

OFFICE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

-----  
Section hydrologique

STATIONS METEOROLOGIQUES DU  
SERVICE HYDROLOGIQUE

-----oOo-----

Janvier 1957

STATIONS METEOROLOGIQUES DU  
SERVICE HYDROLOGIQUE

-----

GENERALITES

Le but essentiel des observations effectuées à ces stations est l'étude de l'évaporation sur nappe d'eau libre et des facteurs climatiques dont elle dépend.

L'évaporation (symbole E) est, par définition, la quantité d'eau perdue sous forme de vapeur par une portion de nappe d'eau libre de surface unité. Elle a donc les dimensions d'une longueur,  $\frac{\text{Volume}}{\text{Surface}}$ , et on l'exprime généralement en millimètres. Il est facile de vérifier qu'une évaporation de 1 mm. sur un bac de 1 m<sup>2</sup> correspond à 1 litre d'eau évaporée.

L'intensité d'évaporation est l'évaporation qui s'est produite pendant un temps donné pris comme unité. Cette unité de temps peut être l'heure ou la journée. Dans le premier cas, l'intensité sera exprimée en mm/h. (millimètres par heure), dans le second cas en mm/j. (millimètres par jour).

Les facteurs conditionnels de l'évaporation sont les phénomènes qui ont une influence sur l'évaporation. Les principaux sont :

- la température de l'air
- la température superficielle de l'eau
- l'humidité relative ou la tension de vapeur de l'eau dans l'air
- la vitesse du vent
- la pression atmosphérique

Ces facteurs ont l'avantage d'être facilement mesurables et leur action sur l'évaporation est relativement facile à mettre en évidence. Mais ce ne sont pas les seuls phénomènes à influencer l'évaporation. On pourrait citer également les rayonnements de différentes natures, la turbulence de l'air, etc... Néanmoins, pour les études qui nous intéressent, nous nous contenterons de mesurer les facteurs principaux précités ainsi que l'évaporation sur bac et l'évaporation Piche.

C H A P I T R E . I

PRATIQUE DES MESURES ET  
TENUE DU TABLEAU D'OBSERVATIONS

-----

A) EVAPORATION SUR BACS -

L'impossibilité matérielle dans laquelle on se trouve d'établir des nappes d'eau libre d'une certaine importance partout où l'on désire mesurer l'évaporation, conduit à se contenter de la surface réduite de récipients normalisés appelés bacs ou cuves d'évaporation. Les relations entre les résultats donnés par ces bacs et ceux que l'on trouverait sur une retenue ou une mare de grande dimension sortent du cadre de cette note.

Du point de vue installation, ces bacs peuvent être :

- "perchés", c'est-à-dire installés au-dessus de la surface du sol;
- "flottants", c'est-à-dire amarrés à un radeau et immergés dans une retenue;
- "enterrés", suivant des normes bien déterminées.

Du point de vue construction, le plus connu est le bac Colorado : il affecte la forme d'un cube de 3 pieds d'arête (0,91 m. environ). Des bacs "Colorado" sont utilisés dans certaines de nos stations; mais nous n'en construisons

plus à cause des complications introduites dans le dépouillement des mesures par les unités anglaises lorsque ces mesures sont volumétriques (voir ci-dessous la pratique des mesures).

Les mesures d'évaporation peuvent se faire soit en suivant le déplacement du niveau de l'eau à l'aide d'une pointe mobile se déplaçant le long d'une règle graduée, soit en ramenant, à heures fixes, le niveau de l'eau à affleurer une pointe fixe en ajoutant, dans le bac, une quantité d'eau connue (mesure volumétrique). Dans ce dernier cas, la hauteur d'eau évaporée entre deux mesures successives est égale à  $\frac{V}{S}$ , V étant le volume d'eau rajoutée et S la section horizontale du bac.

#### 1°) Construction et installation des bacs :

Pour toutes les installations futures ou actuellement en cours, le Service Hydrologique a adopté la normalisation suivante :

- section horizontale du bac .... 1 m<sup>2</sup> (1 m. x 1 m.)
- profondeur ..... 0,90 m.
- épaisseur de la tôle ..... 15/10 à 2 mm. (voir fig.1)

#### Bac enterré : Installation

- Les bacs seront peints, autant que possible, d'une teinte neutre (gris par exemple) et mate.
- La bordure doit se trouver à 10 cm. au-dessus du sol naturel.
- Le plan d'eau sera maintenu à 10 cm. au-dessous du bord, c'est-à-dire au niveau du sol naturel. Une pointe retournée fixe sera installée comme l'indique la fig. 1.
- La protection contre les insectes et les grenouilles sera assurée par des grillages comme l'indique la fig. 1.

Bac flottant :

Bac du même type, amarré à un radeau support et immergé de 75 cm. Le bac sera enserré à cette cote dans un cadre plat en bois de 50 cm. de largeur. Eventuellement, des caillebotis ou des rondins seront installés autour du cadre si la protection contre les vagues, assurée par celui-ci, s'avère insuffisante.

