



INTERNATIONAL CENTRE FOR THE STUDY OF THE PRESERVATION AND THE RESTORATION OF CULTURAL PROPERTY
CENTRE INTERNATIONAL D'ETUDES POUR LA CONSERVATION ET LA RESTAURATION DES BIENS CULTURELS

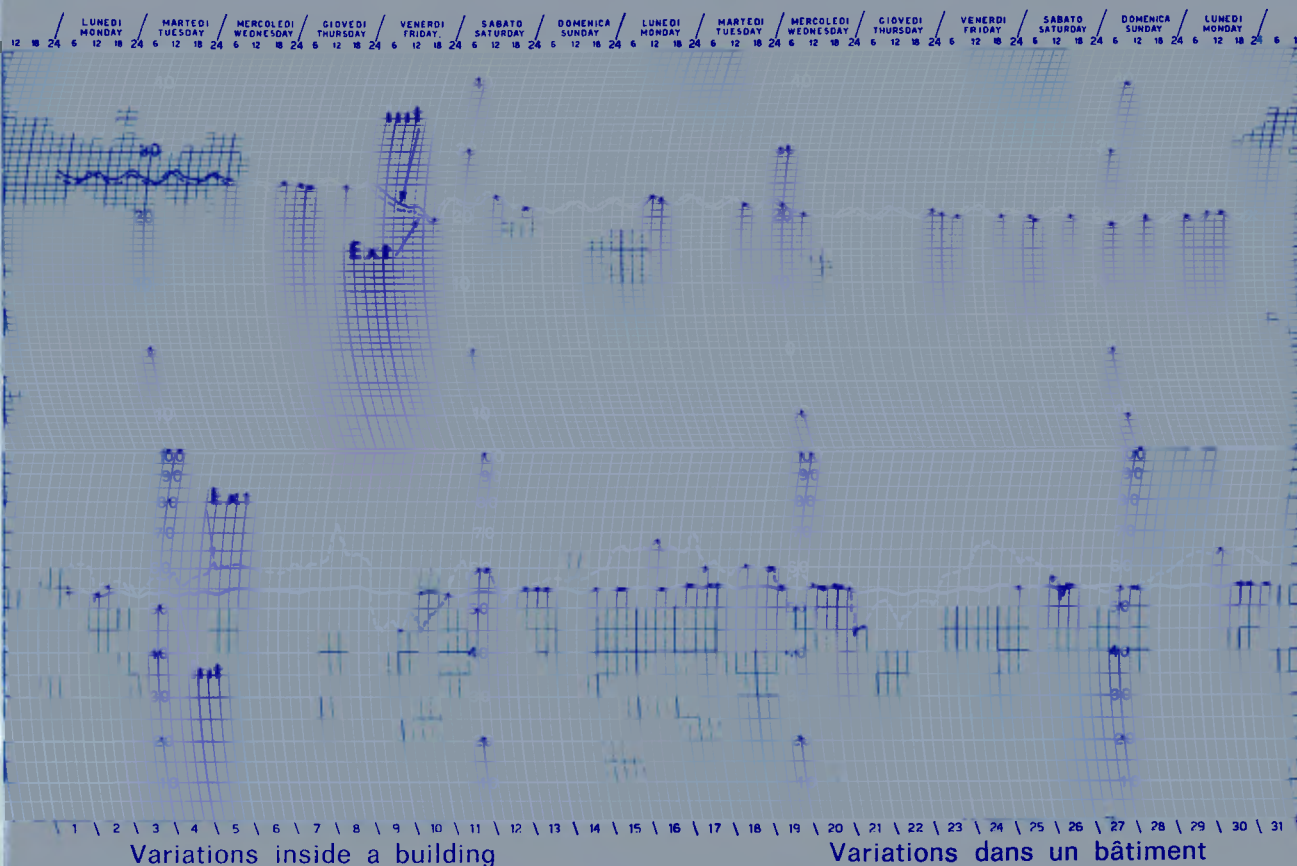
ICCROM

CLIMATE IN MUSEUMS

MEASUREMENT

CLIMAT DANS LE MUSEE

MESURE



GAËL de GUICHEN

Véronique Demaret, Antonio Dojmi
Design / Maquette

Cathleen Malmström
Drawings and illustrations / Dessins et illustrations

Susan Inman, Cynthia Rockwell
English translation / Traduction anglaise

ISBN 92-9077-082-1

© ICCROM 1980, 1984
Via di San Michele 13
00153 Rome RM, Italy

First edition 1980
Second edition (revised) 1984
Reprinted 1988

Printed in Italy
Sintesi Grafica s.r.l.



ICCROM

CLIMATE IN MUSEUMS

MEASUREMENT

CLIMAT DANS LE MUSEE

MESURE

GAËL de GUICHEN

● INTRODUCTION

Collections are made of perishable material. Even in museums, those that have been passed down to us from generation to generation suffer inevitable day-to-day deterioration due to many factors. The destructive agents can be human or natural, chemical or physical.

In the opinion of specialists, the most ruthless of all is climate.

But contrary to popular belief, it is not so much the variations of temperature as the variations of relative humidity that are the most harmful.

In museums, the average temperature fluctuates within a range of 30° C (5°C - 35°C). Few objects other than waxes and films are affected at these temperature extremes and by such fluctuation.

On the other hand, the annual average relative humidity in a museum can fluctuate within a range of 50% or in some cases even 90%. Within this range almost all collection objects will react, sometimes rather dramatically. In fact, almost all objects, regardless of their age, origin or composition, react rapidly to the surrounding relative humidity. It is therefore important to know how to measure and control relative humidity, and stabilise it as far as possible.

This booklet derives from a series of technical cards produced by ICCROM as training aids for its course participants.

The subjects are developed as instructively and as gradually as possible.

Our intention here is to provide specific information for those who are already aware that measurement and control of climate are of the utmost importance in the preservation of collections, but who do not know how to put this awareness into practice.

This second edition has enabled us to correct some of the errors that crept into the first edition. It has also enabled us to include information about electronic measuring instruments which are becoming more widely used in museums and to propose a method of studying the climatic « behaviour » of a museum.

An annotated bibliography has also been added.

This booklet has been produced by ICCROM.

Thanks are due to Susan Inman and Cynthia Rockwell for their very active collaboration; also to Colette di Matteo, Bruno Muhlethaler, Robert Organ and Jacqueline Thiébault, for their very useful suggestions.

Rome, September 1984

● INTRODUCTION

La matière dont sont constituées les collections de musée n'est pas éternelle. Chaque jour, inexorablement, les collections qui nous ont été transmises par les générations précédentes, se détériorent même dans les musées. Les agents de destruction sont nombreux, agents humains ou agents naturels, agents chimiques ou agents physiques.

De l'avis de tous les spécialistes, l'agent de plus implacable est le climat.

Mais contrairement à une opinion généralement répandue, ce n'est pas tellement les variations de température que les variations d'humidité qui sont les plus dangereuses.

Dans les musées, les variations moyennes de température n'excèdent pas 30°C (5°C - 35°).

Dans cette fourchette, les objets réagissent peu, à l'exception des cires et des films. Par contre, dans les musées, les variations moyennes annuelles d'humidité relative peuvent atteindre 50% et même 90%.

Dans cette fourchette presque tous les objets formant les collections réagissent à ces variations et parfois très violemment. En effet, presque tous les objets, quels que soient leur âge, leur origine, leur constitution, réagissent rapidement aux variations de l'humidité relative environnante. Il est donc essentiel de savoir mesurer l'humidité relative, la contrôler et la stabiliser au maximum.

Ce livret réunit une série de fiches techniques mises au point par l'ICCROM.

Elles furent réalisées pour aider les stagiaires qui suivent nos cours.

Les notions qui y sont développées le sont d'une manière aussi didactique et progressive que possible.

Ce livret n'a pour but que d'aider ceux qui sont conscients de l'importance capitale de la mesure et du contrôle du climat pour la conservation des collections mais qui ne sauraient pas par où commencer à mettre en pratique leur connaissance.

Cette seconde édition a permis de corriger quelques erreurs qui s'étaient glissées dans la première édition. Elle a permis aussi d'inclure des informations concernant les appareils électroniques qui commencent à être utilisés dans les musées, ainsi que de proposer une méthode sur la façon d'étudier comment « vit » un musée sur le plan climatique.

On a aussi rajouté une bibliographie commentée.

Ce livret a été fait à l'ICCROM. Que Susan Inman et Cynthia Rockwell qui y ont collaboré très activement en soient remerciées, ainsi que Colette di Matteo, Bruno Mühlethaler, Robert Organ et Jacqueline Thiébault, qui firent des suggestions très utiles.

Rome, septembre 1984

● TABLE OF CONTENTS

Introduction	2
--------------	---

Table of Contents	4
-------------------	---

1. Sources of humidity in the air	6
-----------------------------------	---

2. Measuring humidity	8
-----------------------	---

2.1 Saturation	10
2.2 Condensation	12
2.3 Absolute humidity	14
2.4 Relative humidity	16
2.5 How to maintain relative humidity stable when the temperature changes	18

3. Instruments for spot measurements	20
--------------------------------------	----

3.1 Instruments not requiring calibration	22
3.1.1 Dew-point instruments	24
3.1.2 Psychrometer	26
3.1.2.1 Sling or whirling psychrometer	28
3.1.2.2 Mechanical psychrometer	30
3.1.2.3 Electrical psychrometer	32
3.1.2.4 Psychrometric conversion table	34
3.2 Instruments requiring calibration	36
3.2.1 Paper hygrometer	38
3.2.2 Hair hygrometer	40
3.2.3 Electronic hygrometer	42

4. Recording instruments	44
--------------------------	----

4.1 Hygograph	46
4.2 Thermo-hygograph	48
4.3 Registration chart	50
4.3.1 Climatic variations in sunny weather	52
4.3.2 Climatic variations in cloudy weather	54
4.3.3 Climatic variations inside a building and inside a showcase	56

5. Psychrometric or hygrometric chart	58
---------------------------------------	----

5.1 Use of chart	60
5.2 Causes of climatic variations inside a showcase	62

6. How to get to know the climate of a building	64
---	----

7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections	66
--	----

8. Conclusion	68
---------------	----

Annex 1 Exercises with answers	70
Annex 2 Glossary	74
Annex 3 Bibliography	74
Annex 4 A few addresses of manufacturers	76

● TABLE DES MATIERES

Introduction	3
--------------	---

Table des matières	5
--------------------	---

1. Sources d'humidité dans l'air	7
----------------------------------	---

2. Mesures de l'humidité	9
--------------------------	---

2.1 Saturation	11
2.2 Condensation	13
2.3 Humidité absolue	15
2.4 Humidité relative	17
2.5 Principe à suivre pour maintenir l'humidité relative stable quand la température change	19

3. Instruments de mesure ponctuelle	21
-------------------------------------	----

3.1 Instruments ne nécessitant pas d'étalonnage	23
3.1.1 Instruments mesurant le point de rosée	25
3.1.2 Psychromètre	27
3.1.2.1 Psychromètre à moulinet	29
3.1.2.2 Psychromètre à ventilation mécanique	31
3.1.2.3 Psychromètre à ventilation électrique	33
3.1.2.4 Table psychrométrique	35
3.2 Instruments nécessitant un étalonnage	37
3.2.1 Hygromètre à papier	39
3.2.2 Hygromètre à cheveux	41
3.2.3 Hygromètre électronique	43

4. Instruments enregistreurs	45
------------------------------	----

4.1 Hygrographe	47
4.2 Thermo-hygrographe	49
4.3 Feuille d'enregistrement	51
4.3.1 Variations climatiques par temps ensoleillé	53
4.3.2 Variations climatiques par temps couvert	55
4.3.3 Variations climatiques à l'intérieur d'un bâtiment et à l'intérieur d'une vitrine	57

5. Diagramme de l'air humide	59
------------------------------	----

5.1 Utilisation du diagramme	61
5.2 Causes de variation climatique dans une vitrine	63

6. Comment apprendre à connaître le climat dans un bâtiment	65
---	----

7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections	67
--	----

8. Conclusion	69
---------------	----

Annexe 1 Exercices	71
Annexe 2 Glossaire	75
Annexe 3 Bibliographie	75
Annexe 4 Adresses de fabricants	77

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

1.

● SOURCES OF HUMIDITY IN THE AIR

● NOTES

Water is found in three forms: solid (ice), liquid and vapour.

Liquid water will be shown by the symbol  and water vapour by the symbol 

We shall represent the passage of liquid water to water vapour like this:

   This is evaporation.

Evaporation always absorbs heat from the surrounding air.

We shall represent the opposite phenomenon like this:

   This is condensation.

In museums, water vapour comes principally from the following sources:

Outside:

- 1) rain
- 2) lakes, rivers, the sea
- 3) wet ground

Walls:

- 4) broken gutters and leaking pipes
- 5) capillarity (rising damp) from the ground into the walls

Inside:

- 6) the human body, breathing. (As an indication, a man at rest produces 50 g of water vapour per hour.)
- 7) wet mopping
- 8) condensation on cold surfaces

1. Sources de l'humidité dans l'air

2. Mesures de l'humidité

3. Instruments de mesure ponctuelle

4. Instruments enregistreurs

5. Diagramme de l'air humide

6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment

7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections

8. Conclusion

1.

● SOURCES D'HUMIDITE DANS L'AIR

L'eau se rencontre sous trois formes: eau solide (glace), eau liquide et vapeur d'eau.

Nous symbolisons l'eau liquide ainsi: ●
et la vapeur d'eau ainsi: ●➔

Représentons le passage de l'eau liquide en vapeur d'eau ainsi:

● ➔ ●➔ C'est l'évaporation.

L'évaporation absorbe toujours de la chaleur de l'atmosphère environnante.

Représentons le passage inverse ainsi:

●➔ ➔ ● C'est la condensation.

Dans le cas des musées, la vapeur d'eau provient essentiellement des sources suivantes:

de l'extérieur:

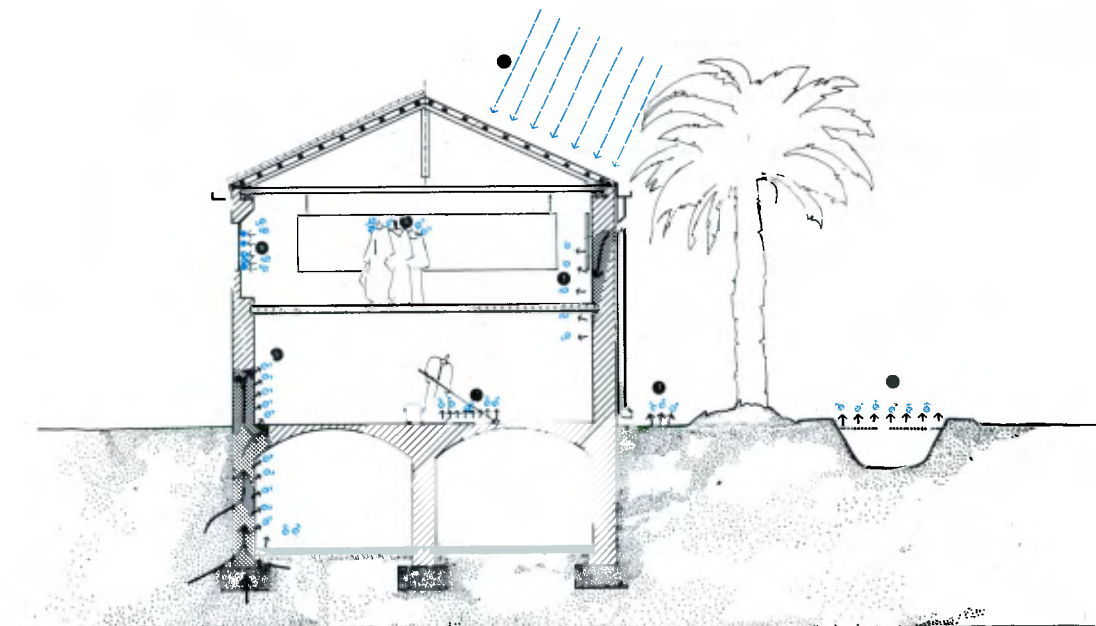
- 1) la pluie
- 2) les lacs, les rivières, la mer
- 3) les terrains humides

des murs:

- 4) les gouttières et les tuyaux percés
- 5) la capillarité faisant monter l'humidité du sol dans les murs

de l'intérieur:

- 6) le corps humain, la respiration (à titre indicatif, un homme au repos produit environ 50 grammes de vapeur d'eau par heure)
- 7) le nettoyage
- 8) la condensation sur les parois froides.



-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

2.

● MEASURING HUMIDITY IN THE AIR

● NOTES

We use the following terms frequently:

- dry air
- humid air
- very humid air

but these terms are entirely subjective.

Only an accurate measurement of the water vapour content in the air will enable us to work properly.

Before discussing the measurement of water vapour content in the air, however, one must explain:

- the phenomenon of saturation (see 2.1)
- and the phenomenon of condensation (see 2.2).

Once these two physical phenomena are understood, it will then be easy to describe the two ways of measuring water vapour content in the air, which are:

- absolute humidity, abbreviated to A.H. (see 2.3)
- relative humidity, abbreviated to R.H. (see 2.4).

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

2.

● MESURES DE L'HUMIDITE DE L'AIR

Nous employons quotidiennement les termes:

- air sec
- air humide
- air très humide.

Mais ces termes sont tout à fait subjectifs.

Seule une mesure précise de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air nous permettra par la suite d'agir efficacement.

Mais avant de pouvoir mesurer la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air, expliquons le phénomène de saturation (fiche 2.1).

et le phénomène de condensation (fiche 2.2).

Une fois ces deux phénomènes physiques assimilés, il sera facile d'expliquer les 2 façons de mesurer la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air, qui sont:

- l'humidité absolue, en abrégé H.A. (fiche 2.3)
- l'humidité relative, en abrégé H.R. (fiche 2.4)



1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

2.1.

● SATURATION (S)

Water is contained in the air in vapour form. The warmer the air, the more water vapour it can contain.

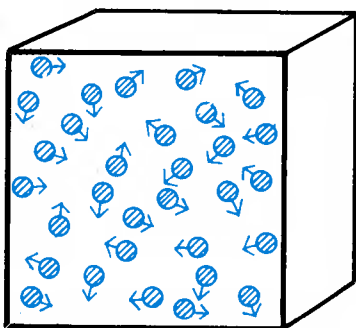
SATURATION - S - is the maximum quantity of water vapour any given volume of air can contain at any given temperature. This is usually given in grams of water vapour per cubic metre of air.

Imagine a showcase one cubic metre in size. This cubic metre of air can contain at:

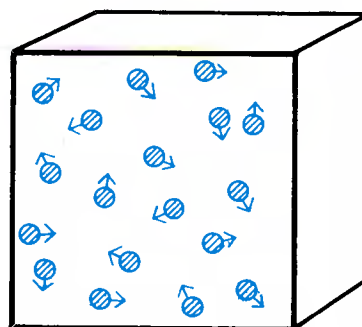
- 30°C a maximum of 31 grams of water vapour (value rounded off to the higher figure (1))
- 20°C a maximum of 18 grams of water vapour
- 10°C a maximum of 10 grams of water vapour
- 5°C a maximum of 7 grams of water vapour

This may be represented as given below.

30°C



20°C



The following symbols have been used in the diagrams:

- 1 gram of liquid water
- ⊙ 1 gram of water vapour
- 1 gram of water vapour which could be contained in the air if it were saturated.

(1) The exact saturation values are as follows:

Temperature	5°	10°	20°	30°
Saturation in g/m ³	7.61	9.32	17.11	30.03

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

2.1.

● SATURATION (S)

L'eau est contenue dans l'air sous forme de vapeur d'eau.

Plus l'air est chaud, plus il peut contenir de vapeur d'eau.

LA SATURATION (S) - est la quantité maximale de vapeur d'eau qu'un volume d'air peut contenir à une certaine température. Elle s'exprime généralement en grammes de vapeur d'eau par mètre cube d'air.

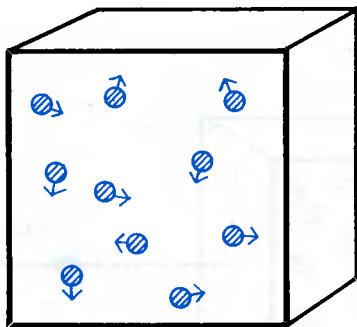
Imaginons une vitrine d'un mètre cube.

Ce mètre cube d'air peut contenir à :

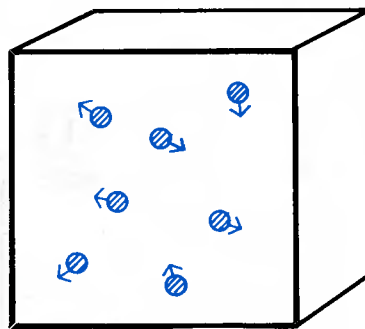
- 30°C un maximum de 31 grammes de vapeur d'eau (valeur arrondie au chiffre supérieur) (1).
- 20°C un maximum de 18 grammes de vapeur d'eau
- 10°C un maximum de 10 grammes de vapeur d'eau
- 5°C un maximum de 7 grammes de vapeur d'eau

Représentons ceci ainsi :

10°C



5°C



Sur les schémas nous avons pris les symboles suivants :

- 1 gramme d'eau liquide
- 1 gramme d'eau vapeur
- 1 gramme de vapeur d'eau qui pourrait être présent si l'air était saturé.

(1) Voici les valeurs exactes de la saturation :

Température	5°	10°	20°	30°
Saturation en g/m³	7,61	9,32	17,11	30,03

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

2.2.

● CONDENSATION (C)

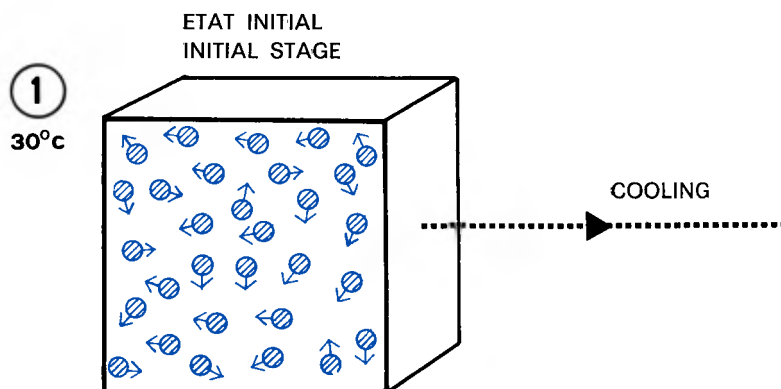
● NOTES

Condensation is the change of gas or vapour to a liquid state.

In the case of water, condensation appears as tiny drops (dew) or as a wet film on the coldest surfaces.

Condensation begins when a saturated volume of air is cooled.

Example: If a cubic metre of air saturated at 30°C is cooled to 20°C, 13 grams of liquid water (31 g - 18 g = 13 g) will appear. In fact, droplets will form as soon as the temperature goes below 30°C. The colder the air becomes, the more drops will appear.



A 30°C SATURATION = 31 g/m³ de vapeur d'eau.

AT 30°C SATURATION = 31 g/m³ of water vapour

Note: Condensation is a serious danger to collections because condensed water can penetrate an object by capillarity and carry chemicals, polluting agents and micro-organisms deep inside.

1. Sources de l'humidité dans l'air

2. Mesures de l'humidité

3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

2.2.

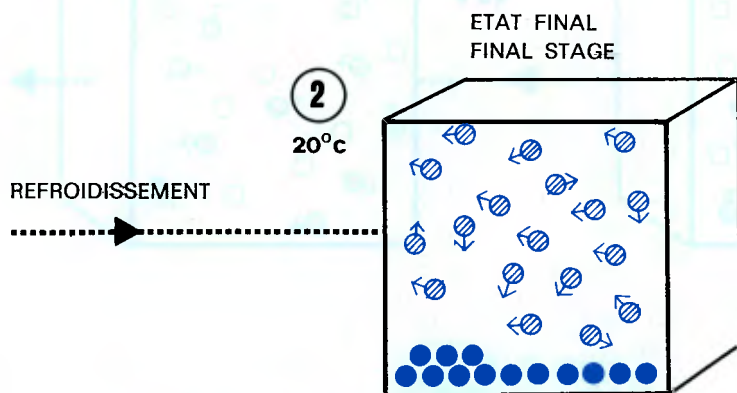
● CONDENSATION (C)

La condensation est le phénomène de passage d'un corps de l'état vapeur à l'état liquide.

Dans le cas de l'eau, la condensation se manifeste par l'apparition de gouttelettes d'eau (rosée) ou par la présence d'une couche légère d'eau. Cette condensation commence toujours sur les surfaces les plus froides.

La condensation commence au moment où l'air saturé est refroidi.

