité de longueur horizontale d'une paroi verticale et mouillée, qui est plane ou courbe dans le sens horizontal, un poids à peu près constant du même fluide, qui se trouve numériquement représenté par $T \sin c$; d'où il suit que $\sin c$ et par suite l'angle c lui-même varie peu aux extrémités des ménisques de chaque liquide dans des tubes verticaux et entre des plaques parallèles et verticales qui en sont mouillés.

Ce dernier résultat conduit directement pour chaque liquide et les solides qu'il mouille à une hauteur moyenne dans un tube, qui est le double de celle que l'on obtient entre deux plaques parallèles, dont la distance est égale à son diamètre; en effet, la surface $F'\alpha\beta$, *fig. 11 bis*, équivalant alors à la moitié du rectangle horizontal correspondant à $ee'f'$, *fig. 9*, qui a pour largeur auprès de la paroi une longueur égale à $\alpha\beta$, *fig. 11 bis*, il s'ensuit que dans la *fig. 11*, les colonnes, qui correspondent à $F'\alpha\beta$ de la *fig. 11 bis*, doivent avoir une hauteur moyenne double de celle des colonnes de la *fig. 9*, qui correspondent à $ee'f'$, pour qu'il y ait la même quantité de liquide élevée dans les deux cas.

D'après le même résultat général, toutes les conséquences qui s'ensuivent s'appliquent aussi à chaque liquide et aux solides qui ont la même affinité pour lui; car, dans chacun de ces divers cas, la composante verticale $T \sin c$ pour une unité de longueur horizontale de la paroi, est toujours égale et opposée à la valeur de $2S-L$, n° 15 de ma *Capillarité*, et sensiblement la même dans les tubes verticaux et entre les

plaques parallèles formés des substances ci-dessus indiquées ; car il en résulte des composantes verticales S et L qui sont sensiblement égales, puisque S est la composante verticale dirigée de *bas en haut* des actions de chaque quart de sphère solide sur le liquide, n° 15 de ma *Capillarité*, d'après l'état où se trouve le dernier par suite de sa cohésion et de son affinité pour les parois, et L la composante verticale et dirigée de *haut en bas* des actions du fluide sur lui-même, d'après la cohésion de sa surface, modifiée par son affinité pour les parois.

22. Jusqu'à présent, l'on avait regardé les surfaces intérieures des plaques parallèles et celles des tubes ou les couches liquides qui leur adhéraient, comme étant tangentes aux bords des ménisques ; ce qui faisait nécessairement confondre chaque force T, n°s 19, 20, 21, avec la valeur de sa composante verticale $T \sin c$.

J'avais bien prouvé dans ma *Théorie élémentaire de la capillarité* (voyez surtout la préface et les n°s 6, 15, 16) que Laplace s'était appuyé sur de fausses données, et qu'il avait confondu des propriétés appartenant à des demi-sphères avec celles qui les caractérisent ; mais il en résultait seulement que les surfaces des divers ménisques étaient encore inconnues, puisque je n'en avais pas obtenu les équations, n°s 19 et 20.

Pour déterminer l'angle c , n° 19, il suffit d'observer qu'au point e , fig. 9, $P=0$ et $y=0$; ce qui réduit l'équation (4) à

$$T^2 \sin^2 c = \rho(h+i)^2 T \cos c - \rho h^2 T \cos c.$$

Divisant chaque terme par $T \cos c$, on obtient

$$T \sin c \frac{\sin c}{\cos c} \text{ ou } T \sin c \operatorname{tang} c = \rho(h+i)^2 - \rho h^2,$$

d'où

$$\operatorname{tang} c = \frac{\rho(h+i)^2 - \rho h^2}{T \sin c}.$$

La valeur du dénominateur $T \sin c$ est numériquement celle de la composante verticale de la force T, qui soulève

ou qui abaisse le liquide auprès de chaque paroi dans *une unité* de leur longueur horizontale.

23. Le jeudi 25 mai 1848, pendant que la température de ma chambre était de $20^{\circ} \frac{3}{4}$, je liai avec des fils deux plaques rectangulaires en verre ordinaire, qui avaient été polies et aplanies chez M. Lerebours, après avoir mis entre elles et auprès de chacun de leurs angles un morceau de cuivre, dont l'épaisseur, mesurée au sphéromètre du même artiste, était de *un millimètre*.

En plaçant successivement ces plaques parallèles sur leurs quatre côtés, j'obtins constamment, sur l'appareil décrit au n^o 41 de ma *Capillarité*, $\left\{ \begin{array}{l} 27 \\ 29 \end{array} \right\}$ divisions pour les hauteurs

du $\left\{ \begin{array}{l} \text{dessous} \\ \text{dessus} \end{array} \right\}$ du ménisque d'alcool anhydre contenu entre elles, dont la densité est 0,79 à $20^{\circ} \frac{3}{4}$, n^o 55 de ma *Capillarité*, lorsque le dessus de l'anneau en cuivre correspondait à la 80^e division, et que sa distance au plan des trois pointes était de 68 divisions, ce qui donne $80 - 68 = 12$ pour la division à laquelle correspondait le plan des trois mêmes pointes; d'où il suit que pour obtenir les hauteurs du

$\left\{ \begin{array}{l} \text{dessous} \\ \text{dessus} \end{array} \right\}$ du ménisque, il faut ôter 12 de $\left\{ \begin{array}{l} 27 \\ 29 \end{array} \right\}$; ce qui donne $\left\{ \begin{array}{l} 27 - 12 = 15 \\ 29 - 12 = 17 \end{array} \right\}$ divisions, ou $\left\{ \begin{array}{l} 15 \times 0,4 = 6^{\text{mm}},0 \\ 17 \times 0,4 = 6,8 \end{array} \right\}$

pour les hauteurs du $\left\{ \begin{array}{l} \text{dessous} \\ \text{dessus} \end{array} \right\}$ du ménisque.

