

Calcul de l'humidité relative à partir de la température et de la température de rosée : un outil simple pour déterminer l'incertitude

Calculation of relative humidity from temperature and dewpoint temperature : a tool to determine the uncertainty

Bertrand BLANQUART
CETIAT - Villeurbanne

Résumé

L'humidité relative est un paramètre d'environnement important, qui peut être mesuré directement ou déterminé à partir de la mesure de la température sèche et de la température de rosée. Dans ce dernier cas, les incertitudes de mesure doivent être estimées à partir des incertitudes associées aux mesures de température et de température de rosée, en appliquant la loi de propagation des incertitudes au calcul de l'humidité relative. Cette relation fait intervenir les dérivées partielles des formules de pression de vapeur d'eau, lesquelles comprennent des termes polynomiaux et des termes exponentiels et logarithmiques, donc relativement lourdes à manipuler. Cet article introduit un coefficient, donné sous forme d'abaque ou dans un tableau, et une formule générique de calcul de l'incertitude de l'humidité relative. Ainsi, un calcul rigoureux de l'incertitude associée à l'humidité relative déterminée à partir de la température et de la température de rosée peut être réalisé à l'aide d'une simple calculatrice de poche.

Abstract

Relative humidity is an important parameter of environmental measurements, which can be directly measured, or determined using temperature and dewpoint temperature. In this case, knowing the uncertainties on temperature and dewpoint temperature, uncertainty on relative humidity must be estimated by applying the law of propagation of uncertainties to the formula of relative humidity. This formula contains partial derivative of law of vapour pressure, which use is not easy. This paper introduces a specific coefficient and a generic formula to calculate the uncertainty on relative humidity. The strict calculation of uncertainties on relative humidity determined with temperature and dewpoint temperature can be made with a pocket calculator.

1. INTRODUCTION

L'humidité relative est un paramètre d'environnement qui peut être mesuré directement avec un hygromètre à variation d'impédance, un hygromètre mécanique ou un psychromètre. Dans ce cas, l'incertitude de mesure associée à la valeur d'humidité relative est estimée à partir des caractéristiques métrologiques de l'instrument et des conditions de réalisation des mesurages [1].

Dans certains cas, l'humidité relative ne peut être mesurée directement. C'est notamment le cas si les conditions de mesure ne permettent pas physiquement d'utiliser un capteur relatif, par exemple pour des températures élevées ou pour des conditions proches de la saturation, conditions dans lesquelles les hygromètres relatifs peuvent subir une détérioration de l'élément sensible. Par ailleurs, la détermination de l'humidité relative à partir d'un hygromètre à condensation et de sondes de température permet d'atteindre des incertitudes plus faibles qu'avec un hygromètre capacitif ; c'est donc cette méthode de mesure qui sera privilégiée pour des applications particulières nécessitant une incertitude faible ou encore pour l'étalonnage des capteurs d'humidité relative. Dans tous ces cas, l'humidité relative n'est pas mesurée directement mais elle est calculée et il est alors nécessaire de déterminer son incertitude à partir de la connaissance des incertitudes associées à chacun des paramètres et de la propagation des incertitudes, liée à la formule de calcul utilisée.

1.1. Définition de l'humidité relative

L'humidité relative est définie comme le rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau et la pression de vapeur saturante d'un air humide saturé à la même pression et à la même température [2]. La pression de vapeur d'eau en fonction de la température est donnée par les relations suivantes, selon que l'équilibre entre la vapeur et la phase condensée est au-dessus d'une surface d'eau liquide ou de glace :

– **Eau liquide**

Sur la plage de température de 173 à 373,15 K, la pression de vapeur en phase pure au-dessus de l'eau liquide e_w en fonction de la température T (en K) est donnée par la formule de Wexler modifiée par Sonntag [3], [4], [5] :

$$\ln(e_w) = \frac{-6096,9385}{T} + 21,2409642 - 2,711193 \cdot 10^{-2} \cdot T + 1,673952 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 2,433502 \cdot \ln(T) \quad (1)$$

