HAL
open science

De l'influence de la température sur la tension superficielle de l'eau

Boris Weinberg

To cite this version:

Boris Weinberg. De l'influence de la température sur la tension superficielle de l'eau. J. Phys. Theor. Appl., 1892, 1 (1), pp.378-385. 10.1051/jphystap:018920010037801 . jpa-00239642

HAL Id: jpa-00239642

https://hal.science/jpa-00239642

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DE L'INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA TENSION SUPERFICIELLE DE L'EAU;

PAR M. BORIS WEINBERG.

La détermination de la tension superficielle des liquides a beaucoup intéressé les savants, mais les résultats de leurs recherches ont été bien contradictoires (1).

Cette discordance des résultats peut être expliquée : 1° par l'insuffisance des méthodes mêmes d'observation et 2° par la contamination de la surface de l'eau.

Ce dernier fait, signalé pour la première fois par Marangoni (*Rendiconti dell' Acc. romana,* [4], t. V, p. 25) et confirmé ensuite par les expériences de Lord Rayleigh (*Phil. Mag.,* t. XXX, p. 386) et de Mlle Pockels (*Nature,* t. XLIII, p. 437), peut avoir une influence considérable sur la valeur de la tension superficielle. La plupart des observateurs ayant opéré avec une surface anomale, salie, il m'a semblé intéressant de déterminer la tension d'une surface normale, propre, c'est-à-dire d'une surface dont le nettoyage ultérieur n'augmente pas la tension. Les recherches de Mlle Pockels m'ont donné l'idée de recourir à la méthode d'arrachement, l'inconstance des résultats des autres observateurs (des différences

(1) J'ai réuni presque toutes les déterminations de la constante capillaire de l'eau; le Tableau en est inséré dans le *Journ. de la Soc. phys.-chim. russe*, t. XXIV, p. 44-7, et le *Rép. de Phys.*, 1892, et peut servir comme exemple de cette discordance.

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphystap:018920010037801

de 1 à 2 pour 100) m'ayant semblé provenir de la contamination de la surface.

L'objet arraché était un anneau en cuivre, muni de deux diamètres perpendiculaires et qui, à l'aide de trois vis, pouvait être placé horizontalement, pour que l'arrachement se produisît le long de toute la périphérie. Pour nettoyer la surface de l'eau, contenue dans une cuvette ($30^{cm} \times 10,5 \times 8$) en laiton nickelé, je me suis servi de deux petites pelles, dont la largeur était presque égale à celle de la cuvette, et le nettoyage s'est opéré de la manière suivante : j'apposais une des pelles à un bord de la cuvette et je la faisais glisser jusqu'au bord opposé. Grâce à cela, apparaissait d'un côté une surface fraîche et propre, tandis que la graisse s'écoulait par-dessus le bord opposé; puis, en laissant la pelle à sa place, je continuais le même procédé avec la seconde, ensuite de nouveau avec la première et ainsi de suite. Trois ou quatre renouvellements suffisaient pour mener à bout le nettoyage de toute une surface : le poids d'arrachement devenait alors bien constant et n'augmentait pas par suite du nettoyage ultérieur.

Si la surface de l'eau est surmontée d'une couche d'air de température inférieure, nous ne pouvons, premièrement, définir la température précise de la surface et, deuxièmement, l'eau de la surface, en se refroidissant et en descendant, peut produire des courants, qui sont à même d'influer sur le poids d'arrachement. Pour éviter cet inconvénient, la cuvette et l'anneau furent placés dans une caisse à double paroi, que je remplissais d'eau à la température voulue; pour empêcher des changements de température, la caisse fut entourée d'une couche de coton d'environ 5^{cm} d'épaisseur.

La cuvette, l'anneau, les thermomètres, etc. étaient lavés plusieurs fois avec de l'ammoniaque et de l'eau distillée et salissaient si peu la surface qu'il m'arrivait d'obtenir des résultats satisfaisants le lendemain même et sans recourir au nettoyage.

Afin de déterminer d'une manière précise et facile le moment de l'arrachement, j'ai appliqué à la balance la méthode du miroir à double suspension, à l'aide de laquelle on pouvait déterminer les déviations du fléau de $1''$, ce qui correspondait à $0^{mgr},05$.

