

NOUVELLE DISPOSITION  
DE  
L'HYGROMÈTRE A CHEVEU

Par M. Georges SIRE.

Séance du 13 avril 1872.

L'atmosphère renferme de la vapeur d'eau, et les phénomènes auxquels cette vapeur donne lieu, comme la rosée, la pluie, la neige...., sont désignés sous le nom d'*hydrométéores* ou de *météores aqueux*.

Il existe toujours de la vapeur d'eau dans l'air; sa présence est indispensable aux êtres vivants, végétaux et animaux. La quantité en est tantôt plus forte, tantôt plus faible, mais les variations ne sont faciles à discerner qu'autant qu'elles ont lieu avec une certaine intensité. Ainsi, on est plus sensible au froid quand l'air est très humide que quand il est relativement sec, parce que la vapeur d'eau accroît la conductibilité pour la chaleur.

Le bois, l'ivoire, la corne, les fibres textiles des végétaux..., et, en général, les substances organiques privées de vie, s'allongent par l'humidité.

Beaucoup de substances inorganiques absorbent l'humidité de l'air par suite d'une affinité pour l'eau : la potasse, la soude, la chaux, l'acide sulfurique et l'acide phosphorique en sont des exemples. D'autres substances précipitent l'humidité à leur surface par un effet de cohésion ; le verre est dans ce cas.

C'est par la même raison qu'un grand nombre de corps réduits en poudre fine absorbent l'humidité de l'air, leur surface offrant une très grande étendue. Mais tous ces effets ne sont bien manifestes qu'au bout de quelque temps, ou lorsque la quantité de vapeur d'eau varie entre des limites assez étendues; les faibles variations ne peuvent être constatées qu'à l'aide d'instruments spéciaux.

La partie de la physique qui s'occupe des moyens d'évaluer la quantité d'humidité de l'air, est désignée sous le nom d'*hygrométrie*.

Le *degré d'humidité* ou l'*état hygrométrique* d'un volume d'air donné ne dépend pas de la quantité absolue de vapeur d'eau qu'il contient, mais du rapport de cette quantité à celle qu'il renfermerait s'il était saturé à la même température. Comme il faut d'autant plus de vapeur pour saturer l'air que sa température est plus élevée, il en résulte que l'air peut être très humide avec peu de vapeur s'il est froid, et très sec avec une plus grande quantité de vapeur quand il est très chaud.

Toute la science de l'hygrométrie revient à déterminer les deux termes du rapport qui vient d'être cité. On a imaginé un certain nombre de méthodes pour arriver à ce résultat; les appareils qui sont employés dans ce but portent le nom d'*hygromètres*.

Les hygromètres sont de plusieurs sortes; on distingue :

- 1° Les *hygromètres* fondés sur l'absorption de la vapeur d'eau par des substances chimiques, ou la *méthode chimique*;
- 2° Les *hygromètres à condensation*;
- 3° Les *psychromètres*;
- 4° Les *hygromètres par absorption*.

*Méthode chimique.* — Cette méthode est la plus rigoureuse. Elle consiste à déterminer directement le poids de la vapeur d'eau contenue dans un volume d'air connu, en faisant passer cet air dans des appareils renfermant des substances ayant une grande affinité pour l'eau; l'augmentation de poids de ces appareils donne le poids de la vapeur condensée.

Si on désigne par  $V$  le volume de l'air, exprimé en litres, qui a passé dans les appareils, par  $t$  sa température et par  $f$  la tension de la vapeur; le poids  $p$  de la vapeur condensée est représenté par la formule

$$[1] \quad p = 0,622 \cdot V \left( \frac{1,293}{1 + \alpha t} \right) \frac{f}{760} = \frac{V(0^{\text{gr}},804)}{(1 + \alpha t)} \cdot \frac{f}{760}.$$

Pour avoir l'état hygrométrique, il faut diviser le poids  $p$  par le poids  $P$  de vapeur à saturation qui serait contenue dans le même volume d'air à la même température, c'est-à-dire lorsque la force élastique de la vapeur est maximum ou  $F$ ; ce poids serait

$$[2] \quad P = \frac{V(0^{\text{gr}},804)}{(1 + \alpha t)} \cdot \frac{F}{760};$$

par suite, l'état hygrométrique est  $\frac{p}{P}$ .

On voit que le poids  $P$  est obtenu par le calcul, au moyen de la densité théorique de la vapeur d'eau, ce qu'on peut faire sans inconvénient. Il résulte, en effet, des recherches de M. Regnault, que la densité de la vapeur à saturation aux basses températures peut se calculer d'après la loi de Mariotte, comme celle de l'air même à laquelle on la compare, bien que le rapport du poids de la vapeur à celui d'un égal volume d'air dans les mêmes conditions de température et de pression, soit un peu plus faible que la densité théorique de la vapeur.

Mais si la méthode chimique est la plus exacte, elle exige une manipulation longue et compliquée, peu compatible avec des observations courantes : elle ne donne d'ailleurs qu'un état moyen de l'air pendant la durée de l'expérience; aussi l'emploie-t-on plutôt pour contrôler les autres hygromètres que pour un service journalier.