Il convient de choisir un beau jour d'été pour observer assez bien, au travers des deux plaques parallèles et même du liquide élevé, les divisions de la grande règle en verre qui correspondent au-dessous et au-dessus du ménisque.

Quoique l'alcool anhydre s'élève moins que l'eau, je l'ai préféré au dernier liquide, qui mouille quelquefois difficilement les plaques de verre.

En admettant que l'épaisseur e de la couche d'alcool anhydre, qui adhère à chacune des deux plaques parallèles,

est de $0^{\text{mm}},046$, n° 46, de ma *Capillarité*, et provisoirement que la surface concave du ménisque est celle du demi-cylindre inscrit aux deux couches liquides intérieures, l'ex-

pression $\frac{\delta dl \left(h + \frac{v}{dl} \right)}{2l} = \frac{1}{2} \delta d \left(h + \frac{v}{dl} \right) = L$, n° 35 de ma *Ca-*
pillarité, dans laquelle

d représente la distance des couches adhérentes aux plaques parallèles,

δ la densité du liquide,

h la hauteur du dessous du ménisque,

v le volume du ménisque,

L le poids du liquide soutenu dans une unité de la longueur l de chaque plaque,

devient, dans le cas ci-dessus,

$$L = \frac{1}{2} \times 0,79(1 - 2 \times 0,046)[6 + 0,10730(1 - 2 \times 0,046)] = 2^{\text{mg}},18690;$$

car le volume v du ménisque est l'excès

$$\left(0,5 - \frac{3,14159}{8} \right) (1 - 2 \times 0,046)^2 l = 0,10730(1 - 2 \times 0,046)^2 l$$

du volume $\frac{1}{2}(1 - 2 \times 0,046)^2 l$ du parallépipède rectangle, compris entre les deux couches liquides, qui a pour hauteur $\frac{1}{2}(1 - 2 \times 0,046)$, sur celui $\frac{1}{2} \left(\frac{1 - 2 \times 0,046}{2} \right)^2 l$ du demi-cylindre inscrit entre les mêmes couches.

Observation. La valeur $2^{\text{mg}},18690$ surpasse de $0^{\text{mg}},22190$ la valeur moyenne $1^{\text{mg}},965$ que j'avais obtenue à $20^{\circ} \frac{1}{2}$, n° 55 de ma *Capillarité*.

24. En substituant les valeurs du n° 23, $\rho = 0,79$, $h = 6^{\text{mm}}$, $h + i = 6^{\text{mm}},8$, $L = 2^{\text{mg}},18690$, qui est aussi celle de $T \sin c$, n° 22, dans l'équation n° 22, on obtient

$$\tan c = \frac{0,79 \times \sqrt{6,8^2 - 0,79 \times 6^2}}{2,18690} = 3,69912,$$

puis

$$c = 74^{\circ} \dots 52', 4.$$

La valeur de c conduit à

$$T \sin 74^{\circ} \dots 52', 4 = 2^{\text{mg}}, 18690;$$

d'où

$$T = \frac{2,18690}{0,96535} = 2^{\text{mg}}, 26540,$$

puis à

$$T \cos c = 2^{\text{mg}}, 26540 \times 0,26095 = 0^{\text{mg}}, 59116.$$

L'équation (4) du n° 19 exprimant la relation qui existe entre y et P , et non entre les coordonnées y et x de la section de la surface du ménisque par un plan vertical et perpendiculaire aux plaques, il est nécessaire d'indiquer la manière d'obtenir x et par suite la courbe qu'elle représente.

En mettant les valeurs précédentes dans l'équation (4), n° 19, on obtient

$$(2,18690 - P)^2 = 0,79(6,8 - y)^2 \times 0,59116 - 0,79 \times 6^2 \times 0,59116,$$

d'où

$$2,18690 - P = \pm \sqrt{0,4670164(6,8 - y)^2 - 16,8125904}.$$

Il faut prendre la racine positive du second membre, car $2^{\text{mg}}, 18690$ est la limite supérieure de P .

On en tire

$$P = 2,18690 - \sqrt{0,4670164(6,8 - y)^2 - 16,8125904}.$$

Tableau contenant les valeurs approximatives de P et de x , qui correspondent à celles de y .

VALEURS de y .	VALEURS de P.	DIFFÉRENCES.	ÉPAISSEURS des couches successives.	VALEURS de x .
millim.	milligr.	milligr.	millim.	millim.
0,0	0,00000	0,14931	0,02800	0,00000
0,1	0,14931	0,15859	0,03019	0,02800
0,2	0,30790	0,17054	0,03296	0,05819
0,3	0,47844	0,18649	0,03660	0,09115
0,4	0,66493	0,20923	0,04171	0,12775
0,5	0,87416	0,11681	0,02356	0,16946
0,55	0,99097	0,12845	0,02612	0,19302
0,6	1,11942	0,14491	0,02971	0,21914
0,65	1,26433	0,17085	0,03531	0,24885
0,7	1,43518	0,07991	0,01661	0,28416
0,72	1,51509	0,09049	0,01887	0,30077
0,74	1,60558	0,10707	0,02240	0,31964
0,76	1,71265	0,13918	0,02922	0,34204
0,78	1,85183	0,09824	0,02067	0,37126
0,79	1,95007	0,10715	0,02258	0,39193
0,797	2,05722	0,12968	0,02735	0,41451
0,8	2,18690			0,44186
	Sommes. . .	2,18690	0,44186	

J'ai rapproché de plus en plus les valeurs de y , en allant de e vers f' , fig. 9, afin que les différences entre celles de P, et par suite les épaisseurs des couches successives, ne devinssent pas trop grandes.

