

# Humidité Relative : Théorie, définitions et technologies

VAISALA

# Contenu

- Théorie, terminologie et définition
- Pression de vapeur, pression de vapeur saturante, humidité relative, point de rosée, point de givre
- Technologies de mesure
- Choix de l'instrument de mesure

# Comment l'humidité affecte votre quotidien?



# Théorie de l'humidité, terminologie et définition

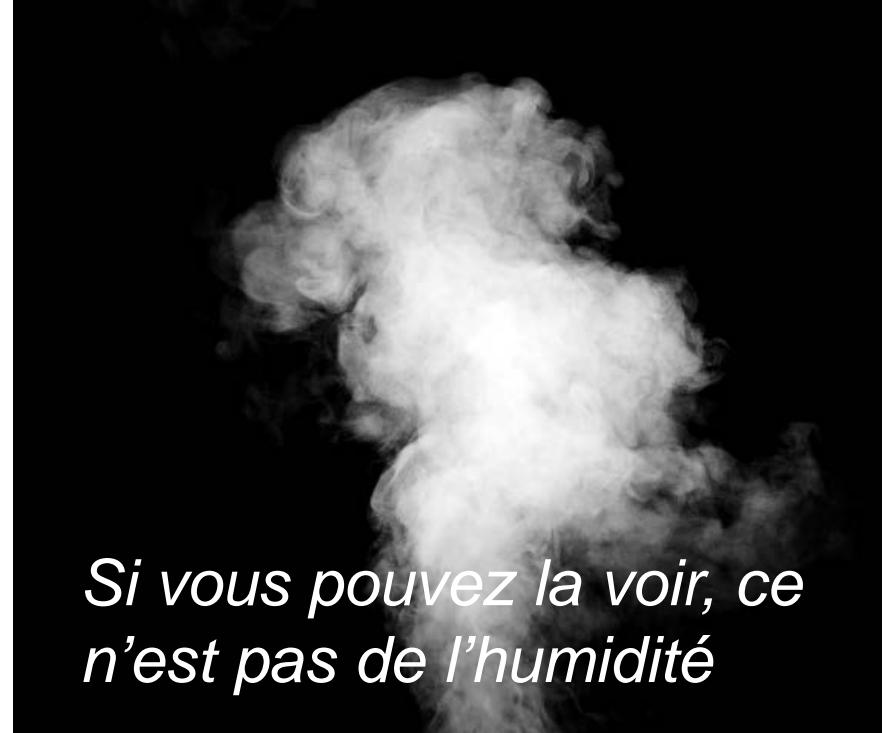
VAISALA

# Concepts

- Définition de l'humidité
- La pression de vapeur, la pression partielle de vapeur d'eau
- Évaporation, condensation, équilibre
- La pression de vapeur saturante
- L'humidité relative
- Le point de rosée, point de givre

# Qu'est ce que l'humidité

- L'humidité est de l'eau "dissoute", l'humidité est une phase gaseuse
- Cela peut aussi concernez la matière



# La molécule d'eau

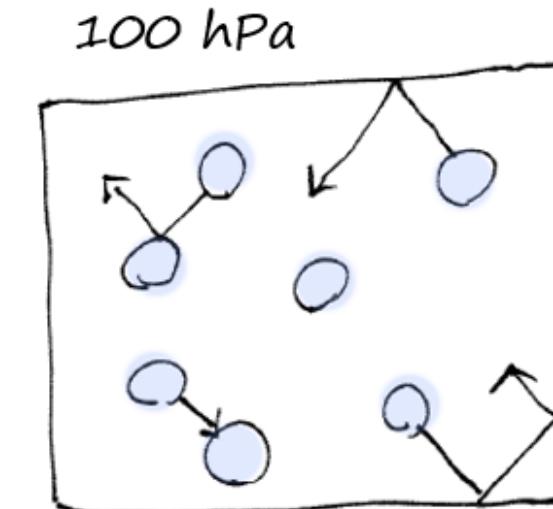


- Polarité – distribution aléatoire des charges électriques, entraînant une attraction entre les molécules



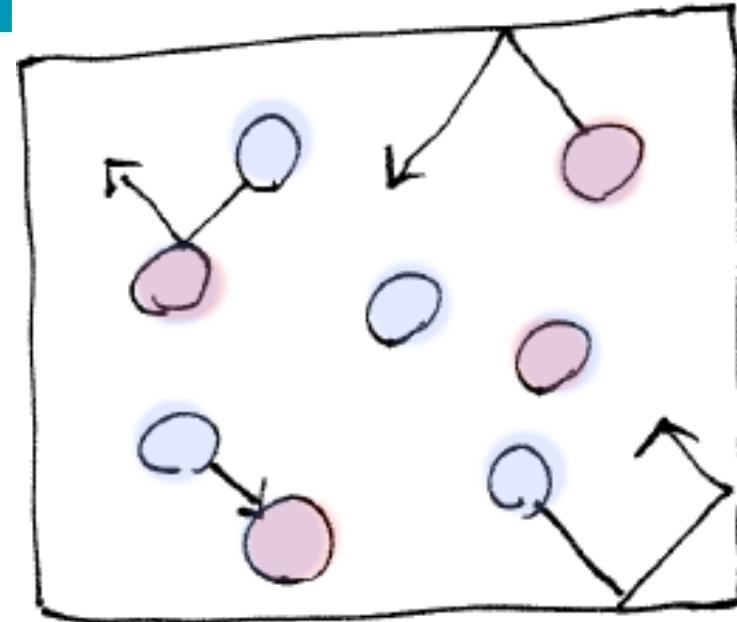
# Pression de vapeur

- Les molécules en phase gaseuse sont en mouvement permanent aléatoire
- Ce mouvement exerce une **pression**
  - Plus il y a de molécules, plus grande est la pression de vapeur
- L'énergie des molécules dépend non seulement de leur nombre, mais aussi de la **température**



# Pression partielle de vapeur d'eau

- La pression totale est la somme des pressions partielles des composants du mélange gazeux (Loi de Dalton)
- La pression partielle exercée par la vapeur d'eau est appliée pression de vapeur  $P_w$