Exemple: Si la température d'un mètre cube d'air saturé à 30°C s'abaisse à 20°C, 13 grammes d'eau liquide apparaîtront. En fait dès que la température sera inférieure à 30°C, des gouttelettes d'eau se formeront. Plus l'air se refroidira, et plus de vapeur d'eau condensée apparaîtra.



A 20°C SATURATION = 18 g/m³ de vapeur d'eau
+ CONDENSATION = 13 g/m³ d'eau liquide

AT 20°C SATURATION = 18 g/m³ of water vapour
+ CONDENSATION = 13 g/m³ of liquid water

Note: La condensation présente de graves dangers pour les collections car l'eau condensée pourra pénétrer profondément par capillarité à l'intérieur d'un objet et y

transporter des produits chimiques, des agents polluants ou des micro-organismes.

1. Sources of humidity in the air

2. Measuring humidity

3. Instruments for spot measurements

4. Recording instruments

5. Psychrometric or hygrometric chart

6. How to get to know the climate of a building

7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections

8. Conclusion

2.3.

● ABSOLUTE HUMIDITY (A.H.)

Air does not always hold the maximum amount of water vapour it could contain.

This means that air is not always saturated.

Absolute humidity (A.H.) is the weight of water vapour actually contained in a given volume of air at a certain temperature. It is expressed in grams of water per cubic metre of air.

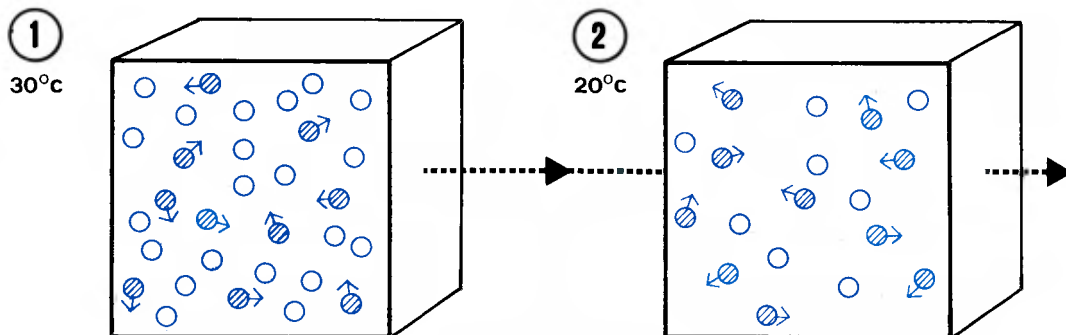
Example: If a 1 m³ showcase at 30°C contains 10 grams of water vapour and is

cooled to 20°C, it will contain 10 grams of water vapour

cooled to 10°C, it will contain 10 grams of water vapour

cooled to 5°C, it will contain 7 grams of water vapour + 3 grams of condensed water.

This may be represented as given below.



$$\text{H.A.} = 10 \text{ g/m}^3$$

$$\text{A.H.} = 10 \text{ g/m}^3$$

$$\text{H.A.} = 10 \text{ g/m}^3$$

$$\text{A.H.} = 10 \text{ g/m}^3$$

The measurement of absolute humidity does not show whether the air is at saturation, whether it can absorb still more water, or how much it

can still absorb. Thus it is fundamental to consider the relation of absolute humidity to saturation. This relation depends on temperature.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

2.3.

● HUMIDITE ABSOLUE (H.A.)

L'air ne contient pas toujours la quantité maximale de vapeur d'eau. Il n'est donc pas toujours saturé.

L'humidité absolue (H.A.) est le poids de vapeur d'eau contenu dans un volume d'air donné à une température donnée. Elle est exprimée en grammes d'eau par mètre cube d'air.

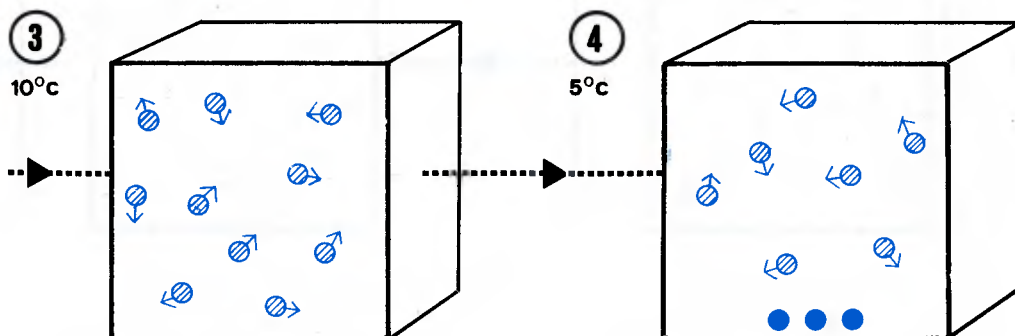
Exemple: Si une vitrine d'un mètre cube à 30°C contient 10 grammes de vapeur d'eau,

refroidie à 20°C elle contiendra 10 grammes de vapeur d'eau

refroidie à 10°C elle contiendra 10 grammes de vapeur d'eau

refroidie à 5°C elle contiendra 7 grammes de vapeur d'eau + 3 grammes d'eau condensée.

Représentons ainsi ce processus:



H.A. = 10 g/m³ Ici nous sommes à SATURATION

A.H. = 10 g/m³ Here we have SATURATION

H.A. = 7 g/m³ Ici nous avons SATURATION + CONDENSATION

A.H. = 7 g/m³ Here we have SATURATION + CONDENSATION

La mesure de l'humidité absolue n'indique pas si l'air est saturé, s'il peut absorber encore de la vapeur d'eau et combien. Aussi il convient d'étu-

dier pour un volume donné le rapport de l'humidité absolue à la saturation, rapport qui est en relation avec la température.

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

2.4.

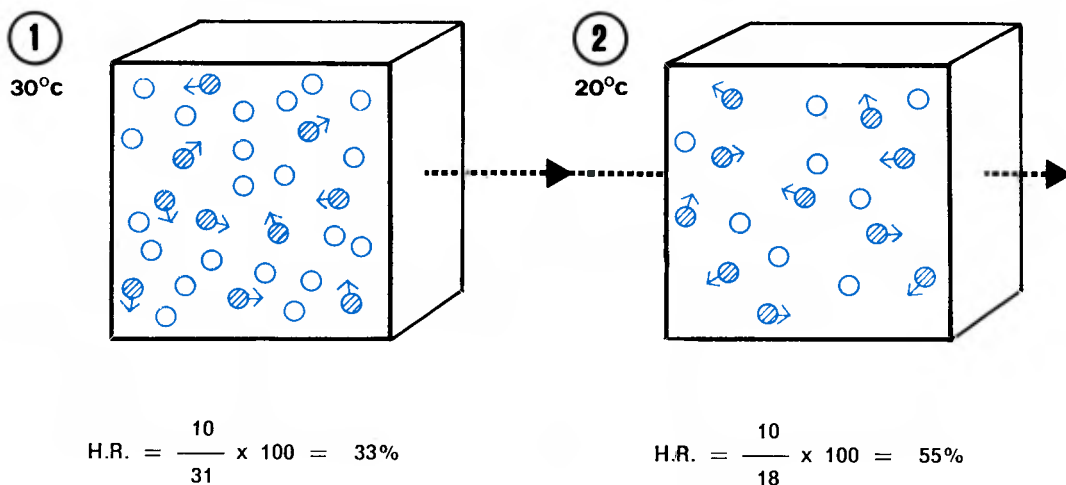
RELATIVE HUMIDITY (R.H.)

Relative humidity in a given volume of air is the ratio of absolute humidity to saturation at the same temperature.

$$\text{R.H.} = \frac{\text{A.H.}}{S} \times 100 \quad (\text{or}) \quad \frac{\text{Actual}}{\text{Possible}} \times 100$$

Relative humidity is expressed as a percentage and therefore varies from 0% to 100%.

Let us take the previous examples and represent them below.



Here you see that, although the absolute humidity is the same at 30°C, 20°C and 10°C, the relative humidity differs (because the saturation value is different).

Therefore in a closed showcase, if the quantity of water vapour contained in the air does not change:

- when the temperature increases, the relative humidity decreases;
- when the temperature decreases, the relative humidity increases (1).

Measurement of relative humidity is fundamental to conservation because it shows to what extent the air can still absorb water vapour and therefore dry or dampen the objects it surrounds.

(see exercise n. 1)

(1) During the course of a day, relative humidity will decrease if a showcase is heated by a spotlight or by the sun.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

2.4.

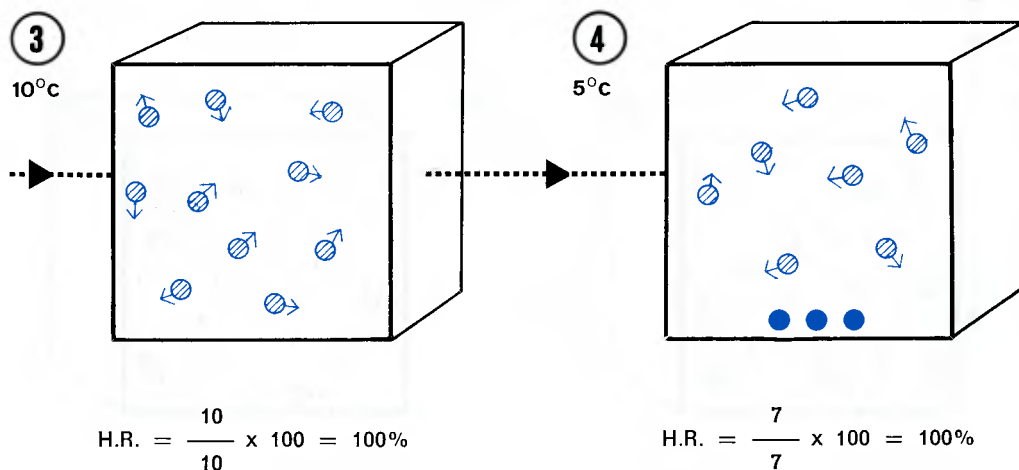
● HUMIDITE RELATIVE (H.R.)

L'humidité relative de l'air est le rapport en pourcentage entre la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air (H.A.) et celle qui s'y trouverait si, à la même température, l'air était saturé.

$$H.R. = \frac{H.A.}{S} \times 100 \quad (\text{ou}) \quad \frac{\text{Existant}}{\text{Maximum possible}} \times 100$$

L'humidité relative s'exprime en % et varie donc de 0% à 100%.

Reprenons les exemples précédents:



Nous voyons qu'à 30°C, 20°C et 10°C, si l'humidité absolue est identique, l'humidité relative est différente.

Ainsi dans une vitrine fermée, si la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air ne varie pas:

- quand la température augmente, l'humidité relative diminue
- quand la température diminue, l'humidité relative augmente(1).

La mesure de l'humidité relative est fondamentale pour la conservation car elle nous indique que l'air est plus ou moins capable d'absorber encore de la vapeur d'eau et de ce fait d'assécher ou d'humidifier les objets qui sont à son contact.

(voir exercice n. 1)

(1) Au cours d'une journée, si une vitrine est chauffée par un « spot » ou par le soleil, l'humidité relative diminuera.

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

2.5

● HOW TO MAINTAIN RELATIVE HUMIDITY STABLE WHEN THE TEMPERATURE CHANGES

We have seen that 35% relative humidity means that the water vapour content in the air is 35% of what it could contain if it were saturated at the same temperature. This also means that the air can contain a further 65% of water vapour.

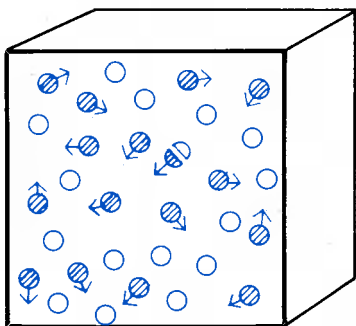
Let us see what the quantity of water vapour is in:

- a showcase at $t = 5^{\circ}\text{C}$ with R.H. = 50%
- a showcase at $t = 10^{\circ}\text{C}$ with R.H. = 50%
- a showcase at $t = 20^{\circ}\text{C}$ with R.H. = 50%
- a showcase at $t = 30^{\circ}\text{C}$ with R.H. = 50%

In these 4 cases the R.H. being 50%, the water vapour content in the air is half of what it could be at saturation.

We therefore have the following conditions: which are shown below.

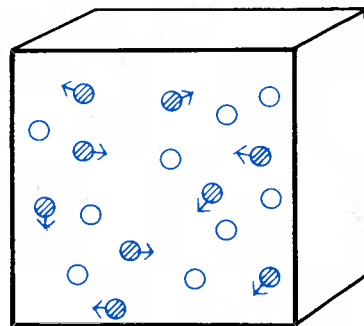
30°C



H.R. = 50%

H.A. = $15,5 \text{ g/m}^3$

20°C



H.R. = 50%

H.A. = 9 g/m^3

We see that the absolute humidity is different in each of these 4 cases whereas the relative humidity remains constant.

From this we may deduce that to keep the R.H. constant in any closed volume (showcase, room, storeroom), it is necessary:

- to add water vapour when the temperature rises, which is what one does in winter by placing a water container on the radiator. However, there are better methods.
- to remove water vapour when the temperature drops (otherwise there will be condensation).

(see exercise n. 2)

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

2.5.

● PRINCIPE A SUIVRE POUR MAINTENIR L'HUMIDITE RELATIVE STABLE QUAND LA TEMPERATURE CHANGE

Nous avons vu que si l'humidité relative est de 35%, cela signifie que l'air contient 35% de vapeur d'eau par rapport à ce qu'il pourrait contenir s'il était saturé à cette même température. Cela signifie aussi que l'air peut contenir 65% de plus de vapeur d'eau.

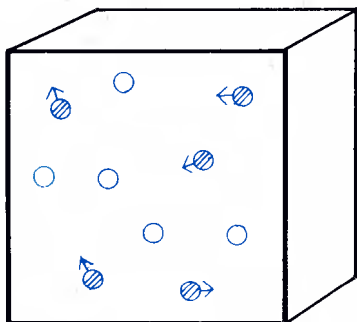
Essayons donc de voir quelle quantité de vapeur d'eau est contenue dans

une vitrine à $t = 5^{\circ}\text{C}$ et dont l'H.R. = 50%
 une vitrine à $t = 10^{\circ}\text{C}$ et dont l'H.R. = 50%
 une vitrine à $t = 20^{\circ}\text{C}$ et dont l'H.R. = 50%
 une vitrine à $t = 30^{\circ}\text{C}$ et dont l'H.R. = 50%

Dans ces quatre cas, l'H.R. étant de 50%, l'air contient la moitié de vapeur d'eau de ce qu'il contiendrait à saturation.

Nous sommes donc dans les conditions suivantes:

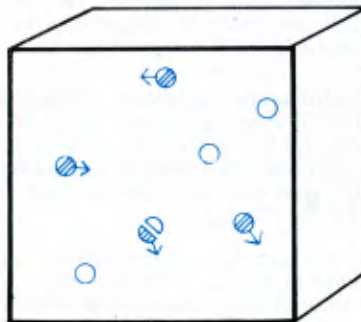
10°C



H.R. = 50%

H.A. = 5 g/m^3

5°C



H.R. = 50%

H.A. = $3,5 \text{ g/m}^3$

Nous voyons que dans les quatre cas l'humidité absolue est différente alors que l'humidité relative est constante.

Nous pouvons en conclure que dans un volume clos (vitrine, salle, réserve) pour **maintenir l'H.R. constante**,

— quand la température augmente, il faut ajouter de la vapeur d'eau, ce qui se fait géné-

ralement en hiver en mettant un récipient d'eau sur un radiateur; mais il y a de meilleurs systèmes.

— quand la température décroît, il faut enlever de la vapeur d'eau (sinon il y aura de la condensation).

(voir exercice n. 2)

-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

3.

● INSTRUMENTS FOR SPOT MEASUREMENTS

● NOTES

Contrary to what is generally believed, good conservation of collections depends, in the majority of cases, on relative humidity rather than on temperature.

In order to measure relative humidity, two types of instruments are used.

- 3.1 **Instruments not requiring calibration.** These are essential instruments, but do not give an immediate relative humidity reading. They must be used together with a conversion chart to find the relative humidity. The user must be taught how to use these instruments (3.1.1, 3.1.2).
- 3.2 **Instruments requiring calibration.** These instruments immediately indicate the relative humidity on a dial. Anyone can read them, but they **must be calibrated** regularly by someone who knows how they work (3.2.1, 3.2.2, 3.2.3).

Both very simple and extremely sophisticated instruments are available in each category. We have intentionally dealt only with the basic, less expensive varieties, which are quite adequate for average museum requirements.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

3.

● INSTRUMENTS DE MESURE PONCTUELLE

Contrairement à une idée généralement admise, ce n'est pas la température, mais dans la plupart des cas, l'humidité relative qui conditionne la bonne conservation des collections. Pour mesurer cette humidité relative nous utilisons deux sortes d'instruments:

- 3.1. **Des instruments ne nécessitant pas d'étalonnage.** Ce sont des appareils essentiels ne donnant pas une lecture directe de l'humidité relative. Pour trouver l'humidité relative, ils doivent être utilisés avec une table de conversion. L'utilisateur doit être initié au fonctionnement de ces appareils (fiches 3.1.1, 3.1.2).

- 3.2. **Des instruments nécessitant un étalonnage.** Ces appareils indiquent directement l'humidité relative sur un cadran. Ils peuvent être lus par n'importe qui, mais ils **doivent être réétalonnés** régulièrement par une personne initiée au fonctionnement de ces appareils (fiches 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3).

Sous ces deux catégories se trouvent sur le marché des appareils simples et d'autres plus complexes. Nous nous en tiendrons volontairement dans ce volume à la description des plus simples et des moins onéreux, qui sont mieux adaptés aux besoins de la plupart des musées.

-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

3.1.

● INSTRUMENTS NOT REQUIRING CALIBRATION

These are essential because they are needed to check the working order of other commonly used instruments which require calibration.

These instruments should be handled with the utmost care.

Relative humidity is measured from:

- the temperature at which condensation occurs within a dew-point instrument (3.1.1)
- the cooling by evaporation of water within a psychrometer (3.1.2.1 - 4).

In museums, psychrometers are generally used because they are less delicate to handle.

Every museum should have at least one psychrometer, which should be kept by the curator or in the technical office when not in use.

● NOTES

-
1. Sources de l'humidité dans l'air
 2. Mesures de l'humidité
 3. Instruments de mesure ponctuelle
 4. Instruments enregistreurs
 5. Diagramme de l'air humide
 6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
 7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
 8. Conclusion
-

3.1.

● INSTRUMENTS NE NECESSITANT PAS D'ETALONNAGE

Ce sont des instruments essentiels. Ils sont indispensables pour vérifier le bon fonctionnement des instruments généralement utilisés qui, eux, nécessitent d'être étalonnés.

Ces instruments doivent être manipulés avec beaucoup de soin.

L'humidité relative est mesurée à partir:

- de la température de condensation dans les appareils mesurant le point de rosée (fiche 3.1.1)
- du refroidissement par évaporation d'eau dans les psychromètres (fiches 3.1.2.1 - 4).

Dans les musées le psychromètre est généralement employé car il est d'un emploi moins délicat.

Chaque musée doit posséder au moins un psychromètre qui, lorsqu'il ne sera pas employé, sera gardé chez le conservateur ou au bureau technique.

● NOTES

-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

3.1.1.

● DEW-POINT INSTRUMENTS

● NOTES

Method:

This type of instrument consists of a mirror surface whose temperature can be measured precisely. This mirror is cooled at a controlled rate by evaporating ether. When a certain temperature is reached, condensation slowly begins and dew forms on the mirror surface. This temperature is called the «dew-point» and indicates that the air has reached saturation (see 2.2).

If one knows the room temperature and the dew-point, one can determine the relative humidity of the room with the aid of conversion chart 5.

Advantages:

- very accurate measurement
- does not need an airflow
- can be used to find the R.H. of any small volume of air or of a volume of air in which the climate differs from that of the rest of the room (a small showcase, a corner of the storeroom, the space between the wall and the back of a picture)
- does not need calibration.

Disadvantages:

- rather difficult to handle
- requires a chart to find the R.H. level
- more suitable for a laboratory than a museum.

Cost:

from \$200 to 3,000.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

3.1.1.

● INSTRUMENT MESURANT LE POINT DE ROSEE

Méthode:

Ce type d'instrument consiste en un miroir, dont la température est mesurée avec précision. Ce miroir est régulièrement refroidi par de l'éther qui s'évapore. Quand une certaine température sera atteinte, la condensation commencera lentement et le miroir se troublera. Cette température est appelée « point de rosée » et indique que l'air est saturé (fiche 2.2).

Connaissant la température de la pièce et le point de rosée, nous pourrons au moyen du diagramme de la fiche 5, déterminer l'humidité relative de la pièce.

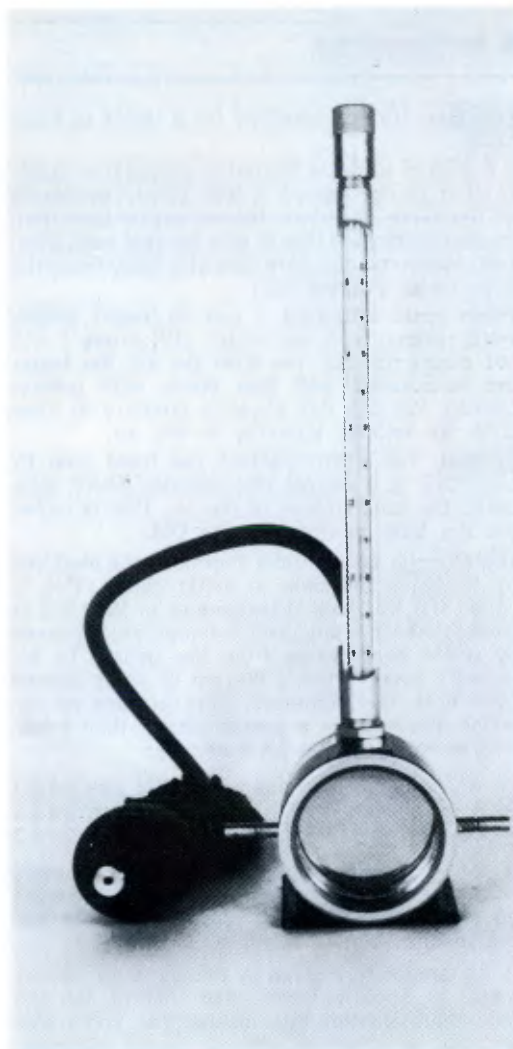
Avantages:

- mesure très précise
- ne nécessite pas de courant d'air
- peut être utilisé pour trouver l'H.R. d'un petit espace ou dans un volume dans lequel le climat est divers de celui de l'ensemble de la pièce (petite vitrine, angle d'une réserve, volume compris entre le mur et l'arrière d'un tableau)
- ne nécessite pas d'étalonnage

Inconvénients:

- assez difficile à manipuler
- nécessite un diagramme pour trouver la valeur de l'humidité relative
- plus approprié pour un usage de laboratoire que pour un musée.

Coût: de 200 à 3.000 \$.



1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

3.1.2.

● PSYCHROMETER

Principle: Heat is required for a liquid to evaporate.

If a drop of water is heated, it evaporates quickly. If it is not heated it will slowly evaporate all the same, absorbing the necessary heat from its surroundings. (This is why we feel cold when wet. Water on the skin absorbs heat from the body while evaporating.)

When air is saturated, it can no longer absorb water vapour and any water still present will not evaporate. But, **the drier the air, the faster the evaporation will take place, with greater cooling.** We use this physical property to measure the relative humidity of the air.

Method: Two thermometers are fixed side by side. One is a normal thermometer which measures the temperature of the air. This is called the dry bulb thermometer or **Dbt**.

The other is an identical thermometer modified by wrapping the bulb in moist gauze. This is called the wet bulb thermometer or **Wbt** and is used to measure any drop in temperature caused by water evaporating from the gauze. To accelerate evaporation, a current of air is passed over both thermometers. This current of air, which should have a speed greater than 4 metres/second, can be produced by:

- whirling the instrument by hand see 3.1.2.1
- a mechanical fan see 3.1.2.2
- an electric fan see 3.1.2.3

If the dry bulb and wet bulb thermometers both give the same temperature (which means no evaporation is taking place) the air is saturated and relative humidity = 100%.

If the temperature given by the wet bulb thermometer is slightly lower than that of the dry bulb thermometer, this means that some evaporation is occurring, the air is not saturated and relative humidity is slightly below 100%.

If the temperature shown by the wet bulb thermometer is well below that of the dry bulb thermometer, this means a lot of evaporation is taking place, i.e. the air is dry and relative

humidity is very low. In fact, the greater the difference between the **Wbt** and the **Dbt**, the lower the relative humidity.

