

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 10 (1868-1870)
Heft: 64

Artikel: Recherches sur la condensation de la vapeur aqueuse de l'air au contact de la glace et sur l'évaporation
Autor: Dufour, C. / Forel, F.-A.
Kapitel: 61-72
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-256587>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.11.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

tensité de ce phénomène et permettre de le comparer avec la condensation que nous avons vue en action, nous allons donner une série d'observations faites avec la balance du 1^{er} au 12 novembre 1870, à Morges, sur une fenêtre exposée au nord. Deux fois par jours, le matin et le soir, nous pesions exactement et en prenant la température, un de nos bassins de cuivre de 200 centimètres carrés de surface, rempli d'eau que nous avons laissé librement évaporer à l'air. Nous en déduisons la valeur horaire de l'évaporation que nous avons traduite en hauteur d'eau, en fractions de millimètre, suivant la règle jusqu'ici employée. Des observations psychrométriques faites au moment de la pesée donnent une idée approximative de l'état hygrométrique de l'air pendant la journée.

(Voir le tableau, pp. 654 et 655.)

60. Les conditions hygrométriques de l'air sont, on le voit, assez semblables à celles que nous avons au mois d'août au glacier du Rhône; on voit aussi dans ce tableau combien est faible la valeur horaire de l'évaporation, même pendant la bise violente des 2 et 3 novembre.

61. Analysons l'une de ces expériences, le n^o XXXVI par exemple, qui nous a donné comme valeur horaire d'évaporation — 0,122^{mm}, la valeur la plus forte de nos 12 jours d'observation. Les moyennes que nous tirons des observations hygrométriques faites au commencement et à la fin de l'expérience sont les suivantes :

Température de l'air,	5 ^o ,8.
Humidité relative,	0,64.
» absolue,	^{mm} 4,44.
Température de saturation,	— 0 ^o ,5.
» de l'eau en évaporation, 4 ^o ,9.	

L'air à 5^o,8 aurait eu à saturation une tension de 6,90^{mm}. Il aurait été capable de contenir 7,318 grammes d'eau par mètre cube. Mais comme il n'avait que 4,44^{mm} de tension, il n'en contenait en réalité que 4,709 grammes par mètre cube. Il pouvait donc enlever à l'eau 2,609 grammes par mètre cube avant d'être saturé. L'eau était réchauffée par la température plus élevée de l'air et marquait 4^o,9, la tension de sa vapeur était de ^{mm}6,49.
 La tension de la vapeur d'eau de l'air étant de 4,44,
 il y avait un excès en faveur de l'eau de ^{mm}2,05,
 qui explique l'intensité relative de l'évaporation. La chaleur latente

Numéro de l'expérience.	TEMPS d'évaporation.	Valeur horaire de l'évaporation.	DATE	HEURE	Température de l'air.	HUMIDITÉ		Température de saturation.	VENT	Intensité du vent.	Température de l'eau.
						relative	absolue mm.				
XXXV	Jour	— 0,043	1 novembre	5,05 s.	7,3	0,78	6,13	4,1			6,9
XXXVI	Nuit	— 0,122	2 »	8,05 m.	6,3	0,64	4,55	— 0,1	NE.	2	5,4
XXXVII	J	— 0,069	2 »	8,40 s.	5,4	0,64	4,29	— 0,9	id.	3	4,4
XXXVIII	N	— 0,070	3 »	9,— m.	4,6	0,78	5,15	1,6	id.	3	4,2
XXXIX	J	— 0,038	3 »	10,— s.	4,8	0,72	4,64	0,1	id.	2	4,0
XL	N	— 0,052	4 »	6,45 m.	4,0	0,77	4,71	0,3	id.	2	3,2
XLI	J	— 0,035	4 »	8,25 s.	5,0	0,72	4,72	0,4	id.	2	4,2
XLII	N	— 0,037	5 »	7,05 m.	4,6	0,79	5,05	1,3	id.	1	3,3
XLIII	J	— 0,043	5 »	4,— s.	4,2	0,74	4,60	0,0	id.	1	3,6