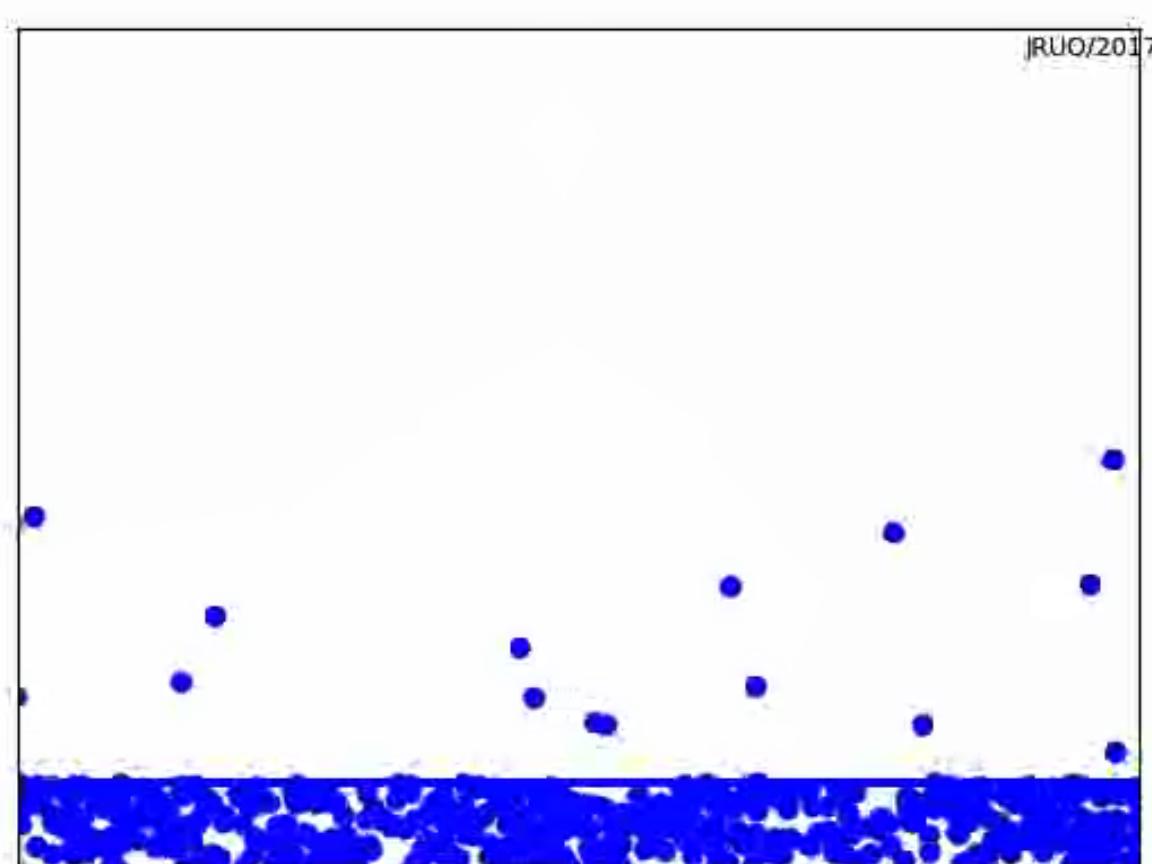
500 hPa water

500 hPa Air

= 1000 hPa total

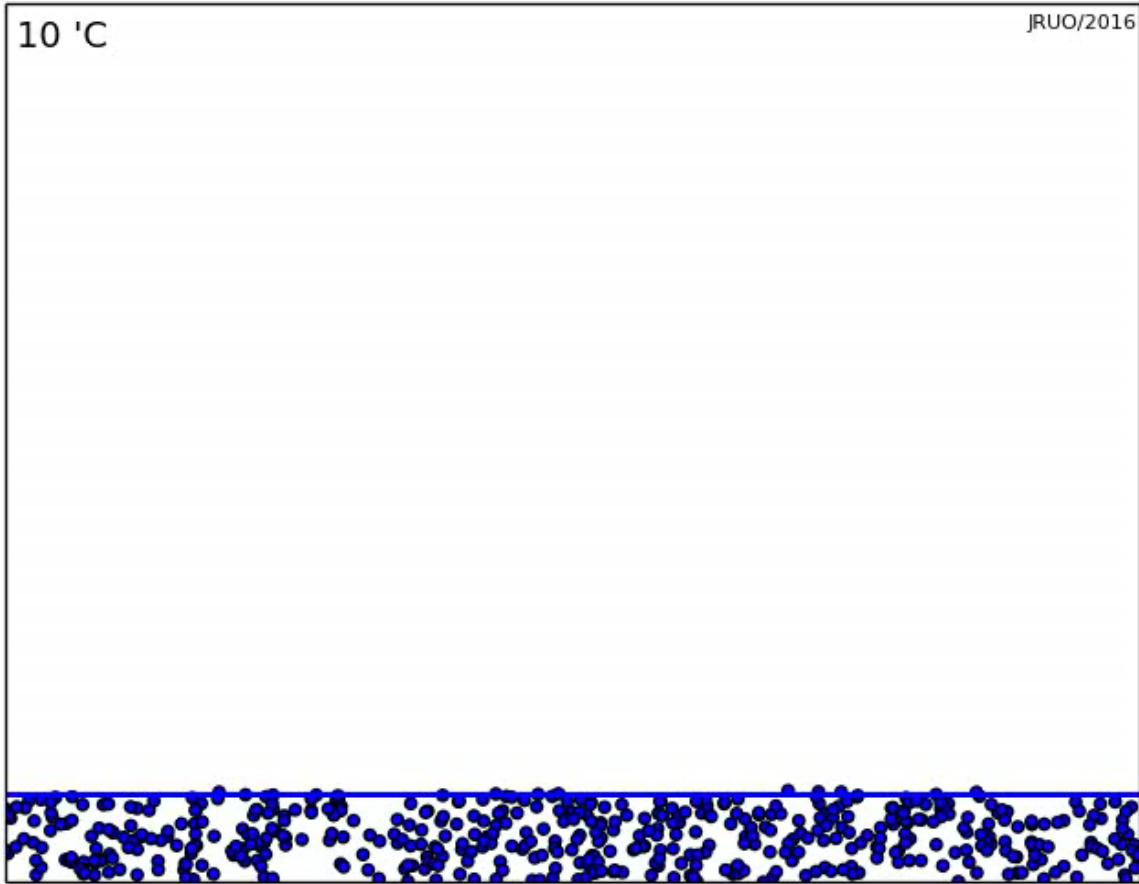
$$\begin{aligned} P_{\text{tot}} &= P_1 + P_2 + P_3.. \\ &= P_{\text{air}} + P_{\text{water}} \end{aligned}$$

# Exemple: De l'eau dans un espace clos

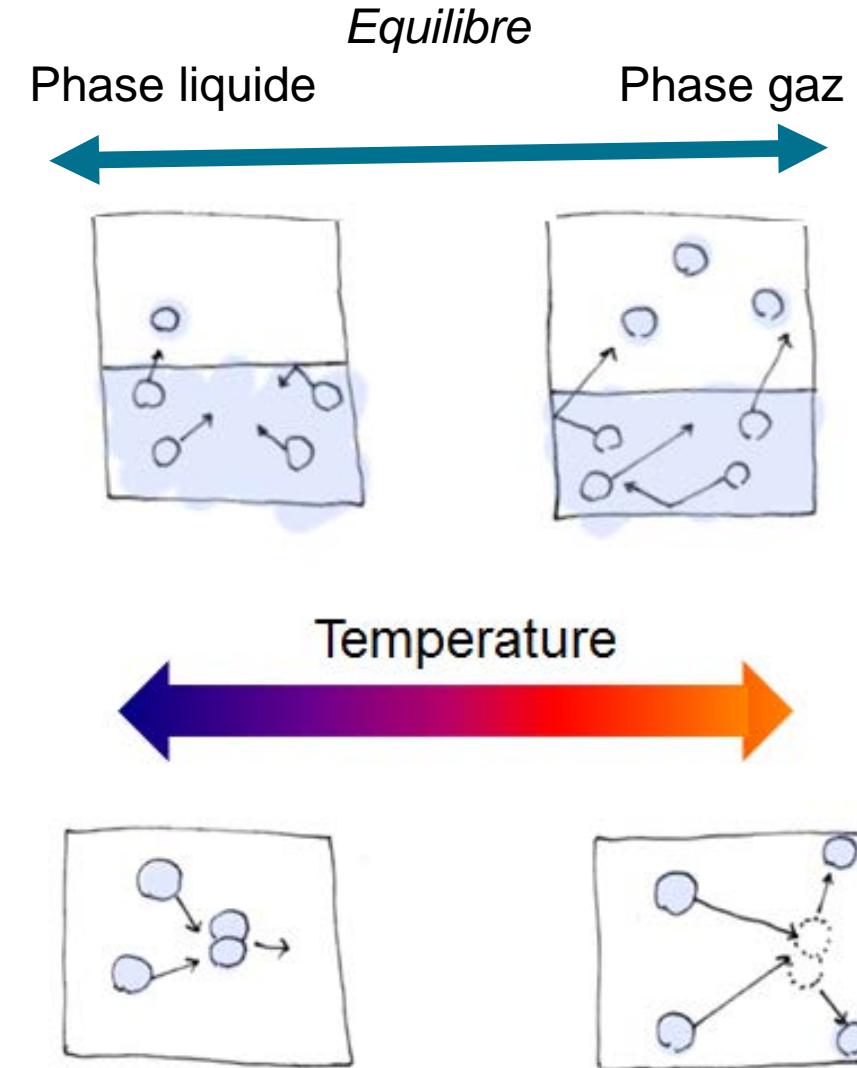


- **Evaporation:** Du fait du mouvement des molécules, certaines ont suffisamment d'énergie pour sortie de la phase liquide
- **Condensation:** Du fait du mouvement des molécules, certaines bougent si peu qu'elles reviennent à l'état liquide.
- **Equilibre:** Avec le temps, le taux d'évaporation est égal au taux de condensation