Les diverses valeurs de P représentent les poids des différentes parties $eEE'e'$, fig. 9, d'alcool anhydre, qui sont élevées dans un millimètre de largeur de la section $ee'f'$, depuis ey jusqu'à chaque valeur de x , qui correspond à celle de y au point e' .

Les différences sont les poids des couches successives du même liquide, qui sont élevées dans un millimètre de largeur de la section $ee'f'$, entre les deux valeurs correspondantes de y .

En admettant que pour chacune de ces couches, l'arc de

ef', qui le termine supérieurement, se confond avec sa corde, le volume de chacune de ces couches devient celui d'un prisme qui a *un millimètre* de hauteur, et pour base le trapèze dont la hauteur inconnue *z* est l'épaisseur de la même couche dans le sens *ex*, et les côtés parallèles sont les deux valeurs correspondantes de $h+i-y=6^{\text{mm}},8-y$.

On a donc, pour le poids de la première couche,

$$1^{\text{mm}} \times \frac{6,8 + 6,7}{2} \times z \times 0,79 = 0^{\text{g}},14931;$$

d'où

$$z = \frac{0,14931 \times 2}{0,79(6,8+6,7)} = 0^{\text{mm}},02800.$$

La deuxième couche donne de même

$$z' = \frac{0,15859 \times 2}{0,79(6,7 + 6,6)} = 0^{\text{mm}},03019,$$

et ainsi de suite pour les couches suivantes.

Enfin la dernière colonne, que l'on obtient en ajoutant successivement les *épaisseurs des couches successives*, contient les valeurs de *x* qui correspondent à celles de *y*.

La somme $0^{\text{mm}},44186$ de toutes les *épaisseurs des couches successives*, qui est égale à la valeur de *x* correspondante à $y = 0^{\text{mm}},8$, *fig. 9*, est surpassée de $0^{\text{mm}},01214$ par

$$\frac{ef}{2} = ei = \frac{1 - 2 \times 0,046}{2} = 0^{\text{mm}},454;$$

d'où il résulte que le poids $2^{\text{mg}},18690$ d'alcool anhydre admis comme étant soutenu dans *un millimètre* de la longueur horizontale de chaque paroi, n° 23, est trop petit.

Il suit de là que le volume du ménisque est plus grand que celui $0,10730(1 - 2 \times 0,046)^2 l$, qui a été provisoirement admis, n° 23.

En négligeant les faibles différences entre les deux valeurs de *y*, qui correspondent à chaque valeur de *x* :

1° Dans l'hypothèse, n° 23, que la surface concave du ménisque est celle du demi-cylindre inscrit aux deux couches liquides adhérentes aux plaques parallèles;

2° Dans la réalité ;

il en résulte que les deux sommes que l'on obtient dans ces deux cas ; pour les épaisseurs des couches successives, sont entre elles :: les deux volumes ou les deux poids de l'alcool anhydre élevé dans un millimètre de longueur horizontale d'une paroi ; ce qui donne

$$0^{\text{mm}},44186 : \frac{1 - 2 \times 0,046}{2} = 0^{\text{mm}},454 :: 2^{\text{mg}},18690 : \alpha = 2^{\text{mg}},24698$$

pour le poids = $T \sin e$ d'alcool anhydre réellement élevé auprès de la couche liquide adhérente à chaque paroi dans un millimètre de sa longueur horizontale.

Cette dernière valeur, $2^{\text{mg}},24698$ de $T \sin e$, donne successivement, comme au commencement de ce n° 24 :

$$\text{tang } e = \frac{0,79 \times 6,8 - 0,79 \times 6^2}{2,24698} = 3,60021, e = 74^\circ \dots 28', 6,$$

$$T = \frac{2,24698}{\sin 74^\circ \dots 28', 6} = \frac{2,24698}{0,96352} = 2^{\text{mg}},33205,$$

$$T \cos 74^\circ \dots 28', 6 = 2,33205 \times 0,26763 = 0^{\text{mg}},62413,$$

$$(2,24698 - P)^2 =$$

$$0,79(6,8 - y)^2 \times 0,62413 - 0,79 \times 6^2 \times 0,62413,$$

$$P = 2,24698 - \sqrt{0,4930627(6,8 - y)^2 - 17,7502572}.$$

Tableau contenant les valeurs réelles de P et de x, qui correspondent à celles de y.

VALEURS de y.	VALEURS de P.	DIFFÉRENCES.	ÉPAISSEURS des couches successives.	VALEURS de x.
millim.	milligr.	milligr.	millim.	millim.
0,0	0,00000		0,02878	0,00000
0,1	0,15334	0,15334	0,03102	0,02878
0,2	0,31629	0,16295	0,03386	0,05978
0,3	0,49152	0,17523	0,03761	0,09364
0,4	0,68314	0,19162	0,04286	0,13125
0,5	0,89813	0,21499	0,04421	0,17411
0,55	1,01816	0,12003	0,02684	0,19832
0,6	1,15013	0,13197	0,02684	0,22516
0,65	1,29903	0,14890	0,03052	0,25569
0,7	1,47458	0,17555	0,03628	0,29196
0,72	1,55669	0,08211	0,01707	0,30903
0,74	1,64967	0,09298	0,01939	0,32842
0,76	1,75968	0,11001	0,02302	0,35144
0,78	1,90269	0,14301	0,03002	0,38146
0,79	2,00363	0,10094	0,02124	0,40270
0,797	2,11378	0,11010	0,02320	0,42690
0,8	2,24698	0,18325	0,02816	0,45400
	Sommes. . .	2,24698	0,45400	

Si la somme $0^{\text{mm}},45400$ des épaisseurs des couches successives différait sensiblement de $\frac{1}{2}(1 - 2 \times 0,046)$, il faudrait recommencer les calculs précédents, en se servant des résultats du dernier tableau à la place de ceux du premier.

