

La mesure au sol de la température et des précipitations

Michel Leroy

Météo-France - Direction des systèmes d'observation
7, rue Teisserenc-de-Bort - BP 202 - 78195 Trappes
michel.leroy@meteo.fr

Résumé

La température de l'air et les précipitations sont les deux paramètres atmosphériques le plus fréquemment mesurés dans les réseaux de mesure météorologique au sol. Malgré la simplicité des principes physiques mis en œuvre, des erreurs de mesure importantes peuvent exister. Les difficultés de la mesure sont présentées.

Abstract

The ground-based measurements of temperature and precipitation

Air temperature and precipitation are the two parameters most frequently measured by the ground-based meteorological networks. Despite using basic physical principles, significant instrumental errors may occur; the measurement difficulties are presented.

Une technologie simple mais une mesure délicate

Le réseau de mesure de Météo-France fait appel à des capteurs et des technologies variés qui peuvent être simples, par exemple pour la température et les quantités de précipitations, ou complexes, par exemple pour l'observation du temps qu'il fait (le temps présent). Mais, même quand elle s'appuie sur un principe physique simple, une mesure est souvent délicate. C'est le cas des mesures atmosphériques pour lesquelles le paramètre étudié est influencé par de nombreux facteurs.

En raison de leur très grande importance pour les activités humaines, la température et la pluviométrie sont les deux paramètres les plus mesurés dans les réseaux météorologiques. Nous allons nous y intéresser particulièrement ici.

La température de l'air

Il est important de préciser que la température mesurée en météorologie est la température de l'air sous abri, à une hauteur voisine de 1,5 mètre. Il ne s'agit donc pas de la température physiologique ressentie qui dépend aussi du vent, du rayonnement solaire et de l'humidité. Il existe d'ailleurs des formules de calcul d'une température physiologique, appelée *Wind chill* en anglais.

La nécessité d'un abri

En météorologie, pour que la température mesurée représente bien la température de l'air, la mesure s'effectue sous abri. En effet, il n'existe pas encore de méthode de télédétection présentant une exactitude de mesure acceptable. Un abri est le seul moyen économique de protéger le capteur de température du rayonnement, principalement solaire, et des précipitations (Perrin de Brichambaut et Leroy, 1995). Si le capteur était mouillé, il se refroidirait sous l'effet de l'évaporation de l'eau, selon le principe du psychromètre. Il pourrait aussi indiquer la température d'une éventuelle précipitation, souvent plus basse que la température de l'air puisque les précipitations proviennent d'une zone située en altitude et donc généralement plus froide. Mais l'effet le plus spectaculaire est lié au rayonnement solaire qui peut induire un réchauffement du thermomètre dépassant 10 °C.

Un abri est donc nécessaire. Mais, malheureusement, aucun abri n'est neutre. Certes, il protège le ou les capteurs, mais sa présence même influence la température de l'air qui se trouve à l'intérieur de l'enceinte qu'il constitue.

Des exigences contradictoires

Un abri doit laisser passer l'air extérieur et ne pas trop réduire la ventilation du capteur pour assurer la mise en équilibre thermique de celui-ci avec l'air dont on veut précisément mesurer la température.



Photo 1 - Abri météorologique grand modèle de type Stevenson. (Photo Météo-France)

L'abri doit aussi arrêter au maximum le rayonnement solaire et le rayonnement terrestre. Le plus important est le rayonnement solaire qui peut atteindre une puissance de $1\,000\text{ W.m}^{-2}$. Un simple parapluie (ou parasol) serait déjà assez efficace pour protéger le capteur du rayonnement solaire direct. Mais le rayonnement solaire est aussi réfléchi par le sol et les objets environnants. Placé à l'ombre, un capteur du type utilisé par Météo-France s'échauffe encore d'environ 1 à 2 °C par rapport à la température sous abri, lors d'une belle journée de printemps. Tous les corps émettent aussi un rayon-