# L'effet de la température



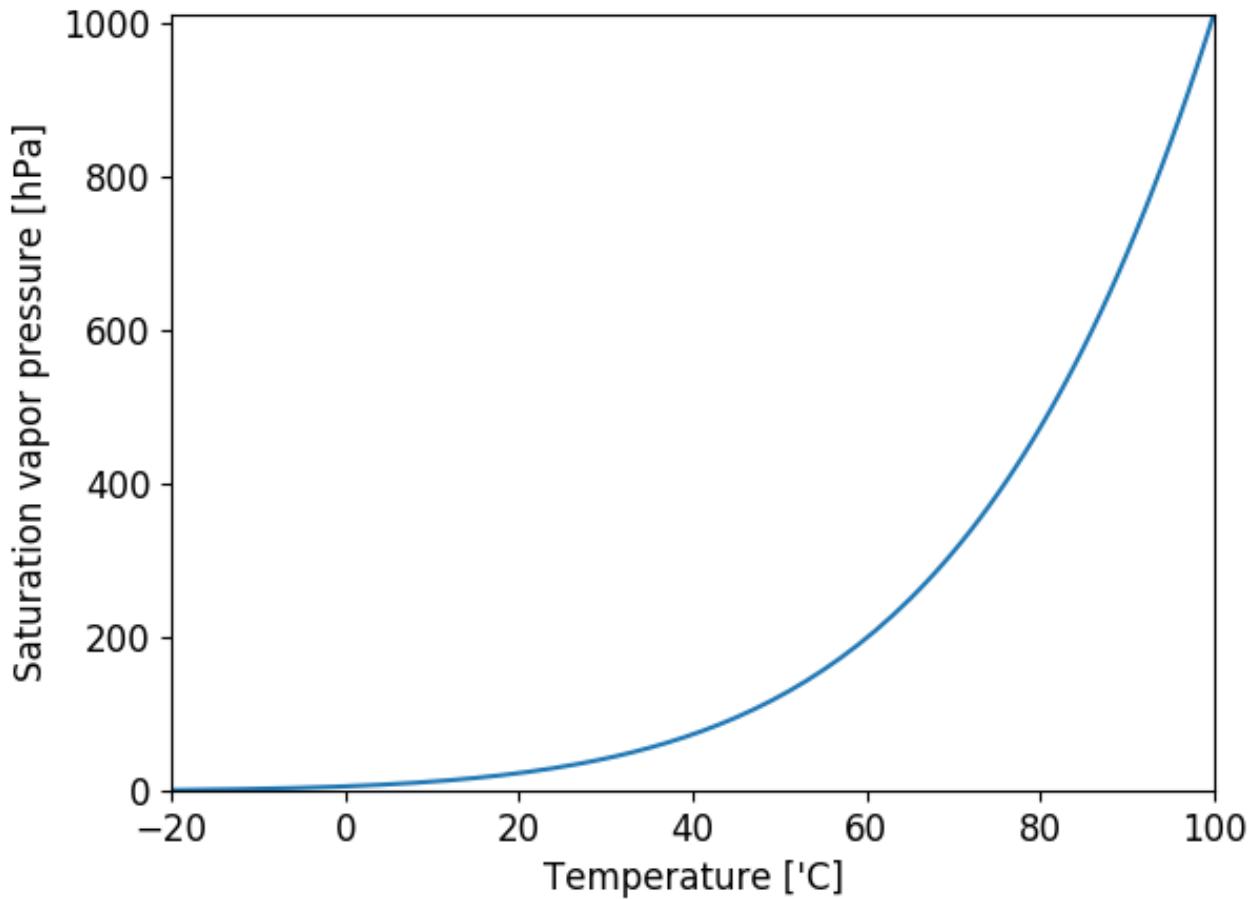
Attention à l'impact de la température sur l'équilibre de la vapeur d'eau!



# Pression de vapeur saturante

- L'équilibre de la vapeur d'eau dans un espace clos est la **pression de vapeur saturante** à une température donnée
  - Le taux de condensation est égal au taux d'évaporation
  - L'air ne peut pas contenir plus de vapeur d'eau

*La pression de vapeur saturante est fortement dépendante de la température*



# Humidité Relative (%)

*L'humidité relative est le rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau dans un gaz ( $P_w$ ) et de la pression de vapeur saturante à une température donnée [ $P_{ws}(t)$ ]*



$$\%RH = \frac{\text{Pression de vapeur}}{\text{Pression de vapeur saturante à une température donnée}}$$