XLIV	N	— 0,034	6	»	8,25 m.	3,6	0,74	4,37	— 0,7	id.	1	3,0
XLV	J	— 0,016	6	»	10,20 s.	2,6	0,78	4,38	— 0,7	id.	1	1,9
XLVI	N	— 0,027	7	»	8,30 m.	3,8	0,82	4,93	1,0	id.	1	3,0
XLVII	J	— 0,027	7	»	7,55 s.	4,4	0,74	4,68	0,2	id.	1	3,6
XLVIII	N	— 0,037	8	»	8,— m.	3,1	0,77	4,46	— 0,4	id.	1	2,8
XLIX	J	— 0,013	8	»	10,15 s.	2,7	0,85	4,70	0,3	id.	1	2,3
L	N	— 0,013	9	»	8,15 m.	2,8	0,89	5,03	1,2	id.	1	2,4
LI	J	— 0,008	9	»	10,05 s.	4,6	0,84	5,35	2,1	id.	1	4,0
LII	N	— 0,008	10	»	8,15 m.	4,3	0,86	5,32	2,0	Calme	0	3,2
LIII	J	— 0,014	10	»	4,20 s.	7,8	0,75	5,95	3,7	Pluie SO.	2	7,8
LIV	N	— 0,034	11	»	6,55 m.	4,2	0,76	4,79	0,6	id.	2	3,7
			11	»	5,— s.	4,2	0,70	4,31	— 0,9	id.	3	4,0

absorbée par l'évaporation refroidissait de son côté l'eau, et empêchait qu'elle ne fut réchauffée jusqu'à la température même de l'air, 5°,8. La différence de 0°,9, que nous constatons entre la température de l'eau et celle de l'air, est dûe au refroidissement produit par l'évaporation.

62. Supposons maintenant, qu'au lieu d'un bassin plein d'eau, nous eussions eu un bloc de glace. Le bloc de glace, soumis à la température élevée de l'air aurait pu fondre, il n'aurait pas pu se réchauffer; sa température, au lieu de s'élever jusqu'à 4°,9, serait restée à 0°. La différence entre les tensions aurait été de 0,16^{mm} seulement, et l'air, vu l'état solide de l'eau à évaporer, n'aurait pu acquérir de lui que 0,169 grammes par mètre cube. L'évaporation eût donc été beaucoup moins active et beaucoup moins forte. L'air aurait pu se charger d'une certaine quantité d'humidité, mais d'une quantité beaucoup moins forte que s'il avait été en contact avec de l'eau.

63. De ces faits nous concluons, que l'évaporation peut exister à la surface du glacier, toutes les fois que la tension de la vapeur d'eau de l'air est moindre de 4,60^{mm}; qu'elle doit exister, toutes les fois que le point de saturation de l'air est plus froid que la surface de la glace; mais que jamais l'évaporation ne peut être très puissante et comparable aux grandes valeurs que nous a présentées la condensation, car jamais cette évaporation du glacier ne pourra élever la tension de la vapeur d'eau de l'air au-dessus de 4,60^{mm}.

L'air peut donc, s'il est très sec, enlever une certaine quantité d'humidité à la surface du glacier, mais jamais l'évaporation de la neige ou de la glace n'élèvera sa tension à plus de 4,60^{mm}, ou son contenu en vapeur d'eau à plus de 4,88 grammes par mètre cube.

64. Nous pouvons, par une autre marche du raisonnement, être conduits à admettre que la condensation apporte aux neiges et aux glaces plus d'eau que l'évaporation n'en enlève. C'est en suivant les grands mouvements de l'atmosphère. Un vent chaud et humide arrive de la Méditerranée, des plaines d'Italie et de France, et vient battre les flancs de nos Alpes. Sa température est de 10, 15, 20 degrés; son humidité absolue est de 8, 10, 15^{mm} de tension. Toute l'humidité que contient cet air en excès de 4,60^{mm}, tension de la glace à zéro, devra, si la durée du contact est suffisante, se condenser en rosée à la surface du glacier, si la pluie et la neige n'ont pas déjà fait descendre à 4,60^{mm} la tension de la va-

peur d'eau de ce vent chaud et humide. Il y aura donc condensation d'une énorme quantité de vapeur d'eau.

Au contraire, qu'un vent du nord froid et sec, venant des plaines de la Russie ou de l'Allemagne, s'élève contre les pentes glacées de nos Alpes, en s'élevant, il se refroidit encore. La capacité hygrométrique qu'il pouvait avoir, faible déjà à cause de sa température relativement basse, est encore diminuée par suite de ce refroidissement; admettons cependant qu'il soit encore capable de faire évaporer la glace, d'enlever encore un peu d'humidité; il ne pourra en aucun cas prendre à la glace une quantité de vapeur d'eau qui élève sa tension à plus de $4,60^{\text{mm}}$. Dans le cas précédent, l'air pouvait perdre beaucoup d'humidité; dans le cas actuel, il ne peut en gagner que peu. La condensation peut donc être considérable, l'évaporation ne le sera jamais.

