

Sur la vitesse de l'évaporation au point de vue spécial des relations physiologiques.¹⁾

Par

N.-P. Schierbeck.

(Présenté dans la séance du 18 octobre 1895.)

Un élément important comme régulateur de la chaleur dans l'organisme humain, c'est l'élimination de l'eau et son évaporation ultérieure qui a constamment lieu à la surface du corps. Elle-même cette élimination de l'eau doit être considérée comme le résultat d'un procédé actif des cellules des pores exhalants, tandis que l'évaporation de l'eau doit être soumise à des lois physiques, savoir les mêmes lois qui président à l'évaporation à la surface de liquides, ce qui rend cette évaporation solidaire de l'état de l'atmosphère, par exemple la température de l'air, la pression atmosphérique, le degré d'humidité et la vitesse du vent. Si donc on veut être à même de juger de l'influence d'un climat sur l'organisme, soit qu'il s'agisse du climat naturel, de certains vents ou du climat artificiel que nous créons dans nos habitations, il est nécessaire d'être au courant des lois que nous pourrions appeler l'action desséchante du climat ou de l'air.

¹⁾ En égard au rapport de MM. les censeurs (comp. le Bulletin de l'Académie pour l'année 1895, p. (68)—(69)) le titre a été rectifié comme ci-dessus. On a également fait les corrections nécessaires pour éliminer toute l'obscurité qui pourrait exister relativement à la manière dont l'auteur conçoit les idées de Stefan sur l'influence de la température de l'air.

Note de l'auteur.

Mais ici nous devons immédiatement séparer l'une de l'autre deux circonstances qui diffèrent considérablement d'importance relativement à l'organisme. Autre chose est de savoir combien d'eau l'évaporation produite à la surface du corps peut fournir en général à un certain volume d'air ayant une certaine température et un certain degré d'humidité, autre chose de connaître la vitesse avec laquelle s'effectue cette évaporation. La première de ces conditions dépend uniquement de la quantité de vapeur d'eau que l'air donné est à même d'absorber, et à son tour cette capacité dépendra exclusivement du déficit actuel de l'air sous les rapports de la saturation et de la tension, c'est-à-dire de la différence entre la quantité ou tension de vapeur présente, et le maximum quantitatif de vapeur ou la température donnée. La quantité d'eau qui s'évapore jusqu'à ce que l'air soit saturé, devient donc proportionnelle au déficit de tension ou de saturation de l'air. Toutefois ce rapport n'a que peu d'importance pour l'organisme humain: c'est là seulement un moyen de mesurer la quantité d'eau qu'un volume limité d'air peut généralement dérober à l'organisme. Mais en réalité nous ne sommes jamais en face d'un volume limité d'air; au contraire, c'est toute l'atmosphère. C'est seulement dans le poumon qu'il y a isolement d'un volume d'air durant un certain temps et dans des conditions qui suffisent à saturer l'air de vapeur d'eau, et par conséquent c'est seulement pour le débit d'eau dans le poumon que le déficit de tension de l'air décidera la question. Mais s'agit-il de la sécrétion d'eau produite en grand à la surface du corps et qui constitue l'élément principal de la régularisation de la chaleur humaine, la quantité d'eau vaporisée dans l'unité du temps, c'est-à-dire la vitesse d'évaporation, sera seulement de quelque importance. Plus l'eau s'évapore rapidement, plus la surface se refroidira dans l'unité du temps et plus sera grande la quantité d'eau enlevée à l'organisme. La vitesse d'évaporation fournit donc l'échelle d'après laquelle on doit juger de l'influence qu'exerce un climat sur le

débit d'eau de l'organisme et par là sur la régularisation de la température.

Si donc, se réglant sur la proposition de Flügge¹⁾, on donne partout le déficit de tension comme l'élément le plus important pour déterminer le côté physiologique ou hygiénique d'un climat, ceci est juste, mais seulement dans le cas où la vitesse d'évaporation est proportionnelle au déficit de la tension. Aussi est-ce de cette manière qu'on procède dans le travail de Denecke²⁾, travail provenant du laboratoire de Flügge, sans que toutefois on ait justifié le principe. Les lois de l'évaporation telles que les déduit la physique mathématique, s'opposent cependant à l'admission d'une proportionnalité entre le déficit de tension et la vitesse d'évaporation, cette proportionnalité n'ayant lieu qu'à égale température.

Dans ce qui suit, nous allons étudier en quoi la vitesse d'évaporation dépend des conditions atmosphériques, notre but étant d'arriver, si possible, à exprimer cette vitesse par une formule mathématique applicable à toutes les conditions, cette formule devant alors servir de mesure à l'action desséchante de l'air et pouvant servir dans les recherches sur l'influence du climat sur l'organisme.

Recherches faites entièrement sur la vitesse d'évaporation.

Dalton fut le premier qui tenta d'étudier l'existence d'une relation régulière entre la vitesse de l'évaporation et l'état de l'atmosphère, surtout le degré d'humidité de l'air, ainsi que la recherche d'une formule mathématique définie qui pût exprimer le rapport en question³⁾. Ses prédécesseurs savaient seulement que, toutes proportions égales d'ailleurs, l'évaporation augmentait à mesure que le degré d'humidité de l'air baissait; qu'elle était

¹⁾ *Lehrb. d. hygien. Untersuchungsmeth.* 1881.

²⁾ *Zeitschr. f. Hyg.* 1^{er} vol.

³⁾ *Memoirs of the lit. and philos. Society of Manchester*, vol. 5, 1803.

plus forte dans un courant d'air que dans l'air calme, et que la quantité d'eau évaporée était proportionnelle à l'étendue de la surface du liquide.

Après avoir examiné la tension de la vapeur d'eau à diverses températures, Dalton utilisa les résultats obtenus par son procédé, et chercha s'il y avait une relation entre la quantité d'eau qui dans l'unité de temps s'évapore dans l'air atmosphérique à différentes températures et la tension de la vapeur d'eau à ces mêmes températures. Ses recherches lui firent trouver que dans l'air complètement sec la vitesse d'évaporation est proportionnelle à la tension maxima de la vapeur d'eau à la température à laquelle l'évaporation avait lieu, et que dans l'air humide elle est proportionnelle à la différence entre cette tension maxima et la tension actuelle de la vapeur de l'air. Suivant Dalton l'on a donc la quantité d'eau évaporée dans l'unité de temps $-v = (F-f)k$. Ici k est une constante, F la tension maxima à la température d'évaporation, et f la tension de vapeur d'eau contenue dans l'air.

Dans ses recherches, Dalton détermina directement v en pesant avant et après l'expérience le vase où l'évaporation avait lieu; f fut déterminée à l'aide d'une espèce d'hygromètre à condensation, et, durant les expériences faites à des températures supérieures à celle de l'air ambiant, la température fut mesurée à l'aide d'un thermomètre placé dans l'eau. Dans les expériences faites à la température ordinaire, on prit celle-ci pour température d'évaporation.