# Exemple

- Prenons un pression de vapeur de 100 hPa

Avec une température de 100 °C

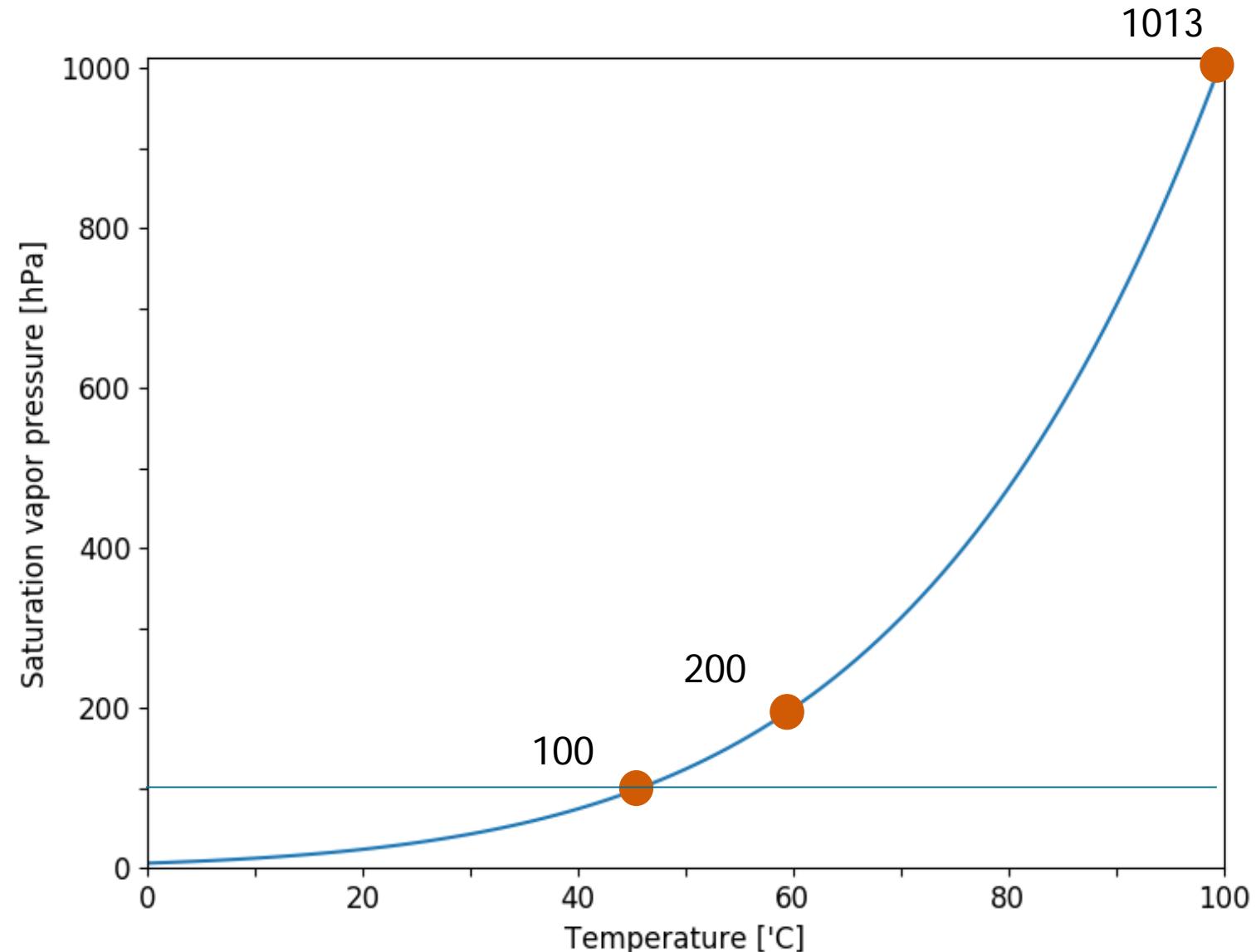
$$RH = \frac{100}{1013} = \sim 10 \%$$

Avec une température de 60 °C

$$RH = \frac{100}{200} = \sim 50 \%$$

Avec une température de 45,8 °C

$$RH = \frac{100}{100} = \sim 100 \%$$



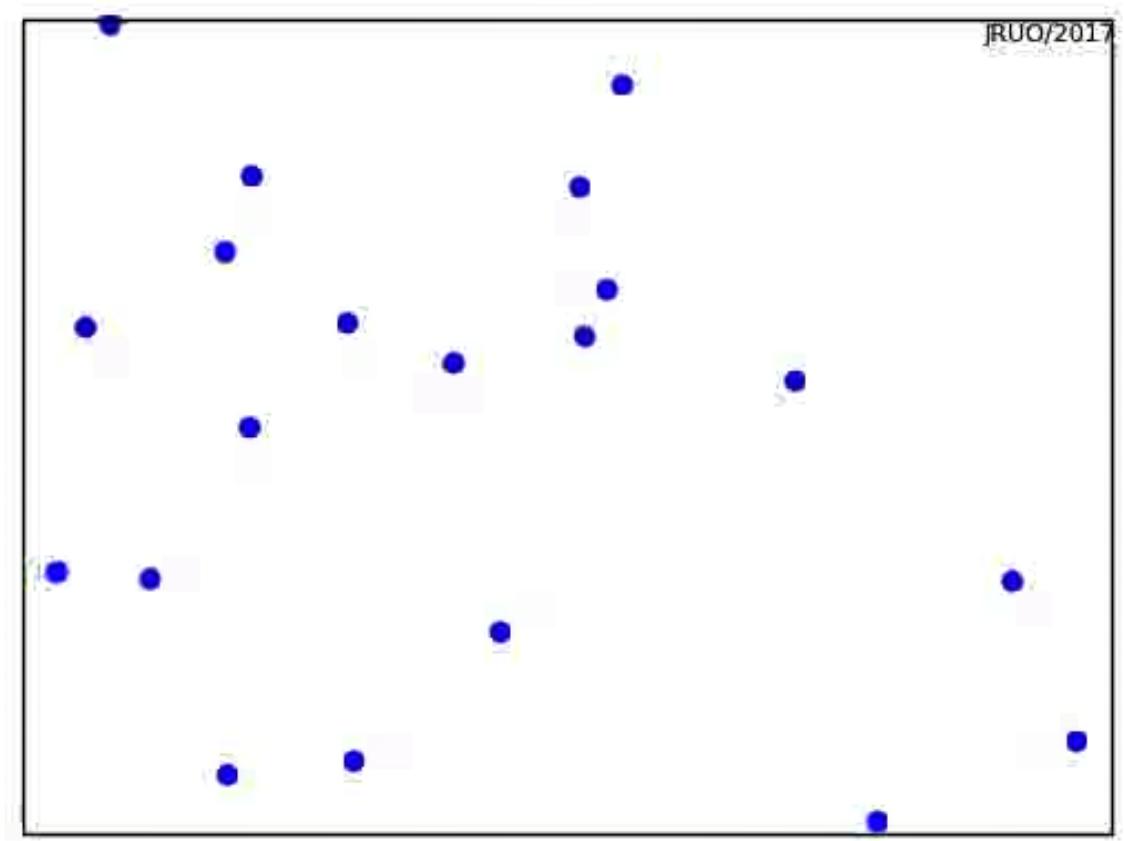
# Point de rosée

- La température à laquelle un gaz doit être refroidi à pression et à quantité de vapeur d'eau constante pour que le phénomène de saturation apparaisse
- Proportionnel à la quantité de vapeur d'eau



# Influence de la pression

- Considérons un environnement clos avec une pression de vapeur de 10hPa (point de rosée de 7 °C) et une pression totale de 1 bar
- Si l'on compresse le gaz de manière isothermique à 4 bars, la pression de vapeur augmente linéairement
- De ce fait, la pression de vapeur sera de 40 hPa and ce qui correspond à un point de rosée de 28 °C. A température ambiante, la condensation apparaîtra



La compression jusqu'à la saturation permet par exemple de retirer l'eau dans les sécheurs d'air

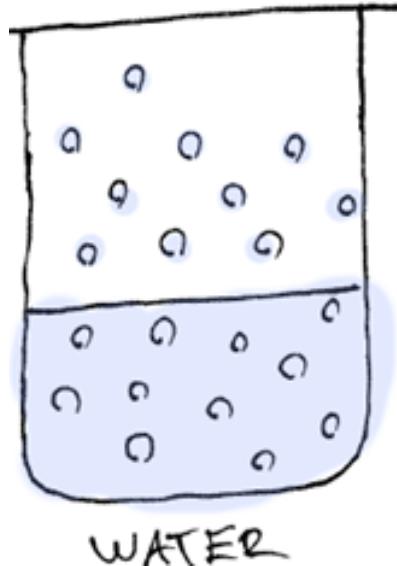
# Point de givre (°C)

- La température à laquelle l'air doit être refroidi un gaz à pression constante et à quantité de vapeur d'eau constante pour que du givre apparaisse
- Intéressant pour des gaz secs, lorsque la température de saturation est bien inférieure à la température sèche

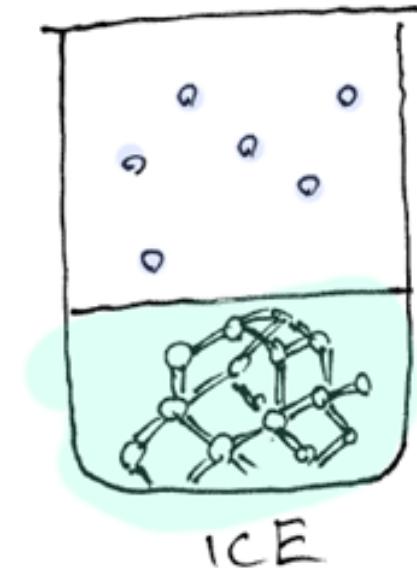


# Point de givre (°C)

$P_w = 5.3 \text{ hPa}$



$P_w = 5.1 \text{ hPa}$



- Température: -2 °C
- La pression de vapeur saturante ( $P_{ws}$ ) par rapport à la glace est légèrement inférieure à la  $P_{ws}$  par rapport à l'eau surenfroidie

# Résumé

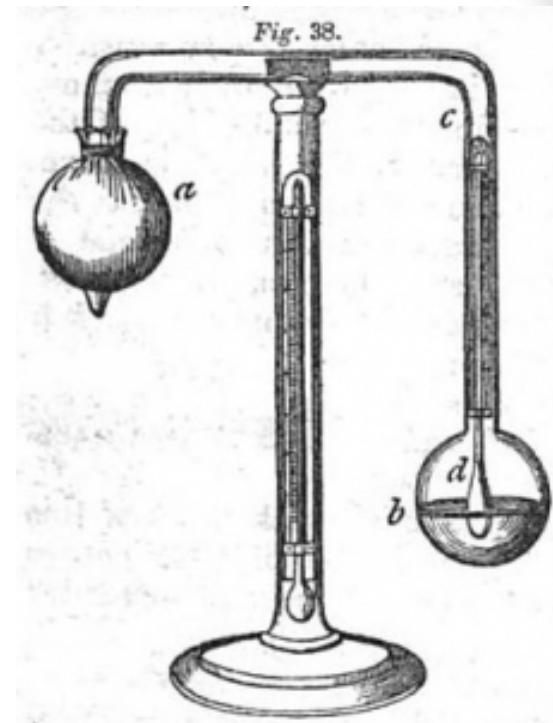
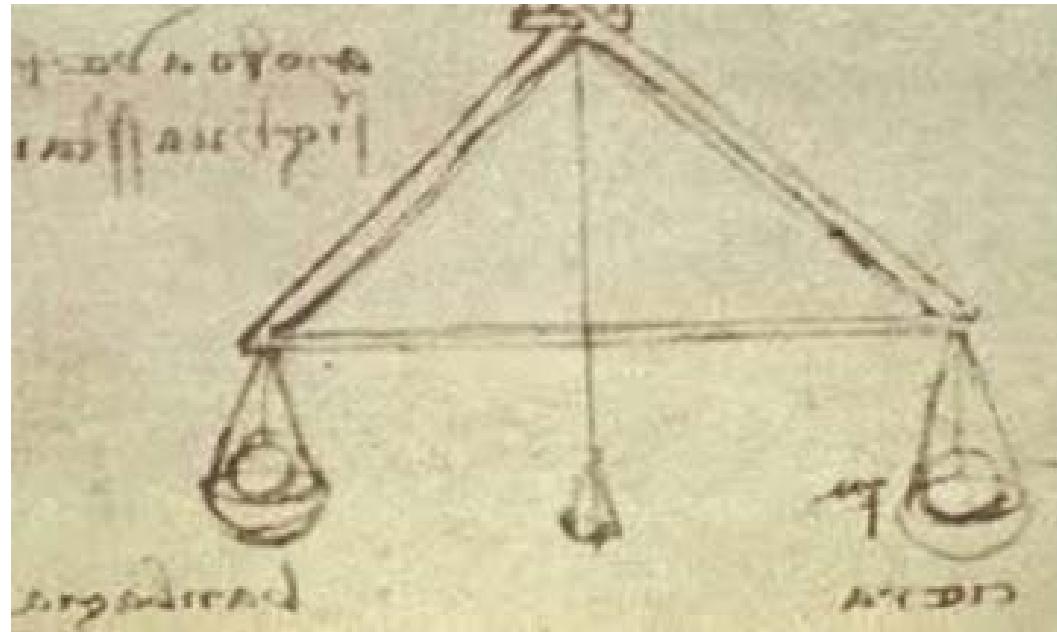
- L'humidité relative est fortement dépendante de la température
- Le point de rosée dépend seulement de la quantité de vapeur d'eau
- Quand un gaz est saturé, l'humidité relative est de 100% et la condensation apparaît



