H. F. u f. 167 (6, 3)

N° D'ORDRE
199.

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES,

PAR M. C. WOLF.

THÈSE DE PHYSIQUE. — DE L'INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LES PHÉNOMÈNES QUI SE PASSENT DANS LES TUBES CAPILLAIRES.

Propositions soutenues le vendredi 19 décembre 1856 devant la Commission d'examen.

MM. DESPRETZ, *Président.*

BALARD, P. DESAINS, } *Examinateurs.*

PARIS,

MALLET-BACHELIER, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DE L'ÉCOLE IMPÉRIALE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES,

Quai des Augustins, 55.

1856.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

ACADÉMIE DE PARIS.

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

DOYEN	MILNE EDWARDS, Professeur.	Zoologie, Anatomie, Physiologie.
PROFESSEURS HONORAIRES.	Le baron THENARD.	
	BIOT.	
	PONCELET.	
PROFESSEURS.	N	Géologie.
	DUMAS	Chimie.
	DESPRETZ	Physique.
	N	Mécanique.
	DELAFOSSE	Minéralogie.
	BALARD	Chimie.
	LEFÉBURE DE FOURCY	Calcul différentiel et intégral.
	CHASLES	Géométrie supérieure.
	LE VERRIER	Astronomie physique.
	DUHAMEL	Algèbre supérieure.
	CAUCHY	Astronomie mathématique et Mécanique céleste.
	GEOFFROY-SAINT-HILAIRE.	Anatomie, Physiologie comparée, Zoologie.
	LAMÉ	Calcul des probabilités, Physique mathématique.
	DELAUNAY	Mécanique physique.
	PAYER	Botanique.
	C. BERNARD	Physiologie générale.
	P. DESAINS	Physique.
AGRÉGÉS	BERTRAND	Sciences mathématiques.
	J. VIEILLE	
	MASSON	Sciences physiques.
	PELIGOT	
	DUCHARTRE	Sciences naturelles.
SECRÉTAIRE	E. PREZ-REYNIER.	

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

THÈSE

DE PHYSIQUE.

DE L'INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE

SUR LES PHÉNOMÈNES

QUI SE PASSENT DANS LES TUBES CAPILLAIRES;

PAR M. C. WOLF.

Les phénomènes capillaires ont, depuis leur découverte, constamment exercé la sagacité des physiciens, et il est peu de parties de la physique dont les faits principaux aient été aussi souvent reproduits dans les cours et dans les expériences particulières. Mais peut-être, pour cette cause même, les lois expérimentales de ces phénomènes sont encore très-mal connues : chaque physicien ayant, par des observations passagères, constaté approximativement l'exactitude des lois généralement admises, on a rejeté sur le compte des erreurs d'expérience les divergences qui pouvaient se présenter, et l'on a rarement senti le besoin de soumettre l'ensemble des phénomènes à une vérification méthodiquement ordonnée. Ainsi, depuis Gay-Lussac, il s'est trouvé bien peu d'observateurs qui aient tourné leur attention d'une manière suivie vers les phénomènes capillaires. Aujourd'hui cependant des exemples illustres ont

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

montré la nécessité de reprendre en sous-œuvre les travaux exécutés à l'origine de la science, avec exactitude sans doute, mais à l'aide de méthodes et d'instruments moins parfaits que ceux que nous possédons maintenant. Et sans prétendre ici répondre à l'invitation adressée aux physiciens par l'Académie des Sciences, j'essaye d'apporter aussi mon tribut, et de prendre part à la vérification de la théorie des phénomènes capillaires.

La gloire de la découverte de ces phénomènes, attribuée par Boyle aux physiciens français, parait devoir être reportée à l'un des fondateurs de la célèbre Académie del Cimento, Nicolas Agginuti, mort en 1635. Quoi qu'il en soit, l'explication de ces faits donna naissance dès lors à un très-grand nombre de théories, et par suite à de nombreuses expériences. Les théories sont tombées, mais les expériences sont restées, et les faits observés par Hauksbée, Musschembroeck, le P. Fabry, le P. Abat, Taylor, Voitbrecht et Jurin, sont encore aujourd'hui la base presque unique des lois universellement admises. Je n'ignore pas que de nombreux, que d'illustres physiciens ont depuis tourné leur attention sur ce même sujet, et apporté aux théories de Laplace, de Gauss, de Poisson, l'appui de nombreuses expériences. Mais par cela même que ces observateurs ont eu en vue la vérification de ces théories, leurs efforts se sont concentrés sur certaines conséquences qu'elles mettaient en relief, laissant de côté les fondements mêmes, les principes hypothétiques de ces théories: et si parfois ils ont trouvé les faits en désaccord avec la théorie mathématique, ils peuvent alors encourir le reproche de n'avoir pas cherché la cause réelle de ce désaccord, aimant mieux supposer que les conditions des expériences les plaçaient en dehors de ces théories.

Quelques physiciens allemands me paraissent avoir mieux compris la marche à suivre dans l'étude des phénomènes capillaires, lorsqu'ils ont porté surtout leur attention vers

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

un point presque négligé par la théorie, l'influence que peut exercer la température. Si l'on peut espérer arriver quelque jour à la connaissance expérimentale des lois élémentaires des actions moléculaires, c'est, ce me semble, par l'étude des variations qu'éprouvent ces actions sous l'influence de la chaleur. Ces actions sont, en effet, la résultante de deux forces antagonistes : la force attractive et la force répulsive des molécules de même nature ou de nature différente. Or, de ces deux forces nous ne pouvons faire varier la première qu'en faisant varier la nature des corps, et ces variations ne sont soumises à aucune loi connue. La seconde, au contraire, peut subir toutes les variations sans que les autres circonstances du phénomène soient altérées, et particulièrement la nature des corps mis en présence.

Et même si nous laissons de côté cette première cause de l'importance, peut-être exagérée, de l'étude de l'influence de la température, nous remarquerons encore que dans les expériences il est à peu près impossible d'opérer toujours à une température fixe, et que les résultats obtenus ne peuvent être rendus comparables que lorsqu'on aura trouvé expérimentalement l'influence de ces variations de température ; à moins qu'on ne trouve plus commode de la nier, comme l'ont fait quelques observateurs, ou de n'en tenir aucun compte, en admettant que des variations de quelques degrés dans la température n'influent pas d'une manière sensible sur les résultats observés. Mais les expériences déjà publiées, celles que je vais présenter, montrent de reste que la précision que l'on cherche aujourd'hui dans les expériences serait tout à fait illusoire si l'on négligeait cette cause d'erreur, dont l'influence peut aller jusqu'à faire varier dans la mesure des hauteurs les dixièmes de millimètre, pour une variation d'un degré dans la température, tandis que l'on veut pousser l'approximation jusqu'aux centièmes.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

J'ai donc cru devoir porter mon attention tout d'abord sur ces phénomènes, et peut-être les résultats auxquels je suis arrivé justifieront-ils la convenance de mon choix.

HISTORIQUE.

Le premier Mémoire où j'ai trouvé une indication précise de l'action de la chaleur sur l'ascension de l'eau dans les tubes, est la dissertation de Lalande, imprimée en 1768 dans le *Journal des Savants*. Il y constate que l'eau s'élève moins lorsqu'elle est chaude ou lorsqu'on échauffe le tube avant de faire l'expérience. Mais ce simple énoncé du fait doit faire croire que ce résultat n'était point nouveau, et avait déjà cours dans la science.

Depuis, un très-grand nombre de physiciens se sont occupés de ce sujet. M. Frankenheim, dans son *Traité de la cohésion*, M. Brünner dans son *Mémoire sur la cohésion des liquides*, ont donné des listes très-complètes de ces différents travaux; mais la plupart des observateurs n'ont porté qu'accidentellement leur attention vers ces phénomènes. Je m'arrêterai uniquement ici sur les travaux entrepris dans le but spécial de constater l'influence de la température.

La loi suivant laquelle doit avoir lieu la variation de la hauteur capillaire avec la température avait été déduite par Laplace et par Poisson de leurs théories, mais seulement pour les liquides qui mouillent les tubes. De cette hypothèse, que le liquide adhère alors aux parois du tube et y forme une gaine cylindrique, dans laquelle s'élève le reste de la colonne capillaire, découle cette conséquence, que la forme de la surface libre reste la même à toute température : de là, et d'une autre supposition dont je parlerai plus loin, la conclusion que la hauteur de la colonne liquide soulevée est en raison de la densité du liquide. Quant aux liquides qui ne mouillent pas les tubes, la théorie ne pouvait évidemment indiquer aucune loi, la forme de la surface con-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

vexe variant aussi bien que la densité, par suite de la variation de température.

M. Emmett (1) a fait, pour vérifier ces résultats théoriques, quelques expériences sur des tubes dont le diamètre variait de 0,016 à 0,030 de pouce anglais. Il plongeait ces tubes dans le liquide échauffé à diverses températures, et y soulevait le liquide par aspiration pour le laisser redescendre. Voici les résultats qu'il a obtenus :

		po. dix	
Eau (pure et privée d'air)	froide.....	2.4,5	
	bouillante..	2.0,5	Moy. de 3 exper.
Esprit-de-vin.....	froid.....	0.9,5	
	bouillant...	0.8,75	2 expériences
Eau.....	à 70 degrés.	2.1,0	
	dans la neige	2.2,5	
	bouillante..	1.8,0	
Acide sulfurique faible	froid.....	2 0,5	
Id.	presque bouillant.....	1.9,0	
Id.	refroidi jusqu'à être tiède.	2.0,0	
Id.	bouillant rapidement.....	1.8,0	
Id.	presque froid.....	2.0,5	

Ces expériences sont trop peu nombreuses et trop peu exactes pour établir une loi ; mais elles font voir que la hauteur diminue quand la température s'élève, et que la diminution est généralement faible.

M. Emmett pense que la dépression du mercure dans les tubes doit augmenter avec la température, la cause probable de cette variation de longueur des colonnes capillaires étant, dit-il, l'augmentation de répulsion calorifique entre le solide et le liquide.

Plus loin (2), M. Emmett revient sur ces mêmes expériences, et énonce deux faits qui présenteraient un grand intérêt, s'ils étaient exacts.

---

(1) *Philosophical Magazine*, 1817, tome I, page 115.

(2) Loco citato, page 332.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

1°. La dépression due à l'élévation de température est la même lorsqu'on chauffe seulement le sommet de la colonne ou la totalité du liquide.

2°. La densité du liquide paraît sans influence : on peut chauffer la colonne capillaire sans qu'aucun effet sensible se produise, pourvu que la température des couches supérieures ne varie pas.

M. Frankenheim, dans son remarquable Traité sur la cohésion, rapporte quelques expériences qu'il avait faites avant 1835 à des températures élevées. Mais il ne leur avait pas encore donné le degré d'exactitude qu'elles comportent. Il remarque avec raison qu'il ne suffit pas de placer le tube dans le liquide, de chauffer celui-ci, et d'observer au même moment le thermomètre et la colonne capillaire. Mais on doit ramener à une hauteur toujours constante le niveau qui varie incessamment par l'action immédiate de la température et par l'évaporation, entretenir toujours mouillé le tube dans lequel les différences de température ont une notable influence sur les mouvements de la colonne liquide, et prendre soin que sa température soit égale à celle du liquide dans lequel plonge le tube. En outre, les bulles d'air et de vapeur produisent parfois un équilibre constant en apparence et trop élevé. Les changements qui surviennent dans le diamètre du tube ont pour effet de diminuer la hauteur de la colonne, et peuvent être ou corrigés, ou, puisqu'ils atteignent à peine 0,01 pour 100 degrés, complétement négligés.

Ce même physicien reprit ses observations avec M. Sondhauss (1), et, pour éviter les causes d'erreur que je viens d'énumérer, ils employèrent un tube en siphon plongé dans un bain de manière que le liquide de ce bain recouvrait complétement le ménisque. Ce siphon était formé d'une branche étroite de $0^{mm},15$ à $0^{mm},40$ de diamètre, et d'une

(1) *Journal d'Erdmann et Marchand*, 1841, tome XXIII, page 401.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

autre plus large de 5 à 7 millimètres. Une formule compliquée servait à ramener la hauteur à ce qu'elle eût été dans un tube de 1 millimètre de diamètre, plongeant dans un vase très-large. Cette formule suppose sphérique la surface dans chacun des deux tubes. Les expériences furent faites sur l'eau de 0 à 100 degrés. M. Frankenheim les reprit seul ensuite, et les étendit à plusieurs autres liquides, l'alcool, l'éther ordinaire, l'éther acétique, le sulfure de carbone et l'acide sulfurique.