Pour rendre sensibles les diverses parties de la section du ménisque élevé entre les deux verres verticaux, parallèles et éloignés de un millimètre, n° 23, par un plan vertical qui leur est perpendiculaire, l'on en a centuplé les dimensions dans la fig. 13.

Pour représenter de même la section de tout le liquide élevé entre les mêmes verres, il faut descendre le point F', qui correspond au niveau extérieur du fluide dans le vase, jusqu'à six cent millimètres au-dessous du bas f' de la section

$ef'f$ du ménisque, et de plus prolonger encore plus bas que F' les sections ab et dc des plaques.

Les arcs ee'' et ff'' , tracés arbitrairement, représentent les sections des surfaces des deux couches d'alcool anhydre, adhérentes aux parois, qui s'élèvent au-dessus des extrémités e et f du ménisque.

Si la surface du ménisque était celle du demi-cylindre inscrit aux deux mêmes couches d'alcool anhydre, la section de sa surface serait représentée par la demi-circonférence $e''f''f'''$, dont le rayon Of'' est cent fois

$$\frac{1}{2}(1 - 2 \times 0,046) = 100 \times 0,454 \text{ ou } 45^{\text{mm}}, 4.$$

La valeur générale $\gamma = \frac{[T^2 \cos^2 c + (T \sin c - P)^2]^{\frac{3}{2}}}{\rho(h+i-y)T^2 \cos^2 c}$, n° 19, du rayon de courbure de la section $ef'f$ du ménisque, fig. 9, donne $\gamma' = \frac{T \cos c}{\rho h} = \frac{0,62413}{0,79 \times 6} = 0^{\text{mm}}, 13167$, pour celui qui a lieu en f' , fig. 9, que l'on a représenté, fig. 13, en décrivant la circonférence dont $of' = \text{cent fois } 0^{\text{mm}}, 13167 = 13^{\text{mm}}, 167$ est le rayon, et

$$\gamma'' = \frac{T}{\rho(h+i) \cos^2 c} = \frac{2,33205}{0,79 \times 6,8 \times 0,26763^2} = 6^{\text{mm}}, 06083,$$

pour celui qui a lieu au point e , fig. 9, dont on pourrait tracer la circonférence sur la fig. 13, en prenant le rayon égal à cent fois $6^{\text{mm}}, 06083 = 606^{\text{mm}}, 083$ sur la perpendiculaire à la tangente eT menée par le point e , fig. 13.

En calculant les rayons de courbure de l'arc ef' , fig. 9, pour les valeurs successives $y = 0^{\text{mm}}, 2, = 0^{\text{mm}}, 4, = 0^{\text{mm}}, 6$, on obtient les valeurs $\gamma = 4^{\text{mm}}, 11307, = 2^{\text{mm}}, 42384, = 1^{\text{mm}}, 05344$, qu'il faut centupler pour les rapporter à la fig. 13.

Ainsi que l'aspect de la fig. 13 l'indique, les rayons de courbure de l'arc ef' diminuent beaucoup en allant de e vers f' .

Si l'on veut décrire sur la *fig. 13* les circonférences osculatrices qui correspondent à chacun des points de la courbe *ef'*, il faut en déterminer les centres en *centuplant* les valeurs des coordonnées α et β des centres des cercles analogues sur la *fig. 9*, déduites des équations

$$y - \beta = \frac{dx^2 + dy^2}{d^2y} = \frac{dx^2 + \left(\frac{T \sin c - P}{T \cos c}\right)^2 dx^2}{\frac{\rho(h+i-y)}{T \cos c} dx^2} = \frac{T^2 \cos^2 c + (T \sin c - P)^2}{\rho(h+i-y) T \cos c}$$

$$x - \alpha = \frac{dy \left(\frac{dx^2 + dy^2}{d^2y}\right)}{dx} = \frac{T \sin c - P}{T \cos c} \times \frac{T^2 \cos^2 c + (T \sin c - P)^2}{\rho(h+i-y) T \cos c}, \text{ n}^\circ 19.$$

Pour les cinq rayons de courbure calculés ci-dessus, on obtient successivement et dans le même ordre

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = 0,66833, = -1,62205, = -1,06516, = -0,49844, = 0,07902 \\ \alpha = 0,454, = 5,83968, = 3,97344, = 2,38242, = 1,14073 \end{array} \right\}$$

En *centuplant* chacune des valeurs précédentes de γ , β , α , qui se rapportent à la *fig. 9*, comme on l'a fait à l'égard du rayon *of'* de la circonférence osculatrice en *f'* de la *fig. 13*, on obtient de même celles qui leur correspondent sur la *fig. 13*.

Quoique les rayons de courbure de la courbe *ef'*, *fig. 13*, diminuent constamment en allant de *e* vers *f'*, il ne faut pas conclure qu'il en est toujours de même pour les sections analogues, *fig. 9*; en effet, lorsque les plaques se trouvent assez éloignées pour rendre *h* nul, la valeur $\frac{T \cos c}{\rho h}$ de γ' en *f'*, *fig. 9*, devient infinie, et celle de γ'' en *e* conserve la valeur finie $\frac{T}{\rho i \cos^2 c}$.

Ce résultat conduit naturellement à rechercher les cas pour lesquels les rayons de courbure de *ef'*, *fig. 9*, sont les mêmes en *f'* et en *e*; pour cela il suffit d'égaliser les valeurs générales de γ' et de γ'' ; ce qui donne

$$\frac{T \cos c}{\rho h} = \frac{T}{\rho(h+i) \cos^2 c} \quad \text{ou} \quad (h+i) \cos^2 c = h;$$

d'où

$$\frac{h+i}{h} = \frac{1}{\cos^2 c} \quad \text{ou} \quad \frac{i}{h} = \frac{1}{\cos^2 c} - 1 = \frac{1}{0,26763^2} - 1 = 51,167,$$

en admettant la dernière valeur de $c = 74^\circ \dots 28', 6$, comme on peut le faire au moins approximativement, n° 21.