65. Quant à la chaleur latente absorbée par le changement d'état de glace en vapeur, ou à la production de froid due à l'évaporation, ce phénomène doit être aussi manifeste que celui que nous venons de voir dans l'expérience n° XXXVI. De même que dans de l'air à $5^{\circ},8$ l'évaporation abaissait la température de l'eau jusqu'à $4^{\circ},9$, de même la glace est refroidie lorsqu'il y a évaporation, et sa température s'abaisse au-dessous de la température de l'air.¹¹ C'est ainsi que dans certains cas, par un air très sec, on peut voir, avec un thermomètre à quelques degrés au-dessus de zéro, la surface de la glace rester gelée et ne donner aucun signe de fusion. Ce dernier cas de la persistance de l'état de gel de la surface de la neige ou du glacier, avec un air au-dessus du point de glace, est vrai théoriquement; nous croyons l'avoir remarqué à diverses reprises; mais il mérite de nouvelles constatations, et nous en recommandons l'observation aux ascensionnistes et aux amateurs des hautes Alpes. Il expliquerait du reste bien l'état grenu et poussiéreux de la neige aux hautes altitudes, l'état poussiéreux aussi de la neige des Cordillères de l'équateur.

66. Il expliquerait enfin, combiné avec le dégagement de chaleur latente qui accompagne la condensation, un fait qui a frappé tous les ascensionnistes; nous voulons parler de la rapidité du changement de qualité de la neige, qui, dure et gelée pendant la nuit, devient molle et tendre pendant le jour. Au matin, la neige est excellente, elle porte bien le poids du voyageur, et la croûte

¹¹ Voir § 69, la température du thermomètre mouillé, qui, au-dessous de zéro, se recouvre d'une couche de glace et donne la température de la surface de la neige ou de la glace soumise à l'évaporation.

glacée reçoit à peine l'impression des pas. Tout à coup, nous voulons dire en une demi-heure, en un quart d'heure parfois, la qualité de la neige change subitement; elle devient tendre, humide, et le voyageur enfonce jusqu'aux genoux au même endroit où il avait facilement passé quelques instants auparavant. Le soir, phénomène inverse : tout à coup aussi, la neige redevient bonne, dure et sèche là où elle était détestable. Et cependant ni les sensations de la peau, ni le thermomètre n'indiquent de sauts brusques dans la température, qui expliqueraient cette rapidité du phénomène; la température de l'air s'élève lentement, s'abaisse lentement.

Nous trouverons l'explication de cette rapidité de transition dans la combinaison de plusieurs phénomènes naturels : la différence de température de l'air par l'effet ou l'absence des rayons du soleil, l'effet des brises ascendantes et descendantes, et les chaleurs latentes absorbées ou dégagées par l'évaporation ou la condensation. Il est connu qu'au lever du soleil l'air s'élève, et qu'au coucher du soleil il s'abaisse, que le matin il souffle une brise ascendante, que le soir il souffle une brise descendante.¹² Prenons le phénomène à minuit. L'air est froid, au-dessous de zéro, l'air est sec, il y a évaporation, la surface de la neige est gelée. Le soleil se lève, il réchauffe l'air, mais, n'en augmentant pas l'humidité absolue, laisse continuer l'évaporation, et par suite maintient la surface de la neige gelée. Il réchauffe aussi l'air du fond des vallées, le dilate et détermine une brise ascendante; de l'air plus humide monte le long des croupes de la montagne. Alors le phénomène hygrométrique devient inverse; alors à l'évaporation succède la condensation; à l'absorption de la chaleur latente succède son dégagement, et cela dans les proportions que nous avons vues. Alors la surface de la neige, au lieu d'être refroidie et gelée, reçoit une abondante quantité de chaleur latente dégagée par la condensation, et elle fond. La neige devient mauvaise.

Le soir, au moment du coucher du soleil, la brise du soir fait descendre dans la vallée l'air sec qui vient des hauts sommets; à une atmosphère relativement humide succède un air très sec, à la condensation succède l'évaporation, à la fusion le gel. Or l'inversion des phénomènes hygrométriques a lieu subitement, et c'est ce qui explique la rapidité, l'instantanéité du changement d'état de la neige.

67. En nous basant sur les faits et théories que nous venons d'exposer, nous pouvons résumer l'action hygrométrique du glacier sur l'air et de l'air sur le glacier dans les aphorismes suivants :

¹² *De Saussure* : Voyages dans les Alpes, § 1126. — *Rendu* : Théorie des glaciers de la Savoie, p. 23, etc.

1° Quand l'air contient moins de $4,60^{\text{mm}}$ d'humidité relative, il peut y avoir condensation à la surface du glacier, il peut y avoir évaporation, suivant l'état relatif des tensions de la vapeur d'eau de l'air et de la glace. Ces deux actions tendent à se contrebalancer en intensité, et annullent peut-être leurs résultats au point de vue de l'alimentation des glaciers.