Plus tard, il modifia encore son appareil (1) et se servit d'un système composé d'un tube assez large (6 millimètres au moins de rayon) fermé à un bout, dans lequel était le liquide, et d'un tube capillaire de $0^{mm},3$ de rayon fixé exactement dans l'axe du premier. Les petites dimensions de la cuvette ainsi formée rendaient nécessaire une correction qui n'était guère possible qu'à la condition d'un centrage parfait du petit tube, l'élévation du liquide dans l'espace annulaire étant alors la même dans un tube dont le rayon serait la différence entre le rayon extérieur du tube capillaire et le rayon intérieur du tube large. On éviterait cette correction en donnant à ce dernier un grand diamètre; mais alors une plus grande quantité de liquide deviendrait nécessaire, et l'on augmenterait encore la principale difficulté de ces observations, l'établissement de l'uniformité de température.

Le procédé des siphons a encore été appliqué à l'étude de la capillarité du mercure par M. Frankenberg (2). Les observations sur ce liquide présentent de grandes difficultés. Si l'on fait mouvoir le mercure dans le tube pour l'amener à sa véritable position d'équilibre, il se divise en globules qui adhèrent aux parois. La surface du ménisque éprouve des changements fréquents dans sa forme, surtout dans un

(1) *Poggendorff's Annalen*, 1847, tome LXXII, page 177.
(2) *Poggendorff's Annalen*, tome LXXV, page 229.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

tube qui peut se mouiller au contact de l'air humide. De sorte qu'au-dessous de 100 degrés les résultats sont peu certains. Les observations font voir néanmoins que la dépression du mercure augmente avec l'élévation de température.

Ces diverses recherches démontraient bien que, pour les liquides qui mouillent le verre, la hauteur capillaire diminue quand la température s'élève. Mais les corrections que demandaient les résultats directs des observations y introduisaient une assez grande incertitude pour que la question de l'accord entre la théorie et l'expérience restât encore pendante. Le décroissement de hauteur suit-il la loi de la raison de la densité, ou une loi plus rapide? Telle est la question que s'est posée M. Brünner.

De tous les liquides propres à la résoudre, l'eau se présente comme le plus convenable, à cause de l'anomalie que présente sa dilatation entre les points de congélation et d'ébullition. Il n'est plus nécessaire en effet de demander à l'observation des mesures d'une valeur absolue exacte, mais il suffit de suivre la marche du phénomène aux environs du maximum de densité, un maximum de hauteur capillaire devant, d'après la théorie, coïncider avec le maximum de contraction de l'eau.

M. Brünner (1) a suivi dans ses recherches la méthode directe, employée déjà par Gay-Lussac. Un vase cylindrique en verre à paroi régulière contenait le liquide dans lequel plonge le tube capillaire. Il était entouré d'un autre vase annulaire de fer-blanc, rempli d'huile et percé de deux fenêtres de 4 lignes de large permettant d'apercevoir le liquide et la colonne soulevée. Une pointe fixe déterminait la hauteur constante à laquelle on amenait toujours le niveau du liquide dans le vase, par l'immersion plus ou moins complète d'une masse de verre suspendue à un crin, et qui

(1) *Poggendorff's Annalen*, 1847, tome LXX, page 181.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

servait en même temps d'agitateur. Des thermomètres plongeaient dans le liquide, d'autres étaient placés près du tube, et l'observation ne se faisait que lorsqu'ils indiquaient tous la même température. Enfin, à chaque observation, le tube était mouillé par aspiration au moyen d'un tube plus large et recourbé, plein de coton et de chlorure de calcium.

Les expériences furent faites sur l'eau, l'éther et l'huile d'olive. On ne peut employer l'acide sulfurique, qui absorbe l'humidité de l'air. Pour comparer les résultats à la théorie, M. Brünner déduit de la hauteur observée, celle à laquelle le liquide s'élèverait à la même température dans un tube de 1 millimètre de rayon, en se fondant sur la formule de Laplace et de Poisson

$$H = \alpha\left(h + \frac{\alpha}{3}\right),$$

dans laquelle h est la hauteur observée dans le tube de rayon α. Ce rayon varie avec la température : M. Brünner tient compte de cette variation.

Les résultats ainsi obtenus sont représentés très-exactement par les formules suivantes :

Eau.....	$h =$	$15^{mm},33215 - 0,0286396\,t$;
Éther.....	$h =$	$5,3536 - 0,028012\,t$;
Huile.....	$h =$	$7,4610 - 0,010486\,t$.

Si l'on compare les hauteurs données par ces formules à celles que l'on peut déduire de la loi théorique, on voit que le décroissement suit une loi beaucoup plus rapide que celle de la densité. Ainsi, à 100 degrés, la hauteur de l'eau dans le tube de 1 millimètre de rayon est,

D'après la loi théorique.....	$14^{mm},6896$
D'après la formule empirique.	$12,4682$

On a de même pour l'éther sulfurique à 30 degrés, les hauteurs $5^{mm},1102$, et $4^{mm},5132$, la première étant calculée d'après la formule de dilatation de l'éther sulfurique donnée

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

par M. I. Pierre (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XV, page 362). En se servant de même de la formule de dilatation de l'huile d'olive calculée par M. Hermann Kopp (*Annalen der Chemie und Pharmacie*, tome XCIII), on trouve pour ce liquide à 100 degrés,

	mm
D'après la loi théorique.....	6,92294
D'après la loi empirique.....	6,4124

La loi de Laplace et de Poisson est donc bien loin de s'accorder avec les résultats de l'expérience.

Cependant la formule indiquée pour l'eau n'est pas exacte aux environs du maximum de densité. Par un très-grand nombre d'expériences faites entre 0 et 8 degrés sur le tube qui avait déjà servi aux observations précédentes, M. Brünner a reconnu que de 0 à 4 degrés le coefficient de décroissement est plus grand qu'à des températures plus élevées, et qu'il devient à peu près 0,0377 au lieu de 0,0286. Ce résultat s'explique, d'après M. Brünner, en observant que la force qui soulève la colonne liquide est, à chaque température, mesurée par la hauteur de la colonne elle-même, mais que cette hauteur, à cause du changement de poids spécifique du liquide, est rapportée à une unité variable avec la température. Depuis les hautes températures jusqu'à 4 degrés, la force qui soutient le liquide augmente, et en même temps la densité de la colonne qui sert de mesure; au contraire, au-dessous de 4 degrés, la force d'ascension croît toujours, tandis que la mesure elle-même est en décroissance : les hauteurs doivent donc croître plus rapidement.

Depuis les expériences de M. Brünner, les seuls travaux de la capillarité qui soient venus à ma connaissance sont ceux de Simon de Metz, terminés en 1841, mais publiés seulement en 1851 (1), et un Mémoire de M. Bède, professeur agrégé à l'Université de Liége, sur l'ascension de l'eau

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, tome XXXII, page 5.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

et la dépression du mercure dans les tubes capillaires (1).

Simon de Metz a suivi dans ses recherches un procédé très-indirect, dont j'aurai tout à l'heure à discuter la valeur. Il consiste essentiellement à refouler le liquide dans le tube, au moyen d'air comprimé qu'on fait arriver par l'orifice supérieur, jusqu'à ce qu'une bulle de gaz sorte par l'orifice inférieur. A ce moment, la hauteur du même liquide, qui mesurerait la pression de l'air, diminuée de la quantité dont le tube plonge dans le liquide, donne la quantité dont s'élèverait celui-ci dans un tube ayant le diamètre que présente le tube à son orifice inférieur. En faisant varier la température de la capsule dans laquelle plonge le tube capillaire, on aura les hauteurs aux différents degrés de l'échelle thermométrique.

Les résultats ainsi obtenus ne s'accordent nullement avec ceux de M. Brünner. Tandis que le rapport des hauteurs à 0 et 100 degrés est, d'après ce dernier observateur, 1,2288, il est, d'après Simon, 1,343. La théorie indiquerait 1,04292, rapport des densités à ces deux températures. Je ne sais comment Simon a pu conclure de là que l'ascension est en raison directe de la densité, ou en raison inverse de l'écartement des molécules, erreur qui se trouve répétée dans quelques excellents ouvrages élémentaires.

Loin de vérifier la loi théorique, ces résultats lui sont plus contraires encore que ceux de M. Brünner.

Simon a reconnu en outre que la marche régulière du phénomène n'est nullement altérée soit dans le voisinage du point d'ébullition, soit dans celui du maximum de densité de l'eau. Ce dernier résultat est encore en opposition avec la remarque faite par M. Brünner; mais Simon ne paraît pas avoir cherché à calculer la loi de décroissement de la hauteur en fonction de la température, et l'augmentation

(1) *Mémoires de l'Académie de Bruxelles* (savants étrangers), tome XXV, 1852.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

que subit le coefficient du décroissement aux environs de 4 degrés a dû nécessairement lui échapper. Il a confirmé d'autre part cette ancienne observation de M. Emmett, que la hauteur du liquide dépend surtout de la température du ménisque, ou de l'état des molécules qui forment le sommet de la colonne d'eau.

Le Mémoire de M. Bède a pour but principal de montrer que l'attraction moléculaire n'est pas, comme on l'admet généralement, insensible à toute distance sensible. Il n'a donc qu'un rapport éloigné avec le sujet que je traite, et je ne puis dire que quelques mots de ce travail.

M. Bède a appliqué à des recherches sur le mercure et sur l'eau le procédé des siphons à branches d'inégal diamètre, et la méthode directe de Gay-Lussac. Mais, n'ayant pas pour but de constater l'influence des variations de la température, il a le plus souvent négligé les effets qui en pouvaient résulter. Et cela même peut faire concevoir des doutes sur l'exactitude des résultats auxquels il est arrivé. C'est ainsi qu'ayant opéré sur le mercure à des températures variables de 16°,8 à 21°,9, sur l'eau de 13°,1 à 16°,9, il a trouvé ou des nombres presque identiques à des températures différentes, ou des nombres notablement différents malgré la constance de la température. Je citerai seulement quelques résultats.

Mercure, températ.	16°,8	17°,8	19°,2	21°,9	18°,5	20°,4
Tube de $0^{mm},0472$ de rayon. Dépress.	106mm,20	103mm,40	107mm,70	107mm,75	108mm,25	108mm,30
Tube de $0^{mm},199$ de rayon. Dépress.	25mm,65	25mm,40	22mm,95	23mm,05	22mm,85	22mm,95

tandis que, pour le premier tube, la dépression augmente en général avec la température; pour le second, elle décroît d'une quantité très-notable.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

Eau, température.....	16°,9	16°,6	14°,0	13°,4	13°,8	13°,1
Tube de 0mm,115, hauteur.	134mm,20	138mm,65	138mm,65	138mm,30	140mm,75	140mm,90
Tube de 0mm,487.....	29mm,95	30mm,05	30mm,10	30mm,35	29mm,90	29mm,50

De telles divergences dans les résultats ne permettent d'en déduire aucune loi. Elles me semblent d'ailleurs avoir leur cause dans le procédé même d'observation adopté par M. Bède. Ce physicien ayant remarqué que le mercure et l'eau ne peuvent atteindre leur position normale d'équilibre dans un tube capillaire qu'au bout d'un temps très-long, abandonnait ses appareils à eux-mêmes, pendant vingt-quatre heures, avant de faire l'observation. Or, pendant ce temps, aucune précaution n'était prise contre les variations de température qui avaient pour effet tantôt de déprimer la colonne, tantôt de la soulever, ni contre l'évaporation dans le cas de l'eau, le dépôt d'humidité sur le verre lorsqu'il s'agissait de mercure. Ce fait seul que l'eau n'atteignait pas immédiatement dans les tubes sa position stable d'équilibre suffirait d'ailleurs, comme je le ferai voir, pour infirmer les résultats obtenus.

On voit, par ce résumé des divers travaux entrepris sur la capillarité, que les observateurs ont suivi dans leurs recherches trois méthodes bien distinctes :

1°. La méthode directe, ou celle de Gay-Lussac ;

2°. Le procédé des siphons, auquel je rattacherai la seconde méthode de M. Frankenheim ;

3°. Le procédé indirect de Simon de Metz.

Quelle est la valeur de ces différents procédés ? Quels en sont, pour le cas où l'on veut observer à différentes températures, les avantages et les inconvénients ?

La méthode directe a sur toutes les autres l'immense avantage de n'exiger aucune correction toujours incertaine, et de ne reposer sur aucun principe contestable. C'est bien évidemment celle à laquelle on doit avoir recours toutes les

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

fois qu'il sera possible; mais son usage présente quelques difficultés.

1°. Le vase qui contient le liquide doit présenter une large section, afin que la surface liquide puisse être considérée comme plane dans une certaine étendue; mais il devient difficile alors d'obtenir une uniformité parfaite de température, toute agitation du liquide étant nécessairement interdite par la nature même des expériences. De plus, dès que la température est assez élevée, l'évaporation rapide du liquide rend toute observation impossible, puisque le niveau dans le vase varie pendant la durée même de l'observation. M. Brünner n'indique aucune précaution contre cette cause d'erreur, qu'il a dû cependant constater surtout dans ses expériences sur l'éther.