2°) Mesures :

Au moment de la mise en place, la cuve est remplie jusqu'à ce que le niveau de l'eau affleure l'extrémité de la pointe retournée.

Lorsqu'une certaine quantité d'eau s'est évaporée, le niveau a baissé d'une hauteur égale à la quantité E que l'on veut mesurer. Pour faire la mesure, on rétablit le niveau initial dans le bac en le ramenant à affleurer la pointe : ce résultat est obtenu en ajoutant de l'eau à l'aide d'une éprouvette de 1 litre graduée en décilitres. On note dans la colonne correspondante du tableau d'observations le volume qu'il a fallu rajouter, en litres et décilitres.

Ces mesures seront faites chaque jour, à 7 h. et à 19 h. (heure locale).

3°) Cas particuliers :

Au moment de la mesure, le niveau a monté par rapport au niveau rétabli lors de la mesure précédente : la pointe se trouve noyée. Cela peut être dû aux circonstances suivantes :

- a) Il a plu et la hauteur de pluie tombée est supérieure à l'évaporation :

Un pluviomètre mesurant la pluie au sol, et installé comme on le verra plus loin, donne la quantité de pluie tombée. Une colonne est prévue à cet effet dans le tableau d'observations.

- b) Il y a eu une condensation nocturne intense plus forte que l'évaporation :

On considérera l'évaporation et la condensation comme des phénomènes inverses de même nature, ce qui revient à dire que l'évaporation sera considérée comme négative.

Pour faire la mesure dans ces deux cas, on enlèvera du bac une quantité d'eau suffisante pour que la pointe apparaisse à nouveau et cette eau sera recueillie dans un ou deux récipients de grande capacité (seaux ou jerricans). Puis, on fera affleurer la pointe en rajoutant une partie de l'eau prélevée, après arrêt des oscillations de la surface de l'eau du bac. On mesurera alors le volume de ce qui reste de l'eau prélevée au moyen de l'éprouvette de 1 litre et le chiffre trouvé sera porté dans la colonne correspondante du tableau d'observations, on le faisant précéder du signe - .

Enfin, si la pluie a été supérieure à 20 mm. et, a fortiori, si le bac a débordé, on ne fera pas de mesure, mais, néanmoins, le niveau de la cuve sera rétabli à sa valeur normale.

NOTE IMPORTANTE SUR LA PRATIQUE DE CES MESURES

---

1°) A cause des effets de la tension superficielle, l'eau, au contact de la pointe, présente une surface de révolution non plane que l'on appelle ménisque. Cette circonstance constitue une difficulté pour évaluer avec précision le moment où la pointe affleure.

Suivant que la pointe est "mouillante" ou non, le ménisque présente une des deux formes indiquées sur la fig. 2. Pour la précision des mesures, il convient que la pointe soit "mouillante". On obtiendra une pointe "mouillante" en passant sur son extrémité le bout du doigt frotté au préalable sur un savon légèrement humide.

2°) En versant directement dans le bac l'eau contenue dans l'éprouvette, on crée à la surface du bac des ondes préjudiciables à la bonne qualité des mesures. Pour éviter ce phénomène, on adoptera le système de remplissage préconisé sur la fig. 3. L'eau sera versée assez lentement dans l'entonnoir. Le dispositif ne sera mis en place que pour effectuer l'opération de remplissage. Dans le même ordre d'idée, en cas de vent créant des rides à la surface de l'eau, on s'efforcera de protéger le bac avec une bâche pendant la mesure.

B) MESURE DE LA PLUIE AU SOL -

En plus du pluviomètre, enregistreur ou association, installé dans les conditions normales préconisées par la météorologie, on installera un dispositif capable de mesurer la pluie au sol dans les conditions mêmes où la reçoit le bac à évaporation.

Deux systèmes :

1°) Le bac à huile :

C'est un bac ayant les mêmes caractéristiques que le bac évaporatoire, installé et exploité de la même façon, mais dans lequel l'eau est recouverte d'une couche d'huile de 3 à 4 mm. empêchant l'évaporation (\*).

Les hauteurs de pluie recueillies sont mesurées suivant la technique utilisée pour les mesures sur bac évaporatoire dans le cas où la pointe est noyée (voir plus haut).

Il faudra veiller à ce que la quantité d'huile, inévitablement prélevée à chaque mesure, soit la plus faible possible.

2°) Le "pluviomètre au sol" :

C'est un pluviomètre association ordinaire installé suivant le schéma de la fig. 4. Si l'infiltration dans la

---

(\*) Néanmoins, pour des raisons d'économie et pour faciliter la mise en place, la profondeur de ces bacs pourra être ramenée à 30 cm.

fosse n'est pas suffisante, on aura soin de la vider après chaque tornade.

Dans les deux cas, le dispositif doit être situé à proximité du bac évaporatoire (1 m. environ). Si l'on utilise le bac à huile, il peut être installé dans la même enceinte que le bac évaporatoire. Le "pluviomètre au sol" peut se dispenser de protection.