Photo 2 - Abri miniature à coupelles. (Photo Météo-France, P. Taburet)



nement infrarouge, d'autant plus faible que le corps est plus froid. Ce mécanisme explique le refroidissement nocturne important du sol et des objets lorsque le ciel est clair pendant la nuit : l'atmosphère exempte de nuages émet peu de rayonnement infrarouge (typiquement 150 W.m^{-2}), alors que le sol, plus chaud, en émet davantage (typiquement 400 W.m^{-2}). Ce déséquilibre entraîne un refroidissement du sol et des objets, particulièrement visible en hiver sur les voitures. L'abri doit aussi protéger le capteur de tels déséquilibres. La protection contre le rayonnement doit donc être effective dans toutes les directions. Cela explique les formes de doubles persiennes adoptées pour les abris parallélépipédiques (photo 1) de type Stevenson, nom de leur inventeur anglais au siècle dernier. L'abri miniature à coupelles (photo 2), conçu et utilisé par Météo-France pour les stations automatiques, possède aussi un système de doubles parois qui empêche que le capteur soit atteint par un rayonnement direct.

Mais ces doubles persiennes ou doubles parois diminuent la ventilation du capteur. Ainsi, des mesures ont montré une réduction de 90 % de la ventilation à l'intérieur des abris utilisés par Météo-France.

D'autre part, bien que de couleur blanche, l'abri lui-même absorbe une partie du rayonnement solaire : il s'échauffe et se retrouve à une température différente de celle de l'air environnant. Par ailleurs, il possède une inertie thermique qui peut créer un déséquilibre thermique avec l'air, lors de variations rapides de température. L'abri influence donc la température de l'air à l'intérieur de l'enceinte qu'il constitue. Quand l'air extérieur passe à travers les parois de l'abri, sa température tend à s'équilibrer avec celle de ces parois. Si la ventilation est suffisante, cette influence reste faible. Avec la plupart des abris, elle devient négligeable lorsque la vitesse du vent au niveau de l'abri dépasse 3 m/s (environ 10 km/h).

Compte tenu de tous ces effets, les bons abris à ventilation naturelle permettent de mesurer la température de l'air avec une erreur inférieure à 1 °C . Une telle erreur, qui peut paraître importante, se produit dans des circonstances particulières : fort rayonnement

solaire sans vent, variations rapides de température. Les erreurs peuvent être doublées ou triplées (2 à 3 °C) avec des abris mal conçus. Ce fut le cas des abris utilisés en France jusqu'aux années 1920-1930 lorsque furent introduits les abris de type Stevenson. Heureusement, les températures moyennes quotidiennes présentent moins d'erreur et les différences d'un abri à l'autre sont alors de l'ordre de quelques dixièmes. Entre 1997 et 1999, Météo-France a procédé à de nombreuses comparaisons d'abris, ce qui a permis d'en déterminer les caractéristiques. On peut ainsi utiliser un abri miniature à coupelles en étant sûr de ne pas introduire de modifications dans les séries de mesures climatologiques. Un abri analogue à celui utilisé en France au début du xx^{e} siècle a aussi été construit et étudié (photo 3). Faiblement protégé contre le rayonnement (pour permettre un accès facile aux capteurs), il conduisait à des températures nettement plus élevées (environ $0,5\text{ °C}$ en moyenne) que les abris actuels (Leroy et Lefebvre, 2000).



Photo 3 - L'abri ouvert du début du xx^{e} siècle reconstruit à Trappes. (Photo Météo-France, P. Taburet)

Les abris à ventilation artificielle

Il existe une catégorie d'abris pour lesquels les inconvénients cités sont moins accentués. Certains d'entre eux permettent de mieux approcher la vraie température de l'air. Il s'agit d'abris à ventilation artificielle (de



Photo 4 - Différents abris en test à Trappes en 1997. Au premier plan, abri ventilé américain Qualimetrics. (Photo Météo-France, P. Taburet)

l'ordre de 6 m/s), qui nécessitent de l'énergie électrique pour leur aspirateur d'air (photo 4). Apparus assez récemment sur le marché, ils ne sont pas employés dans les réseaux de mesure de Météo-France. Leur utilisation introduirait une diminution des températures maximales mesurées et donc une rupture dans les séries climatologiques. Ce problème pourrait toutefois être pris en compte avec des mesures effectuées en double : une période de recouvrement de deux ans est jugée nécessaire et suffisante lors d'un changement de système de mesure.