2°. Il est nécessaire que la colonne de liquide soulevée dans le tube capillaire soit en tous ses points à la même température que le bain dans lequel plonge le tube, condition difficile à remplir dès que cette température diffère de la température ambiante. Il est vrai que, d'après M. Emmett, cette uniformité ne serait nullement nécessaire, la hauteur capillaire ne dépendant que de la température du ménisque et point de la densité des autres portions de la colonne soulevée. Ce principe, s'il était vrai, donnerait aux expériences une simplicité telle, que j'ai dû tout d'abord le soumettre à une vérification rigoureuse.

Un tube capillaire, parfaitement net, plonge dans une capsule pleine d'eau, que l'on peut échauffer au moyen d'une lampe à alcool. Ce tube est entouré, dans toute sa longueur, de deux manchons de verre cylindriques, dont l'un a une longueur presque égale à celle de la colonne liquide soulevée; l'autre, beaucoup plus court, n'enveloppe que le sommet de cette colonne. Des tubes de verre recourbés, adaptés dans les bouchons de liége qui ferment ces manchons haut et bas, permettent d'y faire passer à volonté un courant d'eau froide ou d'eau chaude.

On fait d'abord passer dans le manchon le même cou-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

rant d'eau à la température ambiante, et l'on vise avec la lunette d'un cathétomètre le bas du ménisque. Si alors on échauffe la colonne liquide, en maintenant le sommet et la capsule à la température primitive, on observe immédiatement une ascension du ménisque. Bien que je n'aie pu prendre de mesures exactes, la longueur de la portion échauffée ne pouvant être rigoureusement déterminée, j'ai toujours trouvé cette ascension à peu près égale à celle qui résulterait de la dilatation de la portion de colonne échauffée.

Le courant d'eau chaude traversant ensuite les deux manchons, le sommet de la colonne s'abaisse d'une quantité considérable; et cet abaissement augmente encore, comme on le prévoit et d'après ce qui vient d'être dit, lorsque l'on ramène à la température ambiante la portion moyenne du tube capillaire.

Il suit de là que l'état moléculaire du sommet de la colonne liquide, tout en ayant sur l'équilibre de cette colonne l'influence principale, ne le détermine pas entièrement, et qu'il est de toute nécessité d'avoir dans toute la hauteur une uniformité parfaite de température.

Cette uniformité doit exister aussi entre la température de la capsule et celle du tube; car si l'on chauffe l'eau de la capsule en maintenant le tube capillaire à la température primitive par un courant d'eau froide, on observe que le ménisque s'abaisse d'une manière sensible, bien que toujours faible. Cette dernière circonstance, jointe à cette considération que cette égalité de température est difficile à obtenir entre deux masses aussi inégales de liquide, m'a engagé à rechercher les limites entre lesquelles la différence des températures du bain et du tube n'affectait pas les résultats d'une erreur sensible.

Les expériences ont été faites avec l'appareil même qui m'a servi dans la détermination de la loi des hauteurs, et qui sera décrit plus loin. Le tube étant entretenu à une

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

température constante, on échauffait l'eau du bain et l'on mesurait la hauteur capillaire au moyen d'un cathétomètre donnant le cinquantième de millimètre ; puis cette hauteur était comparée à celle que l'on aurait obtenue si la température eût été uniforme, et que l'on déduisait de la formule empirique. Voici le tableau des résultats.

TEMPÉRATURE du tube.	TEMPÉRATURE du bain.	HAUTEUR		DIFFÉRENCE	
		observée.	calculée.	des températures.	des hauteurs.
0	0	mm	mm	0	mm
5,64	5,64	100,745	100,749	0,00	+ 0,004
5,89	10,00	100,705	100,703	+ 4,11	— 0,002
5,71	18,01	100,745	100,736	+ 12,30	— 0,009
5,78	20,78	100,725	100,723	+ 15,00	— 0,002
5,94	22,94	100,685	100,693	+ 17,00	+ 0,008
7,26	33,00	100,395	100,451	+ 25,74	+ 0,056
6,07	34,00	100,625	100,670	+ 27,93	+ 0,045
5,79	44,00	100,675	100,721	+ 38,21	+ 0,046
5,94	55,00	100,625	100,694	+ 49,06	+ 0,069
5,97	57,00	100,635	100,688	+ 51,03	+ 0,053
6,00	57,00	100,615	100,683	+ 51,00	+ 0,068

On voit par là que pour des différences de température inférieures à 20 degrés environ, les différences des hauteurs restent comprises dans les limites des erreurs possibles, puisqu'elles n'atteignent pas un centième de millimètre. L'erreur résultant d'une différence de température de 58 degrés correspondrait pour le tube employé à une erreur de 0°,4 sur la température de la colonne liquide. Si donc il est absolument essentiel que le tube capillaire ait en tous ses points la même température, on voit que la même nécessité n'existe pas pour la température du tube et celle du bain.

On ne rencontre pas les mêmes difficultés dans l'emploi d'un siphon à branches de diamètres très-inégaux ; car l'appareil peut être complétement plongé dans un bain de température uniforme et constante, et l'on pourrait même

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

assez facilement éviter toute communication avec l'air extérieur et toute évaporation. Mais la nécessité de viser alors directement avec la lunette du cathétomètre les deux niveaux dans les deux tubes, ne permet pas de donner au plus large un diamètre assez grand pour éviter tout effet de capillarité. De là une correction très-incertaine : car s'il est possible par des expériences directes de mesurer la quantité dont s'élève le liquide dans le tube le plus large à la température ambiante, cette détermination devient difficile à une température élevée. Et je ne sais si jamais les observateurs se sont occupés de cette variation nécessaire de la correction : variation dont la loi est précisément celle que l'on cherche, de sorte qu'à prendre les choses en toute rigueur, la recherche de la loi par ce procédé suppose la connaissance de la loi elle-même. Je montrerai plus loin comment ce problème peut être néanmoins directement résolu par l'expérience, et le procédé rendu complétement indépendant.

Cette méthode est cependant la seule que l'on puisse appliquer aux liquides opaques, comme le mercure, qui se dépriment dans les tubes capillaires. La correction employée par les observateurs a été alors le plus souvent déduite des Tables données par Laplace.

Les mêmes observations doivent être faites sur l'emploi d'un tube large formant cuvette, et dans l'axe duquel on fixe le tube capillaire ; la correction devient même bien plus incertaine, si l'on emploie comme M. Frankenheim des tubes de 6 millimètres de rayon, le moindre défaut de centrage du tube intérieur changeant la forme du ménisque annulaire, et par suite la valeur de la correction. Mais pour certains liquides très-volatils, comme l'éther sulfurique, ce procédé peut devenir très-précieux.

Ces méthodes présentent donc dans leur application des difficultés expérimentales réelles, mais du moins le principe en est incontestable. On n'en peut dire autant de celle

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

qu'a imaginée Simon de Metz, et qu'il a appliquée surtout aux tubes très-étroits. Par des expériences qu'il ne rapporte pas, cet observateur prétend bien avoir constaté l'identité des résultats obtenus par son procédé et par la méthode directe. Mais cette identité paraît néanmoins contestable, surtout pour le cas où l'expérience n'a pu la vérifier, celui des tubes très-fins, alors précisément que le procédé devient utile. M. Bède fait remarquer que la pression de l'air comprimé dans le tube doit vaincre « non-seule-
» ment l'attraction du tube sur l'eau, mais encore l'attrac-
» tion du tube sur la colonne d'air qui s'avance en repous-
» sant la colonne d'eau. En un mot, l'excès de pression de
» l'air du réservoir doit non-seulement vaincre la capilla-
» rité de l'eau, mais encore la capillarité de l'air, en in-
» terprétant ce mot de capillarité dans le sens d'adhérence.
» Donc la pression de l'air dans le réservoir est plus forte
» que la force qui tend à soulever l'eau, et la colonne d'eau
» du manomètre est plus considérable que celle qui s'élè-
» verait dans le tube. »

J'avoue ne pas bien comprendre le sens de cette objection. Si M. Bède veut parler de l'adhérence de l'air contre les parois du tube, d'où naîtraient des frottements et des obstacles au mouvement de cet air, l'objection tombe d'elle-même, puisque l'observation se fait lorsque l'équilibre est établi.

On peut, à mon sens, faire au procédé de Simon des objections plus sérieuses.

En effet, la théorie suppose toujours, pour établir l'équation d'équilibre du liquide, la constance de l'angle de raccordement de la surface du liquide et de celle du tube, et cette condition n'est plus remplie près d'une arête vive. M. Bertrand a appliqué la théorie de Gauss à un cas à peu près semblable à celui qui nous occupe (*Journal de Liouville*, tome XIII, page 204); et il a fait voir qu'il existe pour le ménisque près d'une arête vive une infinité de formes

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

d'équilibre : c'est le cas de l'expérience du P. Abat. C'est aussi ce que j'ai vérifié directement pour le procédé de Simon.

Dans ce mode d'observation, lorsque le ménisque est arrivé au bas du tube, la forme de la surface liquide change progressivement jusqu'à ce que la bulle d'air puisse s'échapper; et il est clair que la pression doit aussi changer progressivement, sans que l'on puisse déterminer quelle est la valeur que l'on doit adopter. J'ai étudié directement ces variations de forme du ménisque au moyen d'un tube de 1 millimètre environ de diamètre intérieur et à parois très-épaisses. Ce tube était mastiqué dans une pièce à trois branches, par l'une desquelles s'exerçait la pression de l'air, et dont la dernière portait un second tube plongeant à une grande profondeur dans un large vase rempli d'eau. La pression se trouvait ainsi mesurée à chaque instant par la dépression du liquide dans ce dernier tube au-dessous du niveau constant dans le grand vase. En ouvrant peu à peu le robinet du réservoir d'air, on fait descendre le ménisque jusqu'au bas du tube ; la pression augmentant toujours, mais très-lentement, on voit la surface du liquide se creuser de plus en plus et finir par prendre la forme d'une sphère aplatie, dont le rayon horizontal est à peu près égal au rayon extérieur du tube. Alors seulement la bulle s'échappe, et le liquide remonte subitement dans le tube à une hauteur variable, mais qui atteint quelquefois 3 millimètres. Pour un semblable tube, le procédé ne peut donc rien donner puisqu'il existe, pendant la dépression, une infinité de positions d'équilibre, et qu'après que la bulle s'est échappée, le ménisque n'occupe plus la partie inférieure du tube. Dans un tube très-fin, l'observation de ces phénomènes devient plus difficile. Mais si, après qu'une bulle s'est échappée et que l'équilibre a été obtenu, on augmente très-lentement la pression, on voit la colonne liquide s'abaisser dans le tube manométrique de plusieurs

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

millimètres avant qu'une seconde bulle apparaisse. Les choses doivent donc se passer comme dans un tube large, et il est impossible de déterminer quelle est, parmi toutes les valeurs de la pression, celle qui donne la hauteur capillaire. Dès lors il devient difficile d'accorder une grande confiance aux résultats obtenus par ce procédé, et en même temps s'explique la divergence de ces résultats et de ceux que la méthode directe, appliquée avec soin, a donnés à M. Brünner.

De cette discussion, je crois pouvoir tirer cette conclusion, que des trois méthodes la première, ou celle de Gay-Lussac, doit être employée de préférence à toute autre, pourvu que l'on puisse assurer l'uniformité de température des différents points du système. Il suit encore de là que les seuls résultats numériques auxquels on puisse accorder une entière confiance sont ceux de M. Brünner; et, par conséquent, je pourrai résumer l'état de nos connaissances touchant l'influence de la température sur les phénomènes capillaires dans ces deux énoncés :

1°. La hauteur à laquelle s'élève un liquide dans un tube capillaire qu'il mouille serait, d'après la théorie mathématique, proportionnelle à la densité du liquide. L'expérience donne une loi de décroissement beaucoup plus rapide, et montre que la densité n'intervient pas seule comme élément du phénomène, sans qu'on ait d'ailleurs jamais cherché la cause de ce désaccord.

2°. La quantité dont s'abaisse le mercure dans les tubes qu'il ne mouille pas augmente avec la température, sans que l'expérience ni la théorie aient donné de loi bien certaine de cette variation, ni même aient indiqué clairement la cause de cette augmentation.

Je devais donc m'occuper

1°. De vérifier la loi empirique du décroissement de la hauteur capillaire avec la température ;

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

2°. De rechercher la cause de la divergence de la théorie mathématique et de l'expérience;

3°. D'établir, s'il était possible, la liaison des phénomènes d'ascension et de dépression, aujourd'hui complétement isolés les uns des autres.

Avant de décrire les appareils que j'ai employés pour ces recherches, je dois indiquer encore quelques précautions générales à prendre dans l'étude des phénomènes capillaires.