Il résulte de ce calcul que les rayons de courbure de ef' , *fig. 9*, sont égaux en f' et en e , lorsque les plaques se trouvent à la distance convenable pour que la valeur de i surpasse un peu 51 fois celle de h .

On obtient très-approximativement la surface de la section du demi-ménisque, dont les dimensions ont été *centuplées* dans la *fig. 13*, et qui est extérieure à la courbe ef' , en ajoutant celles des trapèzes dont les hauteurs sont les différences *épaisseurs des couches successives* du dernier tableau précédent et les côtés parallèles, les diverses valeurs successives $0,8 - 0,0 = 0^{\text{mm}}, 8$, $0,8 - 0,1 = 0^{\text{mm}}, 7$, $0,8 - 0,2 = 0^{\text{mm}}, 6$,... $0,8 - 0,797 = 0^{\text{mm}}, 003$, $0,8 - 0,8 = 0^{\text{mm}}, 0$; ce qui donne pour ces surfaces trapézoïdales successives

$\frac{1}{2} \times 0,02876(0,8$	$+ 0,7)$	$= 0,02157$
$\frac{1}{2} \times 0,03102(0,7$	$+ 0,6)$	$= 0,02016$
$\frac{1}{2} \times 0,03386(0,6$	$+ 0,5)$	$= 0,01862$
$\frac{1}{2} \times 0,03761(0,5$	$+ 0,4)$	$= 0,01692$
$\frac{1}{2} \times 0,04286(0,4$	$+ 0,3)$	$= 0,01500$
$\frac{1}{2} \times 0,02421(0,3$	$+ 0,25)$	$= 0,00666$
$\frac{1}{2} \times 0,02684(0,25$	$+ 0,2)$	$= 0,00604$
$\frac{1}{2} \times 0,03052(0,2$	$+ 0,15)$	$= 0,00534$
$\frac{1}{2} \times 0,03628(0,15$	$+ 0,1)$	$= 0,00453$
$\frac{1}{2} \times 0,01707(0,1$	$+ 0,08)$	$= 0,00154$
$\frac{1}{2} \times 0,01939(0,08$	$+ 0,06)$	$= 0,00136$
$\frac{1}{2} \times 0,02302(0,06$	$+ 0,04)$	$= 0,00115$
Somme		<u><u><u><u><u><u>0,11889</u></u></u></u></u></u>

$$\begin{array}{r}
 \text{Report. . .} \quad 0,11889^{\text{mm}} \\
 \frac{1}{2} \times 0,03002(0,04 + 0,02) = 0,00090 \\
 \frac{1}{4} \times 0,02124(0,02 + 0,01) = 0,00032 \\
 \frac{1}{4} \times 0,02320(0,01 + 0,003) = 0,00015 \\
 \frac{1}{2} \times 0,02810(0,003 + 0,0) = 0,00004 \\
 \hline
 \text{Somme} = 0,12030
 \end{array}$$

Dans la *fig. 13*, la surface de la section du demi-ménisque est $0,12030 \times \overline{100}^2 = 1203^{\text{mm}}$.

La partie de la surface de la section du demi-ménisque, qui est extérieure et correspondante au quart de cercle $e''f'$, est l'excès $0,^{\text{mm}}04423$ du carré

$$\overline{Of'}^2 = \left(\frac{ef'}{2}\right)^2 = \left(\frac{1-2 \times 0,046}{2}\right)^2 = 0^{\text{mm}},206116$$

sur

$$\frac{1}{4} \text{ cercle } Of' = \frac{1}{4}\pi \left(\frac{1-2 \times 0,046}{2}\right)^2 = 0^{\text{mm}},1618835064.$$

Dans la *fig. 13*, la surface de cette partie de la section du demi-ménisque est $0,04423 \times \overline{100}^2 = 442^{\text{mm}},9$.

La surface de cette dernière partie de la section du demi-ménisque est à celle du demi-ménisque :: $0,04423 : 0,12030$ qui surpasse $1 : 3$.

Les surfaces des deux mêmes parties de la section du ménisque sont évidemment entre elles *comme* les doubles des volumes et des poids des parties correspondantes du même ménisque; ce qui donne, n° 23,

$$0,04423 : 0,12030 :: 0,10730(1-2 \times 0,046)^3 l : x(1-2 \times 0,046)^3 l :: 0,10730 : x = 0,29184;$$

d'où il résulte qu'il suffit de remplacer, dans l'expression du n° 23, le coefficient $0,010730$ par $0,29184$, pour obtenir la véritable valeur de L ; en effet, on arrive ainsi à

$$L = \frac{1}{2} \times 0,79(1 - 2 \times 0,046)[6 + 0,29184(1 - 2 \times 0,046)] = 2^{\text{m}^{\text{e}}}, 24700,$$

qui surpasse seulement de $0^{\text{m}^{\text{e}}}, 00002$ la valeur $2^{\text{m}^{\text{e}}}, 24698$ déterminée ci-dessus.

Il ne faut pas conclure de là qu'entre des plaques parallèles et verticales, le coefficient $0,10730$ du n° 23 doit toujours être remplacé par $0,29184$, car le rapport de la partie de la surface de la section du ménisque, *fig.* 13, qui est extérieure et correspondante au quart de cercle $Of'e''$ à celle du demi-ménisque, dépend du liquide et de la distance des plaques lorsqu'elles sont mouillées; dans les autres cas, le rapport analogue dépend encore du plus ou moins d'élévation ou d'abaissement du liquide.