*Hygromètres à condensation.* — Si l'on divise la formule [1] par la formule [2], on a

$$\frac{p}{P} = \frac{\frac{V(0^{\text{gr}}, 804)}{(1 + \alpha t)} \cdot \frac{f}{760}}{\frac{V(0^{\text{gr}}, 804)}{(1 + \alpha t)} \cdot \frac{F}{760}} = \frac{f}{F};$$

ce qui prouve que, toutes choses égales d'ailleurs, les poids de la vapeur d'eau sont dans le même rapport que les forces élastiques ; par suite, pour déterminer l'état hygrométrique, on peut substituer le second rapport au premier : c'est le principe des hygromètres à condensation.

A l'aide de ces appareils, on se propose de déterminer à quelle température l'air dont on veut connaître l'état hygrométrique, doit être refroidi, pour que la vapeur d'eau qu'il contient suffise pour le saturer. Dans ce but, on refroidit artificiellement et graduellement une partie polie de l'instrument jusqu'à ce qu'une légère couche de rosée vienne ternir cette surface ; en un mot, l'opération revient à déterminer le *point de rosée*, c'est-à-dire la température à laquelle l'air doit être abaissé pour se trouver saturé à l'aide de la quantité de vapeur qu'il contient. De la connaissance de cette température et de celle de l'air ambiant, on déduit l'état hygrométrique. Si  $f$  représente la tension maximum de la vapeur à la température du point de rosée, et  $f'$  la tension maximum à la température ambiante, l'état hygrométrique sera  $\frac{f}{f'}$ .

Les valeurs numériques de  $f$  et de  $f'$  sont données par les tables.

Je ne crois pas nécessaire de rappeler ici l'exactitude plus ou moins parfaite avec laquelle les hygromètres de Daniell, Pouillet, Belli, Savary ....., permettent de déterminer le point de rosée. De tous les hygromètres à condensation, celui de M. Regnault est le plus précis, mais, quoique d'un volume assez restreint et répondant parfaitement aux besoins de la science, bien des voyageurs lui préfèrent un psychromètre, ou un hygromètre à cheveu, à cause de la rapidité de leur installation.

*Psychromètres.* — Les psychromètres ou hygromètres par évaporation, reposent sur la méthode mise en pratique par Leslie, pour déterminer le degré d'humidité de l'air, méthode qui consiste à observer la rapidité de l'évaporation de l'eau à l'aide de l'abaissement de température qu'elle produit. Pour cela, on détermine les températures stationnaires indiquées par deux thermomètres, voisins l'un de l'autre, mais dont le réservoir de l'un d'eux est enveloppé de batiste continuellement mouillée d'eau. C'est à cette disposition que M. August, de Berlin, a donné le nom de psychromètre.

Pour déduire l'état hygrométrique des températures observées, M. August a établi une formule, en admettant que la boule humide du psychromètre est entourée d'une couche d'air, que l'on peut d'ailleurs supposer aussi mince que l'on veut, qui a la même température que cette boule et qui se trouve saturée d'humidité. Cette température est inférieure à celle de l'air extérieur. M. August suppose aussi que les couches d'air qui arrivent ainsi successivement en contact avec le réservoir humide, prennent la température de ce réservoir et se saturent d'humidité. Ces couches arrivant avec une température supérieure à celle du réservoir, lui abandonnent une certaine quantité de chaleur ; mais, d'un autre côté, elles vaporisent de l'eau à la surface, et par suite enlèvent au réservoir une autre quantité de chaleur. La température stationnaire du réservoir humide s'établit par l'égalité entre ces deux quantités de chaleur. En admettant, en outre, que le refroidissement du thermomètre mouillé est indépendant du mouvement de l'air, et qu'il est proportionnel à la différence entre la tension de la vapeur à saturation et la tension telle qu'elle existe dans l'air, M. August arrive à la formule numérique suivante :

$$[3] \quad x = f' - \frac{0,568 (t - t')}{640 - t'} \cdot h;$$

dans laquelle  $x$  représente la force élastique de la vapeur d'eau qui existe dans l'air,  $t$  la température de l'air ambiant donnée

par le thermomètre sec,  $t'$  la température indiquée par le thermomètre mouillé,  $f'$  la force élastique maximum de la vapeur pour la température  $t'$ , et  $h$  la hauteur du baromètre. Par suite, la fraction de saturation ou l'état hygrométrique est  $\frac{x}{f}$ ;  $f$  étant la force élastique maximum de la vapeur d'eau à la température  $t$ .

En substituant à différents chiffres employés par M. August, des valeurs déduites d'expériences très précises, M. Regnault a obtenu l'expression plus rigoureuse

$$x = f' - \frac{0,429 (t - t')}{610 - t'} \cdot h;$$

qui peut même s'écrire

$$[4] \quad x = f' - 0,0006246 (t - t') h.$$

Les résultats numériques obtenus à l'aide de cette formule diffèrent rarement de plus de  $\frac{1}{100}$  de ceux que l'on déduirait de la formule théorique plus complexe. M. Regnault fait remarquer que cette approximation est plus que suffisante dans tous les cas, car l'état hygrométrique de l'air est incessamment variable, et, par cela même, il n'est pas susceptible d'une détermination rigoureuse.