La première et la plus importante est de n'opérer jamais que sur des tubes parfaitement nets. Mais à quel caractère reconnaîtra-t-on cette netteté parfaite des parois, et l'absence de toute cause perturbatrice? J'ai vainement consulté les auteurs à ce sujet. On admet en général qu'un tube peut servir lorsque, après aspiration, la colonne soulevée reprend exactement la position qu'elle avait d'abord. Mais si l'on cherche à appliquer ce caractère, on reconnaît bien vite des difficultés indiquées déjà par plusieurs observateurs. Si l'on entretient à une température constante un tube bien lavé et dans lequel, après plusieurs aspirations, le ménisque a repris la même position, on trouve souvent que le sommet de la colonne ne reste pas fixe, mais s'abaisse pendant un temps très-long. Il m'est arrivé, pendant mes expériences préliminaires, de maintenir ainsi un tube à température presque constante pendant quatorze heures, les variations n'atteignant pas 0°,1, et au bout de ce temps la colonne capillaire n'avait pas encore pris une position stationnaire. C'est cette variation lente, reconnue par Simon et par M. Bède dans les tubes étroits, qui a obligé le premier à employer pour les tubes fins la méthode indirecte dont j'ai parlé; le second, à n'observer l'état des tubes que ving-quatre heures après qu'ils avaient été mis en expérience. Mais à force de lavages, ou mieux encore, en n'employant que des tubes neufs, fermés immédiatement après leur fabrication, on arrive à obtenir, quel que soit le diamètre, une constance

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

parfaite du niveau ; et cette constance se reconnaît immédiatement à ce caractère très-simple, qu'après aspiration, ou après dépression, le liquide revient exactement au même point. Je n'ai jamais considéré comme exactes que les expériences faites sur des tubes remplissant cette condition, de sorte que chaque nombre résultait d'une double observation faite après ascension du ménisque par aspiration, et après dépression du ménisque au-dessous de sa position normale d'équilibre.

Les liquides que j'ai employés pour les lavages, lorsqu'ils étaient nécessaires, sont l'acide azotique étendu, chaud ou froid, l'acide sulfurique également étendu, parfois une dissolution de potasse, de l'alcool, mais plus souvent de l'eau pure ou légèrement acidulée, chauffée jusqu'à l'ébullition. J'indiquerai tout à l'heure comment une disposition très-simple de mon appareil me permettait de faire passer dans les tubes plusieurs litres du liquide laveur, animé d'une très-grande vitesse, et agissant alors mécaniquement aussi bien que par son action chimique.

Une seconde précaution, indispensable si l'on veut arriver à des résultats précis, est de ramener dans chaque observation le sommet de la colonne au même point du tube. On sait combien il est difficile de trouver des tubes exactement calibrés dans une certaine étendue ; d'ailleurs l'opération par laquelle on s'assure de cette cylindricité parfaite, l'introduction d'une colonne de mercure dont on mesure la longueur dans différentes positions, peut salir les parois du tube et nécessiter des lavages très-longs. Et pourtant, dans les procédés ordinairement suivis, cette régularité absolue est nécessaire, puisque les variations de température que l'on fait subir au liquide amènent le ménisque en différents points du tube. Aussi M. Brünner a-t-il pris la précaution de faire, à chaque température, un grand nombre d'observations en faisant varier la position du ménisque dans le tube : la moyenne des résultats correspond alors au

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

rayon moyen du tube déterminé par la méthode de Gay-Lussac. Mais on évitera évidemment ces longueurs et les erreurs qu'elles entraînent, si l'on a marqué préalablement sur le tube un trait auquel on ramènera constamment le bas du ménisque dans chaque observation ; il suffira dès lors, les expériences terminées, de couper le tube en ce point et de mesurer le diamètre de la section.

J'ai eu peu à m'occuper de cette dernière mesure, qui n'était qu'indirectement liée au but de mes recherches. Je crois cependant devoir m'y arrêter un moment. Le procédé de Gay-Lussac m'étant interdit d'après ce que je viens de dire, il me restait à choisir entre le procédé micrométrique direct au moyen de la machine à diviser munie d'un fort microscope, et le procédé de la chambre claire. C'est ce dernier qu'avait adopté Simon. Mais, outre qu'il exige une grande habitude de l'instrument, je ne puis lui accorder le degré de précision nécessaire. M. Poiseuille, qui s'est aussi servi de ce procédé dans ses recherches sur l'écoulement des liquides à travers les tubes capillaires, a fait remarquer depuis longtemps une cause d'erreur contre laquelle on n'est peut-être point assez en garde. « Si pour mesurer, » dit-il, le pouvoir amplifiant du microscope, le micro- » mètre occupe un certain lieu du champ de la vision, il » est évident que tout objet qui sera placé dans le même » point sera également amplifié. Mais si le corps qu'on » veut mesurer occupe un champ de la vision différent de » celui qu'occupait le micromètre, si par exemple l'objet » est placé près du bord du cercle de la vision, lorsque le » micromètre, dans la mesure du pouvoir amplifiant, était » au centre, alors par suite de l'aberration de sphéricité, » l'objet sera plus grossi, et en lui appliquant le pouvoir » amplifiant du microscope donné par le micromètre, » il aura des dimensions plus considérables que celles qu'il » a réellement. »

De plus, les micromètres que l'on emploie portent en

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

général un millimètre divisé en 100 parties seulement, et l'on doit estimer approximativement les divisions plus petites. Il est donc difficile de répondre du millième de millimètre. Si l'on prend un micromètre portant un plus grand nombre de divisions, il faut avoir recours à un plus fort grossissement, et les erreurs provenant de l'aberration de sphéricité augmentent encore (1).

Je préfère donc à l'emploi de la chambre claire la mesure directe des diamètres au moyen d'une vis micrométrique. La disposition de mon appareil était exactement celle d'une machine à diviser, à cela près qu'on pouvait éclairer par-dessous le tube placé verticalement sous le microscope. La vis donnait immédiatement le millième de millimètre. Ce procédé a le grand avantage de rendre les résultats complétement indépendants de toute erreur de réfraction, puisque les différents points du tube sont amenés successivement sous le fil du microscope. La variation d'une observation à l'autre pour un même tube n'atteignait jamais un millième de millimètre.

Les premières recherches que j'ai entreprises ont eu pour but la vérification de la loi trouvée par M. Brünner, pour le décroissement de la hauteur capillaire de l'eau lors-

(1) C'est ce qui arriverait si l'on employait des micromètres semblables à ceux qu'a décrits M. Robert (*Poggendorff's Annalen*, t. LXXXV, p. 83), et qu'il a exposés à Paris en 1855. Ces micromètres portaient des divisions dont l'intervalle, variable d'un groupe de lignes à l'autre, était proportionnel aux longueurs d'onde des rayons du spectre, et égal dans le cas extrême à 0,000125 lignes de Paris.

J'ai aussi pu obtenir dans le cours de mes essais une subdivision très-exacte du millimètre en près de 1500 parties égales avec un grossissement de 100 fois environ en diamètre. Il m'a suffi de placer sous l'objectif 1 millimètre divisé en 100 parties, puis au foyer sous l'oculaire un second millimètre divisé en 50 parties seulement. Les divisions de ce dernier, amplifiées par l'oculaire seul se projettent sur les divisions du premier déjà amplifiées par l'objectif et en donnent les subdivisions. Je ne doute pas qu'en montant le micromètre oculaire sur un diaphragme mobile au moyen d'une vis latérale, on ne puisse s'en servir comme d'un vernier pour estimer les fractions très-petites des divisions du micromètre objectif.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

que la température s'élève. J'ai indiqué les précautions à prendre dans ces recherches. Voici l'appareil à l'aide duquel j'ai cherché à les réaliser.

Sur un pied muni de trois vis calantes, repose un vase en cuivre à double enveloppe, contenant le liquide dans lequel plonge le tube capillaire. Celui-ci est entouré dans toute sa longueur d'un manchon parallélipipédique en laiton, percé de deux fenêtres fermées par des lames de glace à faces parallèles. Des tubulures percées dans les parois latérales du vase inférieur, et dont l'une communique par un tube de caoutchouc avec le bas du manchon, permettent de faire parcourir par un même courant d'eau l'enveloppe de la cuvette et du tube, de manière à assurer l'uniformité de température du système. Deux thermomètres plongent l'un dans le liquide de la cuvette, l'autre dans l'eau du manchon, et servent à constater cette uniformité.

Pour déterminer à l'aide du cathétomètre la hauteur du liquide dans le tube au-dessus du niveau de la cuvette, on vise le ménisque à travers le liquide du manchon, puis directement à travers l'air l'extrémité supérieure d'une tige verticale qui touche le liquide par son extrémité inférieure: il est donc essentiel que la lame de glace qui ferme le manchon soit exactement verticale et, autant que possible, perpendiculaire à l'axe de la lunette. Le manchon doit donc pouvoir tourner autour de son axe: il est supporté par un disque qui repose sur le contour d'une couronne fixée à un support à coulisse, et l'on peut facilement, par la rotation du disque dans la couronne, amener le manchon à une position telle, que les rayons partant du tube arrivent à la lunette sans subir aucune déviation latérale. Les vis calantes permettent ensuite de donner à la glace antérieure une verticalité parfaite. Ce réglage se fait d'ailleurs d'une manière très-simple. Il suffit de pointer la lunette sur un trait marqué à l'avance sur le tube (c'est celui auquel dans toutes les expériences on amènera le ménisque), le man-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

chon étant successivement vide et plein d'eau. Il est clair que si dans les deux cas l'image du trait coïncide avec le fil du réticule, la glace est verticale et perpendiculaire à l'axe de la lunette. Pour faire rapidement les tâtonnements par lesquels on arrive à remplir cette condition, le tube qui amène l'eau dans le manchon est interrompu par une pièce en T, placée sous la main de l'observateur, et dont deux branches portent des robinets. Le premier sert à remplir d'eau le manchon, le second à le vider. On pouvait par cette disposition vérifier avant chaque série d'observations et en très-peu de temps la verticalité de la lame de glace.

Après cette vérification, on faisait couler à travers l'appareil l'eau provenant d'un réservoir de 60 litres de capacité, rempli depuis plusieurs heures, de telle sorte que cette eau fût à fort peu près à la température du laboratoire. Au bout de quelques minutes les deux thermomètres indiquaient une même température qui pouvait rester constante pendant des heures entières. On amenait alors le ménisque au trait marqué sur le tube, en enlevant peu à peu avec une pipette le liquide contenu dans le vase inférieur ; et l'on s'assurait que le tube était toujours dans un état de netteté parfaite, en élevant ou abaissant la colonne capillaire par aspiration ou par compression de l'air du tube, et voyant si le ménisque revenait au même point dans les deux cas. Pour produire facilement ces changements de position du ménisque, j'avais recouvert l'extrémité supérieure du tube d'une petite cloche de verre fixée par un bouchon à la tubulure que traversait ce tube capillaire, et dans laquelle l'air pouvait être raréfié ou comprimé par l'intermédiaire d'un tube coudé en verre et d'un long tube de caoutchouc qui se terminait près de l'observateur. Cette disposition avait encore pour but d'éviter l'évaporation de l'eau qui mouille les parois du tube et l'introduction des particules de poussière qui voltigent dans l'air. En outre, elle permettait de laver très-facilement le tube, s'il en était besoin, sans dé-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

ranger en rien l'appareil. Il suffisait de mettre le tube en communication par l'intermédiaire d'un ballon et d'un tube desséchant avec une machine pneumatique : dès les premiers coups de piston, l'eau de la cuvette s'élançait à travers le tube capillaire, formant un jet souvent assez élevé dans la petite cloche, et, soit par son action dissolvante, soit par entraînement mécanique, elle enlevait toutes les impuretés qui pouvaient s'être introduites dans le tube. Si je voulais faire passer de l'eau chaude, j'échauffais la cuvette par un courant de vapeur ; souvent aussi j'acidulais la liqueur, prenant ensuite la précaution de laver le tube à l'eau pure, jusqu'à ce que toute trace d'acide eût disparu. C'est de cette manière seulement que je suis parvenu à purifier complétement des tubes qui n'étaient pas neufs, et j'ai dû pour cela les faire traverser par plusieurs litres de liquide. L'eau qui avait traversé le tube n'y pouvait d'ailleurs rentrer à la fin de l'opération, puisqu'il suffisait de soulever la petite cloche pour la faire écouler au dehors.