25. Avec de l'alcool anhydre, que j'ai préféré à l'eau qui mouille quelquefois difficilement le verre, j'ai obtenu, les 23 et 25 mai et le 5 juillet 1848, les longueurs verticales suivantes, pour les ménisques dans des tubes cylindriques et verticaux en verre, et entre des plaques parallèles et verticales de verre à vitres, aplanies chez M. Lerebours, et entre des glaces.

Les deux premiers jours, je déterminais avec l'appareil décrit au n° 41 de ma *Capillarité* les élévations du dessous et du dessus de chaque ménisque, et le dernier jour je me bornais à observer la longueur verticale de chaque ménisque sur la même tige en verre, dont les divisions sont éloignées de $0^{\text{m}^{\text{m}}}, 4$.

Après avoir écrit chaque résultat, je le vérifiais en recommençant entièrement l'expérience.

Je faisais et je vérifiais les observations à chaque extrémité des tubes et en posant successivement les plaques parallèles sur leurs quatre côtés. Les tubes étaient ceux qui avaient constamment servi pour mes expériences capillaires, à l'exception des deux qui ont pour rayons $0^{\text{m}^{\text{m}}}, 880$ et $0^{\text{m}^{\text{m}}}, 795$. Voyez, n° 23, le moyen employé pour obtenir les distances des plaques parallèles.

Pendant les expériences, la température de ma chambre était de 19° le 23 mai, de $20^{\circ} \frac{1}{4}$ à $20^{\circ} \frac{1}{4}$ le 25 mai, et de $21^{\circ} \frac{1}{4}$ à $22^{\circ} \frac{1}{4}$ le 5 juillet. Les divers corps dont je me servais avaient sensiblement la même température que ma chambre; car j'avais la précaution de les placer tous auprès du thermomètre longtemps avant de commencer les observations.

Dans le tube qui a $1^{\text{mm}},718$ de rayon, j'ai obtenu $4 \frac{1}{2}$ divisions $= 4,5 \times 0,4 = 1^{\text{mm}},8$ le 25 mai, et 5 divisions $= 5 \times 0,4 = 2^{\text{mm}}$ le 5 juillet.

A l'égard des cinq tubes qui ont pour rayons intérieurs $1^{\text{mm}},468$, $1^{\text{mm}},443$, $1^{\text{mm}},431$, $1^{\text{mm}},429$, $1^{\text{mm}},416$, j'ai obtenu 4 divisions $= 4 \times 0,4 = 1^{\text{mm}},6$ le 25 mai et le 5 juillet, à l'exception de l'une des extrémités du dernier tube, qui m'a donné $3 \frac{1}{2}$ divisions $= 3,5 \times 0,4 = 1^{\text{mm}},4$ le 25 mai, et les deux extrémités du premier, qui m'ont donné 4 divisions *plus* quelque chose que je n'ai pas pu estimer, $= 4 \times 0,4 = 1^{\text{mm}},6$ *plus* quelque chose le 5 juillet.

Remarque. J'observais successivement avec ces tubes, comme le hasard me les offrait, sans suivre l'ordre des grandeurs de leurs rayons.

Dans les tubes qui ont $0^{\text{mm}},880$ et $0^{\text{mm}},795$ pour rayons, j'obtins $2 \frac{1}{2}$ divisions $= 2,5 \times 0,4 = 1^{\text{mm}}$ le 25 mai, puis le 5 juillet 3 divisions $= 3 \times 0,4 = 1^{\text{mm}},2$ dans le premier, et 3 divisions *moins* quelque chose dans le deuxième $= 3 \times 0,4 = 1^{\text{mm}},2$ *moins* quelque chose.

Quoique l'on ne puisse guère compter sur l'exactitude des longueurs des petits ménisques, dont on distingue mal les extrémités dans les tubes qui suivent, je vais cependant les donner telles que je les ai estimées à vue d'œil.

Dans le tube qui a pour rayon $\left\{ \begin{array}{l} 0^{\text{mm}},387 \\ 0 \quad ,383 \end{array} \right\}$, j'ai obtenu $\left\{ \begin{array}{l} 1 \frac{1}{2} \\ 1 \end{array} \right\}$ division, qui donne $\left\{ \begin{array}{l} 1,5 \times 0,4 = 0^{\text{mm}},6 \\ 1 \times 0,4 = 0 \quad ,4 \end{array} \right\}$ le 25 mai, et $\left\{ \begin{array}{l} 2 + \\ 2 \end{array} \right\}$ divisions, qui donnent $\left\{ \begin{array}{l} 2 + \times 0,4 = 0^{\text{mm}},8 + \\ 2 \times 0,4 = 0 \quad ,8 \end{array} \right\}$ le 5 juillet.

Entre les plaques parallèles, ces observations sont plus difficiles que dans les tubes, car on ne peut pas au besoin les mettre à côté des divisions du verre pour bien distinguer ces dernières, et par suite déterminer dans cette position celles qui correspondent aux extrémités des longueurs verticales des ménisques.

Lorsque les plaques sont éloignées de 2^{mm} , le dessous du ménisque est trop bas pour que l'on puisse distinguer les divisions qui se trouvent entre lui et l'alcool anhydre élevé à l'extérieur des plaques; cependant j'ai estimé, entre les glaces que M. Lerebours m'avait fournies, la longueur verticale du ménisque à 4 divisions $= 4 \times 0,4 = 1^{\text{mm}},6$, le 5 juillet, en la comparant aux divisions de la tige qui se trouvaient au-dessus de lui; mais entre les verres à vitres, aplanis chez le même artiste, j'estimai le même jour plutôt 3 divisions $= 3 \times 0,4 = 1^{\text{mm}},2$ que 4 divisions $= 4 \times 0,4 = 1^{\text{mm}},6$.