Dans un travail plus récent, M. Regnault propose de mettre la formule précédente sous la forme

$$x = f' - A (t - t') h,$$

qui est plus générale, à la condition que pour chaque circonstance on ait soin de déterminer, par des expériences directes, la valeur du coefficient  $A$ . On reconnaît, en effet, que les valeurs de  $x$  ne sont d'accord avec les résultats que fournit la méthode chimique qu'autant qu'on donne à  $A$  des valeurs différentes, et qui dépendent des circonstances dans lesquelles se trouve le psychromètre.

Ainsi, on a trouvé que dans une chambre fermée on avait .....	$A = 0,00128.$
Dans une vaste salle fermée .....	$A = 0,00100.$
Dans la même salle lorsque deux fenêtres opposées étaient ouvertes .....	$A = 0,00077.$
Dans une grande cour carrée, entourée de constructions élevées, le psychromètre étant exposé au nord.....	$A = 0,00074.$
Dans la cour de l'auberge de Taverne, aux Eaux-Bonnes (Pyrénées).....	$A = 0,00090.$

Ce qui précède suffit pour faire reconnaître que le psychromètre est un appareil empirique, dont les indications sont plus ou moins exactes suivant qu'on s'est donné la peine de déterminer avec plus ou moins de soins la valeur du coefficient  $A$ . Si l'instrument doit rester à poste fixe, dans un observatoire par exemple, on pourra faire cette détermination avec exactitude; mais s'il doit être fréquemment déplacé, s'il doit être employé dans des explorations scientifiques où les situations changent presque chaque jour, il devient impossible de procéder à une graduation précise, et on ne peut compter que sur des indications approximatives. Si, d'un autre côté, on envisage la grande fragilité des thermomètres à mercure, on comprendra l'appréhension avec laquelle la plupart des voyageurs se résignent à se munir d'un psychromètre.

On peut dire sans exagération que si, jusqu'à ce jour, les observations hygrométriques ont été fort négligées, on le doit à l'absence de moyens expéditifs de déterminer le degré d'humidité de l'air. Si donc on veut favoriser le développement de ce genre de recherche, il faut offrir, soit pour les observations sédentaires, soit pour les voyages, un instrument suffisamment exact, d'une lecture facile, d'une installation prompte et appropriée à la plupart des circonstances, un instrument enfin qui puisse indiquer presque instantanément le résultat cherché. Il est évident qu'aucune des méthodes qui viennent d'être

rappelées ne satisfait à ce programme; mais il reste à examiner si, parmi les hygromètres d'absorption, il n'en existe pas un qui, convenablement modifié, présenterait quelques chances de rendre les observations plus fréquentes et par suite plus profitables.

*Hygromètres par absorption.* — De tous les hygromètres par absorption, celui de Saussure a seul échappé à l'oubli général, dit M. Regnault, grâce à la persévérance de son inventeur, qui fit des expériences nombreuses pour rendre son instrument comparable. L'hygromètre de Saussure est empirique, mais il présente, pour les observations météorologiques, de si grands avantages sur les autres méthodes hygrométriques, que, malgré les préventions très fortes qu'il avait contre cet instrument, M. Regnault n'a pas hésité à faire des expériences très multipliées pour s'assurer jusqu'à quel point il pouvait donner des indications précises. Les études de cet illustre physicien ont produit des méthodes de graduation et de vérification plus pratiques et plus rigoureuses que celles que l'on possédait, et qui ont beaucoup augmenté l'exactitude des indications de l'instrument de Saussure.

*Hygromètre à cheveu de Saussure.* — On sait que cet appareil est fondé sur la propriété que possèdent les cheveux convenablement dégraissés, de s'allonger par l'humidité et de se raccourcir par la sécheresse. En raison de leur forme déliée, les cheveux se mettent promptement en équilibre d'humidité avec l'air ambiant. Quelle que soit la température, ils s'emparent toujours de la même quantité d'eau dans l'air saturé de vapeur, et s'allongent de la même grandeur. On s'en rend compte en observant que l'eau est retenue avec une force presque nulle, dans l'air saturé de vapeur, puisque la plus faible diminution de volume ou de température opère la liquéfaction d'une portion de cette vapeur. Dans ces conditions, l'affinité des cheveux pour l'eau n'étant contrebalancée par aucune autre force, cette substance précipitera toute l'eau qu'elle peut absorber; quan-

tité qui est d'ailleurs très petite relativement à celle qui sature l'espace ambiant.

Dans leur état ordinaire, les cheveux s'allongent de  $\frac{1}{200}$  en passant de la sécheresse extrême au maximum d'humidité. L'allongement peut aller jusqu'à  $\frac{1}{45}$  lorsqu'ils ont été dégraissés en les faisant bouillir pendant 30 minutes dans de l'eau contenant  $\frac{1}{100}$  de son poids de carbonate de soude cristallisé. Saussure recommande de choisir des cheveux fins, doux et non crépus, coupés sur une tête vivante et saine. Convenablement lessivés, les cheveux sont nets, doux, brillants, transparents et bien détachés les uns des autres.