2° Toutes les fois que la tension de la vapeur d'eau de l'air est supérieure à $4,60^{\text{mm}}$, il y a condensation à la surface du glacier.

3° Le résultat total de la condensation et de l'évaporation à la surface du glacier doit être en faveur de la condensation, et cela d'une manière fort notable.

4° Le glacier, par la condensation et l'évaporation, tend à ramener à $4,60^{\text{mm}}$ la tension de la vapeur d'eau de l'air (il n'y a d'exception à cette loi que dans le cas de condensation à des températures inférieures à 0°).

5° Comme, dans nos climats et nos latitudes, la capacité hygrométrique moyenne de l'air est supérieure à $4,60^{\text{mm}}$ de tension, le glacier exerce une action desséchante très puissante sur l'atmosphère.

6° La condensation de la vapeur d'eau, par la chaleur latente qu'elle dégage, tend à lutter contre l'extension du glacier; elle augmente la valeur de l'ablation et la fusion du glacier.

68. La condensation de l'humidité atmosphérique à la surface des corps gelés explique d'une manière satisfaisante l'importance et l'utilité des neiges de l'hiver, pour l'alimentation des sources. Il est d'expérience et de tradition chez les agriculteurs que, après un hiver neigeux, les sources sont abondantes et bien nourries, que, après un hiver pluvieux, par contre, elles tarissent beaucoup plus vite. Ce fait est facile à expliquer. L'eau qui tombe en pluie ne pénètre qu'en partie immédiatement dans le sol; une partie reste à la surface et, par sa nature même, est exposée à l'évaporation; une grande partie se perd en vapeur. L'eau qui tombe en neige est, dans nos climats du moins, dans des conditions bien différentes. Tant que le thermomètre reste au-dessous de zéro, elle se trouve le plus souvent dans les conditions de l'évaporation; mais la capacité hygrométrique de l'air étant, aux basses températures, très faible, cette évaporation est peu considérable. Aussitôt que le thermomètre s'élève au-dessus de zéro, et que la neige commence à fondre, elle est au contraire, en général, dans les conditions de la condensation, et alors, comme les principes que nous avons exposés sont encore applicables ici, la condensation peut être considérable, avoir une valeur importante

et compenser rapidement la quantité de vapeur d'eau que l'évaporation a enlevée.

C'est ce que prouveront les observations suivantes, faites lors d'une chute de neige tombée à Morges en décembre 1870.

69. Nous avons profité d'une abondante chute de neige qui vient d'avoir lieu à Morges, les 4 et 8 décembre, pour étudier les phénomènes d'évaporation et de condensation à sa surface.

Nous donnerons d'abord une idée de l'état thermométrique et hygrométrique de l'air, en indiquant les moyennes des observations assez nombreuses que nous avons faites pendant dix jours. Nous indiquons la température du thermomètre mouillé, qui, lorsqu'il y a évaporation à la surface de la neige, peut être considéré comme donnant la température de la surface glacée.

DATE	Nombre d'observations	THERMOMÈTRE		HUMIDITÉ		Température de saturation. C°	VENT
		sec C°	mouillé C°	absol. mm.	relat.		
Déc. 3	1	-2,5	-3,4	3,18	0,84	-4,8	Neige, vent du midi.
» 4	1 ¹³	-2,8	-3,0	3,58	0,96	-3,3	id.
» 4	1 ¹⁴	-6,8	-8,2	1,85	0,67	-11,6	Vent du nord.
» 5	6	-6,5	-7,0	2,29	0,81	-8,8	id.
» 6	6	-5,2	-5,8	2,70	0,87	-6,9	Brise de terre.
» 7	6	-3,9	-4,6	2,96	0,87	-5,8	id.
» 8	4	-2,6	-3,4	3,19	0,85	-4,8	Neige.
» 9	4	-1,1	-2,4	3,33	0,78	-4,4	Vent du midi.
» 10	4	-3,0	-4,1	2,96	0,79	-6,0	Brise de terre.
» 11	5	-1,8	-2,8	3,35	0,83	-4,2	id.
» 12	6 ¹⁵	+0,4	-0,3	4,14	0,87	-1,4	id.
» 13	6	+3,2	+2,9	5,53	0,96	+2,7	Dégel.
» 14	2	+6,8	+6,6	7,14	0,96	+6,3	Pluie, vent du midi.
» 15	4	+7,5	+7,2	7,37	0,94	+6,7	Dégel.
» 16	1	+8,9	+8,8	8,40	0,99	+8,7	Pluie et brouillard.