Advantages:

- fairly accurate measurement
- easy to carry and handle
- does not require calibration.

Disadvantages:

- requires distilled water
- requires a chart to find the relative humidity level (3.1.2.4)
- must be kept extremely clean and the gauze changed fairly often to maintain accuracy.
- an error of 1°C in temperature readings means an error of 5%-10% in the evaluation of R.H.

Cost:

from \$20 to 450.

Note: The psychrometer shown on the opposite page is a meteorological instrument that is not satisfactory for use in the stagnant air of a museum.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

3.1.2.

● PSYCHROMETRE

Principe: La chaleur est nécessaire à l'évaporation d'un liquide.

Si une goutte d'eau est chauffée, elle s'évapore rapidement. Si elle n'est pas chauffée, elle s'évapore malgré tout lentement, absorbant de son environnement, la chaleur nécessaire. (C'est pour cette raison que nous ressentons le froid quand nous sommes mouillés. L'eau, quand elle est sur la peau, absorbe de la chaleur du corps pour s'évaporer).

Quand l'air est saturé, il ne peut plus absorber de vapeur d'eau et une goutte d'eau ne s'évaporerait pas. Mais, **plus l'air est sec, plus l'évaporation sera rapide** et plus il y aura un refroidissement.

Nous utilisons cette propriété physique pour mesurer l'humidité relative de l'air.

Méthode: Deux thermomètres sont fixés côte à côte. Le premier est un thermomètre usuel qui mesure la température de l'air. Il est appelé thermomètre à bulbe sec, ou **Tbs**. Le second est un thermomètre usuel modifié en ce qu'une gaze humide enveloppe le bulbe. Il est appelé thermomètre à bulbe humide, ou **Tbh** et est utilisé pour mesurer toute baisse de température causée par l'évaporation de l'eau de la gaze. Pour accélérer l'évaporation, un courant d'air est provoqué sur les deux thermomètres. Ce courant d'air dont la vitesse doit être supérieure à 4 mètres/seconde peut être produit par:

- l'agitation manuelle de l'instrument (fiche 3.1.2.1)
- la ventilation mécanique (fiche 3.1.2.2)
- la ventilation électrique (fiche 3.1.2.3)

Si les thermomètres à bulbe sec et à bulbe humide indiquent la même température (ce qui veut dire qu'il n'y a pas eu d'évaporation), l'atmosphère est saturée et l'humidité relative = 100%.

Si la température indiquée par le thermomètre à bulbe humide est légèrement plus basse que celle donnée par celui à bulbe sec, cela signifie qu'il y a eu un peu d'évaporation, l'atmosphère n'est pas saturée, et l'humidité relative est légèrement inférieure à 100%.

Si la température indiquée par le thermomètre à bulbe humide est nettement inférieure à celle indiquée par le thermomètre à bulbe sec, cela signifie qu'il y a eu beaucoup d'évaporation, l'atmosphère est très sèche et l'humidité relative est très basse. En fait, plus la différence entre la Tbs et le Tbh est grande, plus l'humidité relative est basse.

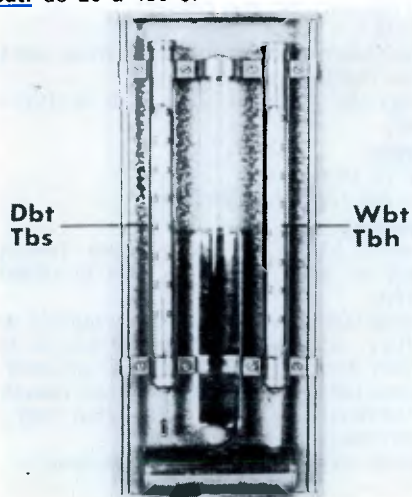
Avantages:

- mesure assez précise
- facile à transporter et à manipuler
- ne nécessite pas d'étalonnage

Inconvénients:

- nécessite de l'eau distillée
- nécessite une table de conversion pour trouver la valeur de l'humidité relative (fiche 3.1.2.4)
- doit être maintenu très propre et la gaze changée assez souvent pour obtenir une bonne précision
- toute erreur de lecture de 1°C entraînera une erreur d'évaluation d'H.R. de 5% à 10%.

Coût: de 20 à 450 \$.



Le psychromètre représenté ci-dessus est utilisé en météorologie. Dans un musée, en l'absence de circulation d'air, il est inadéquat.

-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

3.1.2.1.

● SLING OR WHIRLING PSYCHROMETER

● NOTES

This is an essential instrument for a museum curator.

It is made up of two thermometers placed side by side, one with a dry bulb and the other with a wet bulb. Air is moved past the bulbs by whirling the instrument.

Directions for use:

- Moisten the gauze around the wet bulb with distilled water using a fine brush or a squeeze bottle. (Normal water would soon leave encrustations which would lead to errors of measurement.)
- Whirl the instrument as if it were a rattle, as far away from the body as possible, at about 3/4 revolutions per second for about 30 to 40 seconds.
- Take the Wbt reading immediately and then that of the Dbt.
- Repeat the operation.
- If the second Dbt and Wbt readings are the same as the first, use them to find the relative humidity on the conversion chart (3.1.2.4).
- If not, begin again until two similar consecutive readings are obtained.
- Change the gauze as soon as it is dirty or greasy.

Advantages:

- easy to carry
- does not require calibration.

Disadvantages:

- an error of 1°C in temperature readings means an error of 5% to 10% in relative humidity
- the readings must be taken very quickly and carefully, otherwise the presence of the operator near the bulb introduces an error
- requires practice. An inexperienced operator will generally obtain a R.H. value that is higher than the actual value.
- requires room to whirl the instrument.

Cost:

\$20 to 100.

Sold at:

Any shop specialising in precision instruments.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

3.1.2.1.

● PSYCHROMETRE A MOULINET

C'est un instrument essentiel pour un conservateur de musée

Il se compose de deux thermomètres fixés côte à côte; un à bulbe humide et un à bulbe sec. L'air est mis en contact avec les bulbes en faisant tourner l'ensemble de l'instrument.

Mode d'emploi:

- L'opérateur humecte toute la gaze entourant le bulbe humide avec de l'eau distillée au moyen d'un pinceau ou d'une pissette. (L'eau normale laisserait rapidement un dépôt de substance solide qui entraînerait des erreurs de mesure).
- Il actionne l'instrument comme une crécelle en le tenant aussi éloigné que possible du corps, à environ 3/4 tours par seconde durant 30 à 40 secondes.
- Il fait immédiatement la lecture de Tbh d'abord et ensuite fait la lecture de Tbs.
- Il recommence l'opération.
- Si la seconde lecture de Tbh et Tbs est identique à la première, elle sera utilisée pour trouver la valeur de H.R. au moyen de la table de conversion (fiche 3.1.2.4).

- Si non, l'opérateur recommencera jusqu'à ce que 2 lectures consécutives correspondent.
- La gaze doit être changée lorsqu'elle est sale ou grasseuse.

Avantages:

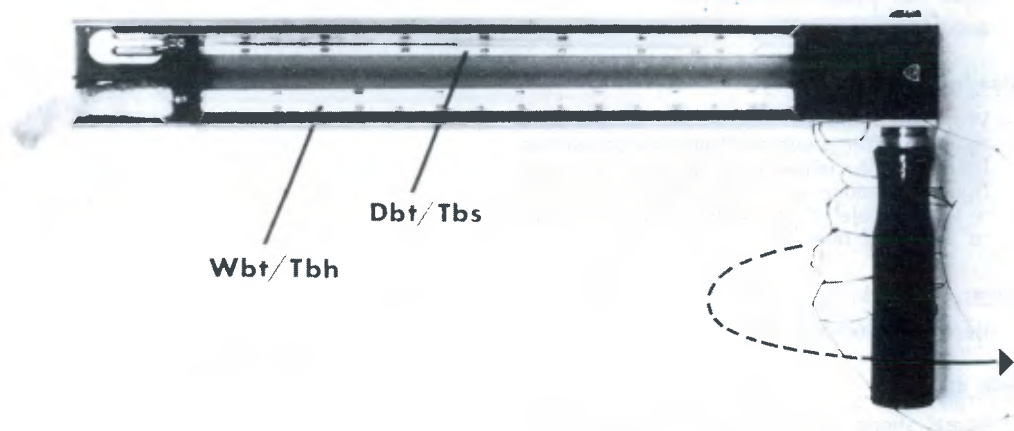
- facile à transporter
- ne nécessite pas d'étalonnage

Inconvénients:

- une erreur d'1°C dans la lecture de la température entraînera une erreur de 5 à 10% dans l'évaluation d'H.R.
- les lectures doivent être faites très rapidement car la présence de l'opérateur provoque une élévation de température et donc une erreur.
- nécessite une très bonne pratique car autrement on obtient généralement une valeur d'H.R. supérieure à la valeur réelle.
- nécessite de l'espace pour permettre le mouvement de crécelle.

Prix: de 20 à 100 \$.

Vendeur: Tout magasin spécialisé en instruments de précision.



-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

3.1.2.2.

● PSYCHROMETER WITH MECHANICAL FAN

● NOTES

This instrument is an improved version of the whirling psychrometer.

With this type of psychrometer — also called an ASSMAN — the air is sucked in by a fan driven by clockwork. The winding knob is on top of the instrument.

The thermometer bulbs are fitted into polished metal tubes (A & B) to shield them from radiant heat given out by the operator or other sources.

Directions for use:

Moisten the gauze around the wet bulb with distilled water using a fine brush or squeeze bottle.

Set the mechanical fan in motion.

Take the readings when the temperature of the wet bulb remains stable and use the Dbt and Wbt readings to find the relative humidity level on the conversion chart (see 3.1.2.4).

Advantages:

- easy to carry
- does not require calibration
- accuracy.

Disadvantages:

- With this type of instrument, temperature readings often prove difficult without a strong light, as the temperature is given in small figures (choose a longer instrument with a large scale if possible). This can lead to errors of over 10%.

Price:

Between \$200 and 450.

Sold at:

Some shops selling precision instruments.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

3.1.2.2.

● PSYCHROMETRE A VENTILATION MECANIQUE

Cet appareil est un perfectionnement d'un psychromètre à moulinet.

Avec ce type de psychromètre — appelé ASSMAN — l'air est aspiré par un ventilateur actionné mécaniquement par un mouvement à ressort. Le remontoir se trouve dans la partie supérieure de l'instrument.

Les bulbes sont montés dans des tubes en métal poli (A et B), afin de les protéger de la chaleur radiante provenant de l'opérateur ou d'autres sources.

Mode d'emploi:

- L'opérateur humecte toute la gaze entourant le bulbe humide avec de l'eau distillée au moyen d'un pinceau ou d'une pissette.
- Il met en marche le ventilateur mécanique.
- Il fait la lecture quand la température du thermomètre à bulbe humide est stabilisée, et utilise les lectures de Tbs et Tbh pour trouver la valeur de H.R. au moyen de la table de conversion (fiche 3.1.2.4).

Avantages:

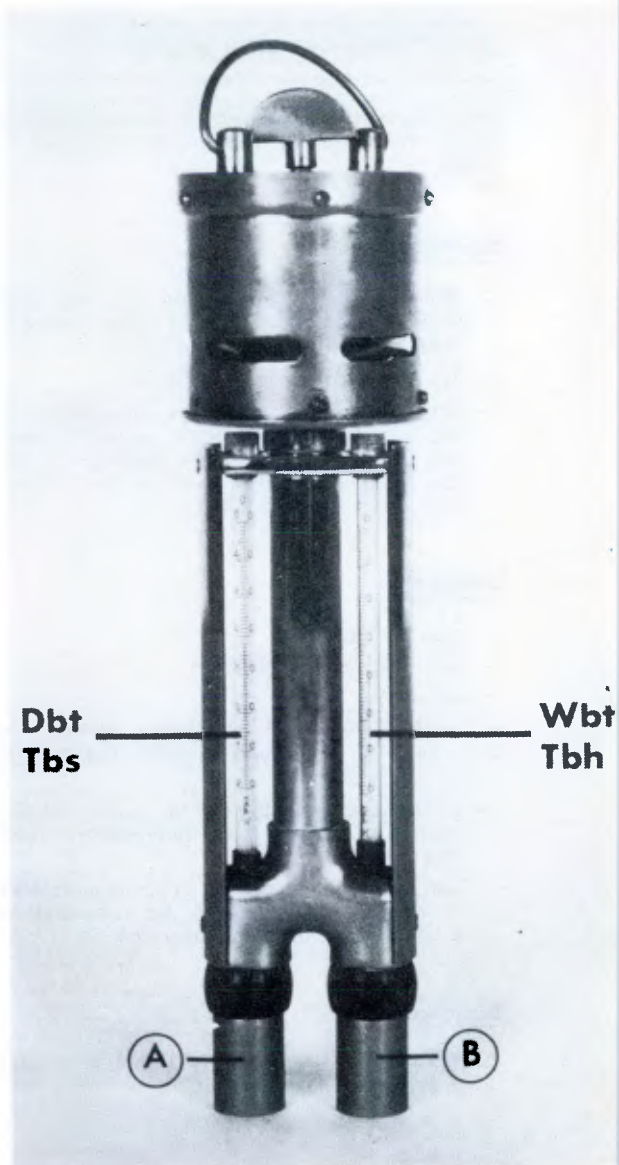
- facile à transporter
- ne nécessite pas d'étalonnage
- bonne fiabilité

Inconvénients:

- sur ce type d'instrument la lecture des températures est souvent difficile sans éclairage puissant, car les indications des températures sont en trop petits caractères (choisir de préférence l'instrument le plus grand avec une grande échelle). Cela peut entraîner des erreurs supérieures à 10%.

Prix: de 200 à 450 \$.

Vendeur: Certains magasins d'instruments de précision.



-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

3.1.2.3.

● PSYCHROMETER WITH ELECTRIC FAN

● NOTES

With this type of psychrometer, the air is sucked in by a fan driven by a battery-powered electric motor

Directions for use:

- Moisten the gauze around the wet bulb thermometer with distilled water using a squeeze bottle or a clean brush.
- Set the electric fan in motion.
- Take the reading when the temperature of the wet bulb thermometer remains stable, and use the Dbt and Wbt readings to find the relative humidity level on the conversion chart (see 3.1.2.4).

Advantages:

- easy to carry
- does not need calibration
- accuracy
- water container is sometimes incorporated
- a lamp is sometimes incorporated for use in dark areas
- some have a slide-rule for easily finding relative humidity from temperature readings
- Can be modified to draw in air at a distance so relative humidity may be measured at a point away from the operator.

Disadvantages:

- Batteries wear out quickly. Use special ones (manganese-alkaline).

Price: \$200.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments for spot measurements
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

3.1.2.3.

● PSYCHROMETRE A VENTILATION ELECTRIQUE

Sur ce type de psychromètre, l'air est aspiré par un ventilateur actionné par un moteur électrique alimenté par des piles.

Mode d'emploi:

- L'opérateur humecte toute la gaze entourant le bulbe humide avec de l'eau distillée au moyen d'une pissette ou d'un pinceau propre.
- Il met en marche le ventilateur électrique.
- Il fait la lecture quand la température du thermomètre à bulbe humide est stabilisée, et utilise les lectures de T_{bs} et T_{bh} pour trouver la valeur de l'H.R. au moyen de la table de conversion (fiche 3.1.2.4).

Avantages:

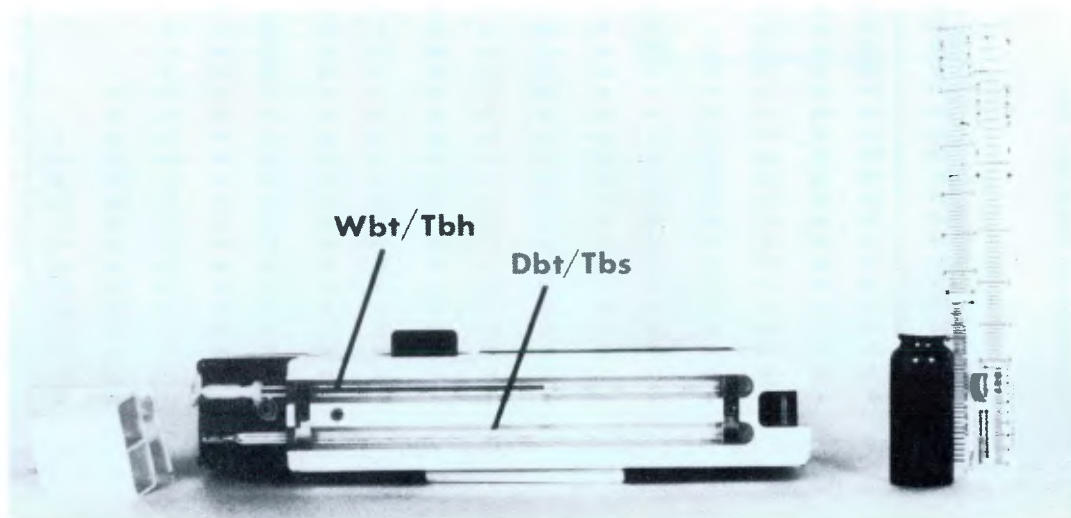
- facile à transporter
- ne nécessite pas d'étalonnage
- bonne fiabilité
- réservoir d'eau incorporé quelquefois

- source lumineuse prévue parfois pour la lecture dans les lieux sombres
- muni d'une règle pour un calcul facile de l'H.R. d'après la lecture des températures
- peut être modifié afin d'aspirer l'air à distance et rendre ainsi possible la mesure de l'H.R. d'un point éloigné.

Inconvénient:

- les piles s'usent rapidement. Utiliser des piles spéciales (manganèse).

Prix: 200 \$.



1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

3.1.2.4.

PSYCHROMETRIC CONVERSION TABLE

On a psychrometer, we read two temperatures:
the temperature of the wet bulb thermometer:
Wbt

the temperature of the dry bulb thermometer:
Dbt

Now that we have these two measurements, the conversion chart below is needed to find the relative humidity.

If the readings show:

Dbt = 25°C, Wbt = 21°C

the difference in temperature is $Dbt - Wbt = 4^{\circ}C$.

Where the horizontal line 25 and the vertical line 4 meet, we find the corresponding R.H.

R.H. = 70%.

(see exercise N. 3)

Temperature of dry bulb Dbt

Température du bulbe sec: Tbs

Différence de température: Tbs - Tbh

Différence in temperature: Dbt - Wbt

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	100	88	77	65	54	44	34	24	14							
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17							
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20							
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14						
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17						
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20						
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15					
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17					
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20					
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22	15				
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24	18				
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	20				
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22	16			
23	100	92	84	76	69	62	55	48	42	36	30	24	18			
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26	20	15		
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	27	22	17		
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29	24	19		
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36	30	25	21	16	
28	100	93	86	79	72	65	59	53	48	42	37	32	27	22	18	
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	33	28	24	19	15
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	34	30	25	21	17
31	100	93	86	80	73	67	62	56	51	45	41	36	31	27	22	18
32	100	93	86	80	74	68	62	57	52	46	42	37	32	28	24	20
33	100	93	87	80	74	69	63	58	52	47	43	38	34	29	25	21
34	100	93	87	81	75	69	64	58	53	48	44	39	35	30	26	23
35	100	93	87	81	75	70	64	59	54	49	44	40	36	32	28	24
36	100	94	87	81	76	70	65	60	55	50	45	41	37	33	29	25
37	100	94	87	82	76	70	65	60	55	51	46	42	38	34	30	26
38	100	94	88	82	76	71	66	61	56	51	47	43	39	35	31	27
39	100	94	88	82	77	71	66	61	57	52	48	44	40	36	32	28
40	100	94	88	82	77	72	67	62	57	53	48	44	40	37	33	29
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

N.B.: The chart on the left gives the Dbt temperature on the vertical line, whereas the one on the right gives the Wbt temperature on that line. The horizontal line

always shows the temperature differential between the 2 bulbs. In either case the end result is the same.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

3.1.2.4.

● TABLE PSYCHROMETRIQUE OU TABLE DE CONVERSION

Sur un psychromètre, nous lisons 2 températures:

la température du thermomètre à bulbe humide:
Tbh

la température du thermomètre à bulbe sec:
Tbs

A partir de ces deux mesures, la table de con-

version ci-dessous est nécessaire pour calculer l'humidité relative:

Si les lectures donnent

Tbs = 25°C, Tbh = 21°C

la différence de température Tbs - Tbh = 4°C.

Au point de rencontre de la ligne horizontale 21 et de la ligne verticale 4, nous lisons l'H.R. correspondante.

H.R. = 70%

(voir exercice n. 3)

		Différence de température: Tbs - Tbh																Différence in temperature: Dbt - Wbt															
		0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	
Température du bulbe humide: Tbh Temperature of wet bulb: Wbt		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
	0	100	91	83	75	67	61	54	48	43	37	31	27	22	18	14	10	7	4	1													
	1	100	92	83	76	69	63	56	50	44	39	34	30	25	21	17	14	10	7	4	1												
	2	100	92	84	77	70	64	58	52	47	42	37	33	28	24	21	17	14	11	8	5	2											
	3	100	93	85	78	72	66	60	54	49	44	39	35	31	27	23	20	17	14	11	8	5	2										
	4	100	93	86	79	73	67	61	56	51	46	42	37	33	30	26	23	20	17	14	11	9	7	4	2								
	5	100	93	86	80	74	68	63	57	53	48	44	40	36	32	29	25	22	19	17	14	12	10	7	5	3	2						
	6	100	93	87	81	75	69	64	59	54	50	46	42	38	34	31	28	25	22	19	17	15	12	10	8	6	5	3	1				
	7	100	94	87	81	76	70	65	60	56	52	48	44	40	37	33	30	27	24	22	19	17	15	13	11	9	7	6	4	3	1		
	8	100	94	88	82	76	71	66	62	57	53	49	46	42	39	35	32	29	27	24	22	19	17	15	13	11	10	8	6	5	4	2	
	9	100	94	88	83	77	72	68	63	59	55	51	47	44	40	37	34	32	29	26	24	22	20	18	16	14	12	10	9	7	6	5	
	10	100	94	88	83	78	73	69	64	60	56	52	49	45	42	39	36	33	31	28	26	24	22	20	18	16	14	13	11	10	8	7	
	11	100	94	89	84	79	74	69	65	61	57	54	50	47	44	41	38	35	33	30	28	26	24	22	20	18	16	15	13	12	10	9	
	12	100	95	89	84	79	75	70	66	62	59	55	52	48	45	42	40	37	35	32	30	28	26	24	22	20	18	17	15	14	12	11	
	13	100	95	90	85	80	76	71	67	63	60	56	53	50	47	44	41	39	36	34	32	29	27	25	24	22	20	19	17	16	14	13	
	14	100	95	90	85	81	76	72	68	64	61	57	54	51	48	45	43	40	38	35	33	31	29	27	25	24	22	20	19	17	16	15	
	15	100	95	90	86	81	77	73	69	65	62	59	55	52	50	47	44	42	39	37	35	33	31	29	27	25	24	22	21	19	18	16	
	16	100	95	90	86	82	78	74	70	66	63	60	57	54	51	48	45	43	41	38	36	34	32	30	29	27	25	24	22	21	19	18	
	17	100	95	91	86	82	78	74	71	67	64	61	58	55	52	49	47	44	42	40	38	36	34	32	30	28	27	25	24	22	21	20	
	18	100	95	91	87	83	79	75	71	68	65	62	59	56	53	50	48	45	43	41	39	37	35	32	31	30	29	27	25	24	22	21	
	19	100	96	91	87	83	79	76	72	69	65	62	59	57	54	51	49	47	44	42	40	38	36	34	33	31	29	28	26	25	24	22	
	20	100	96	91	87	83	80	76	73	69	66	63	60	58	55	52	50	48	45	43	41	39	37	35	33	32	31	29	28	26	25	24	
	21	100	96	92	88	84	81	77	74	70	67	64	61	58	56	53	51	49	46	44	42	40	39	37	35	33	32	31	29	28	26	25	
	22	100	96	92	88	84	81	78	74	71	68	65	62	59	57	54	52	50	47	45	43	41	40	39	37	35	33	32	31	29	27	26	
	23	100	96	92	88	84	81	78	74	71	68	65	63	60	58	55	53	51	48	46	44	42	41	39	37	35	34	33	31	30	28	27	
	24	100	96	92	89	85	81	78	75	72	69	66	63	61	58	56	54	51	49	47	45	43	42	41	39	37	35	34	32	31	30	28	
	25	100	96	92	89	85	81	78	75	72	69	67	64	62	59	57	54	52	50	48	46	44	43	41	39	38	36	35	33	32	31	29	
	26	100	96	92	89	85	82	79	76	73	70	67	65	62	60	57	55	53	51	49	47	45	44	42	40	39	37	36	34	33	32	30	
	27	100	96	92	89	86	82	79	76	73	71	68	65	63	60	58	56	54	52	50	48	46	44	43	41	39	38	37	35	34	32	31	
	28	100	97	93	90	86	82	80	77	74	71	68	66	63	61	59	57	55	53	51	49	47	45	43	42	40	39	37	36	35	33	32	
	29	100	97	93	90	86	83	80	77	74	72	69	66	64	62	60	57	55	53	51	49	48	46	44	43	41	40	38	37	35	34	33	
	30	100	97	93	90	86	84	80	77	75	72	69	67	65	62	60	58	56	54	52	50	48	47	45	43	42	40	39	38	36	35	34	
	31	100	97	93	90	87	84	81	78	75	73	70	68	65	63	61	59	57	55	53	51	49	47	46	44	43	41	40	38	37	36		
	32	100	97	93	90	87	84	81	78	76	73	70	68	66	63	61	59	57	55	53	52	50	48	46	45	43	42	41	39				
	33	100	97	93	91	87	85	81	79	76	73	71	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	49	47	46	44	43						
	34	100	97	93	91	87	85	82	79	76	74	71	69	67	64	62	60	58	56	55	53	51	49	47	46	44	43						
	35	100	97	94	91	87	85	82	79	77	74	72	69	67	65	63	61	59	57	55	53	52	50										
	36	100	97	94	91	88	85	82	79	77	74	72	70	68	65	63	61	59	58	56	54												
	37	100	97	94	91	88	85	82	80	77	75	72	70	68	66	64	62	60	58														
	38	100	97	94	91	88	86	83	80	78	75	73	71	68	66	64	62																
	39	100	97	94	92	88	86	83	80	78	75	73	71	69	67																		
40	100	97	94	92	88	86	83	81	78	76	73	71																					

Attention: La table de gauche est établie en donnant la température Tbs sur la ligne verticale, alors que la table de droite est établie en donnant la température Tbh

sur cette ligne verticale. Même si les deux tables sont différentes, la lecture de l'H.R. dans les deux cas sera cependant identique.