Les capteurs

Les capteurs de température posent peu de problèmes par eux-mêmes. Les stations de mesure manuelles du réseau climatologique d'État sont équipées de thermomètres à mercure et à alcool. Toutes les stations automatiques sont pourvues de thermorésistances à fil de platine, dont l'usage est extrêmement répandu et, par conséquent, normalisé. Ces capteurs ont une résistance électrique de 100 Ω à 0 °C. Le platine est un métal inoxydable, dont les propriétés électriques restent très stables dans le temps, particulièrement pour les capteurs utilisés par Météo-France dans lesquels le fil de platine est protégé par une gaine

d'acier inoxydable (photo 5). Une incertitude de mesure de seulement 0,15 °C est courante pour un capteur de ce type avec son système d'acquisition.

Un emplacement dégagé

L'incertitude principale de la mesure de la température de l'air provient donc de l'abri et de l'emplacement sur lequel il est implanté. Il faut en effet s'écarter d'éventuelles sources de chaleur artificielle, par exemple une surface bétonnée, et éviter la proximité d'obstacles verticaux qui peuvent réfléchir le rayonnement solaire (un mur blanc) ou constituer des sources

de rayonnement infrarouge. Un emplacement idéal est donc un lieu dégagé d'obstacles, avec un sol naturel couvert d'une végétation basse.

Les quantités de précipitations

Les quantités d'eau atteignant le sol ont une importance majeure pour les activités humaines. En météorologie, la quantité de précipitations est exprimée en millimètres. Il s'agit de l'épaisseur de la pellicule d'eau qui recouvrirait une surface horizontale. Ainsi, un millimètre de précipitations, c'est aussi un litre d'eau par mètre carré. La quantité de précipitations se mesure d'ailleurs tout simplement dans un récipient dont la surface de captation est connue. En France, cette surface est généralement de 400 cm², parfois de 1 000 cm², mais certains pays utilisent une surface plus petite, par exemple de 200 cm². La valeur de cette surface a peu d'importance ; mais plus elle est grande, plus le volume d'eau correspondant à 1 mm est important, ce qui rend sa mesure plus facile. Avec une surface de 400 cm², 1 mm correspond à 40 cm³, soit 40 g.

Les précipitations ont la particularité d'être très variables dans l'espace et dans le temps. La variabilité dans le temps est connue grâce aux moyens de télédétection (radars météorologiques) et aux systèmes automatiques qui peuvent descendre à un pas de temps de la



Photo 5 - Capteurs dans un abri. Le capteur de température à fil de platine est la petite sonde en bas de la rosace. (Photo Météo-France, P. Taburet)

minute. La variabilité dans l'espace est partiellement connue grâce aux moyens de télédétection (radars) et grâce à un réseau dense de stations de mesure, qui est indispensable.

Il existe en France plus de 4 000 postes pluviométriques. Pour la majorité d'entre eux, il s'agit de mesures manuelles, effectuées une fois par jour. La quantité d'eau recueillie dans un pluviomètre de type SPIEA (photo 6) est mesurée grâce à une éprouvette graduée.



Photo 6 - Pluviomètre de type SPIEA. (Photo Météo-France)

Les pluviomètres à augets basculeurs

Les mesures automatisées sont pratiquement toutes effectuées par un pluviomètre à augets basculeurs (photo 7). L'eau, captée par un entonnoir, remplit un auget qui bascule lorsqu'il est plein ; le deuxième auget se remplit alors. En France, la résolution de mesure est de 0,2 mm. L'auget bascule pour 8 g si le cône a une surface de captation de 400 cm², pour 20 g si la surface vaut 1 000 cm².