– **Glace**

Sur la plage de température de 173,15 à 273,15 K, la pression de vapeur en phase pure au-dessus de la glace e_i en fonction de la température T (en K) est donnée par la formule de Wexler modifiée par Sonntag :

$$\ln(e_i) = \frac{-6024,5282}{T} + 29,32707 + 1,0613868 \cdot 10^{-2} \cdot T - 1,3198825 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 0,49382577 \cdot \ln(T) \quad (2)$$

Le mélange d'air sec et de vapeur d'eau ne se comporte pas tout à fait comme un gaz parfait. Ainsi, à l'état de saturation, la pression partielle de la vapeur e'_w n'est pas égale à la valeur e_w définie ci-dessus, et qui concerne uniquement la phase vapeur pure. Pour tenir compte de cet écart à la loi des gaz parfaits, un coefficient appelé « facteur d'augmentation » est introduit pour corriger la valeur de pression partielle de vapeur d'eau ; ce coefficient est noté $f(p,T)$ et dépend de la température et de la pression.

Pour l'équilibre au-dessus de l'eau liquide :

$$e'_w(p,T) = f_w(p,T) \cdot e_w(T) \quad (3)$$

On définit de même un coefficient f_i pour le cas de l'équilibre au-dessus de la glace :

$$e'_i(p,T) = f_i(p,T) \cdot e_i(T) \quad (4)$$

L'humidité relative est alors définie par la relation suivante :

$$U_w = 100 \cdot \frac{e'_w(T_d)}{e'_w(T)} \quad (5)$$

où

- U_w est l'humidité relative exprimée en %
- $e'_w(T_d)$ est la pression de vapeur saturante dans l'air humide à la température de rosée
- $e'_w(T)$ est la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air humide à la température ambiante

1.2. Calcul de l'humidité relative

Les valeurs des coefficients f_w et f_i sont très voisines de 1 dans les conditions normales d'utilisation et varient très peu lorsque la pression reste voisine de la pression atmosphérique [1]. Ainsi, pour des applications courantes, à la pression atmosphérique, il est possible de déterminer l'humidité relative à partir de la température et la température de rosée, en utilisant la relation suivante, issue de la simplification de la relation (5) :

$$U_w = 100 \cdot \frac{e_w(T_d)}{e_w(T)} \quad (6)$$

Ainsi, l'humidité relative peut être déterminée à partir des mesures de température et de température de rosée, en déterminant les pressions de vapeur à l'aide des relations (1) et (2) ou à l'aide de tables.

Bien que le calcul à partir des relations de pression de vapeur soit aisé à programmer dans un calculateur, de nombreux utilisateurs font appel aux tables, que ce soit pour des mesures de terrain comme pour des mesures en laboratoire, en raison de la simplicité et de la rapidité d'utilisation. Il est alors pertinent de proposer un outil permettant de déterminer les incertitudes associées à partir de tables ou d'abaques.

2. DETERMINATION DES INCERTITUDES

Pour déterminer l'incertitude associée à l'humidité relative calculée à partir de la relation (6), il convient d'appliquer la loi de propagation des incertitudes [6] et de déterminer les incertitudes-types associées aux mesures de température et de température de rosée. Les résultats de ce calcul sont présentés dans le fascicule de documentation FD X 15-120 (*Mesure de l'humidité de l'air - Expression des incertitudes - Étude de cas concrets*) ; la démonstration est ici détaillée de manière exhaustive.

2.1. Application de la loi de propagation des incertitudes

En considérant que les mesures de la température et de la température de rosée ne sont pas corrélées, les covariances sont nulles et la relation de propagation de l'incertitude se met sous la forme suivante :

$$u_c^2(U_w) = \left[\frac{\partial U_w}{\partial T_d} \right]^2 \cdot u_c^2(T_d) + \left[\frac{\partial U_w}{\partial T} \right]^2 \cdot u_c^2(T) \quad (7)$$

où

- $u_c(U_w)$ est l'incertitude type composée de l'humidité relative U_w
- $u_c(T_d)$ est l'incertitude type composée de la température de rosée
- $u_c(T)$ est l'incertitude type composée de la température sèche

Les coefficients de sensibilité $\frac{\partial U_w}{\partial T_d}$ et $\frac{\partial U_w}{\partial T}$ sont les suivants :

$$\frac{\partial U_w}{\partial T_d} = \frac{\partial}{\partial T_d} \left[100 \cdot \frac{e_w(T_d)}{e_w(T)} \right] \quad (8)$$

$$\frac{\partial U_w}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial T} \left[100 \cdot \frac{e_w(T_d)}{e_w(T)} \right] \quad (9)$$