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

3.2.

● INSTRUMENTS REQUIRING CALIBRATION

Most organic materials have physical characteristics which change their value according to the humidity of the air.

These materials can be used as « sensitive elements » in instruments measuring R.H.

Example: a piece of wood swells slightly when the humidity rises.

However, other physical characteristics can also be used, such as:

- electrical capacity or resistance
- colour variation *
- diffusion

Instruments using such materials to measure R.H. are called **HYGROMETERS**. Two types are generally used in museums.

- paper hygrometer (3.2.1.)
- hair or synthetic fibre hygrometer (3.2.2)

All these instruments should have a calibration knob, but unfortunately some do not. They **MUST** be checked and calibrated once a month against a psychrometer or by following the manufacturer's instructions.

Some hygrometers also measure temperature and are called **THERMO-HYGROMETERS**.

Advantages:

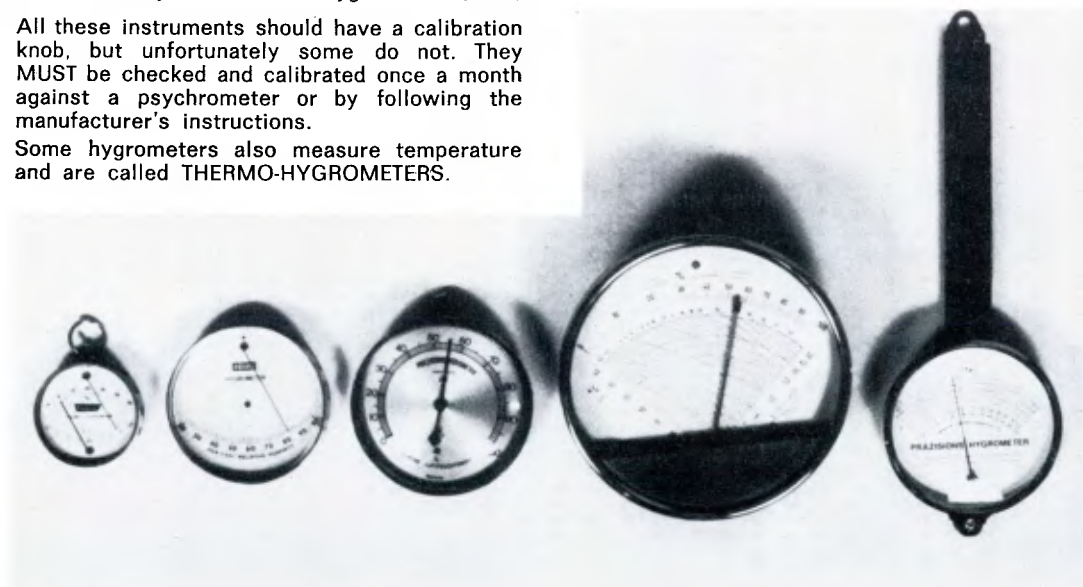
- one can have several of them as they are reasonably priced
- they are small enough to be placed in a showcase without disturbing the aesthetic effect
- a quick glance will tell you whether the relative humidity is suitable for a certain collection.

Disadvantages:

- unlike hygrographs which record R.H., hygrometers only give the R.H. at the time of reading
- they need to be calibrated regularly
- they react slowly to fluctuations in R.H.
- the sensitive element deteriorates with time.

Price: Between \$15 and 100.

Sold at: Any shop specialising in precision instruments.



* One can purchase special paper indicators, which change colour from pink to blue, depending on the R.H.

These can give one a rough idea of the surrounding R.H. and cost about \$1 each.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

3.2.

● INSTRUMENTS NECESSITANT UN ETALONNAGE

Certains matériaux ont des caractéristiques physiques qui varient suivant l'humidité de l'air.

Ces matériaux peuvent être utilisés comme « élément sensible » dans les appareils mesurant l'H.R.

Exemple: un morceau de bois gonfle légèrement quand l'humidité augmente.

D'autres caractéristiques physiques peuvent également être exploités:

- capacité ou résistance électrique
- variation des couleurs *
- diffusion

Les instruments composés de ces éléments pour mesurer l'H.R. sont appelés des HYGROMETRES. Deux types sont utilisés couramment dans les musées.

- hygromètre à papier (fiche 3.2.1)
- hygromètre à cheveux ou à fibre synthétique (fiche 3.2.2)

Tous ces instruments devraient être munis d'une vis d'étalonnage, ce qui n'est pas toujours le cas. Il est ESSENTIEL de les contrôler et de les étalonner une fois par mois à l'aide d'un

psychromètre ou en suivant les recommandations du fabricant.

Quelques hygromètres peuvent également donner la mesure de la température; ils sont appelés THERMO-HYGROMETRES.

Avantages:

- il est possible d'en avoir un certain nombre car il sont peu coûteux
- ils sont assez petits pour être mis dans une vitrine sans nuire à la présentation esthétique
- un coup d'oeil rapide permet de vérifier si l'H.R. est celle qui convient à tel type de collection.

Inconvénients:

- à la différence des hygrographes qui enregistrent l'H.R., les hygromètres ne donnent l'H.R. qu'au moment de la lecture
- il faut les étalonner régulièrement
- ils réagissent lentement aux variations de l'H.R.
- l'élément sensible se détériore avec le temps.

Prix: de 15 à 100 \$.

Vendeur: Tout magasin spécialisé en instruments de précision.

* On trouve dans le commerce des bandes de papier imbibé d'indicateur spécial qui change de couleur du bleu au rose suivant l'humidité relative. En fonction de

la couleur il sera possible d'avoir une idée approximative de l'H.R. ambiante. Leur coût est d'environ 1 \$ U.S.

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

3.2.1.

● PAPER HYGROMETER

In this type of instrument a strip of paper is exposed to varying humidity. When the air is dry, the strip of paper contracts; when the air is damp, the paper expands.

This property has been known for a long time.

Hygrometers of this type were being used in the 17th century (fig. 1).

Nowadays, a strip of paper is attached to a strip of thin metal. The two are rolled into a coil. When the humidity changes, the paper contracts or expands therefore causing the coil to tighten or relax (fig. 2).

These variations are communicated to a pointer on a scale graduated in % points (fig. 3).

Advantages:

- very small (6-7 cm. in diameter).
- direct reading.

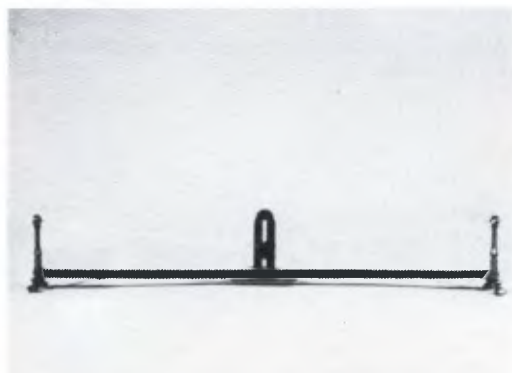


Fig. 1

Disadvantages:

- not very reliable
- requires frequent calibration against a psychrometer or by placing it in a saturated atmosphere. (Follow the manufacturer's instructions.)
- some models do not have any means of re-adjustment
- easily damaged by exposure to dust and salt-laden air
- slow to react to change of atmosphere (up to 30 minutes).

Price: From \$15.

Sold at: Any shop specialising in precision instruments.

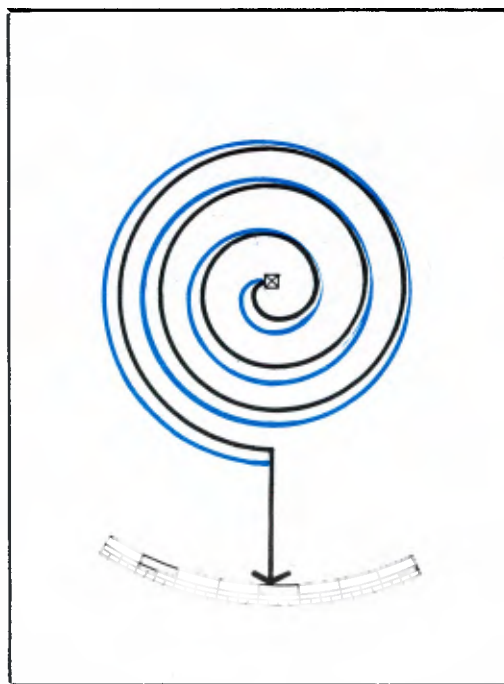


Fig. 2

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

3.2.1.

● HYGROMETRE A PAPIER

Ce type d'hygromètre est constitué d'une bande de papier exposé à l'air. Quand l'air est sec, le papier se tend, quand l'air est humide le papier se détend.

Cette propriété est connue depuis longtemps. Des hygromètres de ce type étaient déjà utilisés au XVII^e siècle (fig. 1).

De nos jours, une bande de papier est attachée à une bande de métal léger. Le tout est enroulé pour former un serpent. Quand l'humidité change, le papier se contracte ou s'allonge entraînant un resserrement ou un relâchement du serpent (fig. 2).

Ces variations sont transmises par un levier à une aiguille qui indiquera l'H.R. sur un cadran gradué en % (fig. 3).

Avantages:

- petite taille (6-7 cm de diamètre)
- lecture directe.

Inconvénients:

- faible fiabilité
- nécessite un réétalonnage fréquent au moyen d'un psychromètre ou en le mettant dans une ambiance saturée. (Suivre les instructions du fabricant)
- certains modèles ne peuvent être réétalonnés
- fragile car est sensible à la poussière et aux sels de l'air
- lent à réagir (jusqu'à 30 minutes).

Prix: à partir de 15 \$.

Vendeur: Tout magasin spécialisé en instruments de précision.



Fig. 3

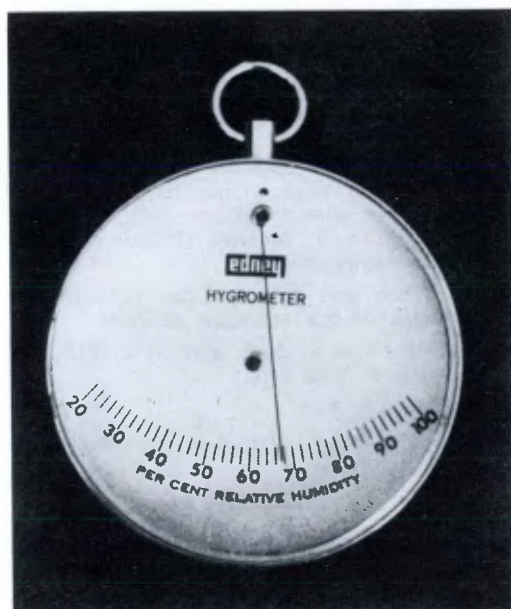


Fig. 3

-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

3.2.2.

● HAIR HYGROMETER

● NOTES

In this instrument, a bundle of degreased hair or synthetic fibres, which acts as the « sensitive element », contracts or expands on exposure to humidity variations.

The variations are communicated to a pointer, either directly or by way of a lever system.

The principle is the same as that of the paper hygrometer.

Advantages:

- direct reading
- small enough to be put in a showcase (12 cm in diameter).

Disadvantages:

- has to be calibrated every two weeks against a psychrometer (or can also be calibrated by brushing the sensitive element with distilled water). When it has fully responded, the pointer should indicate 95% in Europe and 90% in N. America (follow manufacturer's instructions)
- oil fumes and pollution can damage the response of the sensitive element
- reliable between 30% and 80% R.H. and between 15° and 21°C.
- accuracy $\pm 3-4\%$
- slow to react to a change of atmosphere (up to 20 minutes).

Price: Between \$20 and 100.

Sold at: Some shops selling precision instruments.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

3.2.2.

● HYGROMETRE A CHEVEUX

Cet instrument possède comme « élément sensible » une mèche de cheveux dégraissés ou une fibre synthétique, qui, exposée à des variations de l'humidité, se contracte ou se détend.

Les variations sont communiquées (soit directement, soit par un système de levier) à une aiguille. Le principe est identique à celui de l'hygromètre à papier.

Avantages:

- lecture directe
- suffisamment petit pour trouver place dans une vitrine (12 cm de diamètre)

Inconvénients:

- doit être étalonné tous les 15 jours, avec un psychromètre (il est aussi possible de le réétalonner en brossant l'élément sensible avec de l'eau distillée). Quand celui-ci aura réagi, l'aiguille doit indiquer 95% pour l'Europe, 90 % pour l'Amérique du Nord (suivre les instructions du fabricant)
- les vapeurs d'huile ou la pollution peuvent nuire à l'élément sensible
- fiabilité entre 30 et 80% d'humidité relative et entre 15 et 21°C
- marge d'erreur $\pm 3-4\%$.
- lent à réagir aux variations atmosphériques (jusqu'à 20 minutes).

Prix: de 20 à 100 \$

Vendeur: Certains magasins d'instruments de précision.



-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

3.2.3.

● ELECTRONIC HYGROMETER

● NOTES

The measuring element of relative humidity — the measuring cell — consists of an electrolytic resistor, the electrical value of which is dependent on the ambient air humidity. The measuring cell is part of an electrical measuring bridge circuit which is adjusted manually.

Directions for use:

- Let the instrument adapt to ambient air temperature.
- Hold the instrument and move two or three times from right to left.
- Press the button and turn the relative humidity scale until the two red lamps are on simultaneously.
- Read the value of the R.H. directly on the scale.

Advantages:

- very easy to handle
- very easy to calibrate using the climate chamber which is provided (a pre-determined climate is created in the chamber by means of a salt-saturated solution)
- the R.H. in a very small volume can easily be measured
- accurate to $\pm 2\%$
- lightweight, approximately 300 g.

Disadvantage:

- does not enable one to understand relative humidity. Consequently should not be used for teaching purposes.

Price: \$180 to 400.

Suppliers: Shops selling sophisticated precision instruments.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

3.2.3.

● HYGROMETRE ELECTRONIQUE

L'élément qui permet de mesurer l'humidité relative — ou cellule de mesure — consiste en une résistance électrique dont la valeur varie avec l'humidité relative de l'air. La cellule de mesure fait partie d'un pont de Weston dont l'équilibrage est obtenu manuellement.

Mode d'emploi:

- Laisser l'instrument se mettre à la température de l'air ambiant.
- Tenir l'instrument et l'agiter légèrement deux ou trois fois de droite à gauche.
- Appuyer sur le bouton et faire tourner l'échelle circulaire indiquant l'humidité relative jusqu'à ce que les deux lampes rouges s'allument simultanément.
- Lire la valeur de l'humidité relative sur l'échelle circulaire.

Avantages:

- manipulation facile
- étalonnage facile au moyen des chambres à humidité relative fixe — au moyen de solutions de sels saturées — qui sont fournies avec l'appareil
- l'humidité relative dans un petit volume peut être facilement mesurée
- précision de $\pm 2\%$
- appareil léger : 300 g

Inconvénients:

- ne permet pas de comprendre ce qu'est l'humidité relative. En conséquence ne devrait pas être utilisé au début des cours de formation.

Prix: 180-400 \$

Vendeur: Magasins spécialisés dans la vente d'instruments de précision.



-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

4.

● RECORDING INSTRUMENTS

Measuring relative humidity is very necessary. However, since humidity varies noticeably between night and day and no one, other than the guards, is in the museum at night or on closing days, we need to use instruments that can measure and record relative humidity continuously.

- Instruments that record relative humidity are called HYGROGRAPHS (4.1)
- Instruments that record both relative humidity and temperature are called THERMO-HYGROGRAPHS (or HYGRO-THERMOGRAPHS in the U.S.A.) (4.2).

From the recordings obtained with these instruments we can often identify the causes of deterioration in collections and take the necessary remedial steps.

Let us take:

- a daily recording of outside climatic conditions in sunny weather in a temperate climate (4.3.1)
- a weekly recording of outside climatic conditions in sunny weather in a temperate climate (4.3.1)
- a daily recording of outside climatic conditions in cloudy weather in a temperate climate (4.3.2)
- a weekly recording of outside climatic conditions in cloudy weather in a temperate climate (4.3.2)
- a daily recording of climatic conditions inside a closed building (4.3.3)
- a monthly recording of climatic conditions inside a showcase (4.3.3).

● NOTES

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

4.

● INSTRUMENTS ENREGISTREURS

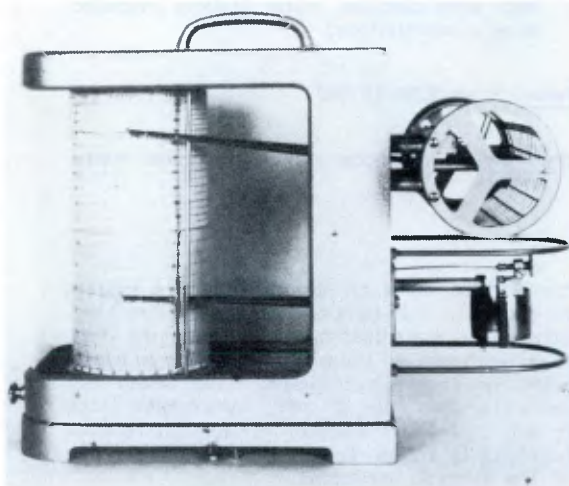
Mesurer l'humidité relative est indispensable, mais l'humidité varie notablement entre le jour et la nuit et, à l'exception des gardiens, personne ne se trouve dans le musée la nuit et les jours de fermeture pour lire les hygromètres. Aussi est-il nécessaire d'utiliser des appareils qui mesurent et enregistrent l'humidité relative en continu.

- Les instruments capables d'enregistrer l'humidité relative sont appelés **HYGROGRAPHES** (fiche 4.1).
- Les instruments enregistrant l'humidité relative et la température sont appelés **THERMO - HYGROGRAPHES** (fiche 4.2).

L'interprétation des enregistrements obtenus avec ces instruments permet souvent de trouver les causes de détérioration des collections et d'y remédier.

Nous étudierons:

- l'enregistrement journalier des conditions climatiques à l'extérieur par temps ensoleillé en climat tempéré (fiche 4.3.1)
- l'enregistrement hebdomadaire des conditions climatiques à l'extérieur par temps ensoleillé en climat tempéré (fiche 4.3.1.)
- l'enregistrement journalier des conditions climatiques à l'extérieur par temps couvert en climat tempéré (fiche 4.3.2)
- l'enregistrement hebdomadaire des conditions climatiques à l'extérieur par temps couvert en climat tempéré (fiche 4.3.2)
- l'enregistrement journalier des conditions climatiques à l'intérieur d'un bâtiment fermé (fiche 4.3.3)
- l'enregistrement mensuel des conditions climatiques à l'intérieur d'une vitrine (fiche 4.3.3).



-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

4.1.

● HYGROGRAPH

● NOTES

This type of instrument measures the relative humidity, using the same principle as the hair hygrometer (3.2.2), and records it at the same time on a sheet of paper

It has an ink pen instead of a pointer. The dial is replaced by a printed paper chart on a drum that rotates by clockwork.

Advantages:

- records relative humidity when the observer is away
- depending on the type, records variations in R.H. over a day, week, fortnight or month, as required.

Disadvantages:

- easily damaged by rough handling
- requires calibrating every month against a psychrometer or by brushing the bundle of hair with distilled water (follow manufacturer's instructions).

Price: From \$250 to 500.

Sold at: Some shops selling precision instruments.

Most hygrometers are combined with a system for recording both temperature and relative humidity. These are called thermo-hygrometers (4.2). It is important to point out here that a hygrometer or thermo-hygrometer, even when not calibrated, can give us useful information since it will still show whether or not the relative humidity is stable. It will also give the range of the climatic variations.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

4.1.

● HYGROGRAPHE

Ce type d'instrument mesure l'humidité relative suivant le principe de l'hygromètre à cheveux (fiche 3.2.2.) et l'enregistre également sur une feuille. Au lieu d'une aiguille, il possède un stylet à encre. Le cadran est remplacé par une feuille d'enregistrement montée sur un cylindre qui tourne sur lui-même grâce à un mouvement mécanique.

Avantages:

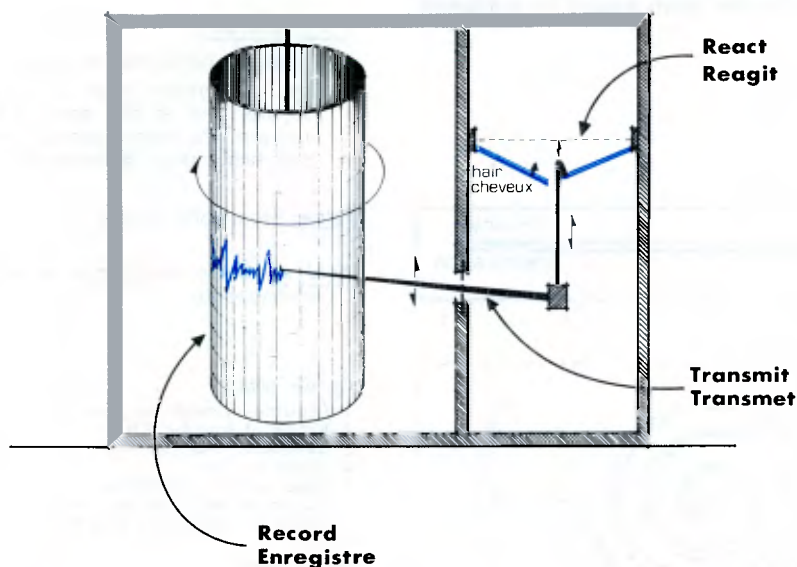
- enregistre l'H.R., en l'absence du personnel
- suivant les besoins, peut enregistrer les variations d'humidité relative journalières, hebdomadaires, bimensuelles ou mensuelles

Inconvénients:

- appareil assez sensible entre autres aux chocs
- réétalonnage nécessaire environ chaque mois à l'aide d'un psychromètre ou en brossant la mèche de cheveux avec de l'eau distillée (suivre les consignes du fabricant).

Coût: de 250 à 500 \$

Vendeur: Certains magasins d'instruments de précision.



La plupart des hygrographes sont munis d'un double système d'enregistrement pour l'H.R. et pour la température. Ce sont les thermo-hygrographes (fiche 4.2).

Il est important de signaler qu'un hygrographe,

comme un thermo-hygrographe, même non étalonné peut donner des informations intéressantes puisqu'il indiquera malgré tout si l'humidité relative est stable. Il indiquera aussi l'amplitude des variations climatiques.

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

4.2.

● THERMO-HYGROGRAPH

These instruments measure and record relative humidity. At the same time they measure and record temperature. The temperature is measured by means of the variations in the length of a metal strip made up of two different alloys: Inconel which remains unaffected by temperature and brass which is expandable.

These two metals are soldered together. (Fig. 1). and then curved. The curve is fastened at one end and left free at the other end. (Fig. 2).

The two metals expand and contract differently with temperature changes so that the curve opens and closes. This response is transmitted either directly or by levers to the ink pen which registers it on the drum moved by clockwork.