Ces vérifications une fois obtenues, on amenait l'extrémité inférieure de la tige d'affleurement en contact parfait avec le liquide. Cette exactitude du contact est plus difficile à obtenir avec l'eau et les liquides qui mouillent le métal qu'avec le mercure. J'ai souvent essayé de graisser l'extrémité de la tige, mais sans succès, l'adhérence du liquide au métal ayant toujours lieu et d'une manière très-irrégulière. On a proposé pour atteindre ce but dans le cas du mercure l'emploi d'un galvanomètre très-sensible, compris dans un circuit électrique dont feraient partie le liquide et la tige métallique, de telle sorte que le courant commençant à passer lorsque la tige viendrait à toucher le liquide, le commencement de la déviation de l'aiguille indiquerait le moment où le contact est établi. Pour juger de l'exactitude de ce procédé appliqué à l'eau, je me suis servi comme points d'affleurement de la pointe d'un sphéromètre

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

donnant aisément le millième de millimètre : j'ai toujours trouvé le procédé peu sensible, l'aiguille ne se mettant en mouvement que lorsque le contact est depuis longtemps établi. Cette insensibilité provient de plusieurs causes, d'abord de la masse de l'aiguille qui n'obéit à l'action du courant que quelque temps après qu'elle a commencé à se faire sentir, puis surtout de la non-conductibilité de l'eau pure, qui ne permet au courant d'acquérir une intensité suffisante que lorsque la section de contact a une certaine étendue. Si l'on essaye de remédier à ce dernier inconvénient en employant une source électrique plus intense, la décomposition de l'eau ne permet plus d'obtenir des résultats constants. Je suis donc revenu au procédé le plus simple, et j'ai vu qu'en donnant au sphéromètre une pointe conique, à peine émoussée à l'extrémité et bien sèche, on peut obtenir l'affleurement à un millième de millimètre près. La nécessité d'essuyer chaque fois avec un pinceau l'extrémité de la tige d'affleurement rendrait l'emploi d'une vis très-incommode. J'ai préféré faire mouvoir cette tige au moyen d'une crémaillère très-douce, et je me suis assuré que l'affleurement ne variait pas dans ces conditions d'un centième de millimètre, limite d'exactitude que pouvait me donner mon cathétomètre.

Pour atteindre cette limite extrême de précision, j'ai dû me soumettre encore à quelques précautions. Quelque soin que le constructeur ait pu apporter à la fabrication du cathétomètre, il est à peu près impossible que l'axe de la lunette bien réglée conserve dans tous les azimuts une position exactement horizontale, à cause du jeu du manchon autour de l'axe de l'appareil; il est donc important de ne faire parcourir à la lunette dans les observations qu'un angle très-petit : cette condition se trouvait remplie dans mon appareil. De plus, lorsqu'on fait mouvoir à la main le chariot qui porte la lunette, il survient toujours dans la position de celle-ci des dérangements que l'on doit corriger

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

avant chaque observation, en rappelant la bulle du niveau à sa position centrale. Mais ces dérangements deviennent à peine sensibles, le plus souvent nuls, si le mouvement vertical est communiqué au chariot au moyen de la vis de rappel. J'ai donc, dans toutes mes observations, employé pour tige d'affleurement une baguette métallique ayant une hauteur à fort peu près égale à celle de la colonne capillaire que je voulais mesurer. Par là le mouvement vertical à donner à la lunette pour passer de sa première position à la seconde s'obtenait au moyen de la vis de rappel, et l'horizontalité du niveau se trouvait conservée. La longueur de la tige d'affleurement était d'ailleurs mesurée, presque chaque jour, avant chaque série d'observations; et jamais, grâce aux précautions que j'ai indiquées, les variations dans la mesure ne se sont élevées à plus d'un centième de millimètre.

Enfin l'évaporation de l'eau était annulée presque complétement par des lames de verre qui recouvraient la cuvette, et présentaient seulement une ouverture pour le passage de la tige d'affleurement. L'eau était renouvelée chaque jour dans le tube et dans la cuvette. J'ai toujours opéré sur de l'eau privée d'air (1).

L'appareil que je viens de décrire m'a d'abord servi pour des observations faites à la température ambiante, de sorte que dans l'intervalle d'une année j'ai pu obtenir une série très-complète de hauteurs correspondant à des températures variant de 0 à 25 degrés. Toutes ces observations ont été réunies en dix-huit groupes, comprenant chacun les hau-

---

(1) Pour obtenir de l'eau aussi complétement purgée d'air que possible, je faisais bouillir ce liquide dans un grand ballon muni d'un tube deux fois recourbé qui venait plonger dans un second ballon plus petit, et également plein d'eau en ébullition. Lorsque les bulles de vapeur ne se dégageaient plus que par soubresauts, on enlevait le fourneau, l'eau bouillante du petit ballon remplissait complétement le plus grand, et on laissait refroidir l'appareil sur place.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

teurs relatives à un même intervalle de 1 degré; et l'on a calculé la température moyenne et la hauteur moyenne de chaque groupe. Ce sont ces moyennes que présentent les deux premières colonnes du tableau suivant. Je n'ai d'ailleurs jamais fait subir aux nombres directement obtenus la correction usitée du tiers du rayon, par la raison que cette correction est fondée sur les théories reconnues fausses de Jurin et de Clairaut, et que dans les théories exactes les lois s'appliquent directement à l'ordonnée du point le plus bas du ménisque.

Diamètre du tube... $0^{mm},2346$.

TEMPÉRATURES	HAUTEURS observées	HAUTEURS calculées.	DIFFÉRENCES.	HAUTEURS calculées.	DIFFÉRENCES.
o	mm	mm		mm	
0,35	132,15	132,17	+ 0,020	132,17	+ 0,020
1,268	131,97	131,94	— 0,030	131,93	— 0,040
2,62	131,569	131,583	+ 0,014	131,57	+ 0,001
3,61	131,34	131,33	— 0,010	131,31	— 0,030
4,32	131,145	131,140	— 0,005	131,13	— 0,015
5,587	130,82	130,81	— 0,010	130,80	— 0,020
7,50	130,28	130,31	+ 0,030	130,30	+ 0,020
8,35	130,10	130,09	— 0,010	130,07	— 0,030
13,76	128,68	128,68	0,000	128,70	+ 0,020
14,335	128,547	128,556	+ 0,009	128,56	+ 0,013
15,49	128,273	128,273	0,000	128,27	— 0,003
16,896	127,93	127,917	— 0,003	127,93	0,000
17,43	127,84	127,80	— 0,040	127,80	— 0,040
18,40	127,61	127,56	— 0,050	127,56	— 0,050
20,26	127,03	127,10	+ 0,070	127,10	+ 0,070
21,475	126,80	127,85	+ 0,050	126,80	0,000
24,417	126,09	126,13	+ 0,040	126,09	0,000
25,446	125,84	125,83	— 0,010	125,84	0,000

Si l'on construit la courbe dont les abscisses seraient les températures inscrites dans ce tableau, et les ordonnées les hauteurs correspondantes, on voit immédiatement qu'elle diffère essentiellement d'une ligne droite, les ordonnées dé-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

croissant plus rapidement de 0 à 8 degrés, qu'à des températures plus élevées. Mais dans ces deux intervalles, on peut considérer chacune des portions de la courbe comme une ligne droite. J'ai mis cette observation à profit pour déterminer la loi empirique du phénomène.

J'ai calculé d'abord pour chacun de ces deux intervalles les coefficients d'une équation de la forme $y = ax + b$, et j'ai fait intervenir dans la détermination de a et de b toutes les observations par une méthode très-simple. Les nombres inscrits dans la 3e colonne du tableau précédent montrent l'accord parfait des résultats de l'expérience et de ceux du calcul. De 0 à 8 degrés, j'ai employé la formule

$$y = 132,265736 - 0,260553\,x;$$

et de 13 à 25 degrés

$$y = 132,0785 - 0,245699\,x.$$

Ces premières formules m'ont servi à calculer les hauteurs correspondantes à 0, 5 et 15 degrés, au moyen desquelles j'ai déterminé les coefficients d'une formule parabolique : $y = a + bx + cx^2$.

Je suis ainsi arrivé à l'équation

$$y = 132,265736 - 0,2660448\,x + 0,00054918\,x^2,$$

qui représente d'une manière suffisamment exacte toutes les observations de 0 à 25 degrés. Les nombres inscrits dans la 4e colonne sont déduits de cette formule, et l'on voit que les différences entre le calcul et l'observation, tantôt positives, tantôt négatives, ne dépassent qu'une seule fois $0^{mm},05$.

Ces résultats concordent avec ceux de M. Brünner, à cette seule différence près, que le décroissement plus rapide de la hauteur, observé par ce physicien au-dessous de 4 degrés, paraît se continuer encore au-dessus. Le maximum de densité a donc sur le phénomène une influence ; mais d'autres causes interviennent qui agissent en sens inverse, de ma-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

nière à la rendre à peine appréciable. Si mes expériences sont exactes, il s'ensuit encore que l'explication donnée par M. Brünner de l'accroissement rapide de la hauteur capillaire au-dessous de 4 degrés n'est pas suffisante, puisque cet accroissement plus marqué a déjà lieu au-dessus de cette température, et que cependant la densité du liquide ne diminue pas encore.

Au-dessus de 10 degrés, la concordance de mes résultats avec ceux de M. Brünner se rétablit. Car si l'on compare la formule qu'il a donnée,

$$h = 15,33215 - 0,0286396\,t,$$

à celle dont je me suis servi de 13 à 25 degrés, on trouve que le rapport des coefficients numériques est dans l'équation de M. Brünner 535,383, et dans la mienne 537,56. Si l'on cherche, d'après les expériences que je viens d'indiquer, la hauteur capillaire à 0 degré dans un tube de 1 millimètre de rayon, on trouve $15^{mm},5331$ au lieu de $15^{mm},33215$ qu'a obtenu M. Brünner. Mais cette concordance est loin d'avoir lieu avec les hauteurs données par Simon : car ici le produit de la hauteur capillaire par le diamètre du tube est 31,029; le tableau de Simon donne pour ce diamètre le produit beaucoup plus fort 32,375. Les hauteurs des colonnes d'eau obtenues par cet expérimentateur paraissent donc trop grandes, comme l'ont déjà fait remarquer plusieurs observateurs.

Il eût été intéressant de pousser les expériences au-dessous de 0, et l'on y parviendrait, je crois, facilement, l'eau ne se congelant qu'avec peine dans les tubes capillaires, en remplaçant le courant d'eau par un courant d'alcool refroidi. Mais je dois observer qu'aux basses températures, la viscosité de l'eau est déjà très-sensible; et que les expériences sont bien plus difficiles, partant moins exactes qu'à des températures plus élevées. Cette viscosité suffirait pour expliquer la divergence des résultats de M. Brünner et des miens.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

C'est pour cette raison que je n'ai jamais cherché à mesurer les hauteurs au-dessous de 0 degré, n'espérant pas pouvoir obtenir des résultats suffisamment précis.

Le même appareil pouvait aussi servir à des températures supérieures à la température ambiante, en faisant traverser l'enveloppe de la cuvette et le manchon par un courant d'eau chauffée à une température constante. Pour obtenir ce courant d'eau, j'ai interposé entre le réservoir et l'appareil un ballon de verre dans lequel l'eau entrait par un tube plongeant jusqu'au fond, et d'où elle sortait par un second tube qui ne dépassait pas la face inférieure du bouchon. Ce ballon était chauffé au moyen d'une lampe à alcool à double courant d'air. L'eau coulant très-rapidement, la température de la cuvette et du manchon s'élevait et acquérait bientôt une valeur constante, variable d'une expérience à l'autre d'après la température de l'eau du réservoir, et l'intensité de la source de chaleur. Il est bien vrai que la température du manchon était généralement un peu différente de celle de l'eau de la cuvette inférieure : mais cette différence ne dépassait jamais 1 ou 2 degrés, et j'ai fait voir que l'influence d'une pareille différence est tout à fait insensible. On aurait pu craindre encore que la température ne fût pas uniforme dans les différentes couches du manchon : je me suis assuré souvent, en enfonçant le thermomètre à une plus ou moins grande profondeur, que la variation n'était pas appréciable. En outre, j'ai toujours fait pour chaque température une double observation, l'eau coulant d'abord du vase dans le manchon, puis en sens inverse, du manchon dans l'enveloppe de la cuvette, et j'ai toujours obtenu les mêmes hauteurs dans les deux cas.

Les expériences ont été faites sur un tube différent du précédent, d'autre verre, et d'autre diamètre ($0^{mm},3098$), qui, ayant été employé neuf, n'a pas eu de lavages à subir. Elles n'ont pu malheureusement être entreprises qu'à une époque où la température ambiante était supérieure à 4 de-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

grés, de sorte qu'elles ne peuvent servir à vérifier la loi aux environs du maximum de densité de l'eau. Les valeurs obtenues se laissent très-bien représenter par la formule linéaire :

$$y = 101^{mm},80346 - 0,184966\,x.$$

C'est ce qui résulte du tableau suivant.