C'est un cheveu jouissant des qualités ci-dessus qui constitue la pièce essentielle de l'instrument de Saussure. Ce cheveu, d'environ 24 centimètres de longueur, est fixé par un bout à la partie supérieure d'un cadre métallique, et par son autre extrémité, à la gorge d'une poulie de 5 millimètres de diamètre; un petit poids, variant de 0<sup>gr</sup>2 à 0<sup>gr</sup>5, est placé de façon à maintenir le cheveu constamment tendu; enfin sur l'axe de la poulie est fixée une aiguille dont l'extrémité se meut sur un arc de cercle divisé et accuse les variations qui se produisent dans la longueur du cheveu. Telle est, en abrégé, la disposition de l'hygromètre à cheveu de Saussure.

Pourquoi, malgré l'appui inespéré que les recherches de M. Regnault ont donné à l'hygromètre de Saussure, cet instrument est-il si délaissé et son usage si peu répandu? Les causes de cet abandon sont, à mon avis, la construction vicieuse de cet appareil, sa fragilité et son installation défectueuse dans la plupart des cas.

Je viens de rappeler sommairement la construction ordinaire de l'hygromètre à cheveu; j'ajouterai quelques mots sur les inconvénients que sa manipulation présente, afin de faire ressortir comment j'ai réussi à les éliminer dans la nouvelle disposition que j'ai l'honneur de proposer.

Un des premiers inconvénients que présente l'hygromètre ordinaire, c'est sa grande fragilité. Il arrive souvent, dans les déplacements de l'appareil, que l'attouchement involontaire des doigts, le choc des corps environnants, opèrent la rupture du cheveu qui n'est pas suffisamment protégé ; or, la rupture du cheveu est d'autant plus regrettable qu'elle fait perdre les bénéfices d'une graduation longue et minutieuse. Sans doute, le cheveu brisé peut être facilement remplacé, mais alors l'instrument réclame une graduation nouvelle, bien difficile à effectuer en dehors du matériel d'un laboratoire.

D'un autre côté, le cadre métallique porte des pieds qui maintiennent tout le système à une très petite distance de la surface contre laquelle l'hygromètre est généralement suspendu. Une pareille mise en expérience me paraît très défectueuse, car le cheveu se trouve à peine à 1 ou 2 centimètres d'une paroi dont la nature peut modifier l'humidité de la couche d'air qui environne l'instrument, et à laquelle sont seulement applicables les indications observées.

La trop grande proximité d'une paroi expose le cheveu à être parcouru par les insectes qui circulent sur les murs (mouches, araignées....), lesquels déposent à la surface des impuretés qui, à la longue, doivent nécessairement modifier ses propriétés hygroscopiques. Un effet analogue est produit par les poussières qui flottent sans cesse dans l'air, et qui finissent par adhérer d'autant plus au cheveu qu'il est plus fréquemment humide. Ces altérations se produisent surtout dans les intervalles relativement très longs qui séparent les observations, et sont en partie la cause des différences que présente l'hygromètre à cheveu lorsqu'on le soumet à des vérifications régulières.

On a cherché à remédier à ces causes d'altération, en disposant l'hygromètre dans une boîte fermée antérieurement par une glace, et dont les parois latérales sont percées de trous, qui mettent l'intérieur de la boîte en communication avec l'atmosphère ambiante. Cette disposition laisse subsister, si



toutefois elle ne l'aggrave pas, l'influence des parois trop rapprochées du cheveu, influence qui ne doit disparaître que lorsque l'air a circulé longtemps dans l'intérieur de l'étui, ce qui retarde les indications de l'instrument.

La nécessité de tenir l'hygromètre dans une position bien verticale ne laisse pas que d'être fort gênante dans bien des cas. C'est une conséquence du petit poids qui tend le cheveu et qui ne produit bien sa fonction que lorsque le cheveu est vertical. Et si maintenant on envisage la valeur de ce poids, on reconnaît que beaucoup de constructeurs font bon marché des indications de Saussure, qui prescrivent de ne pas appliquer à la tension du cheveu un poids dépassant  $0^{\text{sr}}2$ .