Fig. 1

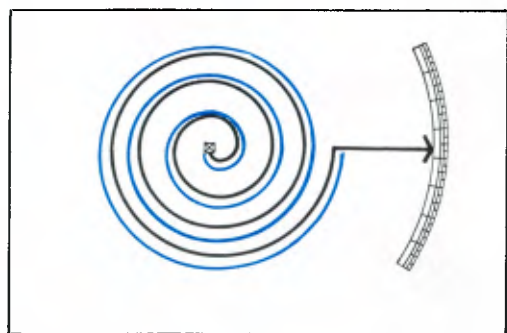


Fig. 2

Advantages:

- registers relative humidity and temperature while the observer is away
- depending on the type, gives daily, weekly, fortnightly or monthly recordings
- a careful study of recordings is essential in determining the causes of damage to collections and the appropriate measures to be taken
- when placed in a museum or gallery, their recording of wide fluctuations generally has great influence with the curators and responsible administrators, who know that such recordings should be steady and level
- makes museum visitors aware of the importance of climate control for the preservation of collections.

Disadvantages:

- must be calibrated monthly
- the instrument must be placed near the objects and at the same time away from visitors who might tamper with the calibration knob, thus affecting the measurement.

Price: From \$300 to 600.

Sold at: Some shops specialising in precision instruments.

On the photo:

1. Registration sheet on drum
2. Bundle of hair for R.H.
3. Calibration knob for R.H.
4. Stylus for R.H.
5. Metal strip for temperature
6. Calibration knob for temperature.
7. Stylus for registering temperature.

Sur la photo:

1. Cylindre couvert par la feuille d'enregistrement
2. Mèche de cheveux pour l'H.R.
3. Bouton d'étalonnage pour l'H.R.
4. Stylet pour l'enregistrement de l'H.R.
5. Élément métallique pour la température
6. Bouton d'étalonnage pour la température
7. Stylet pour l'enregistrement de la température.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

4.2.

● THERMO-HYGROGRAPHE

Ces appareils mesurent et enregistrent l'humidité relative. Ils mesurent et enregistrent en même temps la température. La température est mesurée au moyen des variations de longueur d'une bande composée de deux alliages différents: l'un, l'Inconel, dont la longueur ne varie pas avec les changements de température; l'autre, le laiton, qui lui varie.

Ces deux métaux sont soudés ensemble (fig. 1). La bande ainsi formée est arquée. Une des extrémités de l'arc est fixe, l'autre est libre (fig. 2).

Les deux métaux se dilatent et se contractent différemment avec les variations de température et ainsi l'extrémité libre de l'arceau métallique se déplacera. Cette variation est transmise soit directement, soit par l'intermédiaire de leviers à un stylet à encre qui l'inscrit sur une feuille d'enregistrement fixée sur le cylindre mû par un mouvement mécanique.

Avantages:

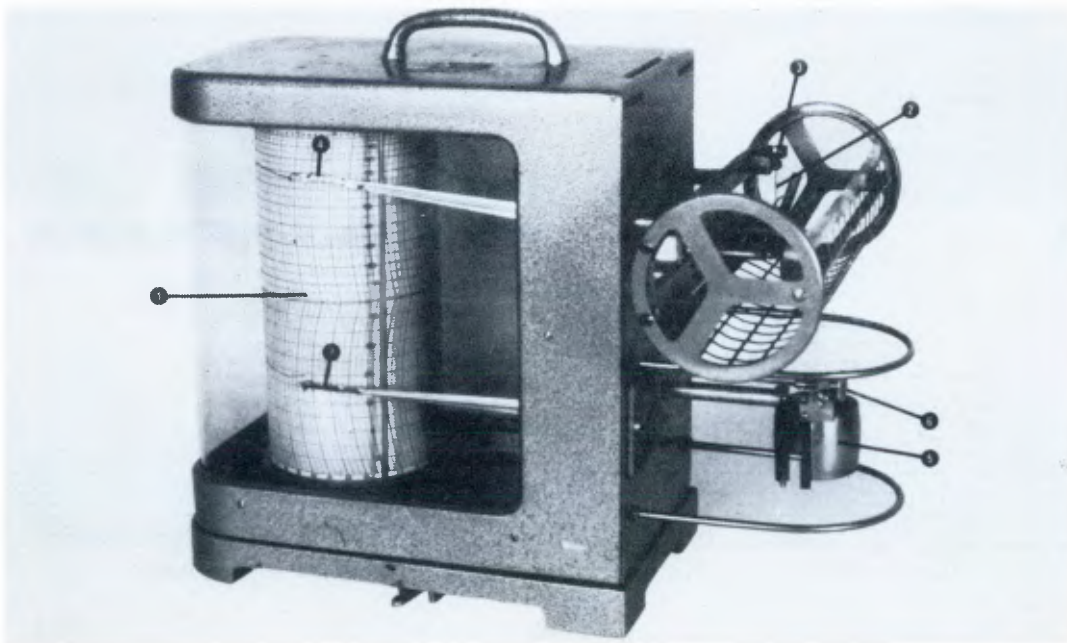
- enregistre l'H.R. et la température en l'absence de personnel
- suivant les besoins, enregistre les variations climatiques journalières, hebdomadaires, bi-mensuelles ou mensuelles
- l'analyse des enregistrements est un facteur essentiel pour diagnostiquer les causes d'endommagements des collections et pour intervenir par la suite efficacement.

Inconvénients:

- doit être étalonné mensuellement
- l'appareil doit être placé à la fois près des oeuvres et loin des visiteurs qui autrement risquent de toucher les boutons d'étalonnage et altérer ainsi la mesure.

Coût: de 200 à 400 \$

Vendeur: Certains magasins d'instruments de précision.



1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

4.3.

● REGISTRATION CHART

The registration chart of a thermo-hygrograph shows, horizontally, the hours and the day and, vertically, the temperature (upper section) and relative humidity (lower section).

The daily recording indicates that

At 4 p.m. R.H. = 45% $t = 27^{\circ}\text{C}$

At 9 p.m. R.H. = 78% $t = 18^{\circ}\text{C}$

At 3 a.m. R.H. = 95% $t = 15^{\circ}\text{C}$

The R.H. will continue to rise after 3 a.m. to reach saturation around 6 a.m.

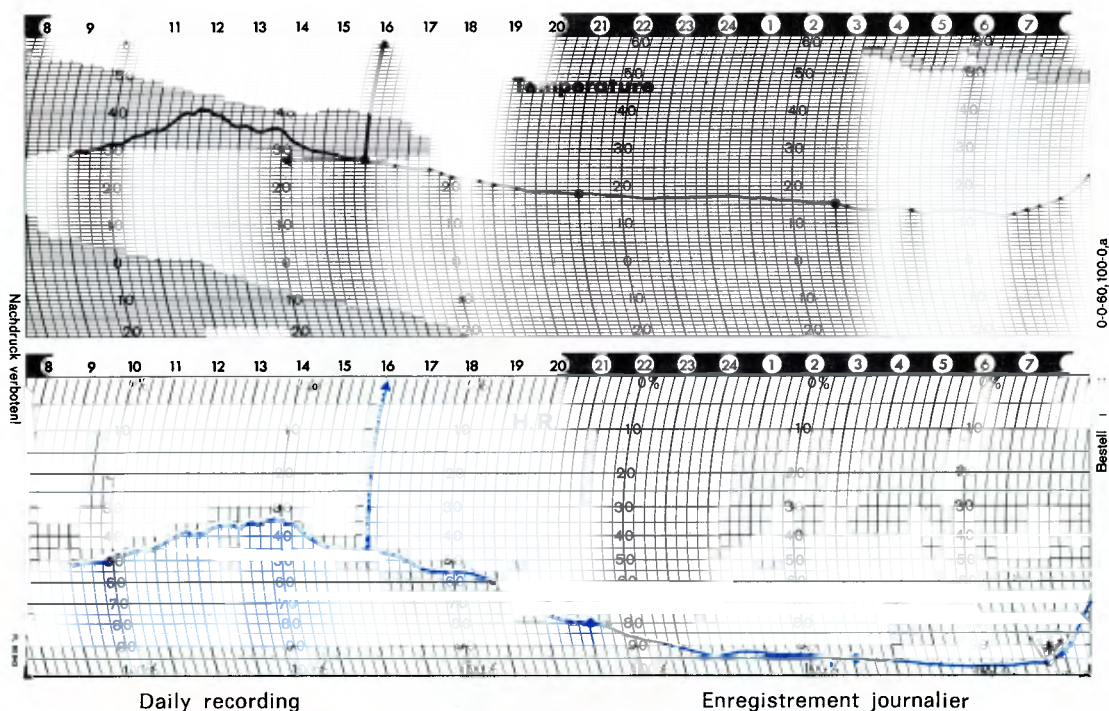
Let us now study the weekly recording:

Wednesday at 6 a.m. R.H. = 80% $t = 13^{\circ}\text{C}$

Friday at 10 p.m. R.H. = 65% $t = 17^{\circ}\text{C}$

Sunday at 1 p.m. R.H. = 42% $t = 24^{\circ}\text{C}$

Please note: registration charts vary according to the manufacturer and the same manufacturer may have different charts for different types of equipment.



1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

4.3.

● FEUILLE D'ENREGISTREMENT

La feuille d'enregistrement d'un thermo-hygrographe donne dans le sens de la longueur, les heures et le jour, dans le sens de hauteur, la température (bande du haut) et l'humidité relative (bande du bas).

L'enregistrement journalier indique que:

à 16 heures H.R. = 45% $t = 27^{\circ}\text{C}$

à 21 heures H.R. = 78% $t = 18^{\circ}\text{C}$

à 3 heures H.R. = 95% $t = 15^{\circ}\text{C}$

L'H.R. continuera à augmenter après 3 heures et atteindra la saturation vers 6 heures.

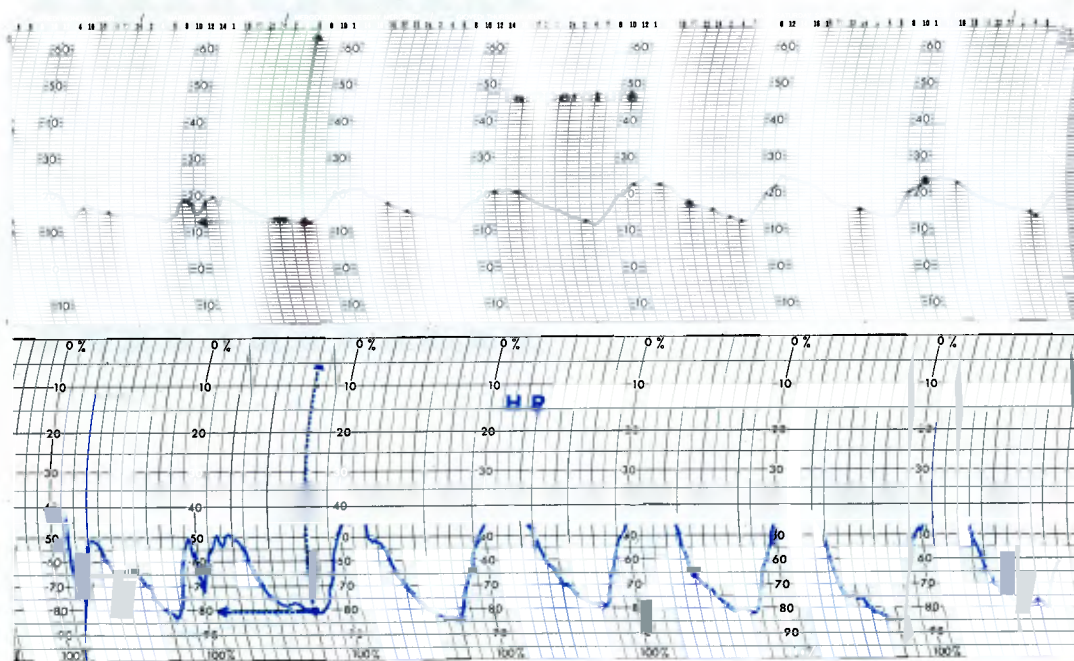
Etudions maintenant l'enregistrement hebdomadaire:

le mercredi à 6 heures H.R. = 80% $t = 13^{\circ}\text{C}$

le vendredi à 22 heures H.R. = 65% $t = 17^{\circ}\text{C}$

le dimanche à 13 heures H.R. = 42% $t = 24^{\circ}\text{C}$

Attention: suivant les fabricants les feuilles d'enregistrement varient et chez un même fabricant les feuilles d'enregistrement diffèrent suivant les types d'appareils.



Weekly recording

Enregistrement hebdomadaire

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

4.3.1.

• VARIATIONS IN OUTSIDE CLIMATIC CONDITIONS IN SUNNY WEATHER IN A TEMPERATE CLIMATE

On the daily chart, you can read the temperature in the upper section from -20°C to $+60^{\circ}\text{C}$ and the relative humidity from 100% to 0% in the lower section.

Temperature: In the morning between 9 a.m. and midday, the temperature rose from 23°C to 41°C ; then it slowly dropped during the course of the afternoon and evening to reach a minimum of 13°C at 7 a.m. the next day.

Relative humidity: In the morning between 9 a.m. and 2 p.m., R.H. decreased from 50% to 33%, then rose in the afternoon to 55% at

6 p.m., continued to increase to 93% at midnight and reached a maximum of 100% (saturation) at 6 a.m.

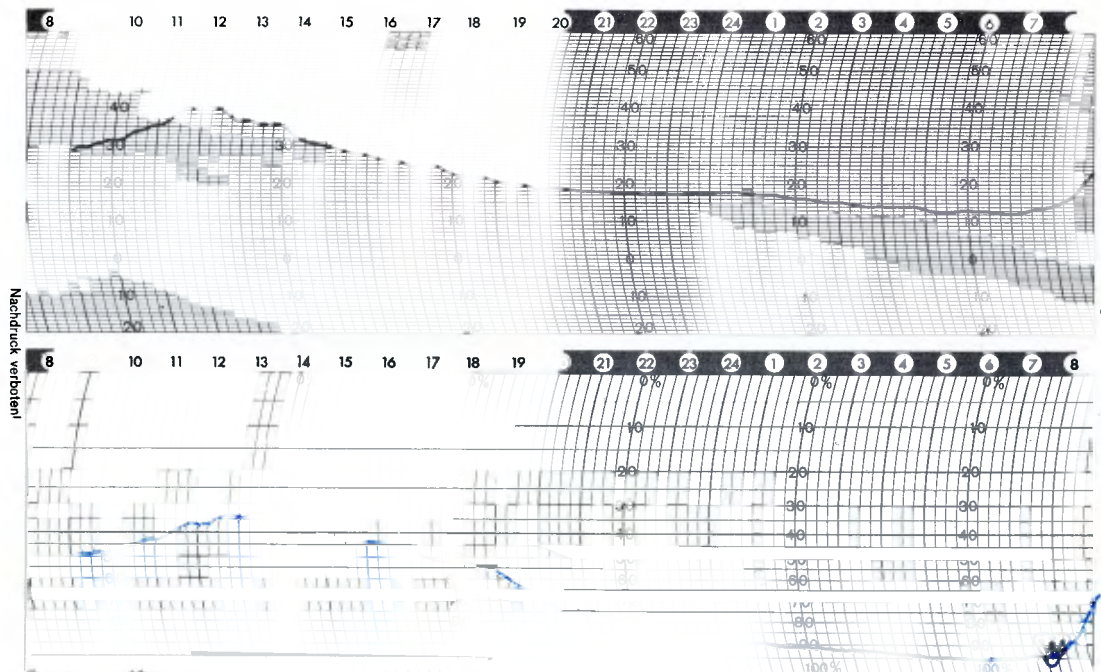
On the weekly chart, the recording studied on the daily chart is repeated for seven days, that is:

In the early morning: minimum temperature (7°C - 12°C) maximum R.H. (50% - 100%)

Around midday: maximum temperature (28°C - 32°C) minimum R.H. (10% - 28%).

Rainfall at midday on Tuesday caused a sudden rise in the R.H. from 49% to 72%, accompanied by a drop in temperature from 19°C to 15°C .

This recording was taken on the roof of the Cairo Museum in 1980.



Daily recording

Enregistrement journalier

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

4.3.1.

● VARIATIONS DES CONDITIONS CLIMATIQUES A L'EXTERIEUR PAR TEMPS ENSOLEILLÉ EN CLIMAT TEMPERÉ

Sur la feuille journalière la température se lit en haut (de -20°C à $+60^{\circ}\text{C}$) et l'humidité relative en bas de 100% à 0%.

Température: Le matin entre 9 heures et midi, la température augmente de 29°C à 41°C , puis la température baisse lentement au cours de l'après-midi et du soir pour atteindre un minimum de 13°C à 7 heures du matin.

Humidité relative: Le matin entre 9 heures et 14 heures, l'H.R. diminue de 50% à 33%, puis

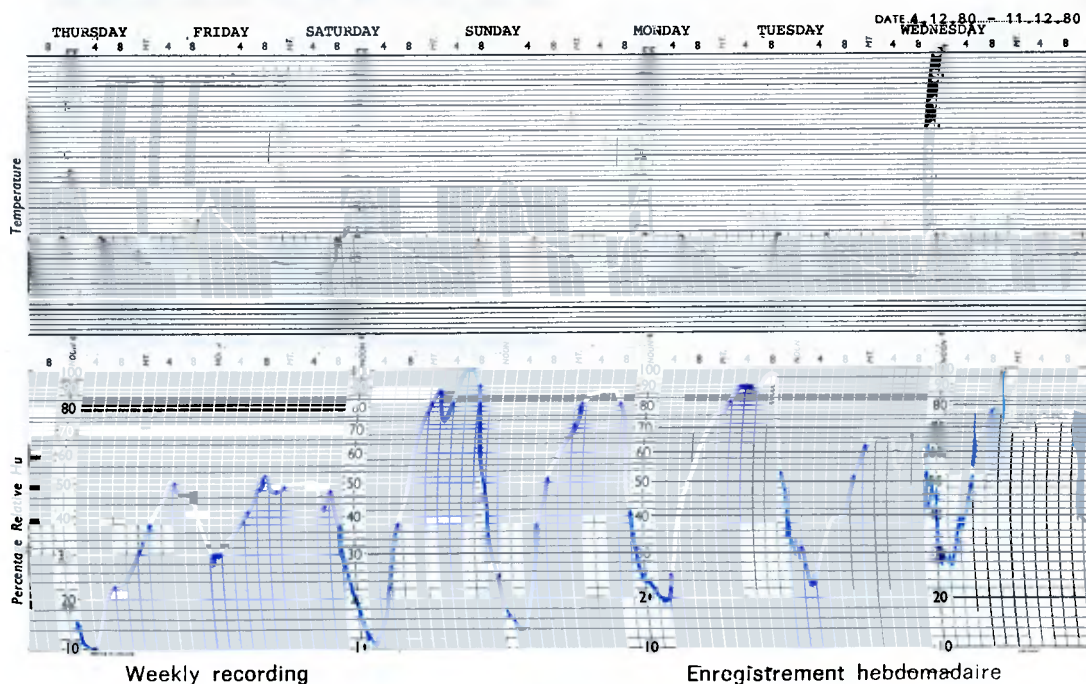
au cours de l'après-midi elle augmente jusqu'à 55% à 18 heures, croît jusqu'à 93% à minuit et atteint un maximum de 100% (saturation) à 6 heures du matin.

Sur la feuille hebdomadaire se trouve répété durant 7 jours l'enregistrement étudié sur la feuille journalière c'est-à-dire:

au petit matin: température minimum (7°C - 12°C)
humidité relative maximum (50% - 100%)

autour de midi: température maximum (28°C - 32°C)
humidité relative minimum (10% - 28%)

Cet enregistrement a été fait sur le toit du Musée du Caire en décembre 1980.



1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

4.3.2.

● VARIATIONS OF OUTSIDE CLIMATIC CONDITIONS IN CLOUDY WEATHER IN A TEMPERATE CLIMATE

Daily chart:

Temperature: After sunrise, the temperature increased to reach a maximum at 2 p.m. ($t = 18^{\circ}\text{C}$).

The temperature then began to decrease until 4 p.m. ($t = 12^{\circ}\text{C}$).

Then a warm wind began to blow irregularly and maintained the temperature throughout the night at about 15°C .

Relative humidity: The R.H. decreased in the morning from 9 a.m. (91%) to 2 p.m. (60%) and slowly increased to 75% at 4 p.m.

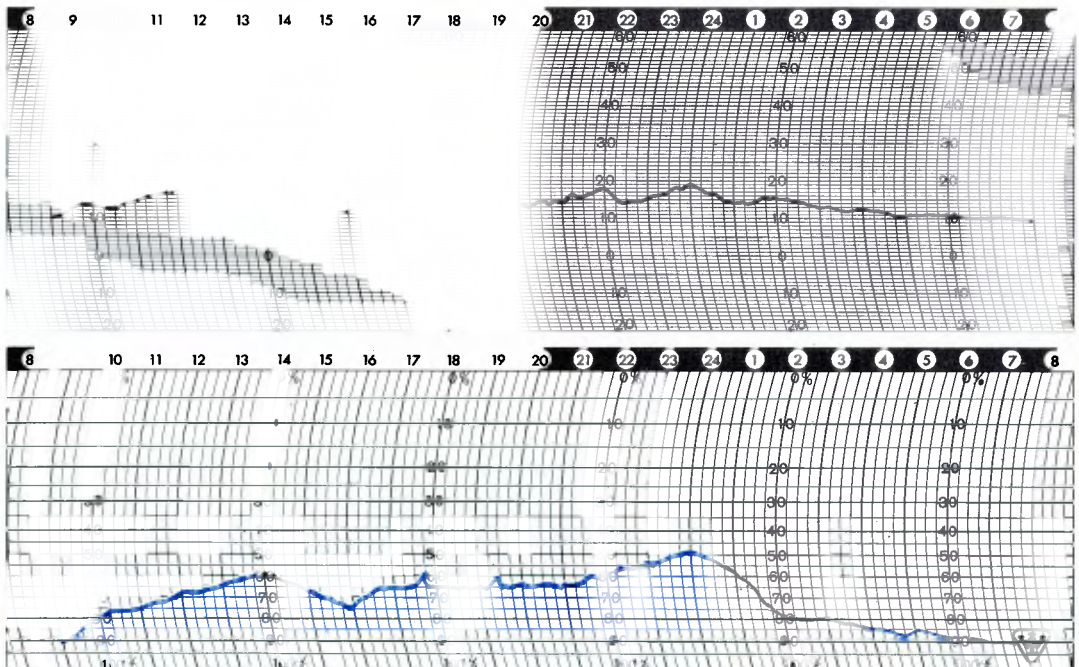
Then around midnight a warm dry wind decreased the R.H. to 50%. Compare with daily chart 4.3.1.

Weekly chart:

Temperature: Temperature variations differ immensely from one day to another. For example, on Friday, the temperature remained stable at $10^{\circ}\text{--}12^{\circ}\text{C}$, whereas on Tuesday, it varied from 12°C to 26°C .

Relative humidity: Variations of relative humidity are also very irregular. For example, on Thursday, relative humidity varied between 55% to 100% and on Sunday between 27% and 70%.

It should be noted that on Wednesday at 2 p.m. the temperature dropped and the relative humidity rose abruptly. This was due to rain showers.



Daily recording

Enregistrement journalier

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs °
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

4.3.2.

● VARIATIONS DES CONDITIONS CLIMATIQUES A L'EXTERIEUR PAR TEMPS COUVERT EN CLIMAT TEMPERE

Enregistrement journalier

Température: Après le lever du soleil, la température augmente pour atteindre un maximum à 14 heures ($t = 18^{\circ}\text{C}$).

La température commence alors à baisser jusqu'à 16 heures ($t = 12^{\circ}\text{C}$). Là, un vent chaud commence à souffler irrégulièrement. Il maintiendra la température durant toute la nuit autour de 15°C .