C) MESURE DES TEMPERATURES -

1°) Température de l'air :

Chaque station est dotée de deux thermomètres à mercure au 1/10° de degré gradués, l'un de 0 à 30° C et l'autre de 30 à 60° C. Ce dispositif a été adopté pour diminuer les risques de détérioration des thermomètres au cours des transports en réduisant la longueur du tube thermométrique.

Ces deux thermomètres seront pendus dans l'abri météo standard et lus chaque jour aux heures suivantes :

7 h., 11 h., 15 h., 19 h., 22 h.

Les résultats, au 1/10° de degré, seront inscrits dans les colonnes correspondantes du tableau d'observations.

- Températures maxima

Chaque station disposera d'un thermomètre à maxima standard, type O.N.M. Ces thermomètres sont à mercure et comportent au sommet du réservoir un étranglement destiné à empêcher le mercure de redescendre sous l'effet d'un abaissement de température. Après la lecture, le thermomètre doit être secoué vigoureusement, réservoir vers le bas, comme un thermomètre médical, jusqu'à ce que la colonne de mercure

ait repris la position correspondant à la température ambiante.

Le thermomètre à maxima sera lu chaque jour à 19 h.

- Températures minima

Chaque station sera pourvue d'un thermomètre à minima standard, type O.N.M. C'est un thermomètre à alcool qui doit être fixé sur une planchette, incliné de 20° environ sur l'horizontale. Un index se déplace dans le tube capillaire lorsque la colonne liquide descend et se bloque lorsque la colonne remonte. La lecture doit se faire à l'extrémité de l'index la plus éloignée du réservoir. Après chaque lecture, l'index doit être replacé en haut de la colonne, en inclinant l'appareil dans le sens inverse de sa position normale, le réservoir vers le haut.

Le thermomètre à minima est très fragile, il doit être manipulé avec beaucoup de délicatesse. Il faut éviter, en particulier, de renverser complètement l'appareil pour remettre l'index en place.

Le thermomètre à minima sera lu chaque jour à 7 h.

Les thermomètres à maxima et à minima pourront être installés sur la même planchette suspendue au toit de l'abri météo. Il faudra que le système de fixation du maxima sur la planchette permette de l'en détacher facilement (fig. 5).

2°) Température de l'eau :

Elle doit être prise en surface avec des thermomètres analogues à ceux qui sont utilisés pour la température

de l'air. L'observateur dispose donc de deux thermomètres au  $1/10^{\circ}$ , gradués respectivement de 0 à  $30^{\circ}$  et de  $30^{\circ}$  à  $60^{\circ}$  C.

Ces thermomètres seront maintenus horizontaux à 2 ou 3 mm. sous la surface, la graduation étant visible de l'extérieur. La meilleure solution consiste à enfiler un bouchon de liège à chacune de leurs extrémités. Un lestage, obtenu par de petites pointes enfoncées sous les bouchons, permettra de régler l'immersion des thermomètres et d'éviter leur retournement (fig. 6).

D) MESURE DE L'HUMIDITE RELATIVE DE L'AIR -

Cette mesure se fait au moyen d'un psychromètre, appareil composé d'un thermomètre à réservoir sec (la température lue à ce thermomètre est dite "température sèche"), et d'un thermomètre dont le réservoir est entouré d'une gaze humide (la température lue à ce thermomètre est dite "température humide").

Les psychromètres utilisés sont de trois types :

1°) Psychromètre fixe, type O.N.M. :

Il est composé de deux thermomètres abrités par une petite guérite en tôle. Le bulbe de l'un d'eux est enveloppé d'une mèche qui se prolonge dans un petit réservoir d'eau. L'appareil est installé à poste fixe dans l'abri météo et on ne doit pas le déplacer pour effectuer les mesures.

TRES IMPORTANT : VEILLER A CE QUE LE RESERVOIR D'EAU SOIT TOUJOURS PLEIN. SI LA MECHE N'ETAIT PAS SUFFISAMMENT IMBIBEE, LA MESURE N'AURAIT AUCUNE VAIEUR.

2°) Psychromètre à aspiration :

Les deux thermomètres sont enfermés dans un étui; la ventilation du thermomètre humide est assurée par une petite roue à ailettes mue mécaniquement.

Pour effectuer une mesure :

- s'assurer que le réservoir d'eau est plein et la mèche suffisamment imbibée;
- prendre la température  $T_s$  au thermomètre sec;
- remonter le moteur du ventilateur à fond et le mettre en route;
- observer la descente de la colonne de mercure dans le thermomètre humide;
- lorsque la température humide est restée constante pendant au moins 15", faire la lecture de température humide  $T_h$ .

Les observations doivent être faites à proximité du bac et à l'ombre (par exemple de l'abri météo).