Une imperfection des plus grandes réside dans la disproportion de l'aiguille que le cheveu est obligé de faire mouvoir. Cette aiguille est généralement trop massive, quelque bien équilibrée qu'elle soit. Saussure fait observer qu'un cheveu qui est chargé seulement de  $0^{\text{sr}}6$ , offre d'abord une marche assez régulière, mais qu'il s'étire au bout de quelque temps et devient irrégulier. Il est évident, d'après cela, que la grosseur exagérée des aiguilles de laiton qu'on observe dans les hygromètres à cheveu, est on ne peut plus nuisible; car les cheveux rencontrent dans la masse de ces aiguilles une résistance capable d'altérer leur marche après un temps plus ou moins long. Cette résistance est encore accrue par l'épaississement des huiles qui lubrifient l'axe de l'aiguille, de sorte que l'instrument ne tarde pas à devenir peu sensible, et qu'il est nécessaire de favoriser le jeu des différentes pièces en imprimant de légers chocs au système. Enfin, la nécessité absolue de fixer l'aiguille et le poids tendant lorsqu'il s'agit de transporter l'instrument, est, sans contredit, le défaut le plus grave qu'on puisse reprocher à sa construction actuelle. Elle constitue une sujétion dont l'oubli peut être désastreux pour les divers organes de cet appareil. En effet, si cette fixité n'est pas obtenue d'une façon sérieuse, ou si elle n'est pratiquée que d'une manière imparfaite, elle est détruite par la

première secousse un peu violente, et les plus graves désordres résultent de l'enchevêtrement des différentes pièces.

En présence de si nombreuses chances de détérioration, il n'est pas étonnant que la plupart des observateurs aient renoncé à faire usage de l'hygromètre de Saussure.

Faire disparaître les inconvénients qu'on rencontre dans l'usage de l'hygromètre à cheveu ordinaire, et annuler en grande partie les causes d'altération et de dérangement de cet appareil, c'est ce que je crois avoir réalisé dans la disposition nouvelle dont je vais donner la description, et que j'ai présentée à la réunion des délégués des sociétés savantes, à la Sorbonne, en avril 1872.

*Nouvelle disposition de l'hygromètre à cheveu.* — Cette disposition est représentée de face (fig. 1), et en coupe (fig. 2).

Un tube de laiton AB de 25 centimètres de hauteur, attenant à la base B, qui peut à volonté se visser sur un pied ou socle P, constitue le support principal de l'instrument. Ce tube en contient un autre qui peut tourner concentriquement dans son intérieur, à l'aide du bouton *b* fixé à ce tube. Chacun de ces deux tubes est percé de trois fentes longitudinales, sur une hauteur de 18 centimètres, et sur une largeur un peu moindre que la sixième partie de leur circonférence; en sorte que si l'on déplace à droite ou à gauche le bouton *b*, qui glisse dans une rainure pratiquée dans le tube extérieur, on fait coïncider les ouvertures des tubes (fig. 3), ce qui permet une libre circulation de l'air dans leur intérieur; ou bien l'on place les parties pleines du tube intérieur vis-à-vis les ouvertures du tube AB, ce qui constitue un tube complètement fermé (fig. 4).

*Installation du cheveu.* — C'est suivant l'axe commun des deux tubes ci-dessus décrits qu'est établi un cheveu convenablement préparé. Il est maintenu dans sa partie supérieure par une pince *p* faisant partie d'une vis de rappel, montée sur un petit support fixé au tube extérieur. Cette partie de l'instrument est préservée par un chapeau C, qui se visse sur le tube A. L'autre extrémité du cheveu est fixée en *m* à une tige

faisant partie d'un levier spécial dont il va être fait mention. Entre les points  $p$  et  $m$ , le cheveu possède une longueur de 20 centimètres.

Le point  $p$  étant fixe, les variations de longueur du cheveu sont accusées par l'abaissement ou l'élévation de son autre point d'attache  $m$ , variations qu'il est nécessaire d'agrandir et de rendre bien manifestes. Dans ce but, le point  $m$  se trouve à l'extrémité d'une petite tige implantée sur un levier  $L$  (fig. 1), lequel est mobile autour d'un axe  $I$ . Sur cet axe est disposé un petit ressort spiral  $R$ , dont la fonction est de tendre constamment le cheveu, mais sans l'étirer. Le levier  $L$  porte à l'une de ses extrémités un arc de cercle denté ou râteau qui engrène dans un pignon établi au centre du cadran. Sur l'axe de ce pignon est fixée une aiguille très légère en acier doré. On entrevoit de suite le jeu de ce mécanisme fort simple : toutes les fois que le cheveu éprouve une variation de longueur, elle est transmise au levier, lequel fait tourner d'une certaine quantité le pignon, et, par suite, détermine un déplacement plus ou moins grand de l'aiguille sur le cadran. La force qui met en jeu ces différentes pièces étant très faible, il était important de donner à ces pièces la plus grande mobilité. Voici de quelle manière je crois y être parvenu.

Le levier  $L$  n'a, pour ainsi dire, pas de masse : il est, du reste, parfaitement équilibré à l'aide d'un contre-poids  $d$ , en sorte que son action, comme poids, est nulle sur le cheveu ; il ne fait que transmettre à ce cheveu la force du ressort spiral. Or, ce ressort est choisi de façon qu'il n'exerce qu'une traction très faible et dans les limites prescrites par Saussure.

On pourrait objecter que l'action de ce ressort spiral n'est pas constante ; mais je ne vois pas qu'une tension uniforme du cheveu soit d'une nécessité absolue, bien au contraire. Il est très probable que le cheveu est d'autant plus facile à étirer qu'il est plus imprégné d'eau ; par suite, il y a avantage à ce qu'il soit d'autant moins tendu qu'il s'allonge davantage par l'humidité. C'est précisément dans ce sens qu'agit le spiral,

puisque son angle de tension diminue avec l'allongement du cheveu, disposition qui me paraît plus avantageuse qu'une tension constante.