Soit encore :

$$\frac{\partial U_w}{\partial T_d} = \frac{100}{e_w(T)} \cdot \frac{\partial e_w(T_d)}{\partial T_d} \quad (10)$$

$$\frac{\partial U_w}{\partial T} = -100 \cdot e_w(T_d) \cdot \left(\frac{1}{e_w(T)} \right)^2 \cdot \frac{\partial e_w(T)}{\partial T} \quad (11)$$

Ainsi, pour déterminer l'incertitude associée à l'humidité relative U_w , il est nécessaire de calculer les termes $\frac{\partial U_w}{\partial T_d}$ et

$\frac{\partial U_w}{\partial T}$, définis par les relations (10) et (11) respectivement. On constate que le calcul de ces termes demande de dériver

les relations (1) ou (2), et que ces dérivées ne sont pas constantes en fonction de la température.

Ainsi, pour l'utilisateur qui aura déterminé l'humidité relative en s'appuyant uniquement sur les tables de pression de vapeur (voir paragraphe 1.2), il ne sera pas possible d'estimer l'incertitude associée en s'appuyant sur ces mêmes tables. Le paragraphe suivant a pour objet d'introduire un coefficient α , disponible dans une table, pour permettre de réaliser cette estimation d'incertitude sans que l'utilisateur ait besoin de calculer lui-même les relations (10) et (11).

2.2 Définition des coefficients α_w et α

Les termes $\frac{\partial e_w(T_d)}{\partial T_d}$ et $\frac{\partial e_w(T)}{\partial T}$ sont tous deux obtenus à partir de la même relation (relation (1) ou relation (2) selon

que l'équilibre est en eau ou en glace).

Par exemple, pour l'eau liquide :

$$\frac{\partial e_w(T_d)}{\partial T_d} = \left(\frac{6096,9385}{T_d^2} - 2,71119310^{-2} + 2 \cdot 1,67395210^{-5} \cdot T_d + \frac{2,433502}{T_d} \right) \cdot e_w(T_d) \quad (12)$$

et

$$\frac{\partial e_w(T)}{\partial T} = \left(\frac{6096,9385}{T^2} - 2,71119310^{-2} + 2 \cdot 1,67395210^{-5} \cdot T + \frac{2,433502}{T} \right) \cdot e_w(T) \quad (13)$$

Pour simplifier les notations, on pose :

$$\mathbf{a}_w(T) = \left(\frac{6096,9385}{T^2} - 2,71119310^{-2} + 2 \cdot 1,67395210^{-5} \cdot T + \frac{2,433502}{T} \right) \quad (14)$$

De même, pour la glace, on écrit :

$$\mathbf{a}_i(T) = \left(\frac{6024,5282}{T^2} + 0,010613868 - 2 \cdot 1,319882510^{-5} \cdot T - \frac{0,49382577}{T} \right) \quad (15)$$

Pour simplifier les écritures, on note $\mathbf{a}_{w,i}$ le coefficient \mathbf{a}_w , ou \mathbf{a} . L'introduction de ce coefficient dans la relation (7) conduit à la relation suivante :

$$u_c^2(U_w) = \left[\frac{100}{e_w(T)} \cdot \mathbf{a}_{w,i}(T_d) \cdot e_w(T_d) \right]^2 \cdot u_c^2(T_d) + \left[100 \cdot e_w(T_d) \cdot \frac{\mathbf{a}_{w,i}(T)}{(e_w(T_d))^2} \cdot e_w(T) \right]^2 \cdot u_c^2(T) \quad (16)$$

Après regroupements et simplifications, on obtient :

$$u_c^2(U_w) = [U_w \cdot \mathbf{a}_{w,i}(T_d)]^2 \cdot u_c^2(T_d) + [U_w \cdot \mathbf{a}_{w,i}(T)]^2 \cdot u_c^2(T) \quad (17)$$

L'incertitude-type composée $u_c(U_w)$ est alors donnée par la relation suivante :

$$u_c(U_w) = U_w \cdot \sqrt{\mathbf{a}_{w,i}^2(T_d) \cdot u_c^2(T_d) + \mathbf{a}_{w,i}^2(T) \cdot u_c^2(T)} \quad (18)$$