Ainsi Dalton ne tint aucun compte de la chaleur qui devient latente par l'évaporation, ce qui rend toujours la température d'évaporation un peu inférieure à celle de l'air ambiant, pourvu que le vase d'évaporation ne reçoive pas de chaleur spéciale, comme cela avait lieu dans les expériences à températures supérieures à celle de l'air.

Si malgré cela Dalton trouva dans ses expériences à la température ordinaire la même relation entre la rapidité de

l'évaporation et la tension de la vapeur que dans ses expériences à de hautes températures, et cela quoique dans les premières il n'ait pas mesuré la température réelle, il faut croire que c'est dû en partie au peu de précision qui a présidé à l'ensemble de ses expériences (ainsi les pesées n'ont été faites qu'à 5^{es} près), et en partie à ce que les conditions de ces expériences relativement à l'état atmosphérique étaient trop peu variées pour que la confusion de la température d'évaporation avec celle de l'air pût révéler son influence sur les résultats.

Soldner¹⁾ introduisit dans la formule de Dalton la pression atmosphérique, mais sans s'appuyer sur des expériences. Il posa la vitesse d'évaporation inversement proportionnelle à la pression de l'air, et tenant compte de ce qu'on avait antérieurement constaté, savoir que l'évaporation est proportionnelle à la grandeur de la surface — s —, il amena la formule de Dalton au développement suivant :

$$v = \frac{s(F-f)}{B} \cdot k.$$

Sous cette forme, ladite formule sert à déterminer psychrométriquement le degré d'humidité de l'air ; car ici la température d'évaporation se déterminait à l'aide du thermomètre mouillé, et le fait qu'on peut employer cette formule, prouve indirectement qu'elle donne l'expression au moins approximative du rapport entre l'évaporation et le degré d'humidité de l'air à la température ordinaire de l'air ambiant.

Assez longtemps après, Stefan²⁾ reprit la question des lois physiques de l'évaporation et l'étudia. Après avoir scruté les lois de la diffusion des gaz, il appliqua à l'évaporation les résultats obtenus et les considérations faites à ce sujet, en regardant l'évaporation comme une diffusion des vapeurs qui sortent de la surface du liquide pour se répandre dans l'air

¹⁾ *Gilberts Ann. d. Physik*, vol. XVII, p. 44.

²⁾ *Sitzungsberichte der Wiener-Akademie d. Wiss.* 1874. *Math.-naturw. Cl.*, vol. 68.

ambiant, et la théorie le conduisit à formuler comme suit la loi de l'évaporation:

$$v = \frac{k}{h} \cdot \log \frac{B-f}{B-f_1}.$$

Ici, v représente le volume de vapeur réduit à 0° et à 760^{mm} et qui dans l'unité de temps traverse l'unité de section transversale; k est une constante, h la distance de la surface du liquide au bord du vase d'évaporation, B la pression de l'air, f la tension actuelle de la vapeur dans l'air et f_1 la tension de la vapeur à la température à laquelle a lieu l'évaporation. Cette loi serait vraie pour tout liquide vaporisable, car on peut toujours poser $f = \text{zéro}$, s'il n'existe préalablement dans l'air aucune tension de vapeur, comme par exemple la tension due à la vapeur d'eau.

D'après Stefan, la loi de Dalton ne constitue qu'une approximation de la loi de Stefan, car, si la tension de la vapeur n'est que peu de chose comparée à la pression de l'air, ce qui a lieu quand l'eau s'évapore à la température ordinaire de l'air, on peut remplacer par le quotient daltonien $\frac{f_1}{B}$ le $\log \frac{B}{B-f_1}$. Mais quand la température s'élève, la vitesse d'évaporation augmente, selon Stefan, plus rapidement que le maximum de tension de la vapeur.

Pour contrôler cette loi établie par la théorie, et la comparer avec la loi de Dalton, quand la vapeur a plus de tension, Stefan fit quelques expériences sur la vaporisation de l'éther dans l'air atmosphérique. Comme on l'a dit, d'une part, la température d'évaporation ne peut pas se poser égale à la température de l'air, mais doit lui être inférieure, et, d'autre part, Stefan vit une difficulté, sinon une impossibilité à en trouver expérimentalement la valeur exacte, quand l'évaporation a lieu dans un vase isolé au milieu de l'air atmosphérique, comme dans les expériences de Dalton. Stefan chercha donc à produire l'évaporation dans des conditions permettant de déterminer la température d'évaporation. Il y parvint en pro-

duisant l'évaporation dans un tube étroit installé dans un bain-marie dont on maintenait constante la température. Cela rendait très petite la surface d'évaporation, et Stefan crut pouvoir en conséquence poser la température d'évaporation égale à la température de l'eau.

L'activité de l'évaporation eut alors pour mesure le temps qu'employa à se vaporiser une certaine colonne liquide comprise dans le tube entre deux marques gravées dans le verre. Si la formule de Stefan est juste, il faut que, multiplié par $\log \frac{B}{B-f_1}$, le temps trouvé donne une constante. Est-ce au contraire la formule de Dalton qui soit juste, le temps multiplié par $\frac{f_1}{B}$ doit donner une constante.

Stefan ne fit que quatre expériences, qui lui firent trouver pour la constante les valeurs que voici :

Température.	Constante de Stefan.	Constante de Dalton.
11,3	1069,4	833
14,6	1068,1	793
20,4	1064,1	706
28,7	1055,3	517

En comparant les nombres de la première colonne avec ceux de la deuxième, on ne peut plus douter que la loi de Stefan ne soit juste.

Toutefois la formule finale de Stefan ne comporte pas certain facteur exerçant à coup sûr quelque influence sur la vitesse d'évaporation; c'est la température de l'air. L'élévation de la température de l'air fait diminuer la densité de l'air; il faut en tenir compte et supposer que l'évaporation s'accélère relativement. La simple diffusion fait trouver, selon Stefan, que le coefficient de diffusion se comporte directement comme le carré de la température absolue¹⁾. Stefan croit vraisem-

¹⁾ C. Christiansen: *Lærebog i Fysik*, vol. I, p. 181.

blable que durant l'évaporation il y a aussi un rapport entre le coefficient d'évaporation et la température, et eu égard à la manière dont Stefan a tiré son équation d'évaporation, ainsi que nous le verrons plus tard, ce rapport doit être que le coefficient d'évaporation est directement proportionnel à la température absolue. Si l'accélération de l'évaporation est accompagnée d'une élévation de température, la constante des quatre expériences mentionnées doit baisser parallèlement, tandis que la température s'élève.

Or, tel est aussi réellement le cas; mais cette baisse n'est qu'extrêmement faible. Stefan lui-même trouve probable que la baisse de la constante pendant la hausse de la température dépassera de beaucoup, dans des expériences exactes sur l'évaporation, ce qu'il a trouvé dans les siennes.