Quant au pignon qui est au centre du cadran, il est construit avec beaucoup de délicatesse et possède un diamètre calculé sur l'allongement du cheveu, comme on le verra plus loin. Sur le prolongement d'un des pivots de ce pignon est ajustée une aiguille très légère, d'égale longueur de part et d'autre de son axe de rotation, lequel passe par son centre de gravité. Cette aiguille et le pignon, n'opposent qu'une résistance insignifiante à leur mise en mouvement, et comme ce pignon engrène sans temps perdu appréciable avec l'arc denté du levier, il obéit aux plus petits déplacements de ce levier, c'est-à-dire que l'aiguille accuse les plus faibles variations dans la longueur du cheveu. La sensibilité de l'instrument est donc très grande : elle est encore accrue par la très grande mobilité des différentes pièces dont il vient d'être question, attendu que les axes de rotation sont constitués par des pivots très fins tournant dans des pierres dures. Toute cette partie délicate de l'instrument a été exécutée, avec autant d'habileté que d'intelligence, par M. Mathey-Doret, professeur à l'école d'horlogerie de Besançon. Enfin un thermomètre, fixé sur le tube extérieur A, permet de déterminer la température de la tranche d'air dans laquelle est plongé l'instrument.

*Graduation de l'hygromètre à cheveu.* — Les deux points fixes de l'hygromètre sont déterminés, comme l'on sait, en soumettant d'abord l'instrument à la sécheresse extrême, puis à l'humidité extrême. Dans les deux positions respectives où l'aiguille est restée stationnaire, on marque 0 et 100. L'arc de cercle compris entre ces deux points est divisé en 100 parties égales qui sont les degrés de l'hygromètre.

*Tables hygrométriques; anciennes méthodes.* — Les degrés de l'hygromètre ne sont pas comparables entre eux, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas proportionnels aux différents états d'humidité de l'air. Saussure, Dulong, Gay-Lussac, Melloni ..... ont



cherché par diverses méthodes à construire des tables, qui permettent de passer des degrés indiqués à l'état hygrométrique correspondant. Les recherches de Gay-Lussac sur ce sujet ont prévalu jusque dans ces derniers temps. En plaçant l'hygromètre dans des atmosphères dont il faisait varier l'état hygrométrique à l'aide de dissolution saline diversement concentrées, Gay-Lussac a obtenu 10 termes de la table cherchée. Les termes intermédiaires ont été obtenus par interpolation par M. Biot. En représentant par 0 la sécheresse extrême et par 1 la saturation complète, cette table est la suivante :

Degrés de l'hygrom.	Etats hygrométriques.	Degrés de l'hygrom.	Etats hygrométriques.	Degrés de l'hygrom.	Etats hygrométriq.
0	0,0000	34	0,1710	68	0,4489
1	0,0045	35	0,1768	69	0,4604
2	0,0090	36	0,1830	70	0,4719
3	0,0135	37	0,1890	71	0,4851
4	0,0180	38	0,1954	72	0,4982
5	0,0225	39	0,2016	73	0,5114
6	0,0271	40	0,2078	74	0,5245
7	0,0318	41	0,2145	75	0,5376
8	0,0364	42	0,2212	76	0,5525
9	0,0410	43	0,2279	77	0,5674
10	0,0457	44	0,2346	78	0,5824
11	0,0505	45	0,2413	79	0,5973
12	0,0552	46	0,2486	80	0,6122
13	0,0600	47	0,2559	81	0,6289
14	0,0648	48	0,2632	82	0,6457
15	0,0696	49	0,2706	83	0,6624
16	0,0746	50	0,2779	84	0,6792
17	0,0795	51	0,2858	85	0,6959
18	0,0845	52	0,2938	86	0,7149
19	0,0895	53	0,3017	87	0,7339
20	0,0945	54	0,3097	88	0,7529
21	0,0997	55	0,3176	89	0,7719
22	0,1049	56	0,3266	90	0,7909
23	0,1101	57	0,3357	91	0,8109
24	0,1153	58	0,3447	92	0,8308
25	0,1205	59	0,3537	93	0,8508
26	0,1259	60	0,3628	94	0,8707
27	0,1314	61	0,3731	95	0,8906
28	0,1369	62	0,3834	96	0,9125
29	0,1423	63	0,3936	97	0,9344
30	0,1478	64	0,4039	98	0,9563
31	0,1536	65	0,4142	99	0,9781
32	0,1594	66	0,4258	100	1,0000
33	0,1652	67	0,4373		

Cette table, calculée pour une température de 10 degrés, a été regardée comme applicable à toute température comprise dans les limites thermométriques de l'atmosphère, en faisant abstraction de la dilatation du cheveu par la chaleur, qui est très petite, car 33° de différence de température ne font varier l'hygromètre que de 3/4 de degré.