TEMPÉRATURES.	HAUTEUR observée.	HAUTEUR calculée.	DIFFÉRENCE calculée-observée.
	mm	mm	
5°,73	100,729	100,744	+ 0,015
6,588	100,586	100,585	— 0,001
7,505	100,395	100,415	+ 0,020
8,57	100,224	100,218	— 0,006
9,545	99,985	100,038	+ 0,043
10,601	99,816	99,843	+ 0,027
11,625	99,510	99,650	+ 0,140
12,51	99,495	99,490	— 0,005
13,685	99,180	99,270	+ 0,090
15,45	98,945	98,945	0,000
16,45	98,790	98,760	— 0,030
17,42	98,566	98,580	+ 0,014
18,61	98,327	98,360	+ 0,033
19,326	98,229	98,229	0,000
20,38	97,964	98,034	+ 0,070
21,426	97,830	97,748	— 0,082
22,558	97,607	97,630	+ 0,023
24,59	97,220	97,250	+ 0,030
25,255	97,265	7,130	— 0,135
26,582	96,950	96,890	— 0,060
27,26	96,740	06,760	+ 0,020
28,66	96,440	96,500	+ 0,060
32,39	95,875	95,810	— 0,065
34,24	95,490	95,470	— 0,020
36,43	95,055	95,060	+ 0,005
39,376	94,540	94,520	— 0,020
45,264	93,430	93,430	0,000
51,486	92,275	92,280	+ 0,005
54,456	91,755	91,730	— 0,025
58,75	90,891	90,930	+ 0,039
61,83	90,350	90,360	+ 0,010
65,00	89,685	89,780	+ 0,095
82,27	86,085	86,470	+ 0,385

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu — UPMC

Quelques observations faites au-dessous de 4 degrés, en refroidissant artificiellement l'eau du manchon, indiquent un accroissement de hauteur plus rapide qu'au delà de cette température : les valeurs obtenues donneraient en effet $102^{mm},058$ pour hauteur à 0 degré, au lieu de $101^{mm},803$. Mais on ne peut leur accorder beaucoup de confiance, à cause de la difficulté des observations, les lames de glace se recouvrant constamment de rosée.

Si l'on compare ces résultats à ceux de M. Brünner, et à ceux que j'ai obtenus sur le premier tube, on voit se manifester une divergence remarquable, bien que la loi générale du phénomène reste la même. En effet, tandis que le rapport des coefficients dans les deux premières formules que j'ai citées est 535 ou 537, il atteint ici la valeur 550,3. De telle sorte que le rapport qui existe entre les hauteurs des colonnes soulevées dans chacun des tubes varie avec la température. De plus la hauteur à 0 degré dans le tube de 1 millimètre de rayon serait ici $15^{mm},77$ ou $15^{mm},81$, suivant que l'on prend $101^{mm},80$ ou $102^{mm},058$ pour hauteur dans le tube de diamètre $0^{mm},3098$ valeur beaucoup plus forte que celles que nous avons déjà trouvées. Cependant ce résultat est loin encore d'atteindre celui de Simon : car le produit du diamètre par la hauteur est 31,538 ou 31,617, il serait d'après Simon un peu plus fort que 32,13.

L'examen du tableau précédent fait voir aussi qu'aux températures supérieures à 60 degrés, les divergences entre le calcul et l'observation augmentent beaucoup. Mais elles tiennent alors à ce que l'observation ne peut donner des résultats bien précis. En effet, à la difficulté d'obtenir une température constante pendant la durée de l'expérience, s'en joint une autre provenant de l'évaporation du liquide de la cuvette, qui, bien que retardée par les lames de verre qui recouvrent le vase, est encore assez rapide pour que le ménisque baisse d'une quantité sensible pendant l'expérience. De telle sorte que la hauteur inscrite au tableau ne

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

peut représenter l'état d'équilibre parfait de la colonne capillaire. Comment les observateurs qui m'ont précédé ont-ils pu éviter cette cause d'incertitude, et observer jusqu'à la température d'ébullition de l'eau, c'est ce que je ne puis comprendre, en l'absence d'aucune indication des précautions qu'ils ont pu prendre.

Les expériences que j'ai faites sur l'eau peuvent donc être regardées comme confirmant les résultats déjà obtenus par M. Brünner, et contredisant au contraire les assertions de Simon. Mais j'ai déjà fait observer que l'eau n'est peut-être pas le liquide le plus propre à montrer le désaccord de la théorie et de l'expérience et à en faire découvrir la cause. En effet, aux basses températures voisines du maximum de densité, l'eau présente déjà une viscosité sensible, et la théorie suppose un liquide parfait, état dont se rapprochent bien plus l'éther sulfurique et l'alcool. En second lieu, le procédé direct, à peu près seul applicable à l'eau à cause même de cette viscosité qui ne lui permet de prendre dans un tube capillaire sa position normale d'équilibre que lorsque la colonne a été soulevée et déprimée, ce procédé ne peut servir à des températures élevées. Et cependant c'est à ces hautes températures, alors que l'on se trouve pour tous les liquides dans des conditions bien mieux en harmonie avec les hypothèses de la théorie mathématique, que l'on peut trouver la vérification ou la contradiction de cette théorie.

En effet, s'il est vrai que la hauteur à laquelle un liquide s'élève dans un tube capillaire soit, à chaque température, proportionnelle à la densité du liquide, cette densité ne devenant jamais nulle, la hauteur ne sera jamais réduite à zéro, même à cette température, à laquelle le liquide se réduit complétement en vapeur, d'après les expériences de M. Cagniard-Latour : au contraire, si les résultats obtenus par les divers expérimentateurs sont exacts, si le décroissement de la hauteur est proportionnel à la température,

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

il est clair qu'à une température suffisamment élevée, la hauteur capillaire deviendra nulle, qu'au-dessus de cette température l'ascension se changera très-probablement en dépression.

Or cette température se déduit facilement des formules empiriques que j'ai données plus haut. Celle de M. Brünner donne pour l'eau 535°,38; celles que j'ai obtenues pour le premier tube, 537°,56, pour le second, 550°,3. Ce n'était donc pas à l'eau que je devais demander la vérification de mon induction, mais à d'autres liquides plus volatils, tels que l'éther sulfurique, le sulfure de carbone, etc. La formule que donne M. Brünner pour l'éther sulfurique,

$$h = 5^{mm},3536 - 0,028012\,t,$$

indique une hauteur nulle à la température de 191°,12, température que l'on peut facilement obtenir, et qui est inférieure à celle de la vaporisation complète de ce liquide. Mais j'ai voulu d'abord vérifier la loi du décroissement de la hauteur à des températures plus élevées que celle de l'ébullition de l'éther, limite des expériences de M. Brünner.

Dans un tube de verre de 24 millimètres de diamètre intérieur, à parois suffisamment épaisses, et fermé à une extrémité, j'ai suspendu, au moyen d'un anneau en cuivre faisant ressort contre les parois et de trois fils métalliques très-fins, un tube capillaire qui en occupait exactement l'axe. Le gros tube fut alors effilé à la lampe; j'y introduisis de l'éther sulfurique rectifié par digestion et distillation sur du chlorure de calcium, et, après avoir chassé l'air par l'ébullition du liquide, je fermai l'extrémité ouverte. L'éther formait alors dans le fond du large tube une couche de 3 centimètres environ, dans laquelle plongeait le tube capillaire.

Pour porter ce tube à différentes températures, je l'ai fixé au milieu d'un vase cubique en cuivre de 8 litres de capacité, dont deux faces opposées étaient remplacées par

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

des lames de glace. Un thermomètre placé à côté du tube indiquait la température de l'eau qui remplissait le vase, température que l'on faisait varier au moyen d'une lampe à alcool à plusieurs mèches, et que l'on rendait uniforme à l'aide d'un agitateur. Tout l'appareil reposait sur une planche munie de trois vis calantes, à l'aide desquelles on amenait la glace antérieure à être exactement perpendiculaire à l'axe de la lunette du cathétomètre. On s'assurait aussi, par le procédé que j'ai déjà indiqué, que le tube de verre ne produisait aucune déviation des rayons lumineux.

Chaque série d'expériences commençait par une observation faite à la température ambiante : celle-ci a très-peu varié pendant le cours de mes essais, et la concordance des premiers nombres ainsi obtenus dans chaque série servait à constater que l'état du tube n'avait point changé. On élevait ensuite progressivement la température jusqu'au degré que l'on voulait atteindre, et il était facile de la maintenir constante pendant près d'un quart d'heure. Une des difficultés signalées par M. Frankenheim dans ce mode d'expérimentation se trouve dans l'inégalité de température du tube capillaire et du liquide dans lequel il plonge. Celui-ci, en effet, s'échauffe directement au contact de l'eau du grand vase; la portion du tube qui émerge ne s'échauffe que par rayonnement. Mais le moment où la température constante du bain est devenue aussi celle du tube est indiqué ici par le tube lui-même. En effet, tant qu'il existe une petite différence de température entre le tube et le liquide dans lequel il plonge, les vapeurs d'éther viennent se condenser dans ce tube et y former, au-dessus de la colonne capillaire, des bulles qui descendent sans cesse et se reforment sans cesse au sommet. Dès que ces bulles cessent de se produire, on peut considérer la température comme uniforme. D'ailleurs, j'ai toujours pris la précaution d'arriver à la température constante de l'observation, d'abord en échauffant le vase, puis en le laissant refroidir, et d'exiger, pour les ad-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

mettre, l'identité des résultats obtenus dans ces deux circonstances.

Les hauteurs mesurées par ce procédé doivent, comme je l'ai indiqué, subir une correction, due à ce que dans l'espace annulaire compris entre le large tube et le tube intérieur, le liquide s'élève par action capillaire : la différence des niveaux doit être augmentée de la hauteur à laquelle s'élève ce liquide, hauteur variable avec la température. J'ai recherché directement la valeur de cette correction : il suffisait de placer au milieu d'un vase assez large, plein d'éther sulfurique, un anneau formé d'une portion du tube qui avait servi aux expériences, et dans l'intérieur de celui-ci le tube capillaire, puis de mesurer au sphéromètre, avec les précautions que j'ai indiquées pour l'affleurement, la différence des niveaux dans l'intérieur de l'anneau et à l'extérieur. Mais l'évaporation du liquide est tellement rapide, qu'il m'a fallu employer la méthode des observations alternatives, déterminant d'abord le niveau dans le tube, puis dans le vase, et de nouveau dans le tube après le même intervalle de temps qui séparait les deux premières observations. J'ai obtenu ainsi à 20 degrés, pour moyenne de résultats qui différaient à peine d'un millième de millimètre, $0^{mm},104$. Cette correction varie avec la température. Pour déterminer cette variation, je me suis servi des résultats obtenus par M. Brünner, d'où l'on déduit qu'à 191 degrés l'élévation capillaire est nulle, fait que j'ai d'ailleurs vérifié directement, comme je l'indiquerai tout à l'heure. Il s'ensuit que le décroissement de la correction est par degrés 0,000608, qu'elle devient $0^{mm},116$ à 0 degré, et $0^{mm},055$ à 100 degrés. Après cette correction, j'ai obtenu le tableau suivant :

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

TEMPÉRATURES.	HAUTEURS observée.	HAUTEURS calculée.	DIFFÉRENCES.
°	mm	mm	
12,67	36,140	35,86	— 0,180
14,79	35,437	35,48	+ 0,043
15,77	25,247	35,31	+ 0,063
18,07	34,794	34,91	+ 0,116
20,03	34,504	34,56	+ 0,056
24,74	33,591	33,74	+ 0,149
27,97	33,129	33,17	+ 0,041
33,14	32,316	32,27	— 0,046
34,78	32,145	31,98	— 0,165
46,82	29,879	29,90	+ 0,021
56,42	28,233	28,18	— 0,053
69,94	25,784	25,81	+ 0,026
76,81	24,673	24,51	— 0,163
85,01	23,145	23,16	+ 0,015
87,80	22,483	22,67	+ 0,187
92,71	22,015	21,82	— 0,185
93,46	21,760	21,69	— 0,070
99,19	20,748	20,56	— 0,188

Les nombres contenus dans la troisième colonne ont été calculés par la formule linéaire

$$y = 38^{mm},0819 - 0,175436\,x,$$

qui représente assez exactement les résultats de l'expérience. On ne peut évidemment demander ici la même précision que lorsqu'on s'est servi de la méthode directe, surtout à cause de la difficulté que l'on éprouve pour déterminer le niveau du liquide dans le tube le plus large. Mais on peut néanmoins en déduire cette conséquence, que le décroissement de la hauteur capillaire, reconnu proportionnel à la température jusqu'à 35 degrés par M. Brünner, suit encore la même loi jusqu'à 100 degrés.

Mais au delà le décroissement devient plus rapide. Je n'ai pu en déterminer la loi à cause de l'extrême difficulté

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

que l'on éprouve à maintenir la température constante pendant la durée de l'observation. Un seul résultat, mais très-important, me conduit à cette conclusion. De la formule qui précède, on déduit que la hauteur du liquide dans le tube capillaire devient nulle à 217 degrés si la loi se soutient jusqu'à cette limite. Le tube dans lequel ont été faites les expériences précédentes n'offrait point assez de résistance pour que l'on pût impunément le porter jusqu'à cette température, à laquelle la pression intérieure devait être très-grande.