Humidité relative: Le matin l'H.R. diminue de 9 heures (91%) jusqu'à 14 heures (60%) et

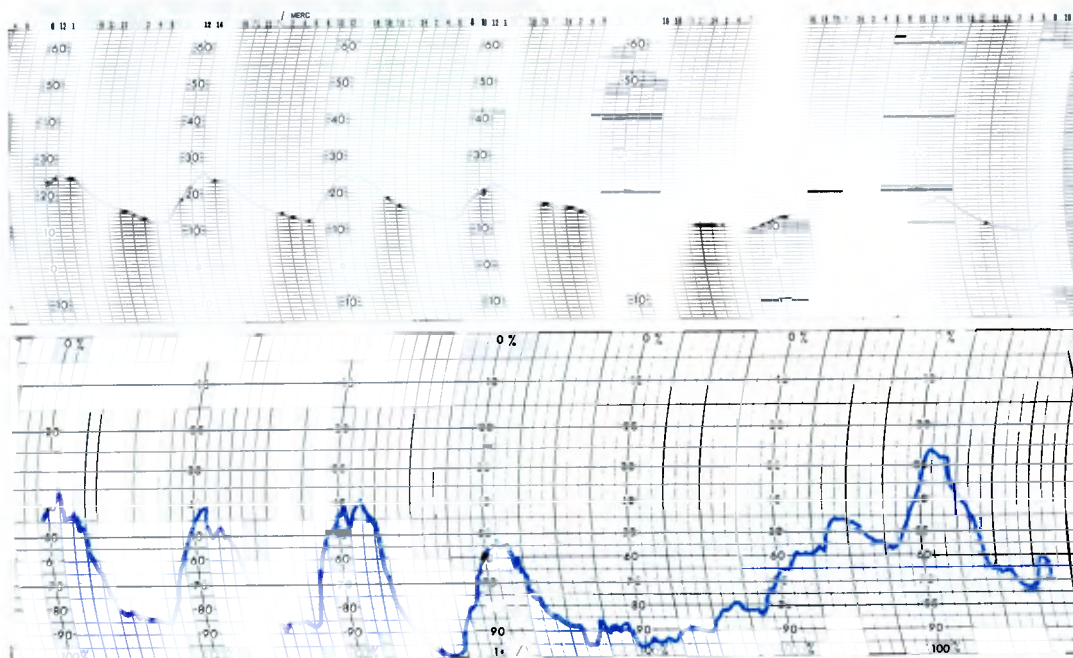
atteint 75% à 16 heures. Puis le vent chaud et sec fait baisser l'H.R. à 50% aux environs de minuit. A comparer avec la fiche 4.3.1.

Enregistrement hebdomadaire

Température: Suivant les jours, les variations de température diffèrent énormément. Par exemple, le vendredi la température reste stable à 10°C - 12°C , alors que le mardi elle varie de 12°C à 26°C .

Humidité relative: Les variations d'humidité relative sont très irrégulières. Par exemple, le jeudi, l'humidité relative est comprise entre 55% à 100% et le dimanche entre 27% à 70%.

A noter que le mercredi à 14 heures, la température chute et l'humidité relative augmente brutalement. Des averses en sont la cause.



Weekly recording

Enregistrement hebdomadaire

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

4.3.3.

• VARIATIONS OF CLIMATIC CONDITIONS INSIDE A BUILDING AND INSIDE A SHOWCASE

On this chart we have a recording of conditions inside a building. It is interesting to compare it with the one on 4.3.1 of conditions outside during the same day (marked with a dotted line).

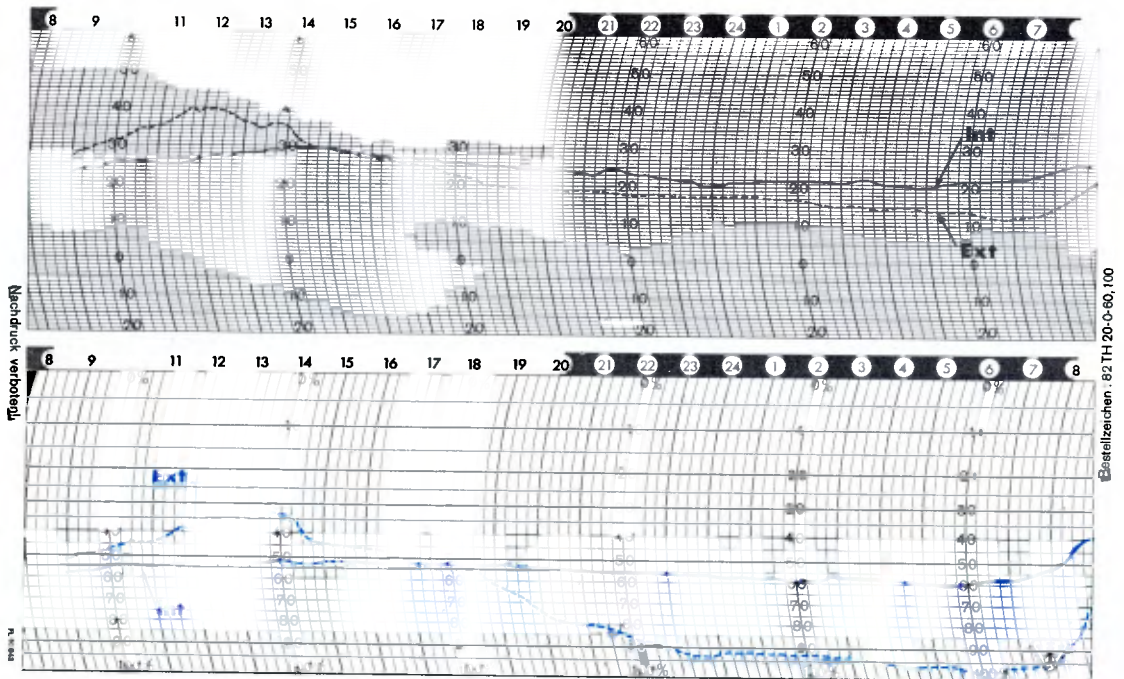
Outside temperature	Maximum	41° at 12 noon
	Minimum	13° at 7 a.m.
Inside temperature	Maximum	29° at 3 p.m.
	Minimum	20° at 5 a.m.
Outside R.H.	Maximum	100% at 6 a.m.
	Minimum	34% at 2 p.m.
Inside R.H.	Maximum	65% at 6 a.m.
	Minimum	55% at 3 p.m.

Note that whereas the relative humidity outside varies by 66%, the inside variation is only 10%. From this we can see how harmful opening a window in a museum can be if there is no

means to control relative humidity. The sudden arrival of air containing a very different relative humidity can cause irreparable damage to collections. This would explain the fact, well known to archaeologists, that many objects disintegrate soon after a tomb is opened.

The monthly chart shows the climatic recordings inside a museum room (dotted line) and inside a showcase situated in the same room (continuous line). It is interesting to note that the temperature inside the showcase and inside the room both vary in the same manner — though with a slight time lag — despite the showcase having athermic glass.

On the other hand, the variations of relative humidity inside the showcase are slight and hardly affected by the variations in the room. It should be pointed out that the showcase was a particularly well sealed one.



Variations inside a building

Variations dans un bâtiment

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

4.3.3.

● VARIATIONS DES CONDITIONS CLIMATIQUES A L'INTERIEUR D'UN BATIMENT ET A L'INTERIEUR D'UNE VITRINE

Sur cette feuille se trouve l'enregistrement fait à l'intérieur d'un bâtiment. Il est intéressant de le comparer avec l'enregistrement fait à l'extérieur du même bâtiment pendant la même période (fiche 4.3.1) (marqué en pointillé).

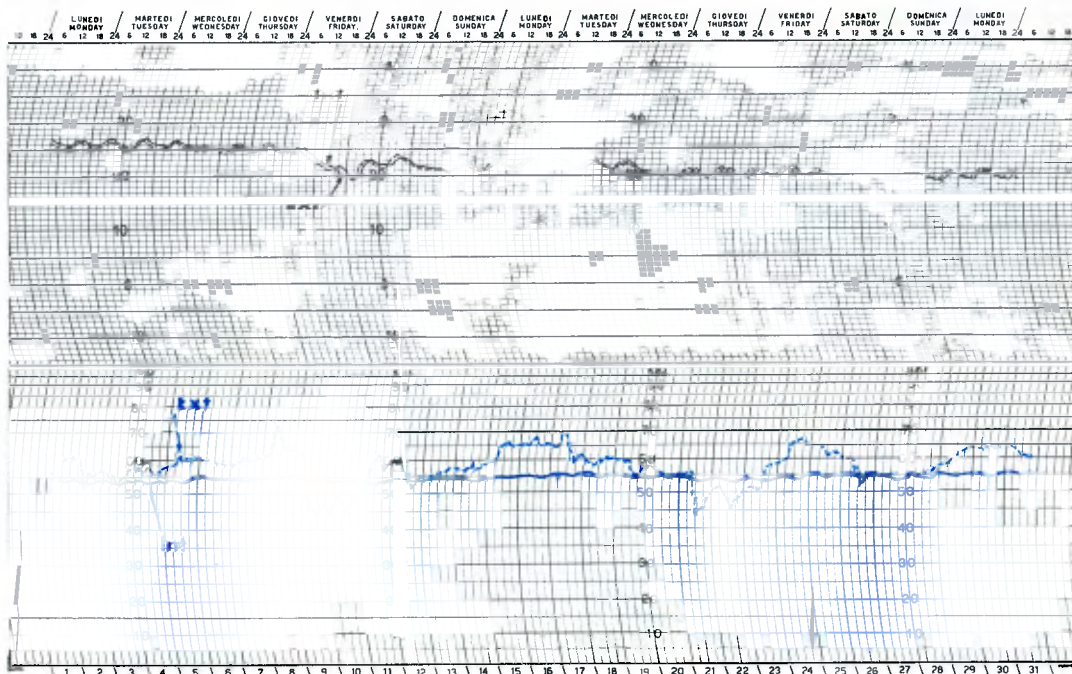
Température extérieure	Maximum	41° à 12h.
	Minimum	13° à 7h.
Température intérieure	Maximum	29° à 15h.
	Minimum	20° à 5h.
H.R. extérieure	Maximum	100% à 6h.
	Minimum	34% à 14h.
H.R. intérieure	Maximum	65% à 6h.
	Minimum	41% à 12h.

Alors qu'à l'extérieur, l'humidité relative varie de 66%, à l'intérieur la variation n'est que de 10%. Ceci montre combien il peut être dangereux d'ouvrir les fenêtres d'un musée sans contrôle. L'arrivée brutale d'un air ayant une humi-

idité relative très différente peut entraîner des dommages irréparables pour les collections. Ceci explique le phénomène bien connu en archéologie de la désintégration des objets d'une tombe au moment de l'ouverture de celle-ci

Le diagramme mensuel indique aussi les variations climatiques durant un mois dans une salle de musée (ligne pointillée) et dans une vitrine placée dans cette même salle (ligne pleine). Il est intéressant de remarquer que les variations de température à l'intérieur de la vitrine suivent exactement, mais avec un léger décalage dans le temps, les variations de température extérieure et pourtant cette vitrine avait des verres athermiques.

Par contre, les variations d'humidité relative à l'intérieur de la vitrine sont extrêmement stables et sont très peu affectées par les variations d'humidité relative dans la salle. Il faut signaler que la vitrine était particulièrement bien scellée.



Variations inside a showcase

Variations dans une vitrine

-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

5.

● PSYCHROMETRIC OR HYGROMETRIC CHART

● NOTES

Since absolute humidity, relative humidity and temperature are interrelated within a volume of air, if we know the values of any two of them, it is possible to find the third by using this chart *.

The chart looks a bit complicated at first, but in fact it summarizes all the information already given on saturation, condensation, A.H. and R.H.

It is therefore important to learn its use.

The abscissa (horizontal) corresponds to the air temperature (or dry bulb temperature).

The ordinate (vertical) corresponds to A.H. in grams per cubic metre.

The 10 blue rising curves indicate R.H. from 0% to 100%.

For example, a room in which $t = 20^{\circ}\text{C}$, $\text{R.H.} = 60\%$ and $\text{A.H.} = 11 \text{ g/m}^3$ will be shown at point A on the chart (continued on page 60).

* Reproduced by kind permission of Butterworth & Co. (Publishers) Ltd., from « Museum Environment » by Garry Thomson, 1978.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. **Diagramme de l'air humide**
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

5.

● DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE OU DIAGRAMME PSYCHROMETRIQUE

Dans un volume d'air, les valeurs de l'H.R., de l'H.A. et de la température sont liées les unes aux autres. Connaissant deux quelconques de ces valeurs, nous pouvons grâce à ce diagramme * découvrir la troisième.

Ce diagramme à première vue compliqué et rébarbatif, réunit toutes les informations sur la saturation, la condensation, l'humidité absolue et l'humidité relative évoquées jusqu'ici.

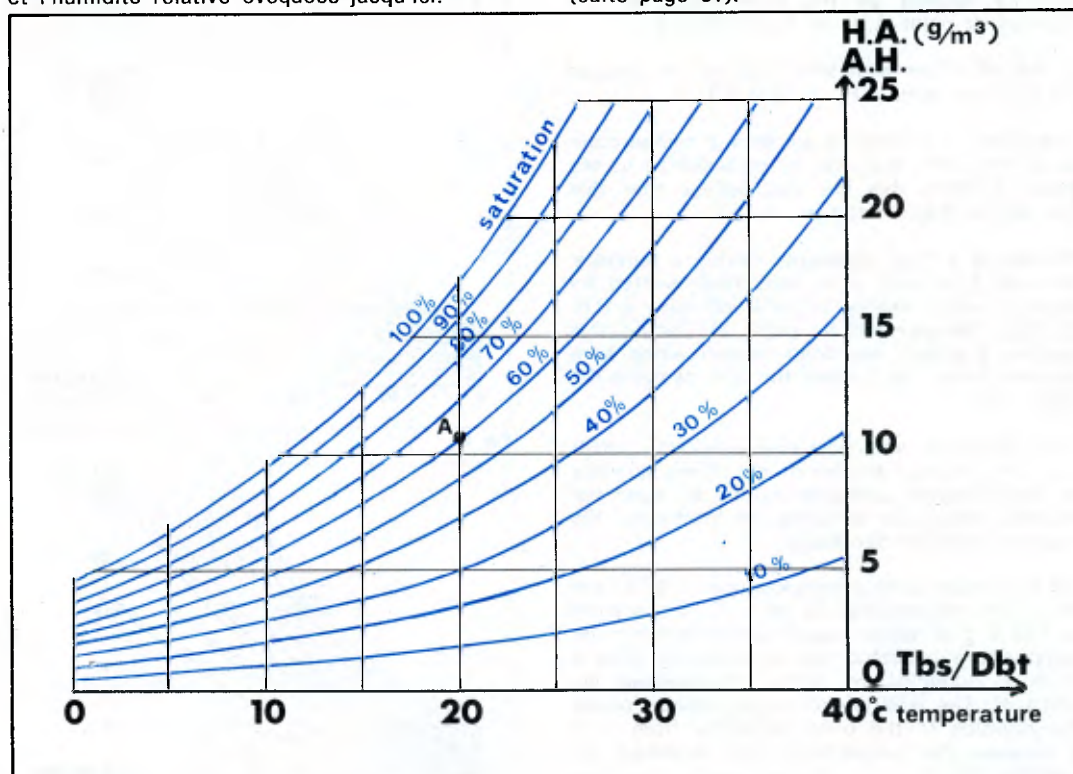
Apprenons donc à l'utiliser.

En abscisse, nous avons la température de l'air Tbs (ou température du bulbe sec).

En ordonnée, nous avons le contenu de vapeur d'eau en grammes par mètre cube d'air (ou l'humidité absolue).

Les 10 courbes bleues montantes indiquent l'humidité relative de 0% à 100%.

Par exemple, une salle ayant les conditions climatiques suivantes, $t = 20^{\circ}\text{C}$, H.R. = 60%, H.A. = 11 g/m^3 , sera représentée par le point A (suite page 61).



* Reproduit avec l'aimable autorisation de Butterworth & Co. (Publishers) Ltd., de « Museum Environment » par Garry Thomson, 1978.

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

5.1.

● USE OF THE PSYCHROMETRIC CHART

The climatic conditions of a showcase, a room, a store-room, or any volume of air can be placed on this psychrometric chart. For instance, a volume of air having a temperature of 18°C is located on the blue vertical line marked at point t = 18°C . Fig. 1.

In the same way, a volume of air having an absolute humidity of 7 grams per cubic metre will be located on the blue horizontal line marked at point A.H. = $7\text{g}/\text{m}^3$. Fig. 2.

A volume of air with 54% R.H. will be located on the blue curve R.H. = 54%. Fig. 3.

Therefore, a volume of air with a temperature of 30° and 60% R.H. will be represented by the point O. From this we can deduce that this air has an A.H. of $19\text{g}/\text{m}^3$. Fig. 4.

Therefore, a 1 m^3 showcase having a temperature of 10°C and 55% R.H. (represented by point 1), when heated to 30°C will have a R.H. of 17% (represented by point 2). During this heating process, the point moves along horizontally from 1 to 2 since the A.H. remains the same. Fig. 5.

This illustrates what was said previously under 2.4 « In a closed volume of air, if the quantity of water vapour contained in the air does not change, when the temperature increases, the relative humidity decreases ».

So in a room with a temperature of 25°C and 30% R.H. (represented by point 3), if one were to add 8 g of water vapour while keeping the temperature constant, the room would have a relative humidity of 62% (represented by point 4). The addition of water vapour moves the position of the point vertically from 3 to 4 because the temperature has remained unchanged. Fig. 6.

(see exercises nos. 4, 5, 6.)

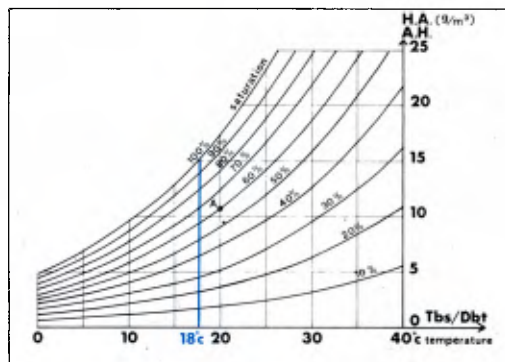


Fig. 1

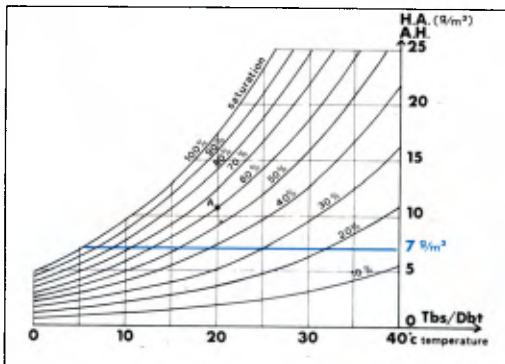


Fig. 2

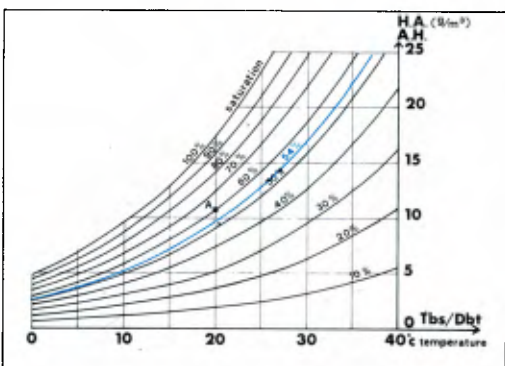


Fig. 3

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

5.1.

● UTILISATION DU DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE

Les conditions climatiques d'une vitrine, d'une salle, d'une réserve, d'un volume d'air quelconque, peuvent être localisées sur le diagramme psychrométrique. Ainsi tout volume d'air à une température de 18°C sera localisé sur la verticale bleue arrivant au point $t = 18^{\circ}\text{C}$. Fig. 1.

Tout volume d'air ayant une humidité absolue de $7 \text{ grammes}/\text{m}^3$ sera localisé sur l'horizontale bleue arrivant au point $\text{H.A.} = 7 \text{ g}/\text{m}^3$. Fig. 2. Ainsi tout volume d'air ayant une H.R. de 54% sera localisé sur la courbe bleue $\text{H.R.} = 54\%$. Fig. 3.

Ainsi un volume d'air qui aura une température de 30°C et une H.R. de 60% sera représenté par le point O. Nous pouvons en déduire que cet air aura donc une H.A. de $19 \text{ g}/\text{m}^3$. Fig. 4.

Ainsi une vitrine de 1 m^3 à une température de 10°C et une H.R. de 55% (représentée par le point 1), si elle est chauffée à 30°C , se retrouvera avec une H.R. de 17% (représentée par le point 2). Durant ce chauffage le point représentatif se déplace suivant une horizontale car l'H.A. reste constante. Fig. 5.

Ceci illustre ce que nous avons dit sur la fiche 2.4 « Dans un volume clos, si le contenu de vapeur d'eau ne varie pas, quand la température augmente, l'H.R. diminue ».

Ainsi si dans une salle à 25°C ayant une humidité relative de 30% (représentée par le point 3) on vaporise 8 g d'eau par mètre cube d'air, en maintenant la température constante, la salle se retrouvera avec une H.R. de 62% (représentée par le point 4). Durant cette adjonction de vapeur d'eau, le point représentatif se déplacera suivant une verticale car la température reste constante. Fig. 6.

(voir exercice no. 4, 5, 6)

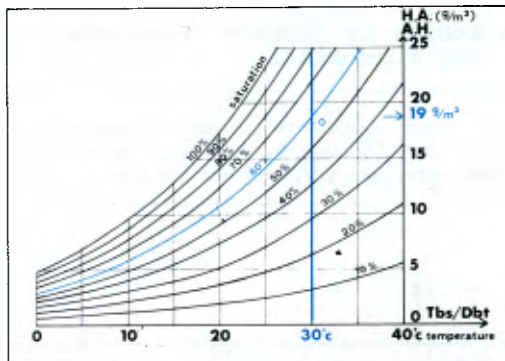


Fig. 4

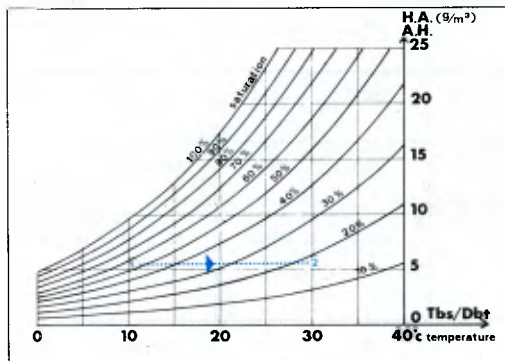


Fig. 5

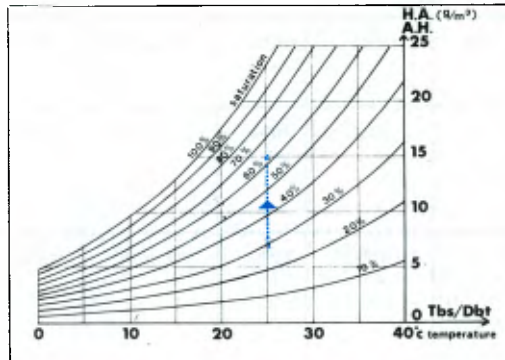


Fig. 6

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

5.2.

● CAUSES OF CLIMATIC VARIATIONS IN-SIDE A SHOWCASE

This chart represents climatic variations that could occur during the course of a day in a glass showcase which is not airtight.

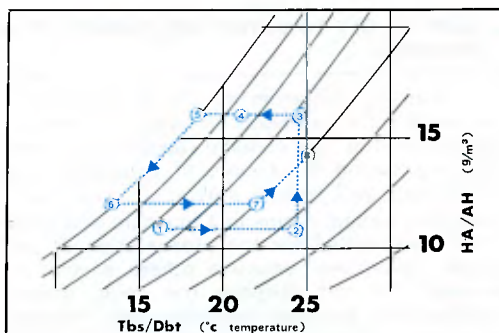
Point	Temperature	R.H.	A.H.	Time	Causes of variations
1	16°C	76%	11 g/m ³	8 a.m.	The heating of the museum is switched on before the arrival of the visitors.
2	24°C	46%	11 g/m ³	9 a.m.	The temperature has risen to 24°C; the A.H. remains unchanged, but the R.H. has dropped to 46%.
3	24°C	66%	16 g/m ³	10 a.m.	The cleaners have been washing the marble floor for an hour. A.H. rises as well as R.H. which reaches 66%.
4	21°C	85%	16 g/m ³	4 p.m.	The heating has been switched off for three hours for reasons of economy. The temperature has dropped to 21°C, A.H. has remained stable but R.H. has risen to 85%.
5	18°C	100%	16 g/m ³	8 p.m.	The temperature continues to drop and reaches dew-point (100%) at 18°C indicating that condensation will begin if the temperature continues to drop.
6	13°C	100%	12 g/m ³	2 a.m.	The temperature continues to drop and reaches 13°C, R.H. = 100%, A.H. = 12 g/m ³ . 4 g of water trickle down the inner sides of the showcase.
7	22°C	60%	12 g/m ³	9 a.m.	The heating has been switched on again, the temperature is 22°C, A.H. = 12g/m ³ , R.H. = 60%. The person in charge of the conservation of collections, passing at that moment, knows that the increasing heat will reduce the R.H.
8	25°C	60%	14 g/m ³	10 a.m.	An hour ago, the person in charge of the conservation of the collections switched on a humidifier which has given out 2g of water per m ³ . Although the temperature has risen to 25°C, the R.H. has been maintained at 60%, thus avoiding any further risk of damage to the collections.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

5.2.