Un dispositif électronique très simple détecte le basculement et le système d'acquisition automatique compte les basculements. L'incertitude de mesure du système à augets est de l'ordre de 5 %. Le réglage d'un système à augets est d'autant plus facile que la masse

d'eau nécessaire au basculement est grande. C'est pourquoi Météo-France n'utilise pas d'augets de capacité inférieure à 8 cm³ (8 g), contrairement à certains modèles de pluviomètres disponibles sur le marché. Lorsque l'intensité de précipitation est forte (plus de 50 mm/h et jusqu'à 250 mm/h), de l'eau est perdue lors du basculement et du changement d'auget. Cette perte dépend de la conception de l'auget et de son inertie. Elle peut atteindre 12 % avec les pluviomètres utilisés par Météo-France. Les systèmes d'acquisition récents compensent cette perte, par calcul.

L'avantage d'un pluviomètre à augets basculeurs réside dans sa simplicité et donc dans sa relative robustesse. Son inconvénient majeur se trouve dans la nécessité d'un cône muni d'un orifice d'écoulement étroit pour bien canaliser l'eau vers les augets. Cet écoulement est donc susceptible de se boucher avec des dépôts de feuilles, mais surtout de poussières ou de fientes d'oiseau. Il n'existe pas de moyen automatique de détection préventif du bouchage ; une surveillance périodique et un entretien régulier sont donc nécessaires. Une comparaison des mesures d'un pluviomètre avec les mesures voisines ou avec les images d'un radar permet de détecter des anomalies, mais avec retard.

Les pluviomètres à pesée

Depuis peu, il existe aussi sur le marché des pluviomètres à pesée. L'eau étant simplement pesée dans un récipient, il n'est plus nécessaire d'avoir un cône. Le pluviomètre ne peut donc se boucher. L'électronique de mesure est plus complexe, et par conséquent plus onéreuse, mais elle est précise et facile à contrôler avec une masse étalon. Il faut éviter que le récipient ne

déborde, soit en assurant une capacité suffisante vis-à-vis des quantités possibles, soit avec un système de siphon. Avec de la saumure dans son récipient, un pluviomètre à pesée peut aussi mesurer les quantités de neige, sans nécessiter de chauffage et donc sans énergie. Mais si un siphon est nécessaire, la saumure disparaît. La neige peut aussi s'accumuler au bord du pluviomètre et former un bouchon. Pour l'éviter, un réchauffage du bord est alors nécessaire. Ainsi, malgré ses nombreux avantages, un pluviomètre à pesée présente aussi des inconvénients. En grande partie pour des raisons de coût, Météo-France continue d'utiliser des pluviomètres à augets basculeurs ; sur certains sites, les pluviomètres sont réchauffés pour la mesure des précipitations solides (neige).

L'effet du vent

Pour la mesure des précipitations, le plus gros problème provient de l'effet aérodynamique du vent. En présence de vent, le pluviomètre lui-même constitue un obstacle qui perturbe l'écoulement de l'air. La chute des gouttes d'eau ou des flocons de neige n'est alors plus rectiligne et moins de particules pénètrent dans le pluviomètre. Plus les particules sont légères, plus leur trajectoire est perturbée par l'écoulement de l'air autour du pluviomètre. La quantité d'eau qui pénètre dans le pluviomètre est toujours inférieure à celle qui arrive au sol. La sous-estimation peut être très importante. Elle a été largement documentée dans la littérature depuis plus de cent ans : elle peut atteindre 80 % en cas de neige avec un vent de 10 m/s.