J'ai en conséquence enfermé le tube capillaire de ces expériences dans un tube de 1 centimètre de diamètre intérieur et à parois très-épaisses, avec de l'éther qui remplissait à peu près le quart de la capacité totale, puis j'ai fermé à la lampe après avoir chassé l'air. Ce tube a été placé verticalement dans une cloche renversée, pleine d'huile de lin, à côté d'un second tube semblable, mais ouvert et plein d'huile, dans lequel plongeait un thermomètre. Un double agitateur servait à établir l'uniformité de température.

A mesure que la température s'élève, on voit la colonne liquide s'abaisser rapidement dans le tube capillaire, et enfin, vers 190 ou 191 degrés, disparaître complétement. En même temps, la surface du liquide dans le large tube, d'abord concave, s'approche de plus en plus d'être plane, et le devient enfin à cette même température. Si l'on continue à chauffer, on peut apercevoir le ménisque capillaire au-dessous du niveau du liquide dans le tube extérieur; vers 198 degrés, la surface du liquide fortement convexe, semble se couvrir d'un nuage épais, et ne présente plus qu'un contour mal défini. Enfin, à 200 degrés, comme l'a observé autrefois M. Cagniard-Latour, le liquide est complétement réduit en vapeur. Si l'on abaisse alors lentement la température, le liquide réapparait subitement, et les mêmes phénomènes se reproduisent dans l'ordre inverse.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

L'expérience démontre donc que le liquide cesse de s'élever, dans le tube capillaire dont j'ai fait usage, à une température de beaucoup inférieure à celle qui résulte de la formule déduite des expériences faites entre o degré et 100 degrés, exactement égale au contraire à celle que j'ai conclue de la formule donnée par M. Brünner. Faut-il en inférer que mes observations doivent être entachées d'inexactitudes? Je ne le crois pas. Car on devra observer que les expériences de M. Brünner ont été faites entre des limites très-restreintes de température, o degré et 35 degrés, et qu'il n'est guère possible d'en déduire ce qui se passera à une température si éloignée de ces limites : de sorte que cette concordance doit être regardée comme tout à fait fortuite. En second lieu, si, admettant comme exactes les expériences que j'ai faites à la température ambiante, on cherche à en tirer la hauteur capillaire à 100 degrés, par cette condition que le décroissement soit proportionnel à la température, et que la colonne soulevée se réduise à zéro à 191 degrés, on trouve pour cette hauteur, à 100 degrés, $18^{mm},44$, au lieu de $20^{mm},54$, différence beaucoup trop grande pour qu'on puisse l'attribuer aux erreurs d'observation.

Mais, je dois le dire, j'attache beaucoup moins d'importance à la détermination de la valeur de cette température limite, qu'à la constatation du fait en lui-même, qui me semble apporter une objection décisive contre la théorie mathématique. Aussi, depuis que j'ai fait connaître cette première expérience sur l'éther sulfurique, j'ai voulu la répéter sur plusieurs autres liquides, le sulfure de carbone, l'huile de naphte, l'alcool. J'ai renfermé ces liquides dans des tubes de 2 millimètres de diamètre intérieur, en telle quantité, qu'ils occupaient à peu près le quart de la capacité totale. J'ai chauffé ces tubes dans une petite éprouvette renversée et pleine d'huile; et toujours j'ai vu qu'à mesure que la température s'élève, le ménisque devient moins con-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

cave, et la surface finit même par être plane, puis devient convexe à une température voisine de celle de la volatilisation complète du liquide. Si même le tube est placé horizontalement, on voit le liquide se répandre dans toute sa longueur, et y former une couche limitée par une surface parfaitement plane. Je n'ai pu déterminer les températures auxquelles se produit ce phénomène pour les derniers liquides, n'ayant pas de thermomètre qui pût indiquer ces très-hautes températures; mais elles sont, comme je l'ai dit, voisines de celles de la volatilisation complète qu'a déterminées M. Cagniard-Latour (1), 200 degrés pour l'éther sulfurique, 259 degrés pour l'alcool, 275 degrés pour le sulfure de carbone, et une température intermédiaire entre 200 et 259 degrés pour l'huile de naphte. J'ai de plus vu se confirmer une observation faite autrefois par le même physicien, que la température de volatilisation complète d'un liquide paraît indépendante du rapport qui existe entre son volume et celui de l'espace libre dans lequel il peut se répandre.

Des diverses expériences que je viens de décrire, je crois pouvoir tirer les conclusions suivantes :

1°. La loi du décroissement de la hauteur à laquelle un liquide s'élève dans un même tube capillaire à diverses températures, est beaucoup plus rapide que ne l'indique la théorie de Laplace et de Poisson.

2°. La loi de ce décroissement semble n'être pas la même pour des tubes de différente nature, de telle sorte que le rapport des hauteurs auxquelles s'élève le même liquide dans des tubes différents, varie avec la température.

3°. La densité du liquide ne paraît avoir sur le phénomène qu'une influence secondaire : car, en premier lieu, la hauteur capillaire peut diminuer quand la densité aug-

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, tome XXI, page 181, et tome XXII, page 414.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

mente, et inversement; en second lieu, et ce résultat est à mes yeux le plus important, cette hauteur peut devenir nulle, l'ascension se changer même en dépression quand le liquide a encore un densité appréciable.

Mais ce phénomène, en même temps qu'il fournit la preuve la plus décisive contre la théorie, nous conduit encore à une explication très-simple du désaccord de la théorie et de l'expérience, désaccord que jusqu'ici les physiciens ont constaté sans en chercher la cause. Je dois, pour éclairer complétement la question, remonter aux hypothèses même sur lesquelles repose la théorie.

Tous les physiciens admettent avec Laplace, Gauss et Poisson que lorsqu'un liquide s'élève dans un tube dont il mouille les parois, ce liquide forme d'abord le long de ces parois elles-mêmes une couche excessivement mince, une sorte de tube liquide dans lequel s'élève ensuite la colonne capillaire. De là une conclusion immédiate : la forme du ménisque concave qui termine le liquide dépendant uniquement de l'angle que forme le dernier élément de la surface avec la paroi, et cet angle étant nul quand le liquide et la paroi sont de même nature, la forme de la surface, son rayon de courbure au point le plus bas doivent rester constants à toute température dans des tubes cylindriques suffisamment étroits, et la surface libre doit être hémisphérique.

C'est en supposant cette constance du rayon de courbure du ménisque, et en admettant d'ailleurs que l'attraction du liquide sur lui-même est proportionnelle à sa densité, que Laplace et Poisson arrivent à cette conclusion, que la hauteur capillaire est proportionnelle à la densité du liquide.

Je ferai remarquer d'abord que cette hypothèse de la proportionnalité de l'attraction du liquide sur lui-même à sa densité est très-contestable. Il est probable que l'action réciproque des éléments liquides varie non-seulement avec leur densité, mais encore avec la température. A priori, la

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

loi de la proportionnalité de la hauteur capillaire à la densité est donc une loi très-contestable aussi.

Mais, en outre, je viens de faire voir qu'aux diverses températures la courbure de la surface du ménisque varie, qu'elle devient d'autant plus faible que la température est plus élevée ; la conséquence déduite de la constance de cette courbure ne peut donc s'accorder avec les faits.

En laissant de côté toute hypothèse, les théories s'accordent pour faire voir que l'élévation du liquide dans un tube est en raison inverse du rayon de courbure de la surface libre en son point le plus bas, celle-ci étant supposée de révolution. Dès lors, si même nous admettons la supposition de Laplace et de Poisson, il faudra du moins y apporter une correction : la hauteur variera en raison de la variation de deux éléments, la densité du liquide et le rayon de courbure du ménisque.

Appelons avec Laplace q la hauteur à o degré, q' la hauteur à une autre température, à laquelle la densité rapportée à celle du liquide à o degré est $1 - \alpha$; nous aurions si le rayon de courbure ne variait pas,

$$q' = q\,(1 - \alpha).$$

Mais si le rayon de courbure ρ à o degré devient ρ' à la seconde température, on aura alors

$$q' = q\,(1 - \alpha)\,\frac{\rho}{\rho'},$$

et ρ' augmentant avec la température, on voit que la hauteur capillaire doit décroître plus rapidement que la densité.

J'ai voulu encore vérifier directement cette variation de courbure du ménisque à des températures bien inférieures à celles où, comme dans les expériences décrites plus haut, le changement de forme devient évident. Dans les tubes très-étroits sur lesquels j'avais opéré, la mesure très-difficile de la flèche du ménisque n'aurait pu présenter le degré

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

de rigueur nécessaire. J'ai employé un tube de $4^{mm},50$ de diamètre intérieur, qui, après avoir été lavé à l'acide azotique et à l'acide sulfurique étendu, a été en partie rempli de liquide et fermé à la lampe. Je l'ai fixé verticalement dans un vase cubique en cuivre percé seulement de deux petites fenêtres opposées garnies de lames de glace à faces parallèles, rempli d'eau et presque complétement couvert par une lame opaque. Il est nécessaire en effet, pour apercevoir nettement les limites supérieure et inférieure du ménisque, d'éclairer le tube par la lumière presque parallèle et d'éviter les rayons latéraux. J'ai mesuré alors au cathétomètre la flèche du ménisque, à la température ambiante, puis à la température de l'eau en ébullition; et voici les résultats que j'ai obtenus pour l'eau, l'éther ordinaire et l'acide sulfurique successivement introduits dans le même tube et à la même hauteur :

	Eau.	Éther	Ac. sulfurique.
	mm	mm	mm
18 degrés.....	1,955	1,80	1,80
Ébullition de l'eau..	1,87	1,60	1,73

Cette variation de la hauteur du ménisque s'observe déjà pour une variation de température de quelques degrés à partir de la température ambiante; mais la difficulté de maintenir constante la température du vase ne m'a pas permis de prendre des mesures exactes.

J'arrive à une seconde conséquence de mes observations. Les géomètres ont toujours, à l'exemple de Clairaut, considéré dans l'action du liquide sur lui-même et sur le tube quatre cas principaux.

1°. Si l'action du tube sur le liquide est nulle ou moindre que la moitié de celle du liquide sur lui-même, la surface du fluide dans le tube sera convexe, et il y aura dépression.

2°. Si cette action devient égale à la moitié de celle du liquide sur lui-même, la surface du liquide dans le tube est

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

plane, et il ne se produira ni élévation ni abaissement du niveau.

3°. Jusqu'à ce que l'attraction du tube sur le liquide soit devenue égale à celle du liquide sur lui-même, la théorie montre que la surface est concave, et qu'il y a ascension du fluide dans le tube.

4°. Enfin, dès que cette attraction l'emporte sur l'attraction propre du liquide, la théorie se trouve en défaut, et il devient nécessaire, pour expliquer ce qui peut se produire alors, d'admettre que le fluide en s'attachant au tube forme un tube intérieur, qui seul élève le liquide dont la surface est concave et celle d'une demi-sphère. On peut conjecturer, ajoute Laplace, que ce cas est celui de l'eau et des huiles dans les tubes de verre.

Cette conjecture est-elle exacte, s'accorde-t-elle avec les faits? Je ne le crois pas, au moins pour les températures un peu élevées; car mes observations conduisent à cette conséquence, que pour les liquides tels que l'eau, l'alcool, l'éther sulfurique, l'huile de naphte, qui s'élèvent dans les tubes de verre, l'attraction du tube sur le liquide, ordinairement plus grande que la moitié de celle du liquide sur lui-même, n'est pas égale à cette attraction, à fortiori ne lui est pas supérieure, au moins dans certaines conditions de température.

En effet, j'ai fait voir qu'à une température suffisamment élevée, variable d'ailleurs d'un liquide à un autre, probablement variable aussi suivant la nature du vase, le liquide cesse de mouiller ce vase et y forme une surface parfaitement plane : si bien qu'à ce moment l'action des parois sur le liquide est justement égale à la moitié de celle du liquide sur lui-même. A une température plus élevée, l'action du tube diminue encore, et le liquide forme une surface convexe. Mais si la température s'abaisse, la surface devient concave, le liquide monte dans un tube capillaire, et l'expérience fait voir encore que la courbure du ménisque

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

augmente à mesure que le liquide est plus froid. La continuité des phénomènes force donc à admettre qu'au moment où l'ascension se produit, l'attraction du tube sur le liquide est moindre que celle du liquide sur lui-même. Il me paraît donc démontré qu'à des températures suffisamment élevées, mais dont je ne puis fixer encore la limite inférieure, le liquide n'adhère plus aux parois du tube capillaire pour y former cette gaîne dont l'existence avait été généralement admise.

Cette gaîne existe-t-elle aux températures ordinaires, auxquelles les anciennes expériences ont été faites? Je le répète, mes observations ne peuvent encore décider la question. Cependant si l'on se reporte aux raisons qui ont pu forcer les géomètres à compliquer la théorie par l'hypothèse de son existence, on voit qu'il y a dès aujourd'hui les mêmes probabilités pour et contre cette supposition. Voici les principales raisons qui ont été énoncées en sa faveur.