● VARIATIONS CLIMATIQUES DANS UNE VITRINE

Ce graphique représente les variations climatiques qui pourraient avoir lieu dans une vitrine en verre, peu hermétique, au cours d'une journée.



Point	Température	H.R.	H.A.	Heure	Causes des variations
1	16°C	76%	11 g/m³	8	En attendant les visiteurs, le chauffage du musée commence.
2	24°C	46%	11 g/m³	9	La température est montée à 24°C, l'H.A. n'a pas changé mais l'H.R. est tombée à 46%.
3	24°C	66%	16 g/m³	10	Depuis une heure, l'équipe de nettoyage lave le sol en marbre. L'H.A. augmente ainsi que l'H.R. qui atteint 66%.
4	21°C	85%	16 g/m³	16	Le chauffage est déjà fermé depuis 3 heures par économie. La température est tombée à 21°C. L'H.A. est restée stable mais l'H.R. augmente à 85%.
5	18°C	100%	16 g/m³	20	La température continue de baisser. Elle arrive à 18°C, et atteint le point de rosée (100%) indiquant que la condensation va commencer si la température continue de baisser.
6	13°C	100%	12 g/m³	2	La température a continué de baisser. Elle atteint 13°C, H.R. = 100%. H.A. = 12 g/m³. 4 grammes d'eau ruissellent sur les parois de la vitrine.
7	22°C	60%	12 g/m³	9	Le chauffage a repris. Il atteint 22°C, H.A. = 12 g/m³, H.R. = 60%. Le responsable des collections passe. Il sait que l'augmentation de température due au chauffage va faire baisser l'H.R.
8	25°C	60%	14 g/m³	10	Depuis une heure le responsable des collections a mis en marche un humidificateur qui a vaporisé 2g d'eau par mètre cube. Bien que la température soit passée à 25°C, l'H.R. s'est maintenue à 60%, ce qui évitera des risques de dommages pour les collections.

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Pycrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

6.

● HOW TO GET TO KNOW THE CLIMATE OF A BUILDING

All rooms in a museum do not generally have the same climate. Some rooms are damper, others are drier. The climatic conditions in some will vary during the course of a day while in others they will remain stable.

Therefore, certain rooms in a museum will clearly be more suited for the preservation of particular collections, whereas others should not be used for this purpose but could accommodate other services (reception area, maintenance, educational facilities, etc.).

It is therefore important to learn how a building « behaves » climatically and delimit the zones that have a

- fluctuating humidity
- stable high humidity
- stable moderate humidity
- stable low humidity

Preliminary study

The aim of the preliminary study is to discover how many climatic zones there are in the building.

This study can last from two days to one month depending on the size of the building and the experience of the operator.

In order to carry out the study, at least two thermo-hygrographs are required.

Let us imagine that a museum has ten rooms (display and storage areas).

If you have only two instruments, after calibrating them place them in the centre of each of two adjoining rooms A and B. If after 24 hours the recordings are identical, we will know that rooms A and B form one climatic zone and that the recording in room A represents zone A-B.

We will then place the instruments in rooms A and C. If after 24 hours the recordings in these rooms are again identical, we will know that rooms A and C form one climatic zone and that the recording in room A represents the zone A-B-C.

On the other hand, if the recordings in rooms A and C are different, we will have discovered

that there are two climatic zones: zone A-B and zone C.

Little by little, we can find out how many climatic zones there are in a museum. Fortunately, it is not often that there are more than three zones.

In countries where the buildings are centrally heated, this study should be carried out in both summer and winter.

Obviously, the more thermo-hygrographs that are used, the quicker the study can be carried out.

Long-term Study

The aim of this study is to see how climatic variations outside the museum are transmitted and reduced in the different zones defined in the preliminary study.

This requires a thermo-hygrograph for each previously defined zone, as well as one to measure the variations outside.

A thermo-hygrograph can also be placed inside a showcase to see how the variations inside the room are transmitted and reduced by the case itself.

It is advisable to use a monthly thermo-hygrograph but a weekly one would serve the purpose. This study, which should last a year, should help us in understanding the climatic « behaviour » of the museum and consequently allow us

- to assign the most sensitive collections to the zones with the most stable humidity;
- to decide whether it is necessary to humidify a zone during a particular time of the year;
- to decide whether it is necessary to dehumidify a zone during a particular time of the year;
- to improve the thermal insulation of the building;
- to improve the airtightness of the showcases;
- to air-condition the building;

or to find any other solution that would allow the collections to be exhibited in the best possible conditions.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

6.

● COMMENT APPRENDRE A CONNAITRE LE CLIMAT D'UN BATIMENT

Toutes les pièces d'un bâtiment n'ont généralement pas le même climat. Certaines pièces seront plus humides, d'autres seront plus sèches. Certaines verront au cours d'une journée leur climat varier, d'autres auront des conditions climatiques très stables.

Il est donc évident que certaines pièces d'un musée seront naturellement plus adaptées pour la conservation de certaines collections, alors que d'autres ne devraient pas abriter des collections mais plutôt d'autres services (accueil du public, entretien, services éducatifs, etc.).

Il sera donc important de découvrir comment le bâtiment « vit » du point de vue climatique et distinguer les zones à

- humidité variable
- humidité élevée stable
- humidité moyenne stable
- humidité basse stable

Etude préliminaire

Le but de l'étude préliminaire consiste à découvrir en combien de zones climatiques le bâtiment peut être divisé.

Cette étude durera de deux jours à un mois suivant l'étendue du bâtiment et l'expérience de l'opérateur.

Pour ce faire, il faudra utiliser au moins deux thermo-hygrographes.

Imaginons que le musée soit constitué de 10 salles (exposition et réserves).

Si l'on a seulement deux appareils, après les avoir étalonnés, on les placera au centre de chacune de deux pièces contiguës A et B. Si après 24 heures les enregistrements sont identiques, nous saurons que les pièces A et B ne forment climatiquement qu'une zone et que l'enregistrement dans la salle A est représentatif de la zone A-B.

Nous disposerons alors les appareils dans les salles A et C. Si après 24 heures les enregistrements dans les salles A et C sont identiques, nous saurons que les pièces A et C ne forment climatiquement qu'une zone et que l'enregistre-

ment dans la salle A est représentatif de la zone A-B-C.

Si, par contre, les enregistrements dans les salles A et C sont différents, nous aurons découvert qu'il existe deux zones climatiques, les zones A-B et la zone C.

De proche en proche, nous découvrirons combien de zones climatiques existent dans le musée. Heureusement, en général il est rare de dépasser le nombre de trois zones.

Dans les pays ayant le chauffage central, cette étude devrait être faite en été et en hiver.

Il est évident que plus on aura de thermo-hygrographes, plus rapide sera l'étude.

Etude à longue échéance

Cette étude a pour but de voir comment les variations climatiques existant à l'extérieur du musée sont transmises et amorties dans les différentes zones définies au cours de l'étude préliminaire.

Pour ce faire il faut un thermo-hygrographe par zone définie précédemment et un pour mesurer les variations climatiques à l'extérieur du musée.

On pourra aussi mettre un thermo-hygrographe dans une vitrine pour voir comment les variations climatiques existant dans une salle de musée sont transmises et amorties par la vitrine.

Il est conseillé d'utiliser des thermo-hygrographes mensuels mais des thermo-hygrographes hebdomadaires feront l'affaire. L'étude durera une année au terme de laquelle il sera possible de comprendre la « vie climatique » du musée et, de ce fait,

- d'attribuer les zones les plus stables aux collections les plus sensibles;
- de décider s'il faut humidifier une zone durant une certaine période de l'année;
- de décider s'il faut déshumidifier une zone durant une certaine période de l'année;
- d'améliorer l'isolement thermique du bâtiment;
- d'améliorer l'étanchéité des vitrines;
- de conditionner le bâtiment

ou de trouver toute autre solution permettant de mettre les collections dans les conditions climatiques les meilleures.

1. Sources of humidity in the air
2. Measuring humidity
3. Instruments for spot measurements
4. Recording instruments
5. Psychrometric or hygrometric chart
6. How to get to know the climate of a building
7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
8. Conclusion

7.

● RECOMMENDED RELATIVE HUMIDITY LEVELS FOR THE CONSERVATION OF COLLECTIONS

The following are the generally recommended relative humidity levels for each type of material. It should be borne in mind, however, that it is best to keep the relative humidity as stable as possible.

Between 0% and 45% Inorganic objects:

Metals
Stone
Ceramics

Between 42% and 45% Inorganic objects:

Glass

Between 45% and 55% Inorganic objects:

Fossils

Between 50% and 65% Organic objects:

Wood
Paper
Textiles
Ivory
Leather
Parchment
Paintings
Natural history specimens

At 100%, objects excavated from damp sites (before treatment)

Stone
Mosaics
Ceramics
Wood

N.B. Preservation of films presents a serious problem. Studies are at present being carried out to determine the most suitable conditions for their preservation. The present recommended levels are:

Films with a nitrate base require: R.H. from 40% to 60%, t between 2°C and 6°C.

Black and white films on acetate, polyester or video base require: R.H. = 60%, t = 12°C.

Colour films require: R.H. below 30%, t = -5°C.

This table requires further explanation and it should be remembered that:

1. Objects can quite well be stabilised and perfectly conserved in conditions very different to those indicated here. A sudden change of climate might well give rise to a process involving damage.
2. When a susceptible organic object has been dimensionally stable for several years in a particular environment, the least possible risk to the object will be caused by maintaining this level, whatever it may be. If a change is unavoidable, then even several years of slow re-equilibration may not prevent damage.
3. Objects that have absorbed salts from the soil (metals, ceramics, stones) should be desalted before being placed in the recommended R.H.
4. The more damaged an object is, the greater its reaction will be to adverse climatic conditions.
5. When an object is made of different materials, try to keep the R.H. at the level recommended for the most sensitive material.
6. Always avoid sudden changes in R.H.
7. A wide, slow variation is better than a series of smaller, more rapid ones.
8. Once a curator has chosen a R.H. level for his collection from the range of recommended R.H. levels for different types of objects as given here, this level should be maintained constant. Also by keeping the R.H. conditions inside his museum as near as possible to those outside, the curator will save a lot of energy and effort: e.g. In a dry climate, the R.H. for a collection of wooden objects might be 50% and on the contrary in a humid climate, the R.H. might be 65%.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments for spot measurements
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

7.

● HUMIDITE RELATIVE CONSEILLEE POUR UNE BONNE CONSERVATION DES COLLECTIONS

Gardant à l'esprit qu'il est essentiel que l'humidité relative reste la plus stable possible, voici la fourchette des valeurs généralement recommandées pour chaque type de matériel.

Entre 0% et 45% objets inorganiques:

Métal
Pierre
Céramique

Entre 42% et 45% objets inorganiques:

Verre sensible

Entre 45% et 55% objets inorganiques:

Fossiles

Entre 50% et 65% objets organiques:

Bois
Papier
Textile
Ivoire
Cuir
Parchemin
Peinture
Spécimens naturalisés

A 100%_objets provenant des fouilles humides (avant traitement):

Pierre
Mosaïque
Céramique
Bois

N.B. Les films posent actuellement un gros problème de conservation. Des études sont en cours pour déterminer les meilleures conditions de conservation. Les niveaux actuels proposés sont les suivants:

Les films sur support nitrates requièrent: H.R. de 40 à 60% et t entre 2°C et 6°C.

Les films blanc et noir sur support acétate, polyester ou vidéo requièrent: H.R. = 60% t = 12°C.

Les films en couleur requièrent: H.R. inférieure à 30% t = -5°C.

Ce tableau appelle certaines précisions et les règles de conduite suivantes:

1. Des objets peuvent très bien s'être stabilisés et conservés parfaitement dans des conditions très différentes de celles indiquées ici. Modifier ce climat risquerait de donner le départ d'une évolution entraînant des dommages.
2. Quand un objet organique sensible est resté stable dans un environnement particulier, en maintenant ces conditions climatiques — quelles qu'elles soient — on réduira au maximum les risques d'endommagement. Si l'on devait modifier à tout prix ces conditions climatiques (transport dans un musée, exposition temporaire etc.), il faudra le faire très lentement. La période de ré-équilibrage peut prendre plusieurs années si l'on veut éviter des risques.
3. Les objets ayant absorbé des sels du terrain (métaux, céramiques, pierres) devront être dessalés avant d'être transportés au niveau d'humidité recommandé.
4. Plus un objet est endommagé, plus il réagira à des conditions climatiques éloignées de celles conseillées.
5. Dans le cas d'un objet composite, essayer de maintenir l'H.R. recommandée pour le matériel le plus sensible.
6. Eviter toujours les variations brusques d'H.R.
7. Il vaut mieux une variation importante et lente que des variations faibles et rapides.
8. Dans la fourchette d'H.R. proposée ci-contre pour un type d'objet, le conservateur devra choisir un niveau d'H.R. pour conserver ses collections, et le maintenir stable. De plus, en maintenant à l'intérieur de son musée des conditions aussi voisines que possible des conditions extérieures, le conservateur économisera effort et énergie.
Ex: dans un pays sec, on pourra choisir pour les collections de bois une H.R. de 50% et, par contre, dans un pays humide, on pourra choisir une H.R. de 65%.

-
1. Sources of humidity in the air
 2. Measuring humidity
 3. Instruments for spot measurements
 4. Recording instruments
 5. Psychrometric or hygrometric chart
 6. How to get to know the climate of a building
 7. Recommended levels of relative humidity for the conservation of collections
 8. Conclusion
-

8.

● CONCLUSION

The measurement of relative humidity provides an essential source of information to the person in charge of a collection because it explains some of the reasons for its deterioration.

However, spot measurements are not sufficient. In order to be able to examine the situation fully, **it is important to observe and record relative humidity and temperature fluctuations over a period of at least a year.**

The first place where recordings should be taken is the storage area where museums assemble a large number of items, often in precarious conditions. It is also imperative to take recordings in the display area, if possible near the most sensitive works.

- Only after a careful study of these recordings can one take efficient measures to stabilise R.H. to the recommended level and thus ensure better protection of the collection.
- Only after a careful study of these recordings can one decide whether or not the object can in future be loaned for temporary exhibition and, if so, what climatic conditions must be guaranteed.

Deterioration of collections cannot be prevented without first taking relative humidity recordings.

1. Sources de l'humidité dans l'air
2. Mesures de l'humidité
3. Instruments de mesure ponctuelle
4. Instruments enregistreurs
5. Diagramme de l'air humide
6. Comment apprendre à connaître le climat d'un bâtiment
7. Humidité relative conseillée pour la conservation des collections
8. Conclusion

8.

● CONCLUSION

La mesure de l'humidité relative donne une information capitale à celui qui désire comprendre pourquoi les collections dont il a la charge s'endommagent.

Mais une mesure ponctuelle ne suffit pas. Il faut, pour porter un diagnostic exact, connaître et enregistrer les variations de l'humidité relative et de la température. **Ces enregistrements devraient porter sur une année au moins.**

Ceux-ci devraient être faits en priorité dans les réserves dans lesquelles est groupée — dans quelles conditions parfois — la plus grande partie des collections des musées. Il est aussi fortement conseillé de faire ces enregistrements dans les salles et si possible près des œuvres les plus sensibles.

- Seule l'analyse de ces enregistrements permettra d'intervenir efficacement pour stabiliser l'humidité relative au niveau voulu en vue de mieux protéger les collections.
- Seule l'analyse de ces enregistrements permettra de décider scientifiquement à l'avenir si un objet peut être prêté pour une exposition temporaire et ce dans quelles conditions.

Il ne peut y avoir de prévention à la détérioration des collections sans enregistrement de l'humidité relative.

● EXERCISES

Exercise no. 1

If you know that saturation is 31g/m^3 at 30°C , 18g/m^3 at 20°C , 10g/m^3 at 10°C , what would be the relative humidity level in 1m^3 showcase containing 6g of water vapour at 10°C , and which is heated to 30°C by a lighting system installed inside the showcase by mistake.

- At 10°C R.H. =
- At 20°C R.H. =
- At 30°C R.H. =

Exercise no. 2

- What would be the A.H. of a 1m^3 showcase A at 10°C in which the R.H. is 60% ?
- What would be the A.H. of a 1m^3 showcase B at 20°C in which the R.H. is 60% ?
- What would be the A.H. of a 1m^3 showcase C at 30°C in which the R.H. is 60% ?
- What should one do to keep the R.H. constant at 60% if showcase B is heated from 20°C to 30°C .

Exercise no. 3

Using the following pairs of temperature measurements, find the corresponding relative humidity on the conversion chart.

- | | | |
|-----------------------------|--------------------------|--------|
| a) Dbt = 14°C | Wbt = 11°C | R.H. = |
| b) Dbt = 18°C | Wbt = 15°C | R.H. = |
| c) Dbt = 24°C | Wbt = 21°C | R.H. = |
| d) Dbt = 34°C | Wbt = 31°C | R.H. = |
| e) Dbt = 22°C | Wbt = 11°C | R.H. = |
| f) Dbt = 9°C | Wbt = 3°C | R.H. = |
| g) Dbt = 25°C | Wbt = 15°C | R.H. = |
| h) Dbt = 25°C | Wbt = 20°C | R.H. = |
| i) Dbt = 25°C | Wbt = 24°C | R.H. = |
| j) Dbt = 25°C | Wbt = 25°C | R.H. = |
| k) Dbt = 18°C | Wbt = 19°C | R.H. = |

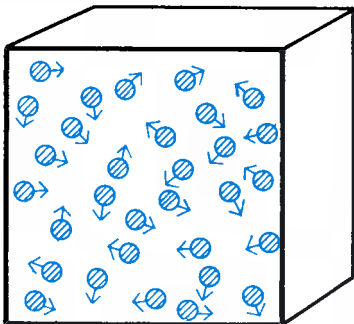
Answers:

Exercise n. 1: a) 60% ; b) 33% ; c) 20% ;

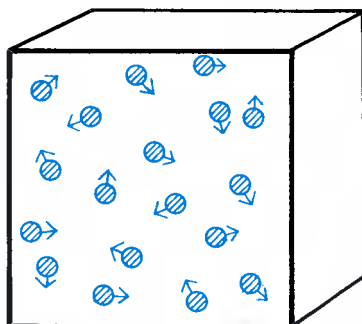
Exercise n. 2: a) 6g/m^3 ; b) 10.8g/m^3 ; c) 18.6g/m^3 ; d) add 7.8g water vapour

Exercise n. 3: a) 69% ; b) 73% ; c) 77% ;
 d) 81% ; e) 22% ;
 f) 31% ; g) 33% ; h) 63% ;
 i) 92% ; j) 100% ; k) impossible.
 Wbt is always lower than Dbt.

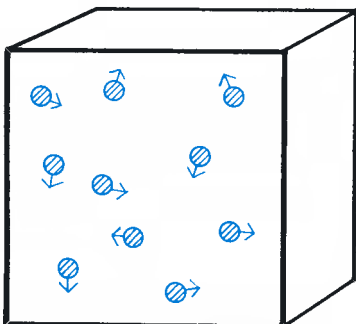
30°C



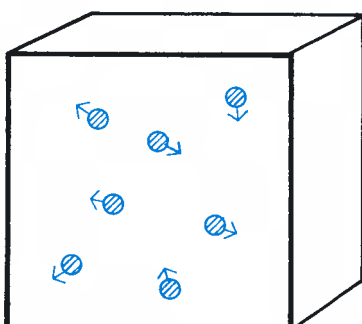
20°C



10°C



5°C



State of saturated air at different temperatures

Etat de l'air saturé à différentes températures.

● EXERCICES

Exercice n. 1

Sachant que la saturation est de 31 g/m³ à 30°C, 18 g/m³ à 20°C, 10 g/m³ à 10°C, quelles seront les valeurs de l'humidité relative dans une vitrine de 1 mètre cube, qui contiendrait 6 g de vapeur d'eau à 10°C, et qui serait chauffée à 30°C par le système d'éclairage implanté par erreur à l'intérieur de la vitrine.

- a) A 10°C H.R. =
b) A 20°C H.R. =
c) A 30°C H.R. =

Exercice n. 2

- a) Quelle serait l'H.A. d'une vitrine A d'un mètre cube à 10°C dont l'H.R. est de 60%?
b) Quelle serait l'H.A. d'une vitrine B d'un mètre cube à 20°C dont l'H.R. est de 60%?
c) Quelle serait l'H.A. d'une vitrine C d'un mètre cube à 30°C dont l'H.R. est de 60%?
d) Que faut-il faire pour maintenir l'H.R. stable à 60% si on chauffe la vitrine B de 20°C à 30°C?

Exercice n. 3:

A partir des couples de mesure de température suivants, trouver l'humidité relative correspondante en utilisant la table psychrométrique.

- a) Tbs = 14°C Tbh = 11°C H.R. =
b) Tbs = 18°C Tbh = 15°C H.R. =
c) Tbs = 24°C Tbh = 21°C H.R. =
d) Tbs = 34°C Tbh = 31°C H.R. =
e) Tbs = 22°C Tbh = 11°C H.R. =
f) Tbs = 9°C Tbh = 3°C H.R. =
g) Tbs = 25°C Tbh = 15°C H.R. =
h) Tbs = 25°C Tbh = 20°C H.R. =
i) Tbs = 25°C Tbh = 24°C H.R. =
j) Tbs = 25°C Tbh = 25°C H.R. =
k) Tbs = 18°C Tbh = 19°C H.R. =

Réponses:

Exercice n. 1: a) 60%; b) 33%; c) 20%

Exercice n. 2: a) 6 g/m³; b) 10,8 g/m³; c) 18,6 g/m³; d) vaporiser 7,8 g d'eau

Exercice n. 3: a) 69%; b) 73%; c) 77%;
d) 81%; e) 22%; f) 31%;
g) 33%; h) 63%; i) 92%;
j) 100%; k) impossible, la Tbh est toujours inférieur à la Tbs.