# Technologies de mesure de l'humidité

**VAISALA**

# Histoire des hygromètres



# Comparaison des différentes technologies

	Mecanique	Psychromètre	Miroir refroidit	Resisitif
<b>Gamme minimum</b>	10 %	15 %	-95 .. -20 °C Tf	5 %
<b>Gamme maximum</b>	100 %	100 %	< 100 °C Td	100 %
<b>Précision</b>	+/- 5%	+/-2..5 %	~1 %RH	+/- 5 %
<b>Hysteresis</b>	Très bonne	Aucune	Aucune	Importante
<b>Stabilité</b>	Mauvaise	Mauvaise	Très bonne	Mauvaise
<b>Maintenance</b>	Importante	Importante	Moyenne	Moyenne
<b>Temps de réponse</b>	Lent	Moyenne	Moyenne	Moyenne
<b>Gamme de température</b>	Temp ambiante	0..100 °C	Temp ambiante	Jusqu'à 100 °C

# Performance



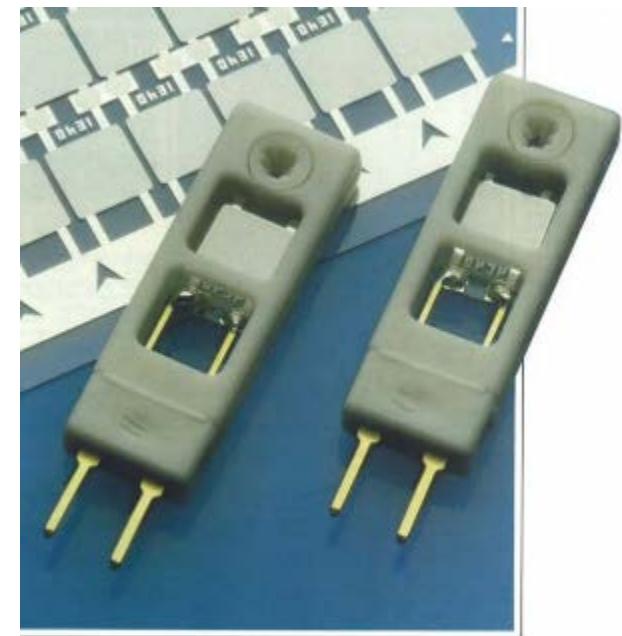
- Hygromètre à miroir refroidit
- Référence de laboratoire
- Maintenance importante
- Précision : +/- 0.1 °C en point de rosée  
(+/- 0.1..0.9 %RH à temp. ambiante)



- HMT330 avec capteur capacitif HUMICAP
- Instrument industriel de terrain
- Pas de maintenance régulière
- Précision: +/- 1.0 %RH à temp. ambiante

# Innovation Vaisala : Le capteur capacitif à couche mince

- Vaisala a été fondé dans les années 40 par le professeur Vilho Väisälä
- En 1973 Vaisala a introduit la technologie HUMICAP®
  - Pour les applications radiosondes
  - Technologie la plus couramment utilisée
- Puis, intégration pour les applications industrielles



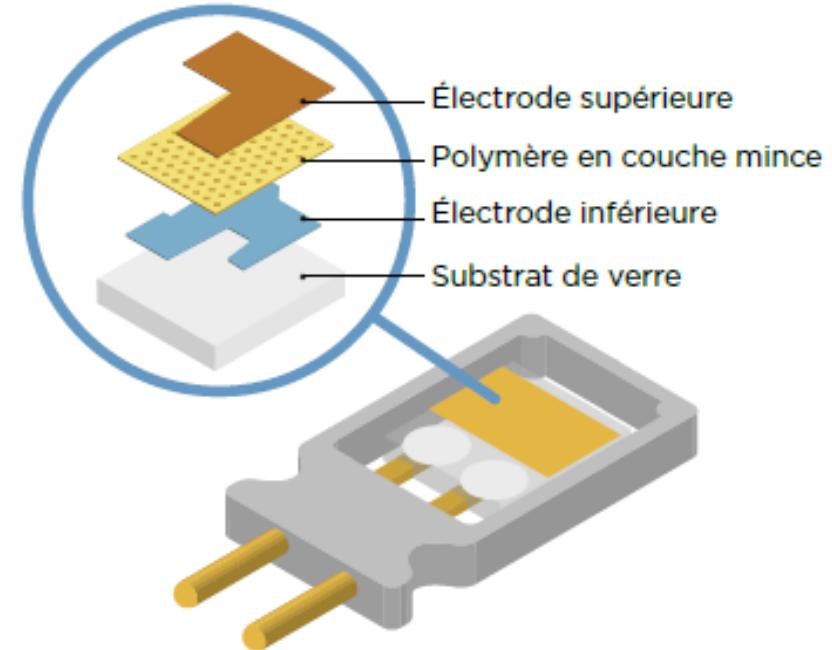
# Vaisala HUMICAP®

La capacitance du capteur répond directement aux changements de l'**humidité relative**

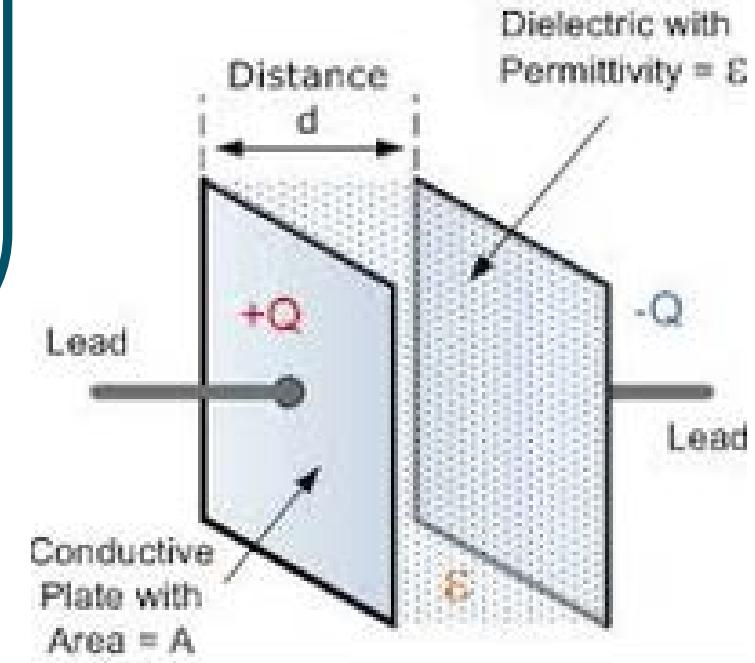
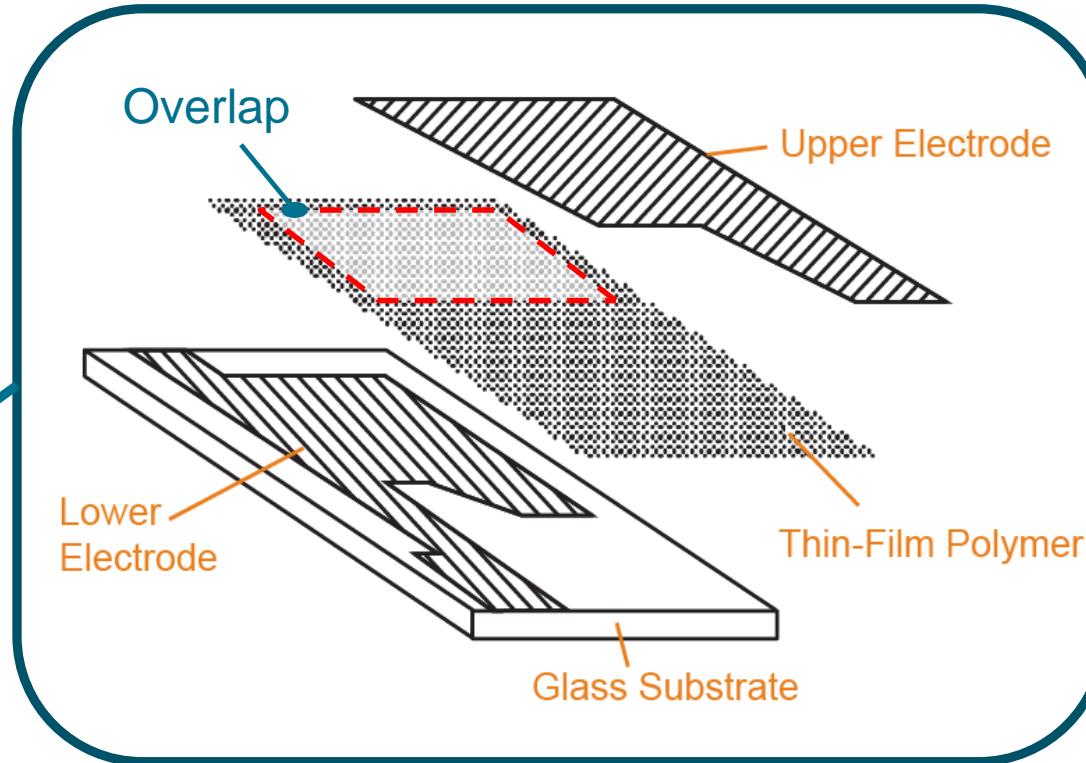
## Gamme :