Pour produire l'augmentation du poids d'une manière continue, je suspendis au-dessus du plateau de la balance un fil de cuivre

($1^{mm},19$ de diamètre), plongé dans un tube vertical, muni d'une échelle graduée en millimètres, et rempli d'eau. En la laissant couler, on découvrait le fil et l'on augmentait par cela même son poids d'une manière continue. Le niveau de l'eau indiquait le poids appliqué (1^{mm} de fil déplace $1^{mgr},112$ de l'eau).

Les résultats obtenus étaient assez constants : l'erreur moyenne était de 5^{mgr} ($\frac{1}{14}$ pour 100 de la grandeur mesurée) et les observations faites à la même température ne différaient même pas parfois de 1^{mgr}, et l'on pouvait déterminer les dixièmes de degré par le poids d'arrachement.

A l'aide de la méthode des moindres carrés, chaque série d'observations (faites avec la même eau, le même jour) était représentée par la formule

$$p = p_0 - \pi\tau = p_0(1 - \varepsilon'\tau),$$

où p désigne le poids d'arrachement à τ° C., p_0 à 0°, π sa variation pour 1°, ε' son coefficient thermique. Les résultats sont exposés dans le Tableau I.

TABLEAU I.

Série.	p.	π.	$\varepsilon'.10^5$.	Erreur probable de p.	Erreur moyenne de p.	Nombre d'observations.	Intervalles de température.
	gr	mgr		mgr	mgr		
1...	7,670	18,0	235	0,5	1,4	7	34,2 — 31,6
2...	7,634	15,8	208	0,7	2,0	6	49,8 — 48,8
3...	7,779	19,1	220	1,3	10,7	56	49,8 — 43,6
4...	7,664	16,9	220	2,7	18,5	30	32,5 — 24,4
5...	8,100	32,9	407	0,5	3,0	47	29,0 — 28,1
6...	7,751	21,1	272	0,3	2,8	44	24,4 — 24,8
7...	7,686	18,3	238	0,3	1,0	11	22,9 — 21,9
8...	7,659	16,8	219	0,4	1,5	9	18,7 — 21,9
9...	7,708	17,2	223	1,3	3,8	14	28,1 — 23,5
10...	7,750	17,9	243	1,4	4,0	10	28,5 — 25,5
11...	7,867	20,2	257	1,5	10,0	32	74,0 — 66,2
12...	7,655	18,1	236	0,3	1,9	45	44,9 — 43,1
13...	7,670	16,6	216	0,4	3,2	83	46,8 — 36,5
14...	7,616	19,2	254	0,6	2,5	57	2,4 — 5,0
15...	7,612	16,9	222	0,4	3,4	59	4,2 — 20,2

Le *poids* de chaque détermination étant pris comme proportionnel au nombre des observations et inversement proportionnel

à leur erreur probable, nous obtenons

$$\pi = 17,32 \quad \text{et} \quad \varepsilon' = 0,002254,$$

d'où

$$p_0 = 7,684;$$

le calcul direct donne

$$p = 7,667.$$

(La 5e série est rejetée en vertu de la loi de Laplace.)

Mais, dans ce cas, le coefficient thermique se déduit de quelques observations faites dans un petit intervalle de température; afin de résumer toutes les observations embrassant un intervalle de 1° à 74°, j'ai calculé, à l'aide des données du Tableau I, p pour deux températures, que j'ai prises voisines des limites de la température de chaque série dans le but de ne pas extrapoler ces formules. De trente valeurs de p, qui n'étaient, au fait, que les valeurs moyennes de chaque série d'observations, et de trois valeurs, obtenues par des observations à la même température, j'ai obtenu les formules suivantes

$$\text{(I)} \qquad p_1 = 7,6299 - 0,015876\tau\,(^1) = 7,6299(1 - 0,0020879\tau),$$

$$\text{(II)} \qquad \left\{ \begin{aligned} p_2 &= 7,6161 - 0,014601\tau - 0,00002262\tau^2 \\ &= 7,6161(1 - 0,0019171\tau - 0,000002970\tau^2); \end{aligned} \right.$$

le *poids* de chaque p était pris dans ces calculs proportionnel à la racine carrée du nombre des observations et inversement proportionnel à leur erreur probable; les *poids* des observations, faites avec une eau, qu'on avait gardée dans la cuvette un jour ou deux, furent encore diminués de quelques unités.

Les deux formules s'adaptent bien aux résultats des expériences, comme on peut le voir par le Tableau II.