3°) Psychromètre fronde :

L'appareil du commerce est constitué par deux thermomètres montés sur un châssis léger et allongé, prolongé par une chaînette. On le fait tourner à une vitesse régulière et on lit la température humide de 30 secondes en 30 secondes jusqu'à ce que deux lectures consécutives donnent le même résultat.

On réalise facilement ce genre de psychromètre en utilisant un thermomètre ordinaire au 1/10 °C. Une ficelle fine et solide est passée dans l'oeillet ménagé à l'extrémité supérieure du thermomètre et attachée de telle façon que la

distance de la main au bulbe à mercure soit d'environ 60 cm. pendant l'opération. Le bulbe sera entouré d'une gaze solidement fixée à l'aide d'un fil. Pour faire la mesure, on trempera le bulbe dans un récipient d'eau jusqu'à ce que la gaze soit saturée sur toute son épaisseur, puis on procédera comme il est dit plus haut. Après l'opération, on s'assurera que la gaze est toujours humide. Les lectures doivent être faites le plus rapidement possible après l'arrêt de la fronde. La température sèche sera prise au thermomètre de l'abri.

Il existe une variante du psychromètre fronde : le psychromètre "crécelle", non utilisé dans nos services.

Les mesures psychrométriques seront effectuées à :

7 h., 11 h., 15 h., 19 h., 22 h.

#### E) MESURE DU VENT -

On mesure la vitesse moyenne du vent pendant une période déterminée.

L'appareil destiné à cette mesure, appelé "anémomètre totalisateur" est fort simple : il se compose de trois ou quatre coupelles fixées sur un croisillon comme l'indique la fig. 7. Sous l'action du vent, les coupelles font tourner un axe vertical qui entraîne un compteur par l'intermédiaire d'un train d'engrenage.

Cet appareil sera installé tout près de la cuve suivant les cotes portées sur le schéma.

Les observations seront faites à 7 h. et à 19 h. : on portera sur le tableau d'observations les chiffres lus au compteur.

F) EVAPORATION PICHE -

Les mesures se font à l'évaporomètre Piche bien connu de tous les agents hydrologues.

La pastille évaporante doit être changée au moins tous les deux jours. Ne mettre dans l'appareil que de l'eau propre, exempte de matériaux en suspension.

Faire le plein du réservoir de façon à ramener le niveau au zéro après chaque mesure.

Mesures à 7 h. et à 19 h.

G) MESURES COMPLEMENTAIRES EVENTUELLES -

Il est bon de mesurer, quand on le peut, la pression atmosphérique, surtout si la station est située en altitude. On utilisera des baromètres gradués en millibars. Etant donné la faible amplitude de la marée barométrique en A.O.F. (maximum 4 millibars), on peut se contenter d'une lecture par jour. Le résultat sera porté dans la colonne "observations".

Si l'on ne dispose pas d'un baromètre en permanence, on se contentera de mesurer une ou plusieurs fois dans l'année la pression atmosphérique à la station étudiée. L'amplitude de la variation annuelle dépasse rarement, en A.O.F., 12 mb.

H) PROGRAMME D'OBSERVATIONS ET TENUE DU TABLEAU -

NOTA : Les différentes observations doivent être effectuées dans l'ordre indiqué :

- 7 h. : Température superficielle de l'eau  
Mesure de l'évaporation dans la cuve (ou les cuves)  
Température de l'air  
Psychrométrie  
Vent  
Piche  
Pluie au sol  
Thermomètre à minima
- 11 h. : Température superficielle de l'eau  
Température de l'air  
Psychrométrie  
Pression atmosphérique (éventuellement)
- 15 h. : Température superficielle de l'eau  
Température de l'air  
Psychrométrie
- 19 h. : Température superficielle de l'eau  
Mesure de l'évaporation dans la cuve (ou les cuves)  
Température de l'air  
Psychrométrie  
Vent  
Piche  
Pluie au sol  
Thermomètre à maxima
- 22 h. : Température de l'eau  
Température de l'air  
Psychrométrie

Des tableaux d'observations sont mis à la disposition des opérateurs. Ils doivent être remplis en double exemplaire, au jour le jour.

Les températures doivent être indiquées en °C. Les dixièmes ou les demi-degrés seront notés après la virgule. Dans le cas d'observations au dixième de degré ou en demi-degré, si la température tombe sur un nombre entier de degrés, on fera suivre la lecture du chiffre zéro :

Exemples : au dixième ..... 36,7 - 36,0  
          au  $\frac{1}{2}$  degré ..... 36,5 - 36,0

Les volumes évaporés dans les cuves seront donnés en litres, les décilitres étant indiqués après la virgule:

Exemples : 9,6 - 7,0

Les hauteurs de pluie et d'évaporation seront indiquées en mm., les 1/10 de mm. étant notés après la virgule :

Exemples : 13,8 - 8,0

C H A P I T R E    I I

DEPOUILLEMENT DES OBSERVATIONS  
=====

Des tableaux sont mis à la disposition des observateurs pour faciliter le travail de dépouillement. Dans ce chapitre, nous suivrons le tableau colonne par colonne, indiquant pour chacune les calculs à effectuer.