Humidité Relative 0..100 %RH  
Température -40..+180 °C

- Supporte les contaminants chimiques
- Supporte la condensation
- Temps de réponse court
- Faible hysteresis



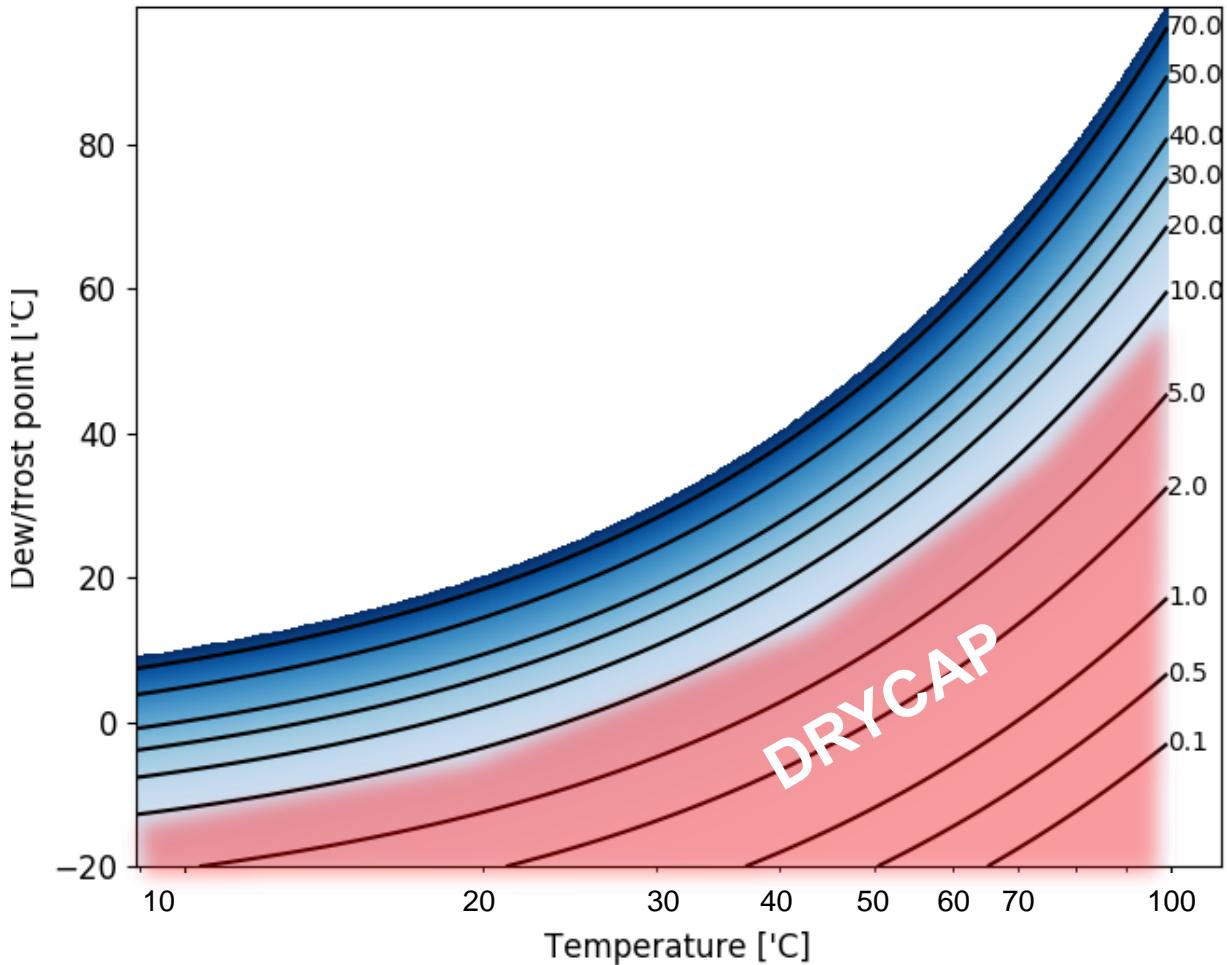
# Fonctionnement



# HUMICAP® vs DRYCAP®

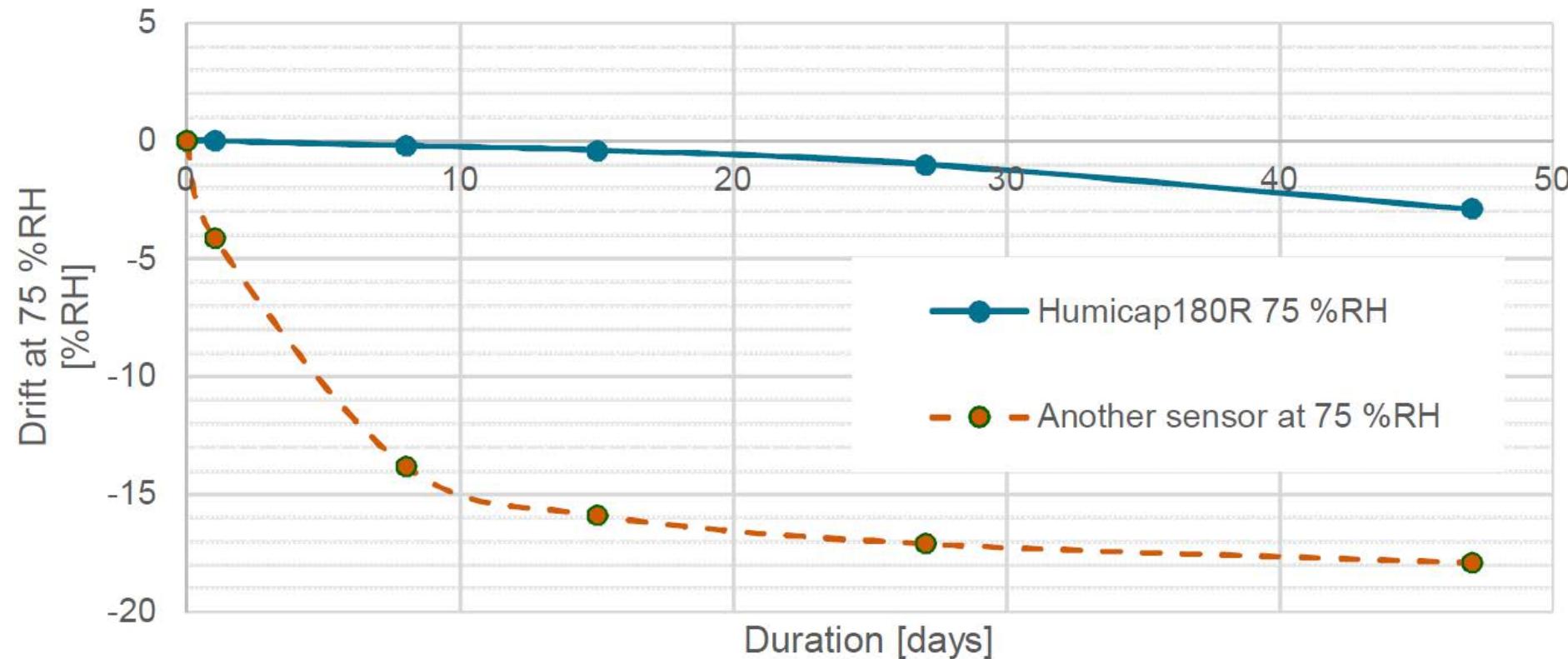
- Les capteurs d'humidité capacitifs sont sensibles à l'**humidité relative**
- L'**HUMICAP®** fonctionne en haute humidité en continu de 0 à 100 %RH et supporte la condensation
- Le **DRYCAP®** est optimisé pour les basses humidités, généralement < 5 %HR
  - En général, quand le point de rosée est inférieur à 10 °C