Avec un coefficient d'élargissement $k = 2$, l'incertitude composée élargie est $U_c(U_w)$

$$U_c(U_w) = 2 \cdot u_c(U_w) = 2 \cdot U_w \cdot \sqrt{\mathbf{a}_{w,i}^2(T_d) \cdot u_c^2(T_d) + \mathbf{a}_{w,i}^2(T) \cdot u_c^2(T)} \quad (19)$$

avec

- U_w est l'humidité relative déterminée par application de la relation (6)
- $u_c(T_d)$ est l'incertitude-type associée à la mesure de la température de rosée T_d ,
- $u_c(T)$ est l'incertitude-type associée à la mesure de la température T
- le coefficient $\mathbf{a}_{w,i}(T)$ est calculé en appliquant la relation (14) ou (15).

2.3 Domaine de validité

Le coefficient $\mathbf{a}_{w,i}(T)$ est issu des dérivations des relations (1) et (2), il est donc valide sur le domaine de validité de ces relations, c'est à dire de 173 à 373,15 K pour la relation (1) et de 173 à 273,15 K pour la relation (2).

Par ailleurs, l'établissement de la relation (19) ne demande qu'une seule hypothèse, permettant de passer de la relation (5) à la relation (6), c'est à dire que l'on considère que le rapport des facteurs d'augmentation est égal à 1. Cette hypothèse est valide dans la majorité des applications, notamment les mesures d'humidité relative à pression atmosphérique. La seule restriction d'utilisation concerne donc les mesures d'humidité relative à des pressions élevées ou avec des différences de pression importantes entre deux points de prélèvement.

L'incertitude $U_c(U_w)$ obtenue par application de cette méthode reflète les composantes d'incertitude qui sont prises en compte dans les incertitudes $U(T)$ et $U(T_d)$: si ces deux composantes prennent en compte l'homogénéité et la stabilité du milieu pendant une période de temps, alors $U_c(U_w)$ intègre l'homogénéité et la stabilité de l'humidité relative. Par

contre, si les incertitudes $U(T)$ et $U(T_d)$ ne tiennent compte que des performances métrologiques des instruments, il conviendra de tenir compte par ailleurs de l'homogénéité et de la stabilité du milieu en humidité relative.

3. CALCUL DE L'INCERTITUDE ASSOCIEE A L'HUMIDITE RELATIVE

L'utilisation de la relation (19) et l'introduction du coefficient $a_{w,i}(T)$, qui peut être mis sous forme de table ou d'abaque, permettent de déterminer l'incertitude associée à l'humidité relative, lorsque celle-ci est calculée à partir de la température et de la température de rosée, sans recours à des calculs complexes.

3.1. Calcul de l'humidité relative U_w

Le calcul de l'humidité relative est réalisé en appliquant la relation (6). Cette formule demande de disposer des valeurs de pression de vapeur en fonction de la température, qui sont obtenues soit par application des formules (1) et (2) soit par lecture dans des tables [1].

3.2. Détermination de l'incertitude type associée à la température sèche $u(T)$

L'incertitude type associée à la température sèche $u(T)$ est obtenue en réalisant le bilan complet des incertitudes associées à la mesure de la température sèche. Ce bilan d'incertitude comprend les composantes liées à l'instrumentation (sonde de température à résistance, couple thermoélectrique, etc.), aux conditions d'environnement, à la méthode de mesure, aux variations du mesurande, etc.

Cette incertitude-type dépend donc du processus de mesure et doit être déterminée en fonction de l'application particulière de l'utilisateur.

3.3. Détermination de l'incertitude associée à la température de rosée $u(T_d)$

De la même manière que $u(T)$, l'incertitude type associée à la température de rosée $u(T_d)$ est obtenue en réalisant le bilan complet des incertitudes du processus de mesure, comprenant les composantes liées à l'hygromètre à condensation, aux conditions d'environnement, à la méthode de mesure, aux variations du mesurande, etc. Comme précédemment, cette incertitude-type dépend du processus de mesure et doit être déterminée en fonction de l'application de l'utilisateur.