La sous-estimation due au vent dépend de la forme du pluviomètre, de la vitesse du vent, de la nature des précipitations et de la taille des particules. Certains pays appliquent des formules de correction, fonction de la vitesse du vent, de la température et de l'intensité des précipitations. Ces corrections ne sont pas



Photo 7 - Augets basculeurs. (Photo Météo-France)

universelles ; elles dépendent du type de pluviomètre et, pour une part, du type de climat. Elles nécessitent de nombreux tests comparatifs entre différents modèles de pluviomètres, effectués en plusieurs lieux et sur plusieurs années. B. Sevrük (Suisse), un grand spécialiste de ce sujet, est l'auteur d'une abondante bibliographie (Sevrük et al., 2000).

Une forme de verre à pied minimise l'influence du vent, sans totalement l'annuler. C'est l'explication de la forme conique du pluviomètre à augets basculeurs largement utilisé par Météo-France (photo 8). Il est aussi possible de limiter l'influence du vent en utilisant un brise-vent qui réduit la vitesse du vent au niveau du pluviomètre (photo 9). Le déficit de mesure est alors réduit d'environ 50 %. L'utilisation de brise-vent est particulièrement recommandée pour les sites ventés et pour les sites avec des précipitations neigeuses. Mais cette pratique n'est pas répandue en France : Météo-France n'utilise pas (encore) de brise-vent. Leur introduc-

Photo 8 - Deux pluviomètres à augets basculeurs de la station de La Caravelle en Martinique. (Photo Météo-France, P. Frayssinet)



Photo 9 - Pluviomètre avec écran brise-vent. (Photo Météo-France)

beaucoup d'entretien, c'est un appareil limité à certains sites de test qui ne peut être utilisé dans un réseau.

Pour les précipitations solides, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) a défini un pluviomètre de référence ; il a été utilisé lors d'une récente comparaison internationale qui s'est étalée sur plus de dix ans (Goodison et al., 1998). Ce pluviomètre à relevé manuel est entouré d'une double haie brise-vent dont le diamètre extérieur est de plus de 15 mètres.

tion nécessiterait d'ailleurs de nombreux tests comparatifs pour en déterminer les conséquences sur les séries de mesures.

Pour les précipitations liquides, le pluviomètre de référence est un pluviomètre enterré, entouré d'une grille limitant les éclaboussures. Nécessitant

Conclusion

Ce bref exposé montre que, malgré des principes simples, la mesure de la température de l'air et des précipitations reste délicate et souvent entachée d'erreurs, en particulier celle des quantités de précipitation. Aux difficultés de mesure instrumentales s'ajoute l'effet de l'environnement proche qui peut engendrer des erreurs supérieures aux erreurs instrumentales. Par exemple, un pluviomètre placé contre un mur sous-estimera fortement les précipitations quand le mur l'abritera du vent.

Pour l'implantation des instruments, l'OMM a émis des recommandations qui ne sont pas toujours suivies. Météo-France a récemment défini une classification des sites (Leroy, 1999) déjà appliquée sur les sites de mesure automatique et qui va être généralisée sur l'ensemble des sites de mesure de Météo-France. Les mesures pourront alors être utilisées avec une estimation plus objective de leur qualité et de leur représentativité.

Bibliographie

- Goodison B. E., P. Y. T. Louie et D. Yang, 1998 : WMO solid precipitation measurement intercomparison. Final report WMO/TD n° 872, 216 p.
- Leroy M., 1999 : Classification d'un site. Météo-France, Note technique n° 35, Trappes, 12 p.
- Leroy M. et G. Lefebvre, 2000 : Caractérisation de l'abri du XIX^e siècle. *La Météorologie* 8^e série, 31, 69-70.
- Perrin de Brichambaut C. et M. Leroy, 1995 : La mesure de la température de l'air. *La Météorologie* 8^e série, 12, 14-30.
- Sevrük B., Roulet Y. A. et V. Nespor, 2000 : Correction of the wind induced error of tipping bucket precipitation gauges in Switzerland using numerical simulation. WMO/TD n°1028. Instruments and observing methods, report n° 74.