A) TEMPERATURE MOYENNE DE L'EAU -

Ex. : supposons que l'on ait à calculer la température moyenne de l'eau relative au 15 Avril.

Le 14 Avril, les mesures ont donné :

- à 19 h. .... 28,1 °C
- à 22 h. .... 27,2 °C

Le 15 Avril, on a obtenu :

- à 7 h. .... 26,2 °C
- à 11 h. .... 27,9 °C
- à 15 h. .... 30,2 °C
- à 19 h. .... 28,3 °C

Les points représentatifs de ces mesures sont portés sur un graphique (voir fig. 8) à une échelle déterminée. Nous conseillons d'utiliser l'échelle que nous avons adoptée. Les points sont reliés par une courbe en tenant compte du fait que le minimum de température se produit

généralement un peu avant 7 h. Cette courbe détermine avec l'axe des temps deux surfaces, A et B, hachurées de façon différente sur la fig. 8. La surface A correspond à la période dite "de nuit" (19h\* à 7h, sur le tableau de dépouillement). La surface B correspond à la période dite "de jour" (7h à 19h sur le tableau).

- Planimétrage de la surface A ..... 80,6 cm<sup>2</sup>
- Nombre de cm. représentant sur l'échelle des températures la période de nuit (19h\* à 7h) .... 12 cm
- Nombre de cm. représentant sur l'échelle des températures la température moyenne de nuit (en plus de l'origine qui est ici de 20 °C)  $y = \frac{80,6}{12} = 6,7$  cm

On porte sur l'échelle des températures à partir de l'origine (ici 20°) la longueur  $y = 6,7$  cm et on lit directement sur l'échelle des températures la température moyenne de nuit. On trouve ici : 26,7 °C (1).

On procède de même pour la température de jour.

- Planimétrage de la surface B ..... 103,5 cm<sup>2</sup>
- Nombre de cm. représentant sur l'échelle des températures la période de jour (7h à 19h) ..... 12 cm
- Nombre de cm. représentant sur l'échelle des températures la température moyenne de jour (en plus de l'origine : 20 °C) .....  $y' = \frac{103,5}{12} = 8,6$  cm

On porte  $y'$  sur l'échelle des températures et on lit la température moyenne de jour : 28,6 °C (2).

Le chiffre (1) est porté dans la case correspondant à la ligne du jour 15 et à la colonne "Température

moyenne de l'eau, 19h\* à 7h (nuit)".

Le chiffre (2) est porté dans la case correspondant à la ligne du jour 15 et à la colonne "Température moyenne de l'eau, 7h à 19h (jour)".

B) TEMPERATURE MOYENNE DE L'AIR -

Le processus est analogue, mais on dispose en plus, pour préciser la courbe, des indications des thermomètres à maxima et à minima.

Ex. : on a observé :

Le 14 Avril :

- à 19 h. .... 28,9 °C
- à 22 h. .... 25,5 °C

Le 15 Avril :

- à 7 h. .... 21,8 °C température minimum : 20,5°C
- à 11 h. .... 32,9 °C
- à 15 h. .... 39,8 °C
- à 19 h. .... 29,0 °C température maximum : 40,0°C

On porte les résultats sur un graphique, comme précédemment (fig. 9). Les températures minima et maxima sont représentées par des traits horizontaux couvrant la période pendant laquelle on peut raisonnablement penser que ces températures se sont produites. Le minimum a lieu avant la lecture de 7h. Le maximum est généralement peu éloigné de la lecture de 15h. Nous avons supposé ici, comme le laisse penser l'allure générale de la courbe, qu'il s'est produit un peu avant 15h. La courbe doit donc passer par les

points observés et être tangente aux traits représentatifs du minimum et du maximum.

Les zones A (nuit) et B (jour) ont été hachurées comme dans le cas de la température de l'eau. Le procédé de calcul des températures moyennes est le même. On a ici :

- Surface A .....	41 cm <sup>2</sup>
$y = \frac{41}{12} =$ .....	3,4 cm
Température moyenne de nuit ....	23,4 °C
- Surface B .....	157 cm <sup>2</sup>
$y' = \frac{157}{12}$ .....	13,1 cm
Température moyenne de jour ....	33,1 °C

C) HUMIDITE - SYMBOLE U (en %) -

- Rappel de quelques notions :

1°) Considérons deux vases clos (1) et (2) dans lesquels on a fait le vide et introduit des quantités d'eau inégales ( $V_1 > V_2$ ). Abandonnons les deux vases dans le même milieu soumis à une température uniforme T. L'eau va commencer à s'évaporer.