Au lieu de calculer, comme Stefan, la constante du temps pris par l'expérience, multiplié par $\log \frac{B}{B-f_1}$, on peut calculer le coefficient d'évaporation, k , lui-même dans les expériences de Stefan.

$$\text{On a donc} \quad k = \frac{v \cdot h}{\log \frac{B}{B-f_1}}.$$

Comme on l'a dit plus haut, v est le volume de vapeur qui dans l'unité de temps a traversé l'unité de section, ce volume étant réduit à 0° et à 760^{mm} . Au lieu de ce volume on peut mettre dans la formule le poids correspondant qui doit être égal au poids de l'éther volatilisé, ce poids étant divisé par la densité (d_1) de la vapeur d'éther à 0° et à 760^{mm} . Appelons le poids v_1 ; nous aurons

$$k = \frac{v_1 \cdot h}{d_1 \log \frac{B}{B-f_1}}.$$

Si par calcul on en déduit k dans les quatre expériences, sans tenir compte de h ni de d_1 , qui sont les mêmes dans ces quatre expériences, on trouve pour k les valeurs suivantes:

Température	k
11,3	1,123
14,6	1,118
20,4	1,112
28,7	1,106.

Dans ce calcul on détermine le poids v_1 par le procédé ordinaire à l'aide des éléments que voici: le volume d'éther évaporé chaque fois et que l'on connaissait, puisque la section du tube et la distance de ses marques sont données; la densité de l'éther à 0° et la dilatation de l'éther à la température de l'expérience telle qu'on la trouve par la formule

$$v_2 = (1 + at + bt^2 + ct^3) \cdot v_1.$$

Pour unité de temps on a choisi l'heure, et pour unité de superficie le centimètre carré.

On voit que d'après ce calcul le coefficient d'évaporation baisse, quand la température hausse. Toutefois ceci est en contradiction avec l'opinion même de Stefan, d'après laquelle l'évaporation devrait s'accélérer à mesure que la température de l'air augmente, et par conséquent le coefficient d'évaporation, qui est directement proportionnel à la quantité de liquide évaporée, devrait croître lui aussi. Le peu d'abaissement que la constante (durée de l'expérience, multipliée par $\log. \frac{B}{B-f_1}$) subit dans les expériences de Stefan, ne peut donc pas, comme il le supposait, dépendre d'une augmentation relative de la quantité d'éther évaporée à des températures supérieures; car, en ce cas, le coefficient d'évaporation calculé comme ci-dessus, devrait accuser une hausse correspondante quand la température s'élève: ce peu d'abaissement doit tenir à des erreurs d'expérience dont les résultats semblent être palliés par le fait que Stefan n'a pas tenu compte des différences causées dans la densité du volume de l'éther par les diverses températures de l'expérience.

Toutefois cela frustre la loi de l'appui que fournit l'expérience et qu'on a jusqu'ici attribué aux recherches en question.

Autant que je sache, la bibliographie ne mentionne pas de recherches sur la loi de l'évaporation postérieures à celles qu'on vient de mentionner. Ce que nous savons de cette loi est donc affecté de lacunes en plusieurs points, ainsi qu'on l'a vu plus haut. Les théories de Stefan, et sans doute aussi les résultats de ses expériences, donnent à la loi de Dalton l'air de n'être qu'une approximation de la vraie loi; car elle paraît ne s'appliquer qu'à l'évaporation de l'eau dans l'état ordinaire de l'atmosphère. Encore la preuve de son applicabilité au cas présent n'est-elle qu'indirecte, savoir par l'intermédiaire des expériences sur la possibilité d'employer le psychromètre à déterminer à peu près exactement le degré d'humidité de l'air.

Quant à prouver à fond par voie expérimentale l'exactitude de la loi de Stefan, ce n'est point fait, et il ne semble pas qu'on ait jamais fait d'expériences dans le but d'appliquer la loi à l'évaporation dans un milieu aérien où se trouve déjà de la vapeur à une certaine tension.

Aucune des formules antérieures ne tient compte de l'influence exercée en même temps par les variations de la température de l'air. Il semble donc y avoir lieu de soumettre à une nouvelle épreuve expérimentale la loi de l'évaporation en air calme.

Recherches de l'auteur.

Ce qui précède montre qu'une reprise des recherches faites antérieurement sur l'évaporation, devrait tout d'abord porter sur un nouveau contrôle expérimental des deux lois déjà établies. Il semblait qu'à cet effet on-pût employer la méthode indiquée par Stefan. J'ai donc débuté par une série d'expériences en suivant cette méthode et fait évaporer l'éther dans un tube de verre étroit (2^{mm} de diam.) installé dans un cylindre en verre contenant de l'eau à la température de l'air ambiant. L'évaporation eut lieu dans un local fermé dont la température pouvait être maintenue constante durant l'expérience, c. à. d. sauf des oscillations

n'excédant pas quelques dixièmes de degré. Avant de commencer l'expérience, on faisait toujours séjourner le cylindre en verre assez longtemps dans le local, pour que la température de l'eau fût exactement la même que celle de l'air, de manière qu'à son issue du tube l'éther ne trouvât pas l'air à une autre température que dans le tube.

On nota le temps employé à l'évaporation d'une colonne d'éther comprise entre deux marques gravées sur le tube de verre et à $2^{\text{mm}1/2}$ l'une de l'autre; on observa la température et la pression de l'air, et, pour calculer la tension de la vapeur d'éther à la température de l'expérience, on se servit de la formule Antoine, $\log. p = A - \frac{B}{t+c}$, ainsi que des valeurs données par Regnault.

Les valeurs ainsi trouvées permirent de calculer de la manière susdite le k , de la formule Stefan, ce dont les résultats sont reproduits dans la colonne 4 du tableau I.

Il n'y eut qu'une température ($11^{\circ},3$) à laquelle on fit plusieurs expériences pour en tirer des renseignements sur l'exactitude de la méthode. Dans ces expériences, l'écart moyen est de 0,006, c. à. d. 6 au 3^e rang des chiffres significatifs, ce qui sert ainsi à exprimer l'erreur expérimentale relative. Toutefois, aux températures élevées, cette erreur devient plutôt un peu moindre; car alors l'évaporation de l'éther s'accélère et l'instant où le ménisque de l'éther atteint les traits marqués sur le verre, en devient plus accentué. Ce que font voir tout de suite les valeurs trouvées pour k , c'est que, dans toutes les expériences à hautes températures ($21-23,8$), elles sont plus fortes que dans les expériences à basses températures ($9,1-12,5$). L'ensemble des expériences donne un écart moyen de 0,016, par conséquent presque trois fois aussi grand que l'écart moyen dans les expériences à même température. La différence trouvée pour les valeurs correspondant aux températures tant hautes que basses, ne peut donc pas être attribuée aux erreurs d'expérience, mais peut être due à une accélération relative de

Tab. I.