3.4. Détermination des valeurs numériques de α

La détermination des valeurs numériques de α peut être réalisée par lecture sur l'abaque (figure 1) ou à partir des tableaux 1 et 2.

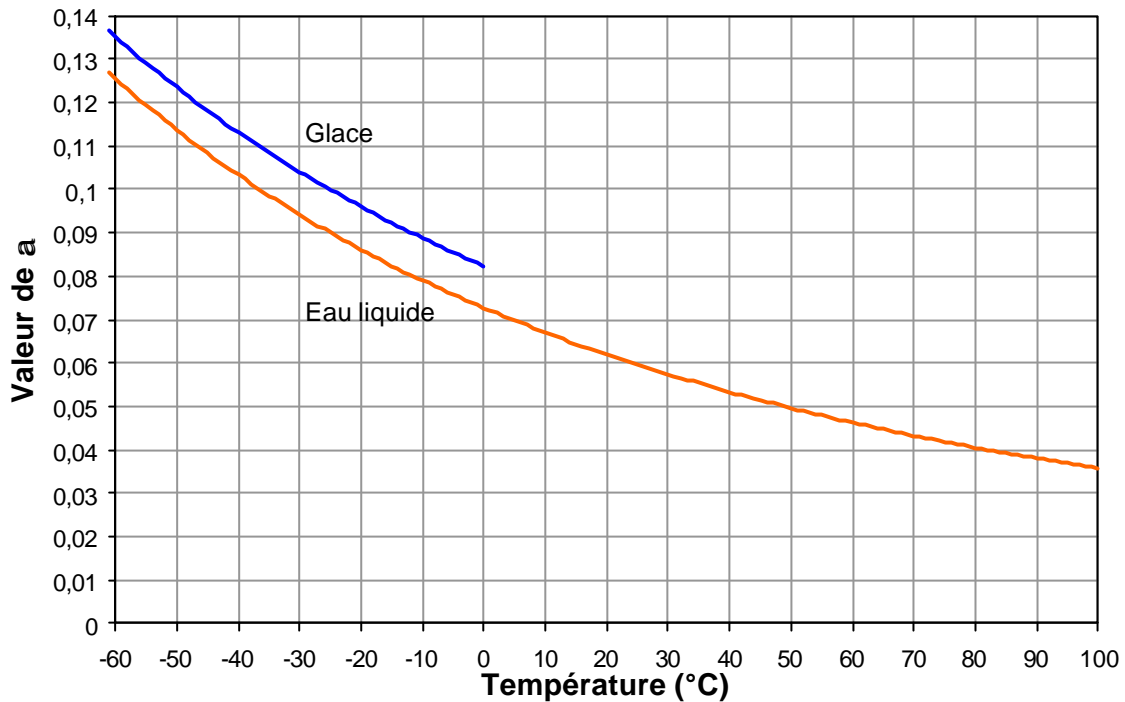


Figure 1 – Fonction $\alpha_{w,i} = f(T)$

La figure 1 présente la courbe pour l'eau liquide sur le domaine de température de -60 °C à 100 °C , ce qui peut paraître surprenant. D'un point de vue théorique, la fonction de définition de la pression de vapeur en équilibre avec de l'eau liquide est définie pour les températures négatives (équation 1). En pratique, en raison du phénomène de surfusion, le condensat sur le miroir de l'hygromètre à condensation peut rester en eau liquide pour les températures négatives. Ce cas est quasi systématique pour les températures jusqu'à -10 °C et a été observé en laboratoire jusqu'à -30 °C .

Les tableaux de la page suivante se lisent de la manière suivante : pour déterminer la valeur de $\alpha_{w,i}(T)$ à une température donnée, il faut repérer la case correspondant à cette température, obtenue en ajoutant les valeurs de température figurant dans la 1^{ère} colonne et dans la 1^{ère} ligne.

Exemples :

- 21 °C : ligne +20, colonne +1 ($20+1 = 21$) : $\alpha_w = 0,061$
- -56 °C : ligne -60, colonne +4 ($-60+4 = -56$) : $\alpha_w = 0,121$.