Dans le réservoir (1), nous voyons le niveau de l'eau s'abaisser de plus en plus lentement et finalement se stabiliser : une partie de l'eau s'est évaporée, mais non toute la quantité introduite dans le vase. On dit que l'espace apparemment vide laissé au-dessus du plan d'eau est SATURÉ de vapeur d'eau. Si un manomètre est branché sur le réservoir, on peut alors mesurer la pression qui règne dans l'espace clos : on l'appelle TENSION de VAPEUR SATURANTE de l'eau et on la désigne par le symbole  $e_w$ .

Dans le réservoir (2), où il y a peu d'eau, celle-ci s'est toute évaporée. Mais l'espace clos n'est pas saturé : si l'on ajoutait de l'eau, elle aurait encore la possibilité de s'évaporer. La pression mesurée au manomètre s'appelle TENSION de VAPEUR de l'eau dans l'espace (2) et on la désigne par le symbole  $e$ .

2°) Supposons que l'on élève la température à une valeur  $T_1 > T$ . Une partie de l'eau restée dans le vase (1) va s'évaporer et, une fois l'équilibre rétabli, on s'aperçoit que le manomètre indique une pression  $e_{w1}$  plus grande que  $e_w$ .

Si, au lieu d'augmenter  $T$ , on l'avait diminuée à la température  $T_2 < T$ , une partie de la vapeur contenue dans le récipient (1) se serait condensée et, une fois l'équilibre établi, on aurait mesuré au manomètre une pression  $e_{w2}$  plus petite que  $e_w$ .

En répétant plusieurs fois l'expérience, on remarque qu'à une température donnée correspond toujours la même valeur de la tension de vapeur saturante et que celle-ci augmente toujours quand on augmente la température. On exprime cette propriété en disant que :

La tension saturante de la vapeur d'eau est une fonction continue et croissante de la température.

3°) Dans l'expérience précédente, on a supposé que le vase était vide de tout gaz avant l'introduction de l'eau. La tension de vapeur saturante correspondante est dite "en phase pure".

Si, au contraire, le vase contient de l'air à l'origine, la pression propre de l'air va s'ajouter à la tension de vapeur saturante qui deviendra une "pression

partielle" et sera dite "tension de vapeur saturante de l'eau dans l'air" et on la désignera par le symbole  $e'_w$ . Sans entrer dans le détail des phénomènes physiques, sachons seulement que, dans les conditions atmosphériques que nous pouvons rencontrer,  $e_w = e'_w$  à moins de 0,5 % près.

Pour simplifier, nous gardons le symbole  $e_w$ . Une table de  $e_w$  en fonction de  $T$  est donnée en annexe.

- Définition de l'humidité relative :

Considérons un volume d'air homogène dont la température est  $T$  et supposons que nous ayons pu déterminer la tension de vapeur réelle de l'eau contenue dans l'air, soit  $e_T$ .

A la température  $T$  correspond une tension saturante de vapeur d'eau fournie par la table :  $(e_w)_T$ .

Par définition, on appelle humidité relative de la masse d'air considérée le rapport :

$$\frac{e_T}{(e_w)_T}$$

Ou si, ce qui est plus commode, on la désigne en %:

$$U \% = 100 \frac{e_T}{(e_w)_T}$$

- Formule psychrométrique :

Nous avons défini, dans le chapitre des mesures, la température sèche  $T_s$  et la température humide  $T_h$  déterminées au moyen du "psychromètre".

Des séries d'expériences et des considérations

théoriques, dûes au physicien REGNAULT, ont permis de montrer que l'on a :

$$U \% = 100 \frac{(e_w)_{T_h} - A \frac{P}{1.000} (T_s - T_h)}{(e_w)_{T_s}}$$

avec :

$(e_w)_{T_h}$  : tension de vapeur saturante à la température humide

$(e_w)_{T_s}$  : tension de vapeur saturante à la température sèche

P : pression atmosphérique

(Il est entendu, une fois pour toutes, que nous exprimons les pressions et les tensions de vapeur en millibars).

A : coefficient dépendant du type de psychromètre utilisé.

Pour le psychromètre fixe, à ventilation naturelle installé dans l'abri météo, on admet que  $A = 0,79$ .

Pour les psychromètres à ventilation artificielle (fronde, crécelle, aspiration), des expériences récentes ont conduit à adopter pour A une valeur voisine de 0,66.

- Tables psychrométriques :

Ces tables, calculées par nos soins, sont données en annexes. Elles ont été établies pour les psychromètres à ventilation artificielle et une pression atmosphérique de 1.000 mb. La formule utilisée est donc :

$$U \% = 100 \frac{(e_w)_{T_h} - 0,66 (T_s - T_h)}{(e_w)_{T_s}}$$

Elles donnent les valeurs de  $U$  pour toutes les valeurs de  $T_h$  comprises entre  $5^\circ$  et  $45^\circ$  et toutes les valeurs de  $T_s - T_h$  comprises entre  $0^\circ$  et  $25^\circ$ .