Pour la distance $1^{\text{mm}},5$ j'ai obtenu 3 divisions $= 3 \times 0,4 = 1^{\text{mm}},2$, le 5 juillet, entre les glaces et entre les verres à vitres aplanis; le 25 mai j'avais obtenu $\left\{ \frac{3}{3,5} \right\}$ divisions, qui donnent $\left\{ \begin{array}{l} 3 \times 0,4 = 1^{\text{mm}},2 \\ 3,5 \times 0,4 = 1,4 \end{array} \right\}$, lorsque je mettais les plaques en verres à vitres sur $\left\{ \begin{array}{l} \text{deux de leurs côtés} \\ \text{les deux autres} \end{array} \right\}$.

A 1^{mm} de distance, j'obtins constamment 2 divisions $= 2 \times 0,4 = 0^{\text{mm}},8$, les 23 et 25 mai, avec les verres à vitres, et le 5 juillet avec les glaces ainsi qu'avec les verres à vitres.

Enfin, à la distance $0^{\text{mm}},5$, les ménisques me parurent de 1 division $= 1 \times 0,4 = 0^{\text{mm}},4$, les 23 et 25 mai, ainsi que le 5 juillet, entre les verres à vitres; mais entre les glaces, j'estimai $1 \frac{1}{2}$ division $= 1,5 \times 0,4 = 0^{\text{mm}},6$, le même jour 5 juillet. Entre les verres à vitres je distinguais mieux qu'entre les glaces les extrémités des ménisques.

Remarques. Le 23 mai, je n'observai qu'avec les plaques en verre à vitres éloignées de 1^{mm} et $0^{\text{mm}},5$.

Le 25 mai, j'observai avec tous les tubes et avec les verres à vitres éloignés de $1^{\text{mm}},5$, 1^{mm} , $0^{\text{mm}},5$; car à 2^{mm} je ne voyais pas la division qui correspondait au-dessous du ménisque.

Enfin, le 5 juillet, j'observai avec tous les tubes ainsi qu'avec les verres à vitres et les glaces aux distances 2^{mm} , $1^{\text{mm}},5$, 1^{mm} , $0^{\text{mm}},5$.

Il est bon de rappeler que j'observais toujours à chacune des deux extrémités des tubes et sur les quatre côtés des plaques parallèles.

Les observations précédentes conduisent aux résultats et aux conséquences qui suivent :

1° Dans le tube qui a le rayon moyen $1^{\text{mm}},484$ des six premiers, la longueur moyenne des ménisques est de

$$\frac{1,8 \times 2 + 2 \times 2 + 1,6 \times 2 \times 2 \times 4 + 1,6 \times 3 + 1,4}{6 \times 2 \times 2} = \frac{39,4}{24} = 1^{\text{mm}},642;$$

ce qui donne $\frac{1,642}{2 \times 1,484} = 0,553$ pour le rapport moyen de cette longueur au diamètre;

2° *Id.* $\frac{0,880 + 0,795}{2} = 0^{\text{mm}},8375$ des deux qui suivent, *id.*

$\frac{1 \times 2 \times 2 + 1,2 \times 2 \times 2}{2 \times 2 \times 2} = \frac{8,8}{8} = 1,1^{\text{mm}}$; *id.* $\frac{1,1}{2 \times 0,8375} = 0,657$

id.;

3° *Id.* $\frac{0,387 + 0,383}{2} = 0^{\text{mm}},385$ des deux derniers, *id.*

$\frac{0,6 \times 2 + 0,4 \times 2 + 0,8 \times 2 \times 2}{2 \times 2 \times 2} = \frac{5,2}{8} = 0^{\text{mm}},65$; *id.*

$\frac{0,65}{2 \times 0,385} = 0,844$ *id.*;

4° Entre les plaques éloignées de 2^{mm} , la longueur moyenne des ménisques $\frac{1,6 \times 4 + 1,2 \times 4}{4 \times 2} = \frac{11,2}{8} = 1^{\text{mm}},4$ donne

$\frac{1,4}{2} = 0,7$ pour le rapport moyen de cette longueur à la distance des plaques ;

$$5^{\circ} \text{ Id. } 1^{\text{mm}}, 5, \text{ id. } \frac{1,2 \times 4 \times 2 + 1,2 \times 2 + 1,4 \times 2}{4 \times 2 + 4} =$$

$$\frac{14,8}{12} = 1^{\text{mm}}, 233 \text{ donne } \frac{1,233}{1,5} = 0,822, \text{ id. ;}$$

$$6^{\circ} \text{ Id. } 1^{\text{mm}}, \text{ id. } \frac{0,8 \times 4 + 0,8 \times 4 + 0,8 \times 4 \times 2}{4 + 4 + 4 \times 2} = \frac{12,8}{16} =$$

$$0^{\text{mm}}, 8 \text{ donne } \frac{0,8}{1} = 0,8, \text{ id. ;}$$

$$7^{\circ} \text{ Id. } 0^{\text{mm}}, 5, \text{ id. } \frac{0,4 \times 4 + 0,4 \times 4 + 0,4 \times 4 + 0,6 \times 4}{4 + 4 + 4 + 4} =$$

$$\frac{7,2}{16} = 0^{\text{mm}}, 45 \text{ donne } \frac{0,45}{0,5} = 0,9, \text{ id.}$$

Conséquences qui résultent de ces calculs, à l'égard de chaque liquide et des solides qu'il mouille :

1° Dans les tubes, le rapport de la longueur de chaque ménisque au diamètre *augmente* à mesure que le rayon *diminue* ;

2° Entre les plaques parallèles, le rapport de la longueur de chaque ménisque à leur distance *augmente* à mesure que cette dernière *diminue* ; car le 5° seul forme une anomalie peu sensible ;

3° Dans chaque tube, le rapport ci-dessus est *moindre* qu'entre des plaques dont la distance est *égale* à son diamètre. Les deux rapports diffèrent très-peu dans les petits tubes et entre les plaques les plus rapprochées ; mais cela provient sans doute des erreurs des observations, surtout dans les petits tubes, où les ménisques paraissent souvent assez irréguliers.