La première est cette remarque faite depuis longtemps, qu'on n'obtient une élévation constante dans un tube capillaire qu'à la condition de mouiller d'abord les parois par aspiration du liquide. Mais cette condition de succès peut s'expliquer aussi par la nécessité d'enlever la couche d'air toujours adhérente aux parois, et d'établir le contact du liquide et du tube.

La seconde serait plus sérieuse si elle reposait sur des faits bien certains. On a observé, dit-on, que dans des tubes de même diamètre, mouillés par un liquide, celui-ci s'élève toujours à la même hauteur, quelle que soit la nature du tube, si bien que l'influence de la nature de la paroi est nulle ou insensible : résultat qui ne peut s'expliquer que par l'existence d'une couche liquide adhérente à cette paroi, et d'épaisseur plus considérable que le rayon d'activité des molécules du tube. Mais quelles sont les expériences sur lesquelles est fondée cette loi? On cite ordinairement le nom de Hauksbée : mais à ses expériences on pourra op-

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

poser celles de Muschembroeck d'après lesquelles cet illustre expérimentateur a cru reconnaître une influence sensible de la paroi. On cite les expériences d'Oerstedt (1), mais elles ont été faites par un procédé analogue à celui de Simon de Metz, et, comme les expériences de ce dernier, ne peuvent être invoquées à l'appui d'une théorie établie pour des conditions tout autres. Son appareil consistait en une sorte de siphon renversé dont l'une des branches se terminait par une plaque horizontale percée d'une ouverture, et l'on déterminait la pression qu'il fallait exercer pour faire sortir le liquide par cet orifice. Il a trouvé que la pression était la même quand l'eau coulait à travers des ouvertures égales faites dans le verre et dans le cuivre amalgamé. Ce que l'on traduit ordinairement en disant que dans le verre et le cuivre amalgamé, l'eau s'élève à la même hauteur.

Et pourtant, lorsque, après avoir condamné ces procédés détournés, on cherche par quels moyens on pourrait arriver à démontrer la non-influence de la paroi, on voit bien vite que les tubes étant presque tous opaques, il est impossible d'avoir recours à la méthode directe, sauf dans le cas où les tubes seraient assez larges pour que l'élévation du liquide pût se mesurer au sphéromètre. Mais alors la grandeur absolue de l'élévation serait trop faible pour que l'on pût espérer une démonstration rigoureuse. Il est bien difficile d'ailleurs que deux tubes différents présentent exactement le même diamètre. Ce dernier inconvénient ne se présente pas dans l'emploi de deux lames parallèles, dont l'écart peut être facilement réglé par des fils métalliques et des vis de pression. Or Linck a fait connaître (2) les résultats de nombreuses observations faites sur des lames parallèles de diverse nature. Voici ceux qu'il a obtenus pour un écart des lames égal à 0,4 lignes de Paris.

---

(1) *Poggendorff's Annalen*, 1841, tome LIII, page 614.
(2) *Poggendorff's Annalen*, 1834, tome XXXI, page 593.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPM7.

LIQUIDES.	DENSITÉ.	LAMES de verre.	LAMES de cuivre.	LAMES de zinc.
Eau distillée.....	1,000	12,5	13,0	13,0
Alcool rectifié.....	0,835	8,0	10,0	9,5
Éther sulfurique.....	0,755	7,0	10,0	8,5
Acide sulfurique.....	1,845	11,0	11,0	15,0
Acide nitrique.....	1,200	14,0	"	"
Acide chlorhydrique.....	1,115	14,0	14,0	"
Potasse caustique.....	1,335	8,0	10,5	8,0
Acétate de potasse.....	1,145	9,5	11,5	10,0

Si pour l'eau distillée la hauteur est sensiblement la même dans les trois cas, on voit que l'alcool, l'éther sulfurique, liquides qui mouillent bien plus facilement les solides, s'élèvent à des hauteurs très-différentes entre les diverses lames, et que les différences dépassent de beaucoup les erreurs possibles d'expériences.

Je ne parlerai pas d'un troisième fait qui cependant serait le plus important, mais qui aurait besoin de confirmation, savoir, qu'une goutte d'eau, d'éther sulfurique, d'alcool, placée sur une lame de verre *parfaitement nette*, plane et horizontale, s'étend d'elle-même sur toute la surface. Les conditions dans lesquelles une pareille expérience devrait être faite pour ne point laisser prise aux objections sont tellement difficiles à remplir, qu'elle me paraît irréalisable.

Quoi qu'il en soit donc de ce qui a lieu à la température ordinaire, il me paraît certain qu'à une température assez élevée l'existence d'une gaîne liquide dans les tubes capillaires doit être rejetée.

De cette manière de considérer les phénomènes capillaires découlent plusieurs conséquences que je vais examiner, et qui seront les conclusions de ce travail.

1°. L'élévation d'un même liquide dans les tubes capillaires dépend, toutes circonstances égales d'ailleurs, de la nature du tube.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

2°. Dans un même tube, à diverses températures, la hauteur à laquelle s'élève un liquide est en raison composée de sa densité et de la courbure du ménisque : celle-ci diminue quand la température augmente, et devient nulle à une température suffisamment élevée, au delà de laquelle elle se reproduit en sens inverse. La loi de diminution de la hauteur doit nécessairement varier suivant la nature de tube, et, bien que les tubes de verre ou de cristal dans lesquels on opère aient sur le liquide des actions presque égales, on doit s'attendre à trouver des divergences dans la marche du phénomène, lorsqu'on passe d'un tube à un autre. C'est à cette cause que je rapporte le désaccord que j'ai observé entre les résultats donnés par un premier tube de verre, et ceux que j'ai obtenus ensuite avec un tube de cristal.

La loi de variation de la dépression avec la température pour les liquides qui ne mouillent pas le verre se relie alors à la loi de diminution de l'élévation capillaire et en devient une conséquence. J'ai montré, en effet, qu'à une température déterminée, un liquide cesse de mouiller le vase qui le contient, qu'au delà le liquide prend une surface convexe et se déprime. La continuité des phénomènes se trouve donc rétablie d'une manière très-simple : il suffira d'admettre que le mercure, par exemple, est déjà, aux basses températures, en présence du verre, dans ce même état que l'éther, l'alcool, le sulfure de carbone, n'atteignent qu'à un degré de température très-élevé. Dès lors, la dépression, comme l'a observé M. Frankenheim, doit augmenter à mesure que la température s'élève, suivant une loi, variable d'ailleurs avec la nature du liquide et celle du tube. Il suit de là encore que ces liquides, qui ne mouillent pas les tubes, pourront les mouiller au contraire à une température suffisamment basse, et présenter ainsi, par l'action du froid, la même série de phénomènes que présente l'éther par celle de la chaleur. Je ne connais malheureusement

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

aucun liquide qui remplisse ces conditions de ne point mouiller le verre et de ne congeler qu'à une basse température, en conservant une mobilité suffisante.

En résumé, je crois avoir rempli le programme que je m'étais tracé, et avoir montré :

1°. Que la loi trouvée par différents observateurs, et en particulier par M. Brünner, pour le décroissement de la hauteur capillaire quand la température s'élève, est exacte, mais qu'il est impossible de la généraliser et de l'appliquer à d'autres tubes que ceux sur lesquels ont été faites les expériences;

2°. Que l'accord de la théorie mathématique et de l'expérience, qui semblait détruit par ces résultats, se reproduit, au contraire, si l'on abandonne, au moins pour les températures un peu élevées, l'hypothèse de l'existence d'une couche liquide adhérente aux parois des tubes dans lesquels s'élèvent les liquides;

3°. Que l'ascension et la dépression d'un liquide dans un tube ne sont que des cas particuliers d'un même phénomène général, qui est soumis dans ses modifications à la loi naturelle de continuité.

Je ne parlerai point ici des conséquences qui peuvent se déduire de quelques-uns des faits que j'ai observés, relativement à l'explication des phénomènes de l'état sphéroïdal. Peut-être même trouvera-t-on prématurées celles que j'ai tirées d'un si petit nombre d'observations : l'obscurité qui enveloppe encore la théorie des phénomènes que j'ai étudiés et le désir d'y jeter quelque lumière pourront, je l'espère, excuser ma témérité.

Vu et approuvé,
Le 20 novembre 1856,
LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,
MILNE EDWARDS.

Permis d'imprimer,
Le 20 novembre 1856,
LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE LA SEINE,
CAYX.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC

PROPOSITIONS DE CHIMIE DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

I. De la diffusion des solides et des gaz dans les liquides.

II. Des actions de présence.

III. Des lois de Berthollet.

IV. Détermination de l'équivalent des composés chimiques.

Vu et approuvé,

Le 20 novembre 1856,

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

MILNE EDWARDS.

Permis d'imprimer,

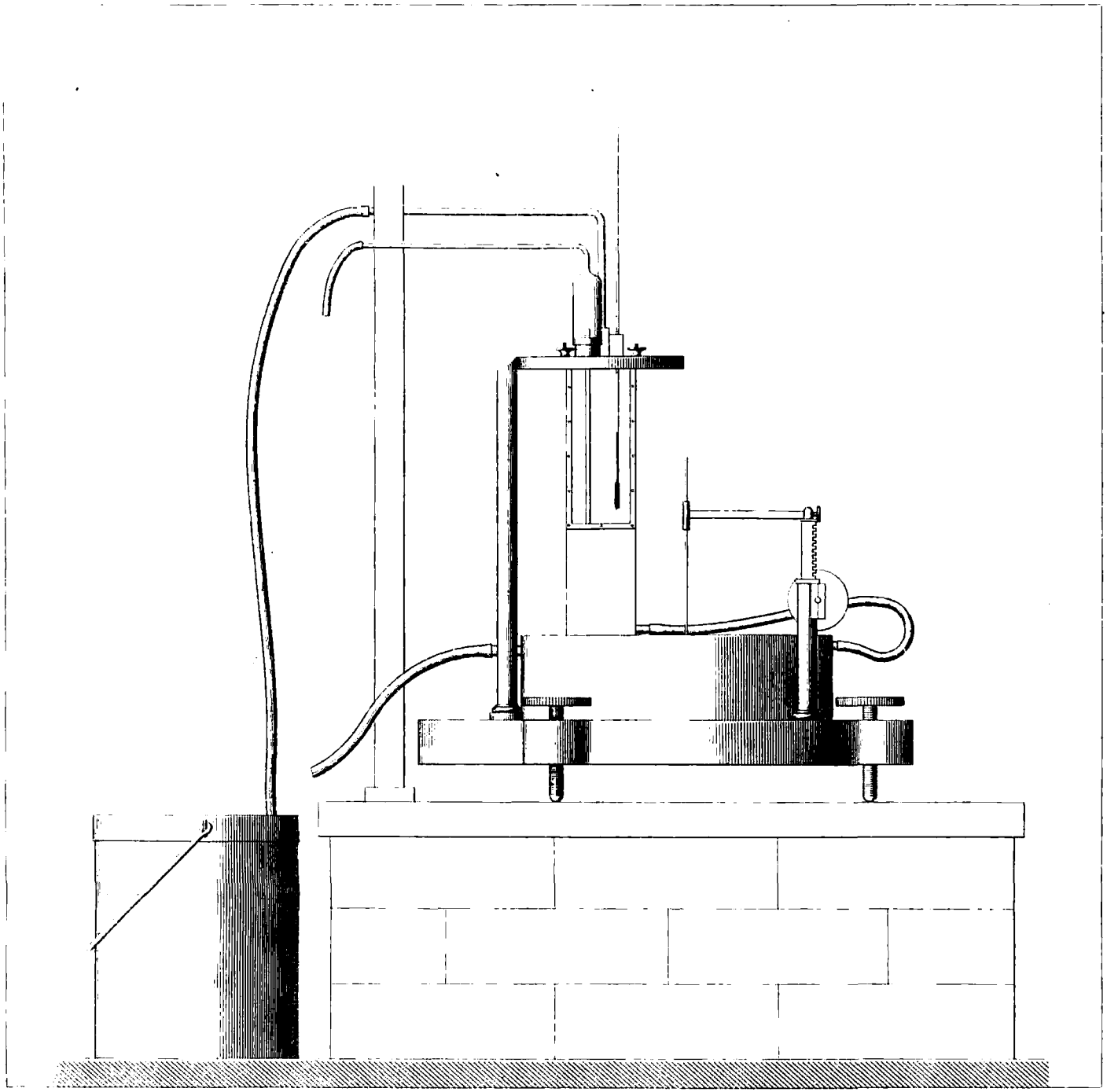
Le 20 novembre 1856,

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE LA SEINE,

CAYX.

Paris. — Imprimerie de MALLET-BACHELIER, rue du Jardinet, 12.

Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC



Document numérisé par la Bibliothèque Interuniversitaire Scientifique Jussieu - UPMC