---

(1) La variation du poids d'arrachement pour 1° est beaucoup moins considérable ici que celle des observations faites avec la même eau ($\pi = 15^{mgr},876$ et $\pi = 17^{mgr},32$); on pourrait plutôt craindre le contraire, car la plupart des observations (toutes les séries, à l'exception de 6, 8, 14 et 15) étaient faites pendant le refroidissement de l'eau et, dans ce cas, la contamination ainsi que la solution graduelle pourraient diminuer le premier membre de la différence $p_\tau - p_{\tau_1} = \pi(\tau - \tau_1)$ et non le second.

TABLEAU II.

t.	p observ.	Série.	Poids.	p_1.	$p - p_1$.	p_2.	$p - p_2$.
1.....	7,604	»	9	7,614	—10	7,600	+ 4
2.....	7,589	14	10	7,598	— 9	7,587	+ 2
5.....	7,531	14	10	7,551	—20	7,543	—12
9.....	7,470	15	8	7,487	—17	7,483	—13
17.....	7,385	»	7	7,360	+25	7,361	+24
18.....	7,358	»	5	7,344	+14	7,346	+12
19.....	7,346	8	7	7,328	+18	7,330	+16
20.....	7,284	15	8	7,312	—28	7,315	—31
22.....	7,285	7	11	7,281	+ 4	7,284	+ 1
22.....	7,288	8	7	7,281	+ 7	7,284	+ 4
23.....	7,265	7	11	7,265	0	7,268	— 3
23.....	7,312	9	3	7,265	+47	7,268	+44
24.....	7,262	4	1	7,250	+12	7,254	+ 8
24.....	7,250	6	8	7,250	0	7,254	— 4
25.....	7,229	6	8	7,234	— 5	7,238	— 9
26.....	7,254	10	3	7,218	+36	7,222	+32
28.....	7,182	5	3	7,186	— 4	7,190	— 8
28.....	7,226	9	4	7,186	+30	7,190	+26
29.....	7,149	5	3	7,171	—22	7,175	—26
29.....	7,198	10	3	7,171	+27	7,175	+23
31.....	7,129	1	4	7,139	—10	7,143	—14
33.....	7,110	4	1	7,107	+ 3	7,110	0
34.....	7,085	1	4	7,091	— 6	7,094	— 9
35.....	7,089	13	10	7,075	+14	7,078	+11
43.....	6,930	12	8	6,947	—17	6,946	—16
44.....	6,937	3	2	6,931	+ 6	6,929	+ 8
45.....	9,895	12	8	6,915	—20	6,912	—17
47.....	6,888	13	10	6,884	+ 4	6,880	+ 8
49.....	6,861	2	4	6,852	+ 9	6,846	+15
50.....	6,845	2	4	6,836	+ 9	6,829	+16
50.....	6,823	3	2	6,836	—13	6,829	— 6
66.....	6,561	11	2	6,582	—21	6,553	+ 8
74.....	6,399	11	2	6,455	—56	6,411	—12

L'erreur moyenne et l'erreur probable sont moins considérables pour la formule (II) que pour la formule (I) ($12^{mgr},5$ et $1^{mgr},09$ et $14^{mgr},0$ et $1^{mgr},12$).

Pour tirer de ces résultats les valeurs absolues, il faut connaître le périmètre et la section de l'objet arraché. Une faute dans le choix de sa forme ainsi que son manque de régularité m'ont ôté la

possibilité de déterminer α_0 et a_0^2 [1] avec une précision de plus de 1 pour 100.

Le poids d'arrachement est égal à la force nécessaire pour rompre la colonne soulevée suivant son périmètre, $P\alpha$, plus le poids de celle dont la hauteur est, selon Laplace, égale à $a = \sqrt{a^2}$, $Q a \sigma$; par conséquent,

$$p = \frac{P\sigma}{2} a^2 + Q\sigma a = P\alpha + Q\sqrt{2\sigma}\sqrt{\alpha}.$$

En connaissant p comme fonction de la température et en tenant compte de la dilatation de l'eau (σ) et du cuivre (P et Q), on peut déduire de ces formules α et a^2 comme fonctions de la température. De la formule (I) on tire

$$a^2 = 16,4(1 - 0,0021880\tau + 0,0000037519\tau^2),$$
$$\alpha = 8,18(1 - 0,0022051\tau)$$

et de la formule (II)

$$a^2 = 16,3(1 - 0,0019750\tau),$$
$$\alpha = 8,16(1 - 0,0020532\tau - 0,0000028432\tau^2).$$