D'autre part, si à partir de la sécheresse extrême on considère des augmentations d'humidité de 0,1, on reconnaît qu'elles correspondent à des allongements du cheveu qui sont sensiblement entre eux comme les nombres 22, 18, 14, 11, 7, 7, 6..... Ces allongements sont donc loin d'être proportionnels aux états hygrométriques de l'air.

*Méthode de M. Regnault.*— Parmi les deux méthodes de graduation de l'hygromètre à cheveu indiquées par ce physicien dans son étude sur l'hygrométrie (1), j'ai adopté celle qui m'a semblé d'un usage plus général, sans grande préparation d'appareils, c'est-à-dire à la portée de chaque observateur.

En rejetant avec M. Regnault le point de sécheresse extrême comme n'étant atteint qu'après un grand nombre de jours, et qui d'ailleurs place le cheveu dans des conditions qui ne lui appartiennent pas dans son état normal, je ne commence la graduation de mon hygromètre qu'à partir de la fraction de saturation 1/5. Au surplus, il sera toujours facultatif de partir d'un point de saturation plus faible dans des cas particuliers.

D'après les anciennes méthodes de graduation, lorsque l'état hygrométrique de l'air est de 0,20, l'hygromètre marque 40, c'est-à-dire qu'en passant de la sécheresse extrême à la fraction de saturation 1/5, la longueur du cheveu augmente des 0,4 de la quantité dont il s'allonge en passant de la sécheresse extrême à l'humidité extrême; en sorte que, pour indiquer les fractions de saturation subséquentes, il ne reste plus que les 0,6 de l'allongement total, qu'on sait être de 4 millimètres pour

---

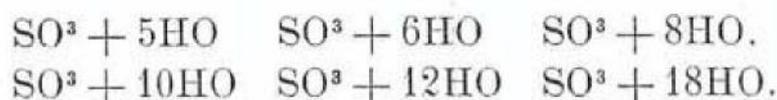
(1) *Ann. de chimie et de physique*, tome XV.

un cheveu de 20 centimètres de longueur. Ce sont ces 0,6 de l'allongement total, ou les 60 degrés ordinaires de l'hygromètre, compris entre 40 et 100, que j'ai répartis sur la demi-circonférence supérieure du cadran, de telle sorte, que la ligne droit qui joint les points 40 et 100 est un diamètre du cercle graduée et passe par le centre de rotation de l'aiguille indicatrice. La demi-circonférence inférieure du cadran est réservée pour des indications dont l'utilité sera signalée plus loin.

De ce qui précède, on déduit, qu'un cheveu de 20 centimètres de longueur s'allonge, en moyenne, de  $2^{\text{mm}}4$ , en passant de la fraction de saturation  $1/5$  à la saturation complète. Cet allongement est égal à la demi-circonférence dont le diamètre est de  $1^{\text{mm}}53$ ; c'est le diamètre que doit avoir la circonférence primitive du pignon qui engrène avec l'arc denté du levier L.

Des recherches minutieuses ayant démontré à M. Regnault l'impossibilité de calculer une table unique s'appliquant à tous les hygromètres à cheveu, il a indiqué le procédé que nous allons résumer, et qui permet à chaque observateur de faire la graduation de son hygromètre, ainsi que d'en faire la vérification aussi souvent qu'il le désire.

Ce procédé consiste premièrement à préparer des mélanges d'acide sulfurique et d'eau en proportions définies, et qui, pour les limites de graduation que j'ai adoptées, sont les suivants :



M. Regnault a déterminé avec le plus grand soin les forces élastiques de la vapeur aqueuse fournie par ces dissolutions, pour des températures comprises entre 0 et + 50 degrés. Ayant construit graphiquement les courbes données par ces expériences, et au moyen de trois déterminations également espacées, il a obtenu les trois constantes qui entrent dans la formule  $f = a_2 + a_1 b^t$ .