Calcul de l'humidité relative à partir de la température et de la température de rosée : un outil simple pour déterminer l'incertitude

q (°C)	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9
-100	0,196	0,194	0,191	0,189	0,187	0,185	0,182	0,180	0,178	0,176
-90	0,174	0,172	0,170	0,168	0,166	0,164	0,162	0,161	0,159	0,157
-80	0,155	0,154	0,152	0,150	0,149	0,147	0,145	0,144	0,142	0,141
-70	0,139	0,138	0,136	0,135	0,134	0,132	0,131	0,130	0,128	0,127
-60	0,126	0,124	0,123	0,122	0,121	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115
-50	0,114	0,113	0,111	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,105	0,104
-40	0,103	0,102	0,101	0,100	0,099	0,099	0,098	0,097	0,096	0,095
-30	0,094	0,093	0,092	0,092	0,091	0,090	0,089	0,088	0,088	0,087
-20	0,086	0,085	0,085	0,084	0,083	0,082	0,082	0,081	0,080	0,080
-10	0,079	0,078	0,078	0,077	0,076	0,076	0,075	0,074	0,074	0,073
0	0,073	0,072	0,071	0,071	0,070	0,070	0,069	0,069	0,068	0,068
10	0,067	0,066	0,066	0,065	0,065	0,064	0,064	0,063	0,063	0,062
20	0,062	0,061	0,061	0,061	0,060	0,060	0,059	0,059	0,058	0,058
30	0,057	0,057	0,057	0,056	0,056	0,055	0,055	0,054	0,054	0,054
40	0,053	0,053	0,053	0,052	0,052	0,051	0,051	0,051	0,050	0,050
50	0,050	0,049	0,049	0,049	0,048	0,048	0,048	0,047	0,047	0,047
60	0,046	0,046	0,046	0,045	0,045	0,045	0,044	0,044	0,044	0,044
70	0,043	0,043	0,043	0,042	0,042	0,042	0,042	0,041	0,041	0,041
80	0,040	0,040	0,040	0,040	0,039	0,039	0,039	0,039	0,038	0,038
90	0,038	0,038	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,036	0,036	0,036

Tableau 1 – Valeurs de a_w (eau liquide)

q (°C)	+0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9
-100	0,204	0,202	0,200	0,197	0,195	0,193	0,191	0,189	0,187	0,185
-90	0,183	0,181	0,179	0,177	0,175	0,173	0,171	0,170	0,168	0,166
-80	0,164	0,163	0,161	0,160	0,158	0,156	0,155	0,153	0,152	0,150
-70	0,149	0,147	0,146	0,145	0,143	0,142	0,140	0,139	0,138	0,137
-60	0,135	0,134	0,133	0,132	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125
-50	0,123	0,122	0,121	0,120	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114
-40	0,113	0,112	0,111	0,110	0,109	0,108	0,108	0,107	0,106	0,105
-30	0,104	0,103	0,102	0,102	0,101	0,100	0,099	0,098	0,098	0,097
-20	0,096	0,095	0,094	0,094	0,093	0,092	0,092	0,091	0,090	0,089
-10	0,089	0,088	0,087	0,087	0,086	0,085	0,085	0,084	0,084	0,083

Tableau 2 – Valeurs de a_i (glace)

3.5. Exemples d'application

3.5.1. Mesure dans une enceinte climatique.

Dans une application particulière en enceinte climatique, la température sèche mesurée est $23,4\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$ ($k=2$) et la température de rosée mesurée est $9,6\text{ °C} \pm 0,4\text{ °C}$ ($k=2$). Ces incertitudes tiennent compte de l'homogénéité et de la stabilité du milieu en température sèche et en température de rosée.

Pour ces valeurs de température, les tables de pression de vapeur donnent $e_w(T_d) = 1196\text{ Pa}$ et $e_w(T) = 2880\text{ Pa}$.

$$\text{L'humidité relative est alors } U_w = 100 \cdot \frac{e_w(T_d)}{e_w(T)} = 100 \cdot \frac{1196}{2880} = 41,5\%$$

Les coefficients $a_w(T_d)$ et $a_w(T)$ sont déterminés par lecture dans le tableau 1 (puisque les deux températures sont positives), en arrondissant à la valeur la plus proche de température : $a_w(T_d) = 0,067$ et $a_w(T) = 0,061$.