¹³ A 8 h. 10 du matin.

¹⁴ A 9 h. 10 du soir.

¹⁵ La pluie commence dans l'après-midi.

En résumé, pendant cette période de 14 jours, nous avons eu, du 3 au 13 décembre, une première série de jours froids et secs, coupée par les chutes de neige des 3 et 4 et 8 décembre; pendant ce temps la surface de la neige s'est maintenue constamment au-dessous de zéro. Puis une seconde série, du 13 au 16 décembre, de jours chauds et humides, pendant lesquels le dégel et la fonte ont marché avec une grande rapidité.

70. Voyons maintenant ce qu'ont produit ces circonstances hygrométriques sur les phénomènes de l'évaporation et de la condensation.

Nous avons opéré suivant les principes des expériences déjà relatées. Seulement, comme la température était en somme assez basse, nous avons pu laisser nos bassins pleins de neige exposés à l'air pendant de longues suites d'heures, et obtenir ainsi des moyennes plus sûres que celles que nous aurait donné des expériences durant une demi-heure ou une heure. Ces expériences ont été faites sur une fenêtre exposée en plein nord et protégée par un angle de maison contre l'action du vent, en particulier du vent du midi. Cette circonstance expliquera en partie les valeurs très faibles que nous avons trouvées pour la condensation et l'évaporation.

Du 5 au 16 décembre, nous avons fait 35 pesées différentes, qui nous ont servi à étudier sans interruption les phénomènes hygrométriques pendant toute la série des 12 jours. Nous en grouperons les résultats dans le tableau suivant qui indiquera en résumé les sommes des principales valeurs par nous obtenues. Nous emploierons les mêmes notations usitées jusqu'à présent, en donnant, en fractions de millimètre, la hauteur d'eau évaporée ou condensée pendant un temps donné; une deuxième colonne donnera la valeur horaire de l'évaporation ou de la condensation. Le signe négatif placé devant ces chiffres indiquera qu'il y a eu évaporation, le signe positif, condensation.

DÉBUT		FIN		Hauteur d'eau totale évaporée ou condensée.	Valeur horaire de l'évaporation ou de la condensation.
date.	heure.	date.	heure.		
5 déc.	8,40 m.	8 déc.	8,00 m.	— 0,907	— 0,012 E
8 »	8,00 m.	9 »	2,40 s.	— 0,187	— 0,006 E
9 »	2,40 s.	13 »	0,05 s.	— 0,992	— 0,010 E
13 »	0,05 s.	16 »	6,55 m.	+ 2,062	+ 0,031 E

Donc du 5 au 13 décembre, en 196 heures, il s'est évaporé une hauteur d'eau de $2,086^{\text{mm}}$, ce qui donne comme moyenne horaire de l'évaporation — $0,010$.

Du 13 au 16 décembre, en 67 heures, il s'est condensé $2,062^{\text{mm}}$, ce qui donne une moyenne horaire de condensation de $0,031$.

La condensation a surpassé en intensité de plus de trois fois la valeur de l'évaporation, et en 67 heures elle a rendu à la neige à $0,024^{\text{mm}}$ près la quantité d'eau qui lui avait été enlevée en 196 heures.

71. Si nous calculons l'épaisseur de neige enlevée par l'évaporation, en prenant pour base le poids du mètre cube de neige fraîche à 85 kilogrammes, nous trouverons que les $2,086^{\text{mm}}$ d'eau qui ont été évaporés en 8 jours, correspondent à une épaisseur en neige de 25 millimètres. Ce qui confirme le proverbe populaire disant que « la bise mange la neige. »

72. Nous terminons en faisant remarquer l'importance que devaient avoir les phénomènes que nous avons constatés sur nos petits glaciers, alors que, à l'époque glaciaire, une immense calotte de glace partait du sommet de nos Alpes, pour aller battre sur les flancs du Jura et s'avancer, dans la vallée du Rhône, jusqu'au-delà de Lyon; dans la vallée du Rhin jusqu'à la limite actuelle des eaux du Rhin et du Danube. Cette immense surface glacée devait condenser la vapeur d'eau avec une énorme intensité et l'action desséchante sur l'air devait avoir un degré, dont nous n'avons plus aujourd'hui d'exemple. Quelle pouvait être l'influence de ce dessèchement de l'air sur la flore et la faune des pays avoisinants, c'est ce que les études paléontologiques et géologiques devraient ne pas négliger.

Nous publions en appendice à l'étude qui précède, les cinq notices suivantes. Les deux premières se rattachent au sujet que nous avons traité; les trois dernières sont des observations et travaux faits par nous pendant notre séjour au glacier du Rhône.