1. Temps en min. et sec.	2. Tp.	3. Barom.	4. k	5. k_1
29' 25"	23,8	751,2	0,756	0,695
29' 15"	23,7	—	0,765	0,704
30' 50"	22,6	748,5	0,778	0,718
32'	22,5	755,5	0,766	0,708
32' 25"	22,25	—	0,770	0,712
32' 35"	22,2	—	0,769	0,711
34' 15"	21,8	765	0,768	0,711
34' 30"	—	—	0,762	0,706
36'	21,1	—	0,766	0,711
36' 20"	—	—	0,762	0,707
36' 10"	—	763	0,761	0,706
36' 30"	21,0	—	0,758	0,704
63' 30"	12,45	763	0,731	0,699
64'	11,6	734,5	0,724	0,695
65' 40"	—	752,2	0,734	0,704
63' 52"	11,4	745	0,748	0,718
67' 35"	11,3	752,5	0,720	0,691
67' 45"	—	—	0,718	0,690
67'	—	755,5	0,730	0,701
66'	—	747	0,730	0,701
66'	—	748	0,732	0,703
64'	—	734,5	0,737	0,708
66'	—	755,5	0,741	0,712
67' 25"	—	752,2	0,723	0,695
67' 35"	10,9	752,5	0,737	0,709
68'	10,65	751,9	0,741	0,714
71'	10	—	0,736	0,710
74' 30"	9,1	745	0,730	0,707
	Moyenne		0,746	0,705
	Écart moyen . .		0,016	0,006

l'évaporation aux températures plus élevées, ce que nous nous attendions aussi à constater.

Or, en suivant le développement de la formule d'évaporation donnée par Stefan, on voit que le coefficient d'évaporation k en a été tiré par la substitution de k au rapport

$$\frac{p_0 T}{A_{12} \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot T_0},$$

où p_0 représente 760^{mm}, A_{12} une constante, d_1 , la densité des vapeurs d'éther à 0° et à 760^{mm}, d_2 la densité de l'air à 0° et à 760^{mm}, et $\frac{T}{T_0} = (1 + \alpha t)$, la température absolue. Dans k figure donc le facteur non constant $(1 + \alpha t)$. On ne voit pas bien pourquoi Stefan n'a pas séparé de k ce facteur dans l'équation principale de l'évaporation. En faisant cette opération dans les expériences précédentes, où toutes les valeurs de k doivent être divisées par $(1 + \alpha t)$, on obtient une série de nouvelles valeurs pour k_1 , le coefficient d'évaporation, et ces valeurs sont portées à la colonne 5 du tableau I. L'écart moyen des valeurs de cette nouvelle série n'est que 0,006, c. à. d. précisément égal à l'écart moyen des expériences faites à la même température.

En calculant d'après la formule $\pm \sqrt{\frac{\sum d^2}{n(n-1)}}$ l'erreur moyenne de toutes les valeurs trouvées pour k et k_1 , cette erreur moyenne est dans le premier cas $\pm 0,0034$, et $\pm 0,0014$ dans l'autre. Les expériences concordent on ne peut plus exactement avec la loi d'évaporation déduite théoriquement par Stefan, et fournit en même temps la confirmation expérimentale de la rectitude de cette loi.

Ainsi le coefficient d'évaporation devient directement proportionnel à la température absolue.

Pour comparer maintenant la loi de Stefan avec celle de Dalton, voici quelques valeurs de la constante de la formule daltonienne, valeurs extraites des deux premières et des deux dernières expériences de la série; nous désignons ici la constante par k_2 :

Température	k_2	k_3
23,8	0,542	0,499
23,7	0,547	0,504
10,0	0,402	0,367
9,1	0,396	0,383

Ces quatre expériences suffisent à montrer combien faible est le degré d'exactitude de la formule daltonienne pour exprimer la loi de l'évaporation, quand la vapeur a des tensions supérieures. Même après avoir introduit la correction ci-dessus trouvée pour la température de l'air, et qui donne lieu aux valeurs k_3 , la formule Stefan n'en reste pas moins de beaucoup supérieure à celle de Dalton pour exprimer exactement la loi de l'évaporation.

La première question à traiter ensuite fut d'étudier la seconde partie de la formule Stefan, celle qui devait exprimer la loi de l'évaporation dans une atmosphère contenant déjà de la vapeur à une certaine tension, état de choses analogue au cas de l'évaporation de l'eau dans l'air atmosphérique. Mais la méthode expérimentale employée plus haut se montre inapplicable ici; car, dans un tube étroit et aux températures ordinaires de l'air, l'eau s'évapore si lentement qu'il est impossible de maintenir constants le degré d'humidité et la température de l'air durant les expériences. Ce ne fut pas même au bout de huit jours que l'eau, quittant la marque supérieure, baissa assez dans le tube pour atteindre le trait du bas. Nous dûmes donc employer ici une autre méthode expérimentale. Une autre considération, le désir d'étudier l'influence de l'agitation de l'air sur l'évaporation, nous fit donner aux expériences une nouvelle forme permettant à l'évaporation de se produire sur une surface libre et non, comme dans les expériences précédentes, au fond d'un tube étroit.

Dans cette tentative pour éclaircir la loi de l'évaporation, la difficulté capitale est, comme on l'a déjà dit plus haut, de

déterminer exactement la température d'évaporation. A cet effet, j'ai cherché d'abord à produire l'évaporation à la surface d'une feuille de papier à filtrer ou d'un morceau d'étoffe mince qu'on plaçait sur une plaque de verre mince et plane, suspendue horizontalement au-dessous d'un des plateaux d'une balance à analyse. Il était probable qu'ici la température d'évaporation devait être égale à la température du thermomètre mouillé installé tout à côté. Mais on vit qu'il était impossible d'obtenir un résultat tant soit peu uniforme pour la durée de l'évaporation d'une quantité en poids donnée de liquide pendant une série d'expériences faites dans des conditions tout à fait identiques, circonstance naturellement indispensable pour que la méthode fût applicable, et dont la cause doit être cherchée dans le fait qu'on ne pouvait ni répartir l'humidité sur le papier avec une parfaite uniformité ni donner à la feuille exactement la même dose chaque fois. Ajoutez qu'en cas de liquides volatils tels que l'éther, le refroidissement considérable produit par l'évaporation suscitait un dépôt de givre à la surface, ce qui rendait la pesée impossible. Cette méthode dut donc être abandonnée. On constata que dans les recherches en question il était également impossible d'employer la différence de poids d'un thermomètre mouillé quand, elle aussi, la température d'évaporation était exactement déterminée.

Il ne restait donc que de produire l'évaporation dans un vase comme celui des expériences de Dalton, et que de déterminer aussi exactement que possible la température de l'évaporation dans ces conditions-là. A la rigueur on aurait dû avoir la température du liquide à la surface; mais quant à mesurer directement cette température, ce n'est guère possible. Toutefois cette température superficielle qu'on cherche, doit être intermédiaire à celle du liquide contenu dans le vase et à la température d'un thermomètre mouillé qui, humecté de ce même liquide, est installé tout à côté. En outre il était vraisemblable qu'en faisant la température d'évaporation égal à la

température du liquide, on ne commettrait qu'une erreur minime.