Pour comparer les résultats de mes recherches à ceux des autres observateurs, j'ai étudié la bibliographie du sujet et j'y ai rencontré la discordance suivante : la plupart des auteurs regardent les variations de la constante capillaire comme une fonction linéaire de la température, les autres prennent celles de la tension superficielle pour une fonction linéaire, et Timberg (*Wied. Ann.*, t. XXX, p. 547) admet l'une et l'autre hypothèse, quoique ces quantités soient reliées entre elles par un facteur σ, dont les variations rappellent très peu une fonction linéaire. Quelques

---

[1] Nous employons les termes usuels : pour la constante capillaire

$$a_\tau^2 = a_0^2(1 - e\tau)(\text{mm.})^2;$$

pour la tension superficielle

$$\alpha_\tau = \frac{a_\tau^2 \sigma}{2} = \alpha_0(1 - \varepsilon\tau)\left(\frac{\text{mgr.}}{\text{mm.}}\right);$$

σ, densité.

auteurs donnent des formules paraboliques, notamment

Wolf.....	$a_\tau^2 = a_0^2(1 - 0{,}002011\tau + 0{,}00000416\tau^2)$
Dupré.....	$\alpha_\tau = \alpha_0(1 - 0{,}001370\tau - 0{,}0000035496\tau^2)$
Ochsé (0°-8°)..	$\alpha_\tau = \alpha_0(1 - 0{,}0112\tau + 0{,}00364\tau^2)$.

Citons les résultats des meilleures recherches. La plus précise (l'erreur moyenne de $\frac{1}{30}$ pour 100) est celle de Brunner et indique une variation linéaire de la constante capillaire avec une petite convexité vers l'axe des abscisses :

Brunner.....	$e = 0{,}001868$ (1)	
Frankenheim.....	$e = 0{,}001822$ (2)	
»	$e = 0{,}001875$ (3)	
Sondhauss.....	$e = 0{,}001911$ (4)	
»	$e = 0{,}002039$ (5)	
Wolf.....	$e = 0{,}002011$ (6)	
»	$e = 0{,}001817$ (6)	
Boulyginsky.....	$e = 0{,}001980$ (7)	
Volkmann.....		$\varepsilon = 0{,}001829$ (8)
Timberg.....	$e = 0{,}002252$	$\varepsilon = 0{,}002536$ (9)
»	$e = 0{,}002475$	$\varepsilon = 0{,}002732$ (9)
»	$e = 0{,}001951$	$\varepsilon = 0{,}002208$ (9)
Jager.....		$\varepsilon = 0{,}00232$ (10)
Valeur moyenne.	$e = 0{,}002000$	$\varepsilon = 0{,}002325$

La formule (II) produisant une variation linéaire de a^2 et la valeur de α, qu'on en déduit, se réduisant à 0 pour 332° [température voisine de la température critique de l'eau, 365°, selon les dernières déterminations de Cailletet et Collardeau (*Comptes rendus,* t. CXIII, p. 1170)], nous lui donnons la préférence et obtenons les valeurs suivantes, approchant des valeurs moyennes

(1) *Pogg. Ann.,* t. LXX, p. 485.
(2) *Die Lehre der Cohäsion,* Breslau, 1835.
(3) *Pogg. Ann.,* t. LXXII, p. 177.
(4) *Diss. Inaug.* Vratislavial, 1841.
(5) *Pogg. Ann.,* Erg. Bd. VIII, p. 266.
(6) *Pogg. Ann.,* t. CII, p. 571.
(7) *Pogg. Ann.,* t. CXXXIV, p. 446.
(8) *Wied. Ann.,* t. XVII, p. 353.
(9) *Wied. Ann.,* t. XXX, p. 545.
(10) *Sitz. Wien. Acad.,* t. C, p. 258.

ci-dessus

$$e = 0,001975 \quad \text{et} \quad \varepsilon = 0,002254 \text{ (1)}.$$

Les valeurs absolues (16,3) sont un peu trop grandes en comparaison des valeurs moyennes des observations dans les tubes capillaires (15,36) ou de toutes celles dont j'ai eu connaissance (15,40), mais cela dépend, peut-être, de la propreté de la surface de l'eau.

Pour conclure, je me fais un devoir agréable d'exprimer ma haute reconnaissance à M. le Professeur Borgmann et à M. Lermantoff, qui ont bien voulu m'aider de leurs conseils et de leurs indications utiles, ainsi qu'à mon camarade M. Blumenfeld, qui m'a prêté constamment son concours.