	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
0	100	91	83	75	67	61	54	48	42	37	31	27	22	18	14	10	7	4	1													
1	100	92	83	76	69	63	56	50	44	39	34	30	25	21	17	14	10	7	4	1												
2	100	92	84	77	70	64	58	52	47	42	37	33	28	24	21	17	14	11	8	5	2											
3	100	93	85	78	72	66	60	54	49	44	39	35	31	27	23	20	17	14	11	8	6	3	1									
4	100	93	86	79	73	67	61	56	51	46	42	37	33	30	26	23	20	17	14	11	9	7	4	2								
5	100	93	86	80	74	68	63	57	53	48	44	40	36	32	29	25	22	19	17	14	12	10	7	5	3	2						
6	100	93	87	81	75	69	64	59	54	50	46	42	38	34	31	28	25	22	19	17	15	12	10	8	6	5	3	1				
7	100	94	87	81	76	70	65	60	56	52	48	44	40	37	33	30	27	24	22	19	17	15	13	11	9	7	6	4	3	1		
8	100	94	88	82	76	71	66	62	57	53	49	46	42	39	35	32	29	27	24	22	19	17	15	13	11	10	8	6	5	4	2	
9	100	94	88	83	77	72	68	63	59	55	51	47	44	40	37	34	32	29	26	24	22	20	18	16	14	12	10	9	7	6	5	
10	100	94	88	83	78	73	69	64	60	56	52	49	45	42	39	36	33	31	28	26	24	22	20	18	16	14	13	11	10	8	7	
11	100	94	89	84	79	74	69	65	61	57	54	50	47	44	41	38	35	33	30	28	26	24	22	20	18	16	15	13	12	10	9	
12	100	95	89	84	79	75	70	66	62	59	55	52	48	45	42	40	37	35	32	30	28	26	24	22	20	18	17	15	14	12	11	
13	100	95	90	85	80	76	71	67	63	60	56	53	50	47	44	41	39	36	34	32	29	27	25	24	22	20	19	17	16	14	13	
14	100	95	90	85	81	76	72	68	64	61	57	54	51	48	45	43	40	38	35	33	31	29	27	25	24	22	20	19	17	16	15	
15	100	95	90	86	81	77	73	69	65	62	59	55	52	50	47	44	42	39	37	35	33	31	29	27	25	24	22	21	19	18	16	
16	100	95	90	86	82	78	74	70	66	63	60	57	54	51	48	45	43	41	38	36	34	32	30	29	27	25	24	22	21	19	18	
17	100	95	91	86	82	78	74	71	67	64	61	58	55	52	49	47	44	42	40	38	36	34	31	30	28	27	25	24	22	21	20	
18	100	95	91	87	83	79	75	71	68	65	62	59	56	53	50	48	45	43	41	39	37	35	32	31	30	29	27	25	24	22	21	
19	100	96	91	87	83	79	76	72	69	65	62	59	57	54	51	49	47	44	42	40	38	36	34	33	31	29	28	26	25	24	22	
20	100	96	91	87	83	80	76	73	69	66	63	60	58	55	52	50	48	45	43	41	39	37	35	33	32	31	29	28	26	25	24	
21	100	96	92	88	84	81	77	73	70	67	64	61	58	55	52	51	49	46	44	42	40	39	37	35	33	32	30	29	28	26	25	
22	100	96	92	88	84	81	77	74	71	68	65	62	59	57	54	52	50	47	45	43	41	40	38	36	35	33	32	31	30	29	27	26
23	100	96	92	88	84	81	78	74	71	68	65	63	60	58	55	53	51	48	46	44	42	41	39	37	36	34	33	31	30	28	27	
24	100	96	92	89	85	81	78	75	72	69	66	63	61	58	56	54	51	49	47	45	43	42	41	38	37	35	34	32	31	30	28	
25	100	96	92	89	85	81	78	75	72	69	67	64	62	59	57	54	52	50	48	46	44	43	41	39	38	36	35	33	32	31	29	
26	100	96	92	89	85	82	79	76	73	70	67	65	62	60	57	55	53	51	49	47	45	44	42	40	39	37	36	34	33	32	30	
27	100	96	92	89	86	82	79	76	73	71	68	65	63	60	58	56	54	52	50	48	46	44	43	41	39	38	37	35	34	32	31	
28	100	97	93	90	86	82	80	77	74	71	68	66	63	61	59	57	55	53	51	49	47	45	43	42	40	39	37	36	35	33	32	
29	100	97	93	90	86	83	80	77	74	72	69	66	64	62	60	57	55	53	51	49	48	46	44	43	41	40	38	37	35	34	33	
30	100	97	93	90	86	84	80	77	75	72	69	67	65	62	60	58	56	54	52	50	48	47	45	43	42	40	39	38	36	35	34	
31	100	97	93	90	87	84	81	78	75	73	70	68	65	63	61	59	57	55	53	51	49	47	46	44	43	41	40	38	37	36	35	
32	100	97	93	90	87	84	81	78	76	73	70	68	66	63	61	59	57	55	53	52	50	48	46	45	43	42	41	39	38	37	36	
33	100	97	93	91	87	85	81	79	76	73	71	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	49	47	46	44	43	41	40	38	37	36	
34	100	97	93	91	87	85	82	79	76	74	71	69	67	64	62	60	58	56	55	53	51	49	47	46	44	43	41	40	38	37	36	
35	100	97	94	91	87	85	82	79	77	74	72	69	67	65	63	61	59	57	55	53	52	50	48	46	45	43	42	41	39	38	37	
36	100	97	94	91	88	85	82	79	77	74	72	70	68	65	63	61	59	58	56	54	52	50	48	46	45	43	42	41	39	38	37	
37	100	97	94	91	88	85	82	80	77	75	72	70	68	66	64	62	60	58	56	55	53	52	50	48	46	45	43	42	41	39	38	
38	100	97	94	91	88	86	83	80	78	75	73	71	69	67	65	63	61	59	58	56	55	53	52	50	48	46	45	43	42	41	39	
39	100	97	94	92	88	86	83	80	78	75	73	71	69	67	65	63	61	59	58	56	55	53	52	50	48	46	45	43	42	41	39	
40	100	97	94	92	88	86	83	81	78	76	73	71	69	67	65	63	61	59	58	56	55	53	52	50	48	46	45	43	42	41	39	

Psychrometric Conversion Table

Table de conversion psychrométrique.

Exercise n. 4

Dbt, A.H. and R.H. are closely related to one another. If you know two of these factors, you can easily find the third.

From the two values given, find the unknown value:

- a) Dbt = 15°C R.H. = 60% A.H. =
b) Dbt = 25°C R.H. = 35% A.H. =

Give your observations

- c) Dbt = 20°C R.H. = 30% A.H. =
d) Dbt = 20°C R.H. = 70% A.H. =

Give your observations

- e) Dbt = 25°C A.H. = 24g/m³ R.H. =
f) Dbt = 17°C A.H. = 7g/m³ R.H. =
g) Dbt = 20°C A.H. = 20g/m³ R.H. =

Answers:

- Exercise n. 4 a) 8g/m³; b) 8g/m³ when the temperature increases the relative humidity decreases, given a constant A.H.
c) 5g/m³; d) 12.5g/m³. When the relative humidity increases the absolute humidity must also increase, if the temperature remains the same.
e) 100%; f) 45%; g) impossible situation as A.H. should be 17.5g/m³ and there should therefore be 2.5g/m³ condensation.

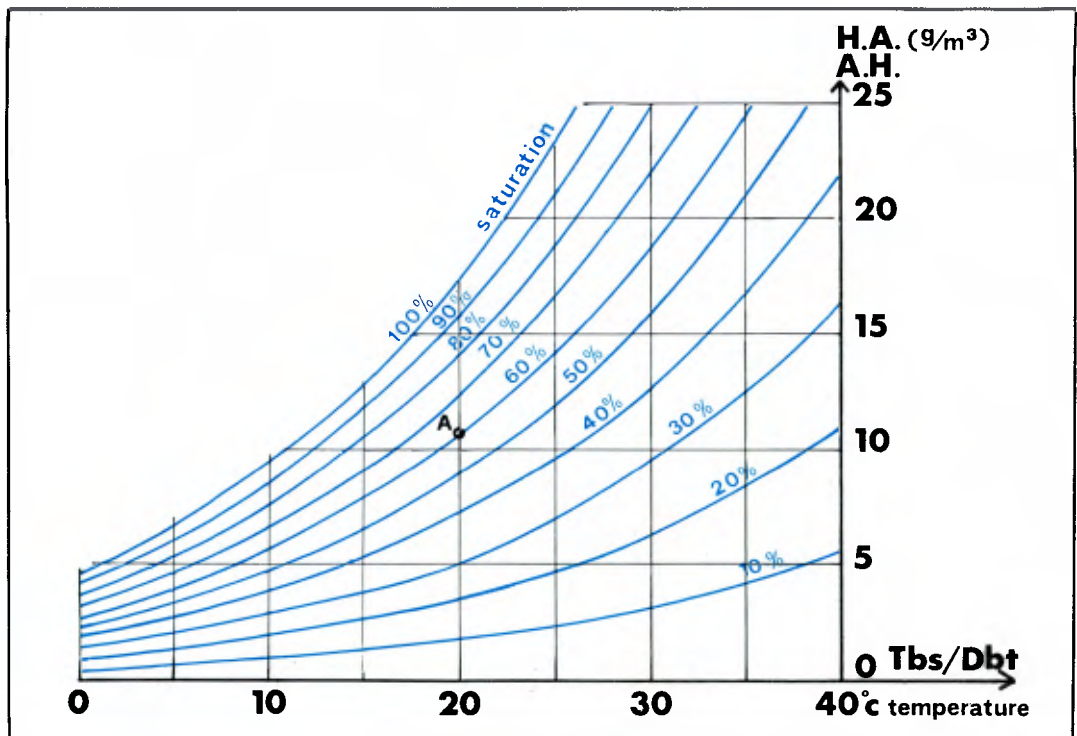
Exercise no. 5

Mark with the letter A on the diagram the point representing a showcase having $t = 15^\circ\text{C}$ and R.H. = 60%.

- a) What happens if the showcase is heated to 25°C? Draw a line indicating the movement of point A.
b) If this showcase contained badly corroded bronzes, would this heating provide a suitable environment?
c) What are the risks of damage if this showcase contains polychrome wood statues?
d) And what should be done to avoid these risks?

Answers:

- Exercise n. 5: a) A.H. remains stable at 8g/m³ and R.H. decreases to 35%.
b) Yes. Heating the showcase at 25°C will decrease the R.H. to 35% which is ideal for corroded bronzes which require a R.H. below 45%.
c) As the air dries, the wood will give up humidity. If this process is a fast one the wood will split and the paint will peel off. To avoid this, we should:
d) keep the R.H. stable at 60% by introducing 6.5g/m³ of water vapour (if the showcase measures 4m³, 26 grams of water vapour are required). In this way, the final situation will be $t = 25^\circ\text{C}$, R.H. = 60% and A.H. = 14.5g/m³



Exercice n. 4:

Tbs, H.A. et H.R. sont liées ensemble. Connaissant deux d'entre elles, il est facile de trouver la troisième.

A partir du couple de valeurs données, trouver la valeur de l'inconnue:

a) Tbs = 15°C H.R. = 60% H.A. =

b) Tbs = 25°C H.R. = 35% H.A. =

Tirer les conclusions.

c) Tbs = 20°C H.R. = 30% H.A. =

d) Tbs = 20°C H.R. = 70% H.A. =

Tirer les conclusions.

e) Tbs = 25°C H.A. = 24 g/m³ H.R. =

f) Tbs = 17°C H.A. = 7 g/m³ H.R. =

g) Tbs = 20°C H.A. = 20 g/m³ H.R. =

Réponses:

Exercice n. 4:

a) 8 g/m³.

b) 8 g/m³; si l'humidité absolue est constante, quand la température croît, l'humidité relative décroît.

c) 5 g/m³; d) 12,5 g/m³; à température constante, plus l'humidité relative croît, plus l'humidité absolue croît.

e) 100%; f) 45%; g) situation impossible, H.A. devrait évaluer 17,5 g/m³ et 2,5 g/m³ devraient être condensés.

Exercice n. 5:

Placer sur le diagramme le point A représentant une vitrine à t = 15°C et H.R. 60%.

a) Quel trajet suit-elle si elle est chauffée à 25°C?

b) Si cette vitrine contenait des bronzes ayant une corrosion instable, ce chauffage serait-il préjudiciable?

c) Quels risques prend-t-on si cette vitrine contient des statues en bois polychrome?

d) Et que faudrait-il faire pour éviter ces risques?

Réponses:

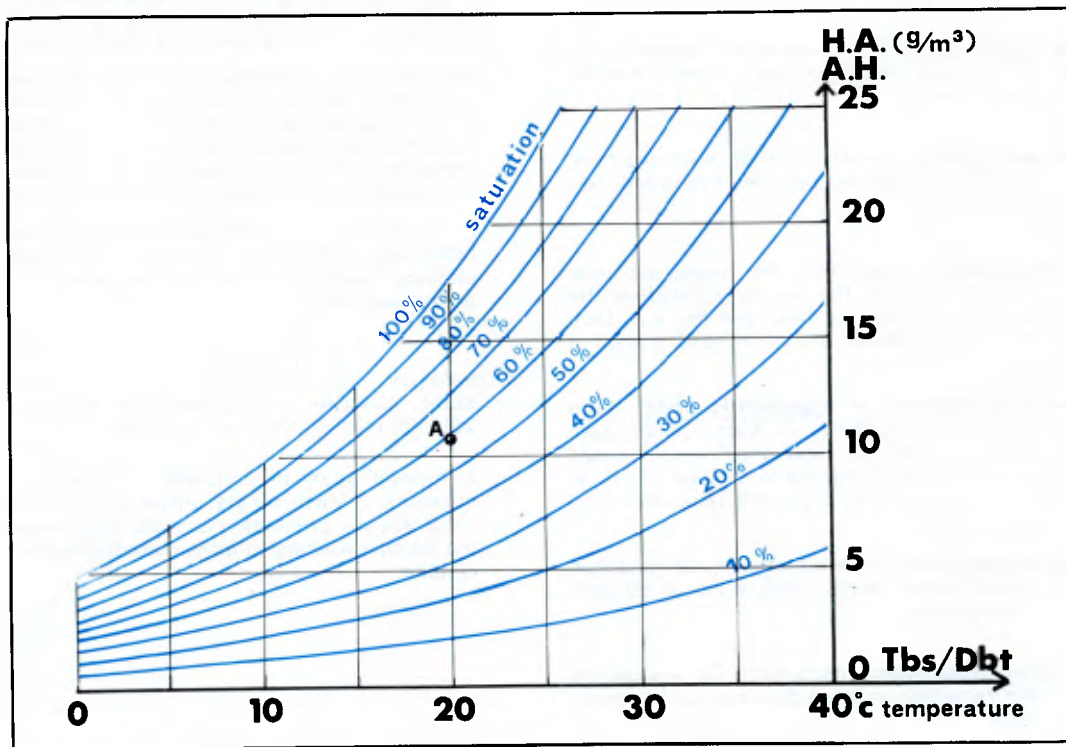
Exercice n. 5:

a) H.A. reste stable à 8 g/m³ et H.R. décroît jusqu'à 35%.

b) Le chauffage à 25°C fait diminuer l'H.R. à 35%, ce qui est excellent pour les bronzes corrodés pour lesquels l'H.R. doit être inférieure à 45%.

c) L'air s'assèche, le bois va lui donner de son humidité. Si ce processus est rapide le bois risque de se fendre et la peinture de s'écailler. Pour éviter cela, il faut:

d) maintenir l'H.R. stable à 60% en vaporisant 6,5 g/m³ d'eau (si la vitrine a 4m³, vaporiser 26 grammes d'eau). De cette manière, la situation finale sera t = 25°C, H.R. = 60% et H.A. = 14,5 g/m³.



● GLOSSARY

Absolute humidity: Weight of water vapour contained in a certain quantity of air. Given usually in grams of water vapour per cubic metre.

Calibration: Determination, rectification or marking of the graduations of an instrument.

Condensation: Reduction of gas vapour to a liquid state.

Dew-point: Temperature at which air becomes saturated when cooled without addition of moisture. Any further cooling causes condensation. Fog and dew are caused in this way.

Hygrograph: Instrument for measuring and recording relative humidity in the air.

Hygrometer: Instrument for measuring relative humidity in the air.

Hygro-thermograph: See Thermo-hygrograph.

Inorganic object: Object made of materials from the mineral kingdom (eg. stone, ceramic, glass, metal).

Organic object: Object made of materials from the plant or animal kingdoms (eg. wood, textiles, ivory).

Psychrometer: Instrument for measuring relative humidity in the air, by comparing the readings on the dry bulb and the wet bulb which is wrapped in a moistened gauze.

Relative humidity or hygrometric state: Ratio between the quantity of water vapour contained in the air and that which would be contained in the same volume of air at saturation point at the same temperature.

Saturation: State of the air when it can no longer absorb water vapour. Saturation varies with temperature.

Thermo-hygrograph: Instrument for measuring and recording relative humidity and temperature.

● BIBLIOGRAPHY IN ENGLISH

MacLEOD, K.J. - *Relative Humidity: Its Importance, Measurement and Control in Museums*, Canadian Conservation Institute, 1975. (Technical Bulletin No. 1) 13 pages.

A simple introduction to the problem

LAFONTAINE, R.H. - *Recommended environmental for museums archives and art galleries*. Canadian Conservation Institute, 1975. (Technical Bulletin No. 3) pp. 1-7.

A presentation of a choice of instruments for measuring climate available on the N. American market.

THOMSON, Garry - *Museum Environment*, Butterworths, London, 1978. 270 pages.

The most exhaustive book on the subject. Essential reading for anyone in charge of preserving cultural heritage. This book has a double purpose and so is divided into two parts. The first part is intended as a textbook for conservators and curators of museums concerning the damaging effects on exhibits of light, humidity and air pollution, and what to do to minimize this damage.

The scientific background needed for this first part is kept to a minimum. The second part is meant for workers in the field of conservation research and summarizes information which upto now has been widely scattered and sometimes difficult of access.

It is assumed in the second part some familiarity with basic science. This book although costly (\$20) should be bought by every museum.

Climatology and conservation in museums. Rome, ICCROM, 1960, Extract from *Museum*, Vol. XIII, No. 4, 1960, pp. 242-289.

A general study of problems of climate in museums. Much of the information is still valid but its presentation could discourage the layman wishing to learn something about climate.

● GLOSSAIRE

Condensation: Passage d'une vapeur à l'état liquide.

Etalonnage: Détermination de la relation existant entre les indications d'un appareil de mesure et les valeurs de la grandeur à mesurer.

Humidité absolue: Poids de vapeur d'eau contenue dans une certaine quantité d'air. S'exprime généralement en grammes de vapeur d'eau par mètre cube d'air.

Humidité relative: ou état hygrométrique: Rapport entre la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air et celle qui se trouverait à la même température si l'air était saturé.

Hygrographe: Appareil qui sert à mesurer et à enregistrer l'humidité relative de l'air.

Hygromètre: Appareil qui sert à mesurer l'humidité relative de l'air.

Objet inorganique: Objet composé de matériaux provenant du monde minéral (ex: pierre, céramique, verre).

Objet organique: Objet composé de matériaux provenant du monde animal ou végétal (ex: bois, tissu, ivoire).

Point de rosée: Température à laquelle l'air, lorsqu'il est refroidi, devient saturé sans que l'on y ajoute de la vapeur d'eau. Toute baisse supplémentaire de température causera de la condensation. Le brouillard et la rosée sont formés ainsi.

Psychromètre: Appareil qui sert à mesurer l'humidité relative de l'air en comparant les données du thermomètre sec et du thermomètre humide dont le bulbe est entouré d'une mousseline imbibée d'eau.

Saturation: Etat de l'air lorsqu'il ne peut plus absorber de vapeur d'eau. La saturation varie avec la température.

Thermo-hygrographe: Appareil qui sert à mesurer et à enregistrer l'humidité relative et la température.

● BIBLIOGRAPHIE EN FRANÇAIS

MacLEOD, K.J. - *L'humidité relative dans les musées: importance, mesure et régulation*, Bulletin technique No. 1 de l'Institut Canadien de Conservation, 1975, 13 pages.

Une introduction simple à ce problème.

LAFONTAINE, R.H. - *Appareils recommandés pour la vérification des conditions ambiantes dans les musées et les dépôts d'archives*, Bulletin technique No. 3 de l'Institut Canadien de Conservation, 1975, pp. 1-7.

Présentation d'un choix d'instruments de mesure du climat, disponibles sur le marché d'Amérique du nord.

Climatologie et conservation dans les musées, Rome, ICCROM, 1960. (Extrait de *Museum*, Vol. XIII, No. 4, 1960), pp. 242-289.

Etude générale sur les problèmes de climatologie dans les musées. La plupart des informations sont encore valables aujourd'hui, mais leur présentation peut décourager quelqu'un qui, n'ayant aucune connaissance dans ce domaine, souhaiterait acquérir quelques notions de climatologie.

● SOME ADDRESSES OF MANUFACTURERS AND SUPPLIERS

The small letters below show which instruments are available from each supplier.

- a) sling or whirling psychrometer
- b) Assman psychrometer
- c) psychrometer with electric fan
- d) hygrometer
- e) electronic hygrometer
- f) thermo-hygrometer
- g) hygrograph
- h) thermo-hygrograph

Manufacturers

BENDIX ENVIRONMENTAL Science Division
1400 Taylor Avenue
Baltimore, MD 21204
U.S.A.
Telephone: (301) 321 5200

c

C.F. CASELLA & Co. Ltd.
Regent House
Britannia Walk
London N1 7ND
United Kingdom
Telephone: (01) 253 8581
Telex: 261641
Cable: Escutcheon, London N. 1

a b d g h

Wilm. LAMBRECHT K.G.
Friedlander Weg 65/67
P.O. Box 2654
D-3400 Göttingen
Federal Republic of Germany
Telephone: (0551) 57721
Telex: 96862
Cable: Lambrechtgeraet

a b d f g h

MAXANT
41 rue Emile Zola
F-93107 Montreuil Cedex
France
Telephone: 859 6990
Cable: Thermax, 93 Montreuil

a g h

NOVASINA A.G.
Thurgauerstrasse 50
Postfach
CH 8050 Zürich
Switzerland
Telephone: (01) 301 4000

e

RICHARD PEKLY
116 Quai de Bezons
F-95102 Argenteuil
France
Telephone: (3) 947 0936
Telex: 698719
Cable: Enregistreur, Argenteuil

b d g h

S.I.A.P.
Via Massarenti 412/2
I-40100 Bologna
Italy
Telephone: (051) 531168
Telex: 511 197
Cable: SIAP Bologna

b d g h

VEB FEINGERÄTEBAU DREBACH
DDR-9362 Drebach/Erzgeb.
German Democratic Republic
Telephone: Ehrenfriedersdorf 358
Telex: 77440

a d g h

Suppliers

FRANK W. JOEL LTD.
Unit 5
Oldmedow Road
Hardwich Industrial Estate
King's Lynn
Norfolk PE30 4HH
United Kingdom
Telephone: (0553) 60851/2
Telex: 97295 Winfrt G

FISHER SCIENTIFIC
International Division
52 Fadem Road
Springfield, NJ 07081
U.S.A.
Telephone: (201) 379 1400
Telex: 138287

a b c d f g h

Advice and information on how these instruments work, as well as their manufacturers and suppliers, can generally be obtained from your local meteorological office.

● QUELQUES ADRESSES DE FABRICANTS

Pour chaque fabricant il est indiqué le type d'instrument produit en utilisant le code suivant:

- a) psychromètre à moulinet
- b) psychromètre Assman
- c) psychromètre à ventilation électrique
- d) hygromètre
- e) hygromètre électronique
- f) thermo-hygromètre
- g) hygrographe
- h) thermo-hygrographe

Fabricants

BENDIX ENVIRONMENTAL Science Division
1400 Taylor Avenue
Baltimore, MD 21204
U.S.A.
Téléphone: (301) 321 5200

c

CASELLA & Co. Ltd.
Regent House
Britannia Walk
London N1 7ND
Grande Bretagne
Téléphone: (01) 253 8581
Télex: 261641
Cable: Escutcheon, London N.I.

a b d g h

Wilh. LAMBRECHT K.G.
Friedlander Weg 65/67
P.O. Box 2654
D-3400 Göttingen
République fédérale d'Allemagne
Téléphone (0551) 57721
Télex: 96862
Cable: Lambrechtgeraet

a b d f g h

MAXANT
41 rue Emile Zola
F-93107 Montreuil Cedex
France
Téléphone: 859 6990
Cable: Thermax, 93 Montreuil

a f h

NOVASINA A.G.
Thurgauerstrasse 50
Postfach
CH-8050 Zürich
Suisse
Téléphone: (01) 301 4000
Télex: 56956 Sina ch

c

RICHARD PEKLY
116 Quai de Bezons
F-95102 Argenteuil
France
Téléphone (3) 947 0936
Télex: 698719
Cable: Enregistreur, Argenteuil

b d g h

S.I.A.P.
Via Massarenti 412/2
I-40100 Bologna
Italie
Téléphone: (051) 531168
Télex: 511197
Cable: SIAP Bologna

b d g h

VEB FEINGERÄTERBAU DREBACH
DDR-9362 Drebach/Erzgeb.
République démocratique allemande
Téléphone: Ehrenfriedersdorf 358
Télex: 77440.

a d g h

Représentants

FRANK W. JOEL LTD.
Unit 5
Oldmedow Road
Hardwick Industrial Estate
King's Lynn
Norfolk PE30 4HH
Grande Bretagne
Téléphone: (0553) 60851/2
Télex: 97295 Winfrt G

FISHER SCIENTIFIC
International Division
52 Fadem Road
Springfield, NJ 07081
U.S.A.
Téléphone: (201) 379 1400
Télex: 138287

a b c d f g h

Il est toujours possible d'obtenir des informations sur le fonctionnement des appareils de mesure, sur les fabricants et les représentants, en s'adressant au service local de la météorologie nationale.

PRINTED IN ITALY IMPRIME EN ITALIE
SINTESI GRAFICA
1988

ICCROM TECHNICAL NOTES / NOTES TECHNIQUES DE L'ICCROM

DE ANGELIS d'OSSAT, Guglielmo. Guide to the Methodical Study of Monuments and Causes of Their Deterioration.
Guida allo studio metodico dei monumenti e delle loro cause di deterioramento.
2nd ed., 1982.

FORAMITTI, Hans. Mesures de sécurité et d'urgence pour la protection des biens culturels. 1972.

GALLO, Fausta. Biological Factors in Deterioration of Paper.
Facteurs biologiques de détérioration du papier. 1985.

GAZZOLA, Pietro. The Past in the Future. 2nd ed., 1975.

MARASOVIC, Tomislav. Methodological Proceedings for the Protection and Revitalization of Historic Sites (Experiences of Split). 1975.

MASSARI, Giovanni. Humidity in Monuments. 2nd ed., 1977.

MASSCHELEIN-KLEINER, Liliane. Ancient Binding Media, Varnishes and Adhesives. 1985.

STAMBOLOV, T. - VAN ASPEREN DE BOER, J.R.J. The Deterioration and Conservation of Porous Building Materials in Monuments. 1976.

TORRACA, Giorgio. Matériaux de construction poreux. 1986.

----- Porous Building Materials. 3rd ed. rev., 1988.

----- Solubilidad y Disolventes en los Problemas de Conservación. 1981.

----- Solubilité et solvants utilisés pour la conservation des biens culturels. 1980.

----- Solubility and Solvents for Conservation Problems. 1975. 3rd ed. rev., 1984.