On pouvait prévoir le 1° et le 2°, en observant que les colonnes élevées devaient d'autant *plus allonger les ménisques* par rapport aux diamètres ou aux distances des plaques qu'elles étaient *plus longues*.

Le 3^o provient de la diminution du nombre des colonnes, correspondantes à $F'\alpha\beta$, *fig. 10 bis*, que soutient la longueur $\alpha\beta$ du contour intérieur du tube *abcd*, *fig. 11*, à mesure qu'elles s'éloignent des parois ; tandis qu'entre les plaques, ce nombre de colonnes reste le même jusqu'au bas du ménisque. Chaque différence serait sans doute plus grande, si, dans les tubes, les hauteurs moyennes des colonnes n'étaient pas doubles de celles situées entre les plaques, dont les distances sont égales aux diamètres.

FIN.

TABLE DES ARTICLES.

Nos	Pag.
1. Observations générales sur les diverses directions des résultantes des deux actions, qui ont lieu à chaque endroit, et qui proviennent des mouvements de translation et de rotation d'une <i>trombe</i> , selon qu'elle tourne de <i>droite à gauche</i> ou de <i>gauche à droite</i>	1
2. Description et désastres de la <i>trombe</i> de Malaunay et Monville, près Rouen	2
3. Détermination du sens de la rotation de la <i>trombe</i> de Malaunay et Monville, ainsi que de celle de Châtenay.	8
4. Examen de la <i>Note</i> de M. Pouillet et du <i>Rapport</i> des experts sur le <i>météore</i> de Malaunay et Monville.	10
5. Faits qui résultent des descriptions de <i>dix-neuf</i> <i>trombes</i> publiées dans les <i>Ann. de chim. et de phys.</i>	14
6. Réfutation de l'idée que les <i>trombes</i> sont occasionnées par la <i>foudre</i>	15
7. Réflexions sur la théorie de la formation et de l'équilibre des nuages de Ath. Peltier.	16
8. Réflexions sur la théorie électrique de Ath. Peltier.	19
9. Calculs relatifs à la quantité d'eau vésiculaire et aux efforts d'une <i>trombe</i> , et réflexions qui en dépendent.	22
10. 1° Explication des divers effets que produisent les différents corps, organisés ou non, sur les <i>polysulfures d'hydrogène</i> ; 2° Explication des résultats obtenus par M. J. Pelouze, et consignés dans les <i>C. R. H.</i> , t. XVI, p. 43 (1843); 3° Réflexions sur les expériences de M. Pouillet, dont le but était de prouver qu'il y a toujours une élévation de la température, lors du contact d'un liquide avec chacun des solides qu'il mouille.	28
11. Calculs relatifs à la résistance que la cohésion à la surface libre de l'eau oppose à la chute d'un corps non mouillé, et multiplicité des corps non mouillés qui peuvent flotter côte à côte sur le même liquide. Explication d'une expérience de M. F. Donny.	34
12. Examen de la <i>Nouvelle branche de physique</i> de M. Boutigny.	41

Nos	Pag.
13. Expériences sur les effets que le rayonnement d'un corps solide chaud produit sur le cylindre d'un thermomètre :	
1° Lorsque le rayonnement du corps chaud, placé dans l'atmosphère, n'a que l'air à traverser pour échauffer le cylindre d'une thermomètre ;	
2° <i>Id.</i> , est obligé de pénétrer dans l'eau pour échauffer, <i>id.</i> ;	
3° <i>Id.</i> , est obligé de se réfléchir sur l'eau avant d'échauffer, <i>id.</i> , et conséquences qui en résultent.	45
14. Suite du n° 12.	54
15. Faits ordinaires et analogues à ceux qui ont conduit M. Boutigny à proposer un <i>quatrième état des corps</i>	63
16. L'expression de <i>liquide à l'état sphéroïdal</i> doit être rejetée. . .	65
17. Indication de ce qui appartient à M. Boutigny,	65
18. Réflexions sur la congélation du mercure dans un vase chaud. . .	66
19. Équations de la section de la surface de chaque ménisque, situé entre deux plaques parallèles et verticales, par un plan vertical qui leur est perpendiculaire.	67
20. Équations de la section principale et verticale de la surface de chaque ménisque, situé dans un tube cylindrique et vertical	72
21. Cas dans lesquels les angles que font avec l'horizon les tangentes aux extrémités des sections principales des divers ménisques sont sensiblement égaux entre eux.	76
22. Expression générale au moyen de laquelle on détermine les angles que font avec l'horizon les tangentes aux extrémités des sections principales des divers ménisques.	80
23. Expériences capillaires entre deux plaques parallèles, verticales et mouillées, et détermination approchée de la composante verticale qui en résulte pour soutenir le liquide élevé.	81
24. Détermination et construction de la section de la surface d'un ménisque entre deux plaques parallèles, verticales et mouillées par un plan vertical qui leur est perpendiculaire, et diverses conséquences qui en résultent.	82
25. Indication des différents résultats obtenus, en déterminant les longueurs verticales des ménisques dans des tubes et entre des plaques parallèles, et diverses conséquences que l'on en déduit,	92

FIN DE LA TABLE.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET C^o,
Rue Racine, 22, près de l'Odéon.