Alors je commençai par chercher si, en employant l'une des deux températures précitées qu'il était facile de déterminer, on pourrait obtenir des résultats qui concordassent dans des expériences faites en diverses conditions. Si c'était possible, cela ferait en tout cas acquérir une méthode qu'on pourrait appliquer soit aux recherches sur l'influence de l'agitation de l'air, c. à d. au problème qui nous occupait alors, soit à des recherches comparatives sur les coefficients d'évaporation de divers liquides.

Je commençai par faire une série d'expériences avec l'éther, en employant comme vase d'évaporation un vase cylindrique en métal et à minces parois, dont la hauteur était de 22^{mm}, son cercle ayant une superficie de 44^{cmq},17. Ce vase fut placé dans l'un des plateaux d'une balance sensible à $\frac{1}{5}$ mgr et employée dans la salle aux expériences — pendant 15 à 30 minutes —, cette salle pouvant être maintenue à une température absolument constante. Pendant les expériences faites avec de l'eau, mentionnées plus tard et qui durèrent une ou deux heures, la plus forte oscillation de la température du local fut d'un ou deux dixièmes de degré. Le pesage du vase se fit de la manière que voici : Sur le plateau de la balance, on plaça un poids un peu moins pesant que le réservoir d'éther ; puis, on observa le moment où l'aiguille de la balance passait sur le zéro, car alors le réservoir d'éther faisait exactement équilibre au contrepoids employé. Puis, on souleva la fourchette qui fixa aussi le plateau portant le vase d'évaporation, et ce dernier fut maintenu en parfait repos durant l'expérience. L'évaporation d'environ deux grammes ayant eu lieu, on répéta le pesage tout à fait comme ci-dessus. On détermina donc le temps employé chaque fois pour l'évaporation de deux grammes d'éther. Pour écarter l'influence de la chaleur rayonnée par le corps de l'observateur durant la pesée et l'effet des mouvements qui pourraient en résulter dans l'air,

on avait interposé un écran entre la balance et l'observateur. Pour savoir la température de l'éther, on plaça dans le vase un thermomètre divisé en cinquièmes de degré. Quand on venait de verser l'éther, sa température baissait rapidement et atteignait promptement un minimum en raison de la forte évaporation qui se produisait à la surface, après quoi la température se maintenait quelque temps à ce minimum pour remonter très lentement au fur et à mesure que l'éther continuait à s'évaporer et que son volume diminuait.

Cette marche de la température de l'éther était parfaitement régulière et uniforme, toutes proportions égales d'ailleurs. Je n'ai jamais fait aucune expérience avant que la température minima fût atteinte, par suite de quoi la variation de la température de l'éther durant l'expérience ne fut qu'extrêmement faible. La moyenne des relevés du thermomètre immédiatement avant et aussitôt après l'expérience, servit aux calculs. Or, des expériences préalables montrèrent que le temps employé à l'évaporation d'une quantité en poids donnée d'éther devenait d'autant plus long que la quantité d'éther contenue dans le vase diminuait, bien que, comme on l'a dit, la température d'évaporation montât uniformément et avec lenteur. On pourrait s'imaginer que la cause en est en ce que la vapeur d'éther finirait par acquérir une certaine tension dans l'air du local, en raison de la quantité relativement considérable de ce liquide qui se serait évaporée. Mais en versant encore de l'éther dans le vase, on constatait l'exacte répétition de la même période d'évaporation qu'on avait observée lors du remplissage du vase, à même dose. La cause du ralentissement de l'évaporation devait donc être le fait que la distance de la surface de l'éther au bord du vase d'évaporation s'était accrue par suite de quoi, malgré la largeur de ce vase, les choses se passèrent tout à fait comme Stefan l'avait constaté dans le tube étroit.

Dans les calculs comportés par ces expériences, on a procédé exactement comme il a été décrit plus haut; car voici

la teneur de la formule Stefan corrigée pour la température de l'air:

$$k = \frac{v \cdot h}{(1 + \alpha t) \cdot \log B \frac{B}{B-f_1}}$$

On remplaça v par le poids de l'éther évaporé, divisé par la densité de la vapeur d'éther à 0° et à 760^{mm} ; h se calcula comme différence entre la hauteur du vase et la hauteur de la nappe d'éther, cette différence étant fournie par le poids, la surface du vase et la température de l'éther.

On posa d'abord la température de l'évaporation égale à la température donnée pour l'éther par le thermomètre mouillé; mais cela donna pour k des valeurs croissant uniformément avec l'accroissement de la température, ce qui par conséquent rendait vraisemblablement trop basse la température admise pour l'évaporation. Mais en posant la température de l'évaporation égale à la température de l'éther, on eut pour k des valeurs qui concordaient parfaitement et qu'on trouve portées au tableau II.

Tab. II.

h en centim.	Temp. de l'air	Temp. de l'éther	2 ^{er} d'éther évaporés en minutes	B	k
1,20	12,6	1,85	12,86	737	1,765
1,22	22,4	7,4	9,667	748,5	1,746
1,27	9,6	0,5	15,017	737,3	1,742
1,28	12,6	2,25	13,45	737	1,768
1,31	23,6	8,15	9,917	748,5	1,750
1,43	12,6	2,7	14,867	737,5	1,744
1,45	23,8	9,05	10,367	749	1,754
1,54	23,4	9,5	10,817	749,5	1,749
1,60	12,4	2,85	16,333	737	1,760
1,61	12,6	3,3	16,10	738	1,757
1,76	12,4	4,0	17,0	737	1,751
			Moyenne		1,754
			Écart moyen		0,006

L'écart moyen de ces expériences n'est, comme on le voit, que de 0,6 pour le 3^e chiffre significatif. Quant à h il faut remarquer que, si cette valeur était inférieure à 10^{mm}, les résultats devenaient irréguliers, comme dans les expériences de Stefan avec les tubes étroits. Une très faible agitation de l'air causait aussi des perturbations, même quand h excédait 10^{mm}.

Ensuite je passai à l'étude des conditions d'évaporation de l'eau. Les expériences furent conduites tout à fait comme les précédentes pour l'éther. La tension de la vapeur d'eau dans l'air fut déterminée à l'aide d'un psychromètre et contrôlée par l'hygromètre Regnault. Le vase d'évaporation contenant l'eau restait toujours quelques heures dans la salle aux expériences, afin que la température pût s'équilibrer exactement. Les expériences furent toutes faites avec à peu près la même distance au bord du vase. Le tableau III donne les résultats.

Tab. III.