Ex. : on a trouvé au psychromètre :

$$\begin{aligned} T_s &= 29,6 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_h &= 19,2 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{d'où } T_s - T_h &= 10,4 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{pour } T_s - T_h &= 10,4 \text{ }^\circ\text{C} \text{ et } T_h = 19,2 \text{ }^\circ\text{C} \text{ la table} \\ \text{donne } U &= 37,1 \text{ } \%. \end{aligned}$$

NOTA : Si on utilise un psychromètre fixe, on multipliera  $T_s - T_h$  par 1,2 avant de l'introduire dans la table. Ainsi l'exemple précédent aurait donné :

$$\begin{aligned} T_h &= 19,2 \\ T_s - T_h &= 10,4 \times 1,2 = 12,5 \\ \text{d'où } U &= 30,0 \text{ } \%. \end{aligned}$$

Cet exemple montre l'importance de l'utilisation d'une table correcte.

- Corrections de pression atmosphérique :

Les tables sont établies pour une pression atmosphérique de 1.000 mb.

Si la pression atmosphérique est différente de 1.000 mb, il peut y avoir lieu d'effectuer des corrections. Nous donnons en annexe un abaque permettant de les évaluer rapidement. Cet abaque est calculé pour une différence de pression de - 10 mb. Si la différence de pression est de -  $\Delta P$  mb, on multipliera le  $\Delta U$  obtenu par  $\frac{\Delta P}{10}$ . Si la différence de pression est positive  $\Delta U$  prendra le signe moins.

Reprenons l'exemple précédent :

$$T_h = 19,2 \text{ }^\circ\text{C} \text{ et } T_s - T_h = 10,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Nous avons vu que, d'après les tables :

$$U = 37,1 \%$$

1°) Supposons que  $P = 875 \text{ mb}$

$$\Delta P = 875 - 1.000 = - 125 \text{ mb}$$

Portons sur l'abaque  $T_h = 19,2$  et  $T_s - T_h = 10,4$ . La courbe  $\Delta U$  la plus proche du point figuratif A correspondant est cotée 0,17 %. La correction à apporter pour - 10 mb serait donc de + 0,17. Pour - 125 mb, elle sera de :

$$0,17 \times \frac{125}{10} = 2,1 \%$$

et  $U \text{ réel} \hat{=} U + \Delta U_{-125} = 37,1 + 2,1 = 39,2 \%$

2°) Supposons que  $P = 1.125 \text{ mb}$

$$\Delta P = 1.125 - 1.000 = + 125 \text{ mb}$$

La correction pour + 10 mb serait de - 0,17 et pour 125 mb de - 2,1.

$$U \text{ réel} = 37,1 - 2,1 = 35,0 \%$$

A retenir en pratique :

$P > 1.000 \text{ mb} \dots\dots\dots \Delta U \text{ négatif}$

$P < 1.000 \text{ mb} \dots\dots\dots \Delta U \text{ positif}$

D) CALCUL DE L'HUMIDITE MOYENNE -

A partir des valeurs de  $U$  observées aux différentes heures de la journée, on calculera graphiquement l'humidité moyenne de jour et de nuit exactement comme pour les températures (voir paragraphes A et B).

E) TENSION DE VAPEUR SATURANTE MOYENNE -

On admettra qu'elle est égale à la tension de vapeur saturante correspondant à la température moyenne de l'air définie au paragraphe B.

Reprenons l'exemple proposé dans ce paragraphe.  
On a trouvé pour le 15 Avril :

- température moyenne de nuit ..... 23,4 °C  
d'où, d'après le tableau en annexe  
 $e_w$  moyenne de nuit ..... 28,8 mb
- température moyenne de jour ..... 33,1 °C  
d'où  $e_w$  moyenne de jour ..... 50,6 mb

NOTA : La relation entre  $e_w$  et la température de l'air n'étant pas linéaire, ce calcul de la moyenne n'est qu'approché.

F) TENSION DE VAPEUR MOYENNE -

On la calcule à partir de  $U$  moyenne et  $e_w$  moyenne.

Ex. : on a trouvé de jour :

$$e_w = 42,4 \text{ mb}$$

$$U \text{ moyenne} = 57,2 \%$$

On aura pour  $e$  moyenne de jour :

$$\frac{57,2}{100} \times 42,4 = 24,2 \text{ mb}$$

G) DEFICIT MOYEN DE SATURATION -

C'est la différence entre  $e_w$  moyenne et  $e$  moyenne. En reprenant l'exemple du §F, on trouve :

$$42,4 - 24,2 = 18,2 \text{ mb}$$

NOTA : La notion de déficit de saturation est essentielle dans les problèmes d'évaporation.

H) EVAPORATION DES BACS (chiffres bruts) -

On indiquera dans la colonne "19h\* à 7h" le résultat en mm. correspondant au volume d'eau rajouté lors de l'observation de 7h; dans la colonne "7h à 19h" le résultat en mm. correspondant au volume d'eau rajouté lors de l'observation de 19h.