Relative Humidity as a function of T and Td

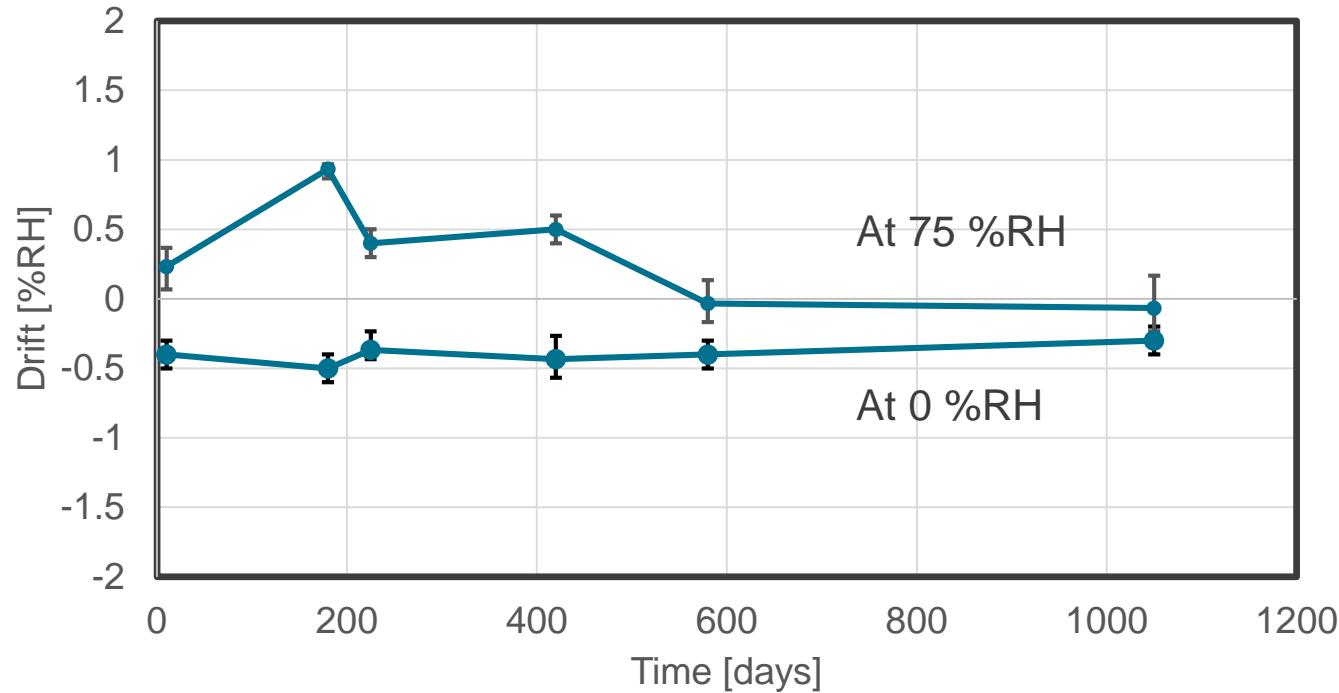


# Résistance de l'HUMICAP®

## Saturated Isopropyl Alcohol exposure



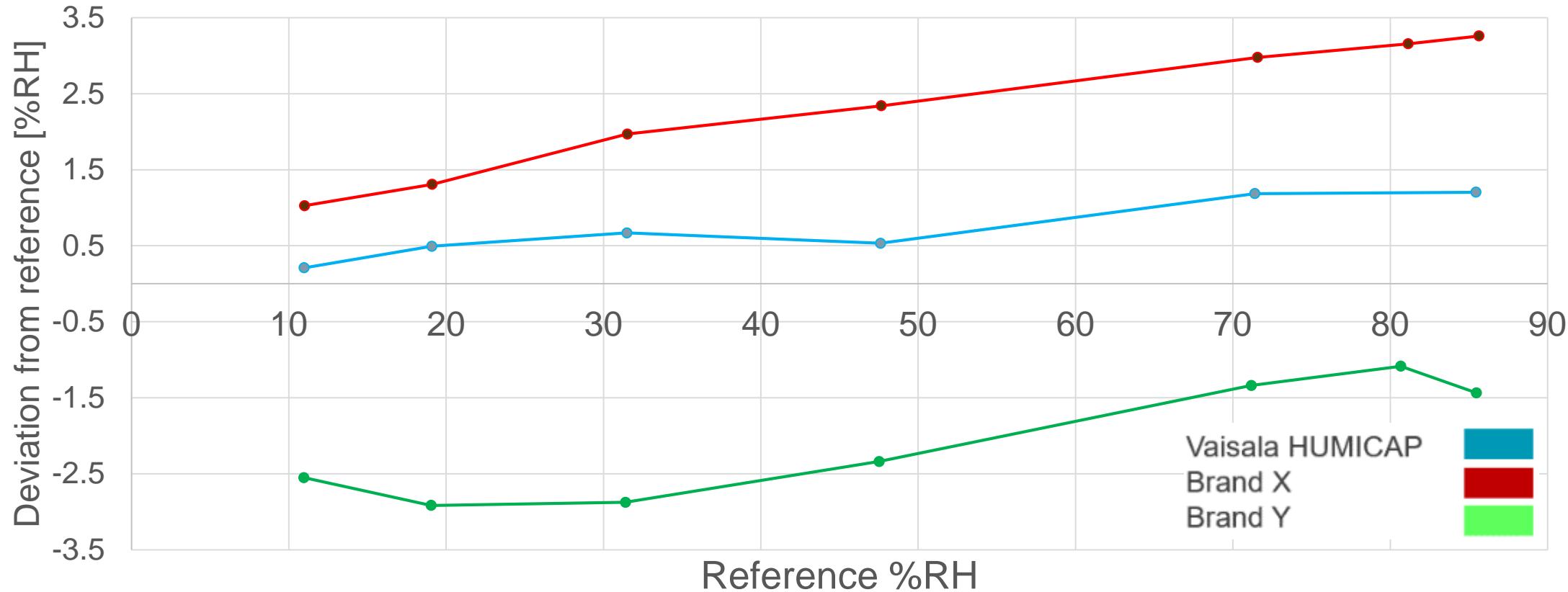
# Stabilité de l'HUMICAP®



- Trois HUMICAP 180R installés en extérieur
- Dérive inférieure à 1 %RH sur la gamme de mesure
  - Essai sur 1000 jours