Temp. de l'air	Temp. de l'eau	Temp. du therm. mouillé	Grammes d'eau	Durée des expér. en minutes	B	k à la temp. de l'eau	k à la temp. du therm. mouillé
23,8	21	16	0,1608	37	747,5	0,848	1,59
—	20,6	—	0,140	33	—	0,868	1,55
20,3	18	13,7	0,228	62	761,5	0,919	1,60
11,1	10,4	7,4	0,139	66,417	755,2	1,019	1,58
10,8	10,0	7,8	0,147	91,417	759,5	1,012	1,59
7	6,4	4	0,185	120	765	1,047	1,55
4	3,8	1,2	0,132	93	765	1,033	1,57
						Moyenne	1,58
						Écart moyen	0,019

Comme on le voit par ce tableau, les valeurs de k s'élèvent quand la température baisse, si l'on pose la température d'évaporation égale à la température de l'eau. La température d'évaporation doit ici être relativement inférieure à la tempéra-

ture de l'eau, tandis qu'en posant la température d'évaporation égale à celle qu'indique le thermomètre mouillé, on obtient pour k des résultats qui concordent particulièrement bien, l'écart moyen se réduisant à 1,9 du 3^e chiffre. Ici l'écart moyen doit naturellement être plus grand que dans les expériences avec l'éther, à cause de l'erreur qu'on ne peut éviter en déterminant la tension dans l'air.

Tab. IV.

Temp. de l'air	Temp. du therm. mouillé	Humidité relative	B	k_{Stefan}	k_{Dalton}	$\frac{k_{\text{Dalton}}}{1 + at}$
23,8	16	35,1	747,5	1,59	0,754	0,694
—	—	—	—	1,55	0,739	0,680
20,3	13,7	37,6	761,5	1,60	0,756	0,704
18,5	17,4	88,0	765	1,61	0,722	0,676
18,3	14,5	60,0	764	1,56	0,737	0,690
13,4	10,4	62,0	769	1,55	0,719	0,685
12,8	7,8	36,8	769	1,58	0,712	0,680
12,4	7,8	40,7	769	1,58	0,713	0,682
11,1	7,4	49,9	755,2	1,58	0,720	0,692
10,8	7,8	58,2	759,5	1,59	0,729	0,701
7,0	4,0	50,7	765	1,55	0,698	0,689
4,0	1,2	47,0	765	1,57	0,689	0,679
		Moyenne		1,58	0,724	0,687
		Écart moyen . . .		0,016	0,016	0,008

Dans le tableau ci-dessus (IV) on reproduit les mêmes expériences, et l'on y en ajoute quelques autres qui furent faites de manière à pouvoir faire varier le degré d'humidité de l'air. Ici l'évaporation se produit dans une grande caisse à travers laquelle on fit circuler, avec une lenteur extraordinaire, un air tantôt séché au chlorure de calcium, tantôt saturé de vapeur en léchant des morceaux de pierre ponce humectée. La tension de la vapeur dans la caisse fut mesurée à l'aide d'un psychromètre et d'un hygromètre Regnault. Ces expériences me

permirent de donner à l'air un haut degré d'humidité à une température élevée et un degré d'humidité bas aux températures inférieures, ce qui durant l'hiver était impossible à obtenir dans la grande salle aux expériences.

Les colonnes 6 et 7 du tableau donnent comme annexes les valeurs de la constante dans la formule de Dalton, avec et sans corrections pour la température de l'air.

On voit par là que, même quand l'eau s'évapore dans l'air atmosphérique, la formule de Stefan est plus exacte que celle de Dalton, et que cette dernière, additionnée de la correction pour la température de l'air, donne des résultats qui concordent mieux que sans cette correction.

Influence des mouvements de l'air sur l'évaporation.

Nous allons maintenant passer à l'étude de l'influence que les mouvements de l'air exercent sur l'évaporation. Nous avons vu que depuis longtemps déjà l'on avait constaté plus d'activité dans l'évaporation quand l'air circulait, que s'il était en repos; mais ni Dalton ni Stefan n'ont cherché à introduire ce facteur dans leurs formules respectives. Dans la *Zeitschr. f. Meteorol.* 1877, Weilmann publia un mémoire où, par voie théorique, il déduisit la formule que voici et qui exprimerait la loi de l'évaporation dans un courant d'air:

$$h = \beta \frac{G-g}{B} + \beta_1 (G-g) \cdot w.$$

Ici, h est la quantité d'eau évaporée dans l'unité de temps pour l'unité de surface; β et β_1 sont deux constantes; G est l'expression en grammes de la quantité d'eau que l'air peut absorber à la température d'évaporation pour se saturer complètement, g est l'expression en grammes de la quantité d'eau contenue dans l'air, B est la pression de l'air, et w est la vitesse du vent.

Comme on le voit, cette formule se déduit de la loi daltonienne. Weilmann chercha à prouver la justesse de cette formule en établissant une comparaison entre les quantités d'eau évaporées, durant un laps de temps assez long, aux atmomètres des stations météorologiques de Saint-Pétersbourg, de Paris et de Vienne, et la quantité d'eau qui aurait dû s'évaporer d'après sa formule et le calcul basé sur les autres données météorologiques des trois stations susdites. Ce qu'il en obtint, fut des résultats qui concordaient assez bien avec l'évaporation tant réelle que calculée. Quant à la température d'évaporation des atmomètres, il la posa, sans examen plus approfondi, égale à l'indication du thermomètre mouillé.

Dans un travail inséré, en 1882, aux Mémoires de l'Académie de Saint-Pétersbourg, Stelling a fait la critique des recherches de Weilmann, mentionnées ci-dessus. Il dit que si leurs résultats concordent, c'est un pur hasard, et qu'ils ne prouvent pas l'applicabilité de la formule. Il fait surtout ressortir qu'un atmomètre installé à l'ombre et protégé par un toit et des parois latérales contre la radiation solaire, se prête mal à l'étude de l'influence que le vent exerce sur l'évaporation; car on n'est jamais certain que les mouvements de l'air sous l'abri soient proportionnels à l'agitation de l'air libre. Toutefois cette objection n'atteint pas l'observatoire de Paris, dont l'atmomètre est précisément suspendu en plein courant d'air.

Stelling attaque également la supposition de Weilmann, savoir que la température d'évaporation serait égale à la température que donne le thermomètre mouillé; il reproche avec raison à Weilmann d'avoir en tout cas négligé d'en fournir les preuves. En mesurant la température à la surface d'un liquide en train de s'évaporer, Stelling trouve qu'il n'y a aucune concordance entre cette température et l'indication du thermomètre mouillé.

Stelling soumet alors la formule de Weilmann à un nouvel examen plus serré, et recourt pour cela à une série

d'observations météorologiques faites à Nukuss par le professeur Dohrandt. Ici la quantité d'eau évaporée a été mesurée à l'atmomètre Wilde, dégagé de tout, c. à. d. exposé aussi à la lumière directe du soleil, et la température d'évaporation a été mesurée à l'aide d'un thermomètre flottant à la surface de l'eau. En outre, Stelling a appliqué dans ses calculs la modification suivante de la formule de Weilmann :

$$h = \beta(f_1 - f)B + \beta_1(f_1 - f) \cdot w.$$

Ainsi, au lieu d'exprimer en grammes le degré d'humidité, il a employé les tensions de vapeur: f_1 , tension maxima à la température d'évaporation, et f , tension dans l'air. Comme l'a fait Weilmann dans ses recherches, on a comparé ici la quantité d'eau évaporée durant chaque mois avec la quantité d'eau qui aurait dû s'évaporer d'après le calcul basé sur la susdite formule. Cela conduit Stelling à ce résultat que, modifiée par lui, la formule Dalton-Weilmann rend, avec une erreur de $\pm 10\%$, la quantité d'eau réellement évaporée.