L'incertitude $U_c(U_w)$ est alors :

$$U_c(U_w) = 2 \cdot 41,5 \cdot \sqrt{0,067^2 \times 0,2^2 + 0,061^2 \times 0,4^2} = 1,2\%$$

Le résultat est alors $U_w = 41,5\% \pm 1,2\%$ ($k=2$). Puisque les incertitudes associées aux mesures de température et de température de rosée tiennent compte de l'homogénéité et de la stabilité du milieu, cette valeur d'incertitude d'humidité relative intègre naturellement ces deux composantes (homogénéité et stabilité).

3.5.2. Choix d'un matériel de mesure

Dans ce 2^{ème} exemple, l'utilisateur cherche à déterminer quels instruments acheter pour répondre à un besoin particulier, où l'humidité relative est de l'ordre de 85 %, l'erreur maximale tolérée sur la détermination de l'humidité relative est de $\pm 2\%$, et la température de fonctionnement est de $+60\text{ °C}$. Il dispose des spécifications données par le constructeur :

- Hygromètre à condensation : $\pm 0,2\text{ °C}$
- Sondes de température : $\pm 0,2\text{ °C}$

Ces caractéristiques sont celles des instruments, et ne tiennent donc pas compte de l'homogénéité et de la stabilité du milieu en température sèche et en température de rosée. Les incertitudes-types sont estimées en considérant une loi de distribution rectangulaire.

Pour les conditions de mesure citées, $e_w(T) \approx 19950\text{ Pa}$ et $e_w(T_d) \approx 16000\text{ Pa}$ ($T_d \approx 55\text{ °C}$).

Les coefficients $a_w(T_d)$ et $a_w(T)$ sont déterminés par lecture dans le tableau 1 (puisque les deux températures sont positives), en arrondissant à la valeur la plus proche de température : $a_w(T_d) = 0,048$ et $a_w(T) = 0,046$.

L'incertitude $U_c(U_w)$ est alors :

$$U_c(U_w) = 2 \cdot 85 \cdot \sqrt{0,048^2 \times \left(\frac{0,2}{\sqrt{3}}\right)^2 + 0,046^2 \times \left(\frac{0,2}{\sqrt{3}}\right)^2} = 1,3\%$$

Ainsi, dans le meilleur des cas, sans tenir compte des composantes de stabilité et d'homogénéité, l'incertitude minimale associée à l'humidité relative est $\pm 1,3\%$. Si des informations complémentaires sont disponibles sur l'homogénéité et la stabilité, alors l'utilisateur pourra conclure quant à l'adéquation de ses moyens de mesure avec les spécifications recherchées.

4. CONCLUSION

Dans de nombreuses applications, l'humidité relative est déterminée à partir d'une mesure de température et d'une mesure de température de rosée, en utilisant les tables de pression de vapeur. La détermination de l'incertitude associée à l'humidité relative calculée demande alors la détermination de coefficients de sensibilité, dont le calcul fait appel à des dérivations des relations de pression de vapeur. Dans de nombreux cas, ces dernières ne sont pas nécessairement à la disposition de l'utilisateur, et le cas échéant leur dérivation est une opération mathématique qui reste délicate à mettre en œuvre.

Cet article introduit une formule simple et un coefficient, donné dans une table et un abaque, qui permet de réaliser le calcul de l'incertitude associée à l'humidité relative à l'aide d'une simple calculatrice de poche, sans approximation.

5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] CRETINON B, MERIGOUX J., *La mesure de l'humidité*, collection du BNM, n° 18, 2000
- [2] NF X 15-110, *Mesure de l'humidité de l'air – Paramètres hygrométriques*, Juillet 1994
- [3] GUERRA G, MERIGOUX J, *Tables de l'air humide en unités S.I. Tables HT: +40 à + 400 °C*. Édition CETIAT, Juin 1976.
- [4] CRETINON B, MERIGOUX J., *La mesure de l'humidité*, collection du BNM, n° 18, 2000
- [5] WEXLER A. – *Vapor pressure formulation for water in range 0 to 100 °C*. Journal of Research of the National Bureau of Standards, Vol. 80A, n°5 et 6 Sept-Dec. 1976, p. 775 – 785.
- [6] NF ENV 13005, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*, Août 1999
- [7] FD X15-120, *Mesure de l'humidité de l'air - Expression des incertitudes - Étude de cas concrets*, Janvier 2005

* * * * *