# Linéarité en fonction de la température

Calibration à 70 °C

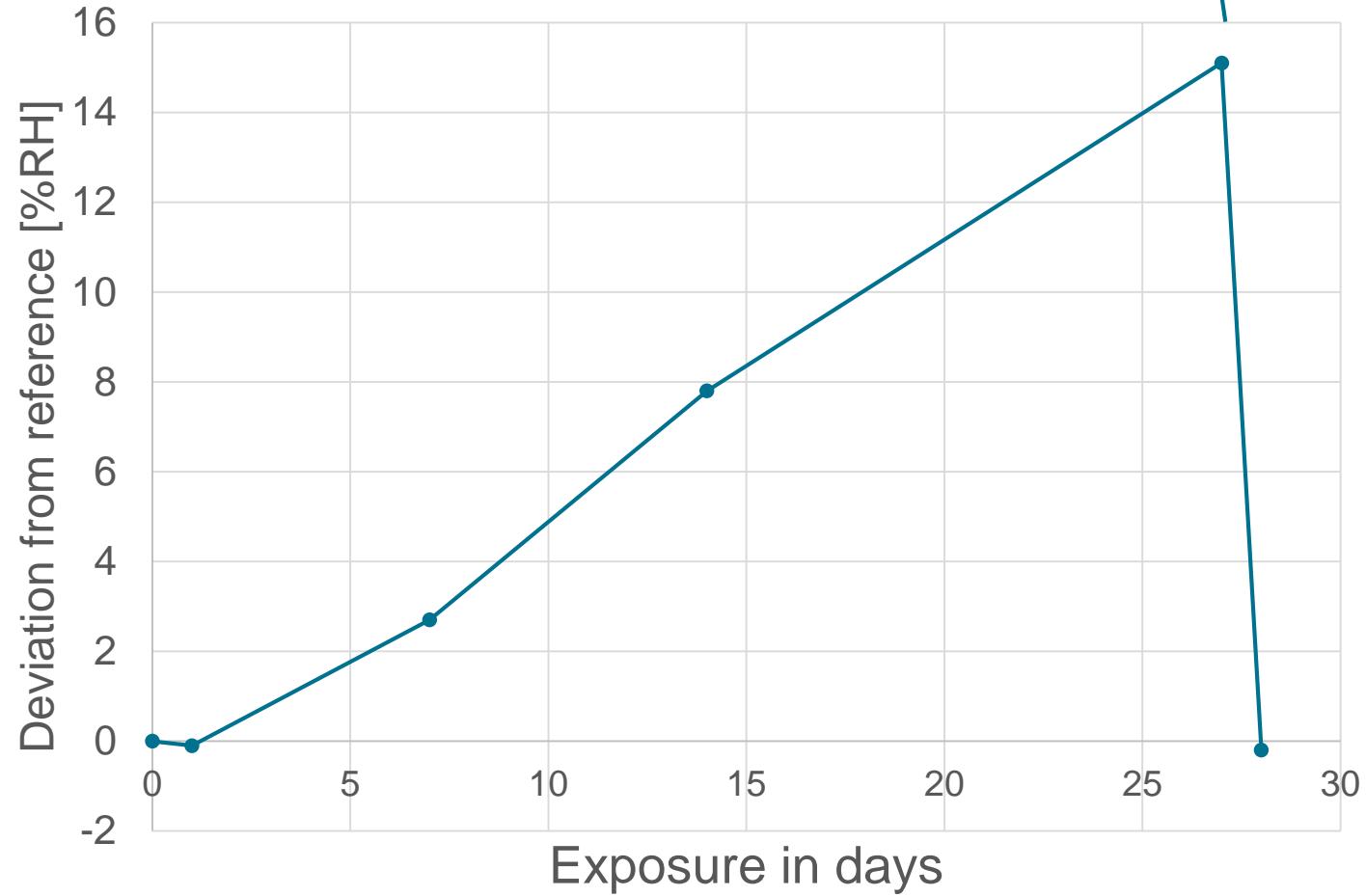


# Purge chimique du capteur

Purge du Capteur

- Régénération du capteur par un chauffage bref
- Permet l'évaporation des contaminants volatiles

Saturated Ethylene Glycol test



# Technologie à sonde chauffée

- Un élément chauffant chauffe la sonde au dessus du point de rosée
  - Pas de condensation
- L'humidité relative est réduite au niveau du capteur
  - Le capteur peut conserver sa précision
- Une sonde de température additionnelle recalcule l'humidité relative réelle



Capteur  
d'humidité

Capteur de  
température

Elément  
chauffant

# Choix de la technologie de mesure

**VAISALA**

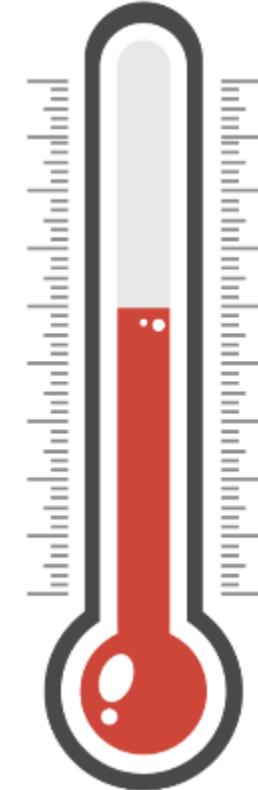
# Quelle est mon exigence sur la précision ?

- La plupart des instruments ont une spécification en HR.
  - Utiliser le calculateur d'humidité pour convertir la spécification dans l'unité souhaitée
- Ai-je besoin d'un instrument étalonné ?



# Quelle est la gamme de température ?

- Quelle est la température maximale au point de mesure ?
- Quelle est la spécification de l'instrument dans ma gamme de température ?
- Quelle est la précision de l'instrument à mon point de mesure ?



# Quel paramètre je souhaite mesurer ?

- Humidité relative, point de rosée, humidité absolue ?
    - Ma grandeur est-elle dépendante de la température?
    - Attention aux fuites de températures!
  - Quelle est la pression au point de mesure?
    - Compensation en pression !
- RH [%]
- Td [°C]
- Td/f [°C]
- X [g/kg]
- a [g/m<sup>3</sup>]
- h [kJ/kg]

# Installation ?

- Installation mécanique
  - Gaine, mur, mât, extérieur
- Installations extérieures?
  - Effet du rayonnement
- Contamination
  - Purge chimique ?
  - Choix du filtre



# Maintenance

- Sur le terrain?
- Remplacement du filtre ou du capteur?
- Etalonnage sur le terrain?
- Etalonnage
  - Faire ou sous traiter?



# Temps de réponse

- Le temps de réponse du capteur est d'environ 15 s à température ambiante dans un air stable.
- **Diffusion** – température
- **Echange gazeux** – débit
- **Température** – Masse thermique

*Le temps de diffusion est multiplié par ~2 tous les paliers de 10 °C en température.*

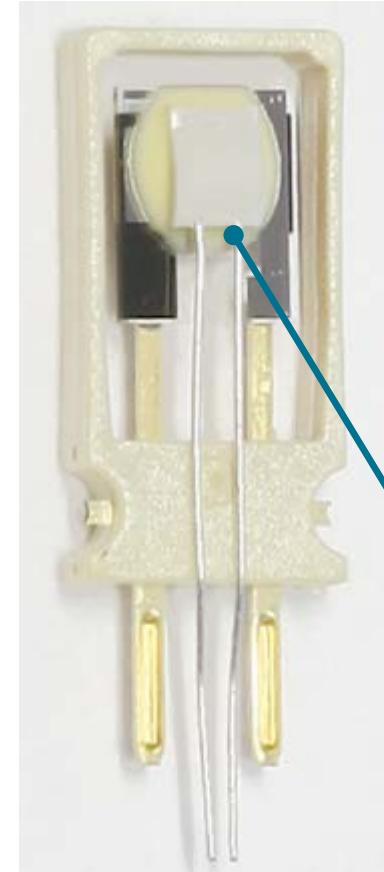
*L'Humicap180 est un peu plus rapide pour la diffusion que l'Humicap180R*



*Le choix du filtre affecte la masse thermique, les échanges gazeux et le temps de réponse*

# Type de capteurs HUMICAP®

- HUMICAP180
- HUMICAP180R
- HUMICAP180L2
- HUMICAP180VHP



Capteur de température composite pour purge chimique

**C pour Composite**  
*Humicap180RC*  
*Humicap180C*

# Les produits



## Modules OEM

Modules HMM  
Sondes HMP

## Les instruments HVAC

Series 80  
Series 90  
Series 110

## Indicateurs portables

Series HM40  
Series HM70

## Instruments fixes

HMT330  
HMT120  
HMT130

## Système de surveillance en continu

# Résumé

**VAISALA**

# Quiz

- L'humidité relative dépend de \_\_\_\_\_ ?
- Le capteur Humicap est sensible à \_\_\_\_\_ ?
- La purge est disponible sur les capteurs \_\_\_\_\_
- Pour des humidités très élevés, \_\_\_\_\_ est recommandée