Nous rappelons que :

- dans le cas d'un bac présentant une surface d'évaporation de  $1 \text{ m}^2$  (bac standard du Service Hydrologique) 1 litre d'eau correspond à 1 mm. d'évaporation. Il suffira donc de recopier le chiffre noté sur le tableau d'observations.
- dans le cas d'un bac de  $S \text{ m}^2$ , le résultat en litres devra être multiplié par le coefficient  $\frac{1}{S}$  pour obtenir la valeur en mm. de l'évaporation. En particulier, s'il s'agit d'un bac Colorado dont la surface est de  $0,83 \text{ m}^2$  environ, le coefficient  $\frac{1}{S}$  sera égal à 1,2.

Si l'on a dû enlever de l'eau au lieu d'en rajouter, la hauteur en mm. correspondant au volume enlevé sera précédée du signe moins (-).

I) PLUIE AU SOL -

Recopier dans la colonne "19h\* à 7h" le chiffre porté dans la colonne 7h du tableau d'observations.

Recopier dans la colonne "7h à 19h" le chiffre porté dans la colonne 19h du tableau d'observations.

J) EVAPORATION DES BACS (après correction de pluie) -

Elle est égale à la hauteur brute relevée au bac + la hauteur de pluie.

Ex. 1 :

A la mesure de 19h on a dû rajouter 4,3 litres d'eau pour ramener le niveau à la pointe et on a relevé 1,7 mm. dans le pluviomètre au sol. Le tableau d'observation se présente sous la forme :

Cuve A		Pluie au sol	
(litres)		(mm.)	
7h.	19h	7h.	19h
...	...	...	...
...	...	...	...
...	4,3	...	1,7
...	...	...	...

L'évaporation réelle aura été de (bac standard S.H.)

$$- 2,2 + 5,3 = 3,1 \text{ mm.}$$

Le tableau de dépouillement se présentera sous la forme :

Evap. des bacs (chiffres bruts) mm.		Pluie au sol (mm.)	Evap. des bacs (après correction de pluie - mm.)	
Cuve A	Cuve B		Cuve A	Cuve B
19h* à 7h (nuit)	7h à 19h (jour)	19h* à 7h (nuit)	7h à 19h (jour)	19h* à 7h (nuit)
...	...	...	...	...
...	...	...	...	...
...	-2,2	...	...	...
...	...	...	5,3	...
...	...	...	...	3,1
...	...	...	...	...

K) EVAPORATION PICHE -

On recopiera dans la colonne "19h\* à 7h" (nuit) du tableau de dépouillement le chiffre noté dans la colonne 7h du tableau d'observations.

On recopiera dans la colonne "7h à 19h" (jour) du tableau de dépouillement le chiffre noté dans la colonne 19h du tableau d'observations.

L) VITESSE DU VENT -

1er cas :

Le compteur est gradué directement en Km.  
Supposons qu'on ait relevé :

- le 14 Avril à 19h ..... 13.820
- le 15 Avril à 7h ..... 13.948
- le 15 Avril à 19h ..... 14.324

Pour la période de nuit (19h\* à 7h) du 15 Avril, la distance totale parcourue par le vent en 12 h., soit 43.200 secondes, a été de :

$$13.948 - 13.820 = 128 \text{ km.} = 128.000 \text{ m.}$$

D'où la vitesse moyenne du vent :

$$\frac{128.000}{43.200} = 2,97 \text{ m/sec.}$$

Pour la période de jour (7h à 19h) du 15 Avril, la distance totale parcourue par le vent en 12 h. a été de :

$$14.324 - 13.948 = 376 \text{ km.}, = 376.000 \text{ m.}$$

D'où la vitesse moyenne du vent :

$$\frac{376.000}{43.200} = 8,70 \text{ m/sec.}$$

2ème cas :

L'unité du compteur, donnée par le constructeur, est différente du km. On sait, par exemple, que 1 unité-compteur vaut 0,89 km. On fait alors le même calcul que précédemment et on multiplie les vitesses obtenues par la valeur de l'unité-compteur.

En reprenant les chiffres adoptés dans l'exemple ci-dessus, on aurait eu, avec une unité-compteur de 0,89 km. :

- Vitesse moyenne du vent le 15 Avril de 19h\* à 7h (nuit) :

$$2,97 \times 0,89 = 2,54 \text{ m/sec.}$$

- Vitesse moyenne du vent le 15 Avril de 7h à 19h (jour) :

$$8,70 \times 0,89 = 7,74 \text{ m/sec.}$$

RECOMMANDATIONS GENERALES

-----

- DEPOUILLEZ VOS RESULTATS AU JOUR LE JOUR DANS TOUTE LA MESURE DU POSSIBLE.
  
- LES MESURES CLIMATOLOGIQUES NE DOIVENT EN AUCUN CAS GENERER LES ETUDES HYDROLOGIQUES.  
NE PAS LES FAIRE LORS DES CRUES IMPORTANTES REQUIERANT TOUTE L'ACTIVITE DE L'AGENT.

-:-:-:-:-