Enfin M. Ule¹⁾ a montré qu'il y a également assez de concordance entre les deux quantités suivantes: d'une part, la quantité d'eau réellement évaporée pendant un long intervalle et mesurée à tel ou tel atmomètre, d'autre part, la quantité d'eau qui aurait dû s'évaporer d'après le calcul basé sur la formule suivante:

$$h = A(t - t_1)w,$$

où A est un facteur variant avec chaque mois et qu'il faut calculer pour chaque lieu d'après des observations embrassant une série d'années; t , la température de l'air; t_1 , la température indiquée par le thermomètre mouillé, et w , la vitesse du vent.

Les recherches d'Ule lui font trouver que certains jours peuvent sans doute avoir une très forte erreur pour cent, mais que les totaux mensuels établissent assez de concordance entre les quantités d'eau évaporée calculées et les réelles.

¹⁾ *Meteorol. Zeitschr.* 1891.

Comme, d'après la formule psychrométrique ordinaire, $f = f_1 - k \cdot B(t - t_1)$, la formule dressée par Ule devient l'équivalente de

$$h = \frac{A}{k} \cdot \frac{f_1 - f}{B} \cdot w,$$

d'après laquelle l'évaporation croîtrait en proportion directe de la vitesse du vent.

Nous avons donc trois formules différentes pour l'influence qu'exerce sur l'évaporation l'agitation de l'air. Elles devraient toutes les trois donner des résultats concordant très bien d'après les expériences faites, malgré les grandes différences qui caractérisent deux d'entre elles, savoir celle de Stelling et celle qu'a dressée Ule. La seule cause naturelle de ces différences doit être cherchée dans les défauts du contrôle exercé. Pour arriver à savoir avec quel degré d'exactitude les susdites formules expriment l'évaporation qui a réellement lieu par des vents de différentes vitesses, il faut passer à des expériences de précision où l'on puisse déterminer la solidarité entre l'évaporation et les autres facteurs qui exercent une influence. Il a donc fallu d'abord nous rendre compte de l'évaporation en air calme, et trouver une méthode qui permit d'en calculer la valeur dans les circonstances actuelles et à un degré d'exactitude connu. Or, nous venons de trouver ci-dessus cette méthode; car la quantité d'eau qui s'évapore d'un vase, se laisse déterminer avec beaucoup d'exactitude, à l'aide de la formule modifiée de Stefan ou de Dalton, où la température d'évaporation est posée égale à l'indication du thermomètre mouillé.

Partant de là, j'ai fait une série d'expériences pour éclaircir la question dont il s'agit ici. Le vase d'évaporation était le même cylindre en métal qui avait déjà servi, mais je l'avais pourvu d'un couvercle hermétique. A chaque expérience, on

versa dans ce vase la même quantité de liquide, sur quoi le vase fut placé, le couvercle relevé, dans un tuyau horizontal installé sans entourage dans la salle aux expériences, où la température fut maintenue constante durant l'expérience entière. Le tuyau débouchait dans une cheminée munie d'un bec de gaz dont la petite flamme aspirait l'air par le tuyau avec une vitesse tout à fait uniforme. En faisant varier l'afflux du gaz et la longueur de la cheminée, je pouvais modifier la vitesse du courant d'air. Le vase séjourna d'abord pendant une heure dans le tuyau, pour que la température du liquide pût s'équilibrer d'après les conditions d'évaporation dans le courant d'air dont on devait déterminer le degré d'influence. On mit le couvercle, on enleva le vase, on le pesa rapidement et le remit dans le courant d'air; on nota le moment où le couvercle fut de nouveau enlevé et où, par conséquent, l'expérience commença. Cette expérience terminée, on remit le couvercle, on nota le moment et repesa le vase. La vitesse du courant d'air fut déterminée à l'aide d'un anémomètre dont les constantes avaient été préalablement fixées comme à l'ordinaire. Dans l'air immédiatement à l'orifice du tube étaient installés un thermomètre sec et un thermomètre mouillé pour mesurer respectivement la température et le degré d'humidité. On avait également placé à l'intérieur du tube, dans le courant d'air, un thermomètre sec et un thermomètre mouillé.

Le résultat des expériences est reproduit dans le tableau V. La température d'évaporation y est posée, d'après le calcul, égale à celle que donne le thermomètre mouillé placé en dehors du tube, c. à d. dans l'air non agité. Il va de soi que le thermomètre mouillé placé à l'intérieur du tube dans le courant d'air, accusait constamment une température inférieure à celle du thermomètre mouillé du dehors; mais il fut impossible de découvrir une liaison entre cette différence et la vitesse du vent. La différence était relativement plus grande pour les petites vitesses; car c'est à peine si elle se modifiait quand la

Tab. V.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Vitesse du vent en mètres par seconde	Température de l'air	Température indiquée par le thermomètre mouillé	Barom.	Grammes d'eau évaporée	Durée en minutes	k_{Stefan}	k_{Daltou}	β_{Stelling}	$\beta_{\text{Weilm.}}$
0,88	17,4	12,0	767	0,488	40	6,85	3,03	0,00210	0,00268
1,00	21,06	15,66	765,1	0,558	43	6,76	3,03	0,00210	0,00268
1,10	—	—	—	0,5806	43	6,71	3,01	0,00206	0,00259
1,15	20,3	13,8	763,5	0,7105	43	6,76	3,00	0,00204	0,00255
1,35	—	—	—	0,6755	38	6,72	2,98	0,00198	0,00242
2,14	—	—	—	0,7292	32	6,84	3,03	0,00184	0,00217
2,30	16,4	11,3	765,5	0,369	20	6,95	3,06	0,00184	0,00210
3,00	20,3	13,8	763,5	0,6896	26	6,72	2,98	0,00163	0,00189
3,15	21,06	15,66	765,1	6,655	28	6,87	3,07	0,00168	0,00194
4,23	17,08	11,87	765,5	0,380	15	6,85	3,02	0,00148	0,00166
			Moyenne			6,80	3,02	0,00188	0,00222
			Écart moyen			0,07	0,02	0,00018	0,0003

vitesse arrivait à dépasser 1^m,3 par seconde et à atteindre 4^m,2 par seconde, maximum de la vitesse étudiée dans le cas présent. C'est pourquoi, en appliquant à ces expériences un calcul où la température d'évaporation était exprimée par celle du thermomètre mouillé installé dans le courant d'air, on n'aboutit qu'au résultat auquel du reste on pouvait s'attendre d'après ce qui précède, c. à d. qu'on ne réussit pas à trouver pour la formule d'évaporation une combinaison de la vitesse du vent qui donnât des résultats concordants. Si, au contraire, on se basait sur la température du thermomètre mouillé en air calme, on trouvait ce que fait ressortir le tableau, savoir des résultats qui concordaient très bien. A cet effet, il suffisait de poser l'influence de l'agitation de l'air, c. à d. l'évaporation, directement proportionnelle à la racine carrée de la vitesse du vent.