*Nouvelle disposition de l'hygromètre à chevron, par M. Georges Sire*

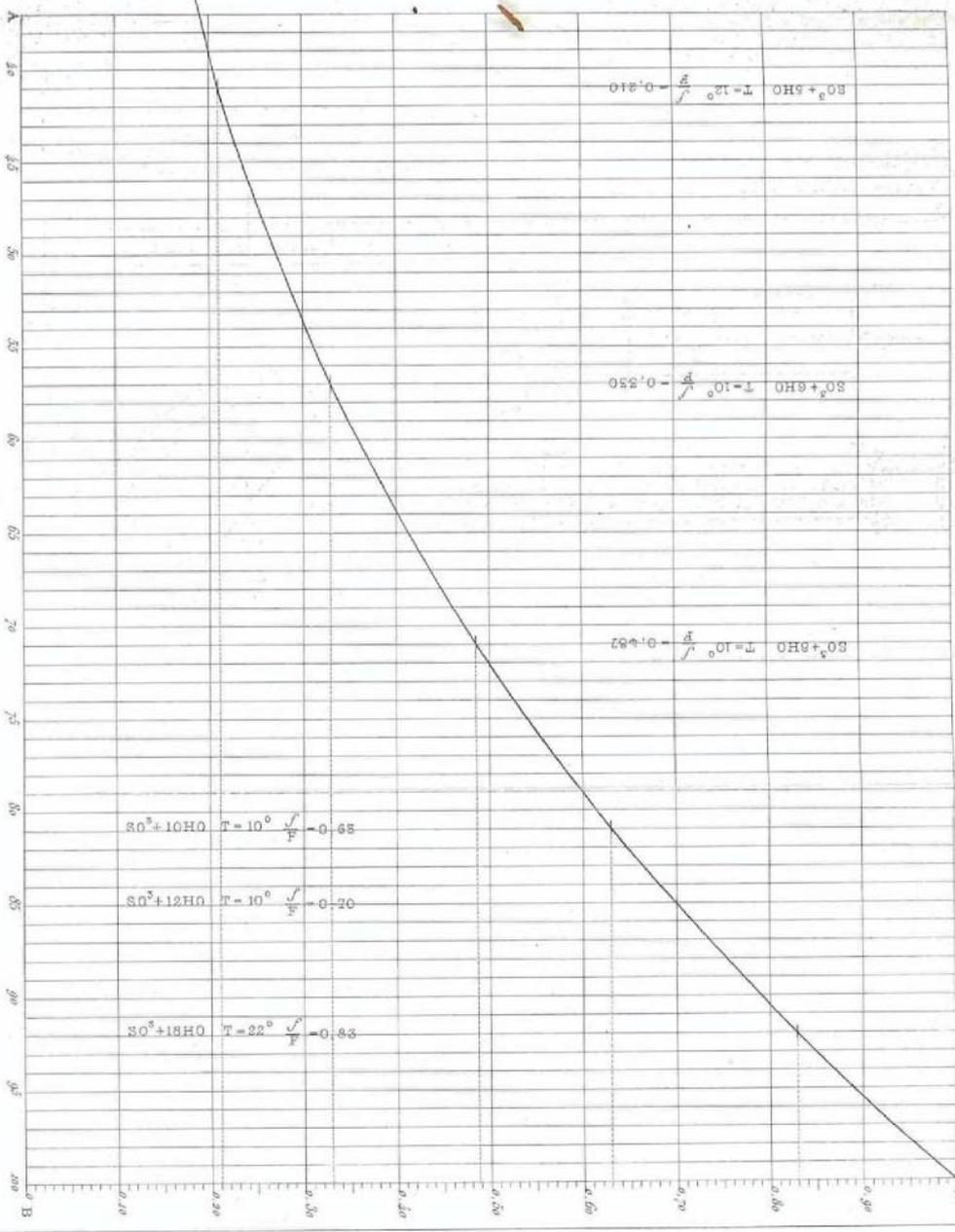
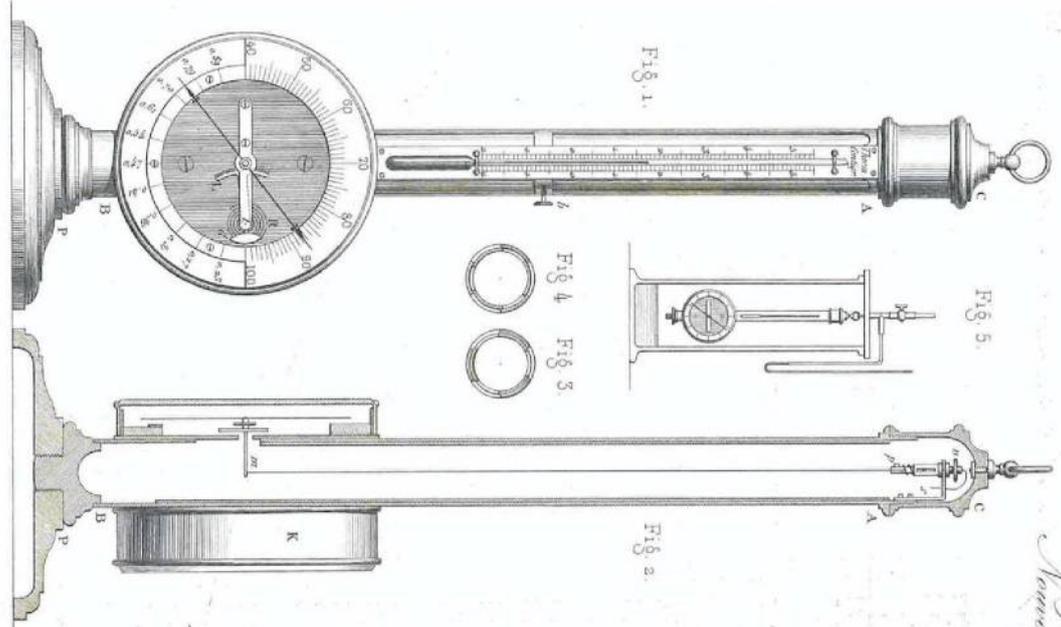


Fig. 6.

G. Sire del.

E. Perrot sc.