En effet, les valeurs de k_{Stefan} portées à la colonne 7, sont tirées par calcul de la formule suivante :

$$v = \frac{k}{h} \cdot \log \frac{B-f}{B-f_1} (1 + \alpha t) \sqrt{w},$$

f_1 y étant calculée d'après la température du thermomètre mouillé en air calme. Ici l'on n'avait pas besoin de tenir compte de h ; car on constata qu'avant de dépasser les moindres des forces du vent employées ici, la durée de l'évaporation d'un même poids d'eau ne présentait plus cette différence qui, dans les expériences en air parfaitement calme, était due à la distance variable entre la surface du liquide et le bord du vase. On pouvait donc poser $h = 1$. Dans la colonne 8, on trouve les valeurs de la constante daltonienne calculées de la même manière et d'après la formule

$$v = k \frac{f_1 - f}{B} (1 + \alpha t) \sqrt{w}.$$

Les expériences en air calme avaient fait trouver pour k_{Stefan} une valeur moyenne de 1,58 et un écart moyen de 0,016. L'écart moyen constitue ainsi 1,01 % du chiffre absolu. Pour les valeurs de k_{Stefan} dans la colonne 7, l'écart moyen est le 1,03 % de la valeur absolue. Dans la formule trouvée ici, les variations des valeurs de k sont donc en deçà de la limite d'erreur dans les expériences en air calme. On apprend de la même manière que, dans le tableau IV, l'écart moyen de k_{Dalton} constitue 1,16 % (ici 0,3 %) du chiffre absolu. Ainsi la formule daltonienne semble donner ici des résultats encore plus exacts. Est-ce là un pur effet du hasard, ou bien cela dépend-il du peu de variation dans la température de l'air durant les dernières expériences, ou est-ce l'effet d'autres causes, lesdites expériences ne renseignent pas là-dessus.

Nous avons maintenant à déterminer le degré d'exactitude avec lequel les formules précédemment établies représentent la loi de l'évaporation dans l'air agité.

D'après la formule dressée par Ule, l'évaporation serait

directement proportionnelle à la vitesse du vent. Il va de soi qu'en raison de ce qu'on a trouvé plus haut, cette formule doit être immédiatement rejetée.

Voici la teneur de la formule Weilmann :

$$h = \beta \frac{G-g}{B} + \beta_1 (G-g) \cdot w.$$

Par suite de la correction trouvée précédemment pour la température de l'air, il faut en tout cas rectifier ainsi cette formule :

$$\frac{h}{1+\alpha t} = \beta \frac{G-g}{B} + \beta_1 (G-g) \cdot w,$$

où, comme on le sait, $g = \frac{1,06 \cdot f}{1+\alpha t}$ et $G = \frac{1,06 \cdot f_1}{1+\alpha t}$.

Introduites dans l'équation, ces valeurs donnent

$$h = \left[\beta \frac{f_1 - f}{B} + \beta_1 (f_1 - f) \cdot w \right] \cdot 1,06,$$

c. à d. la formule même qu'a établie Stelling; car, en comparant la concordance des résultats trouvés, on peut faire abstraction du nombre 1,06. Les valeurs de β_1 , obtenues d'après cette formule, sont portées à la colonne 10, les deux premières expériences ayant servi à déterminer les constantes β et β_1 , et le nombre trouvé pour β ayant ensuite été employé dans les autres expériences pour calculer β_1 . Ceci montre que la constante β_1 baisse avec la vitesse du vent. L'écart moyen constitue 12,5 % de la moyenne absolue.

Enfin, si dans

$$h = \beta \frac{f_1 - f}{B} + \beta_1 (f_1 - f) \cdot w,$$

formule primitive de Stelling, on introduit la correction $(1+\alpha t)$ que nous avons trouvée, ce qui donne

$$\frac{h}{1+\alpha t} = \beta \frac{f_1 - f}{B} + \beta_1 (f_1 - f) \cdot w,$$

et qu'on base là-dessus le calcul, analogue au précédent, des valeurs de β_1 , on aura la colonne 9. Ceci montre également que β_1 baisse quand la vitesse du vent augmente. L'écart moyen constitue 9,6 % de la moyenne.

Aucune des formules précédentes n'exprime donc la loi de l'évaporation dans l'air agité avec autant d'exactitude que la formule dernièrement trouvée, et d'après laquelle l'évaporation est proportionnelle à la racine carrée de la vitesse du vent.

La présente étude donne donc les résultats que voici :

1° Pour juger de l'influence d'un climat sur l'équilibre de température dans l'organisme, on doit donner la prépondérance à la vitesse de l'évaporation.

2° Contrairement à l'opinion générale, le déficit de la tension n'est pas la mesure de cette vitesse.

3° D'autre part, la loi de Stefan est la formule la plus exacte que nous ayons jusqu'à nouvel ordre, pour exprimer en quoi et comment la vitesse d'évaporation dépend de l'état atmosphérique, quand l'air est parfaitement calme ; mais il faut en outre introduire dans la formule primitive de Stefan une correction de la température de l'air, car l'évaporation est en même temps proportionnelle à la température absolue.

Dans les conditions ordinaires de l'atmosphère telle quelle, la loi de Dalton n'est pas tout à fait aussi exacte, et pourtant, aux yeux du praticien, elle peut servir à exprimer la vitesse de l'évaporation, tandis que pour des tensions supérieures elle est inapplicable.

4° La vitesse de l'évaporation est proportionnelle à la racine carrée de la vitesse du vent.

5° L'action desséchante d'un climat est donc en proportion de l'expression suivante :

$$\log \frac{B-f}{B-f_1} (1 + at) \cdot \sqrt{w},$$

où f_1 se mesure par la température qu'indique un thermomètre mouillé dont l'installation l'abrite contre l'influence directe du vent, ce qui reproduit exactement l'état des choses dans les stations météorologiques. Il serait donc à désirer que doré-

navant on portât directement aux tableaux météorologiques la température indiquée par le thermomètre mouillé.

Terminons en montrant par un seul exemple comment la formule obtenue peut s'appliquer. On sait que, durant les jours d'hiver, le degré d'humidité relative de l'air dans les appartements peut baisser jusqu'à 40 %, sans qu'en général on en éprouve du désagrément, tandis qu'en plein air les fortes teneurs pour cent de l'humidité produisent déjà une sensation de sécheresse très gênante. Or, en calculant l'action desséchante de l'air des appartements à, par exemple, 18° et 40 % d'humidité relative, la formule ci-dessus donne 0,00276. A un vent de seulement 4^m par seconde, l'humidité relative ne peut baisser, en plein air, que jusqu'à 64 % pour que l'action desséchante de l'air n'excède pas celle de l'air des appartements, et si le vent prend une vitesse de 13^m,7 par seconde, la baisse de l'humidité relative n'atteindra que 80 %, ce qui expliquera aisément la différence mentionnée ci-dessus entre l'état des choses en plein air et dans les appartements.
