



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 concerner la matière



Si vous pouvez la voir, ce n'est pas de l'humidité

La molécule d'eau

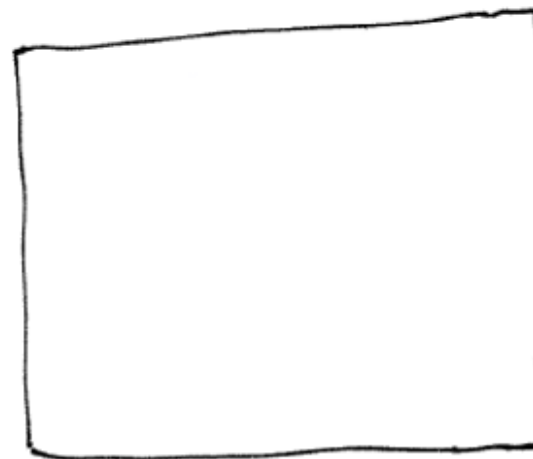


- Polarité – distribution aléatoire des charges électriques, entraînant une attraction entre les molécules

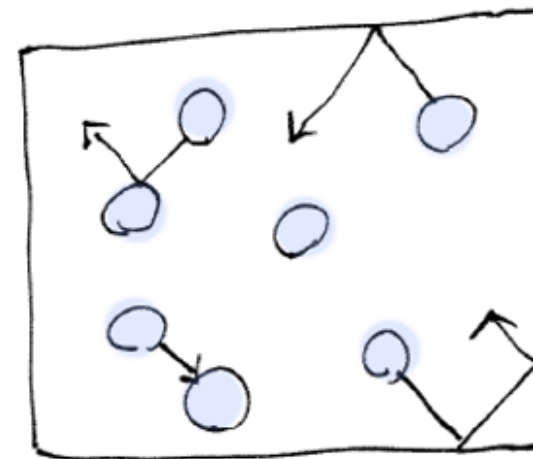
Pression de vapeur

- Les molécules en phase gazeuse 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**

0 hPa

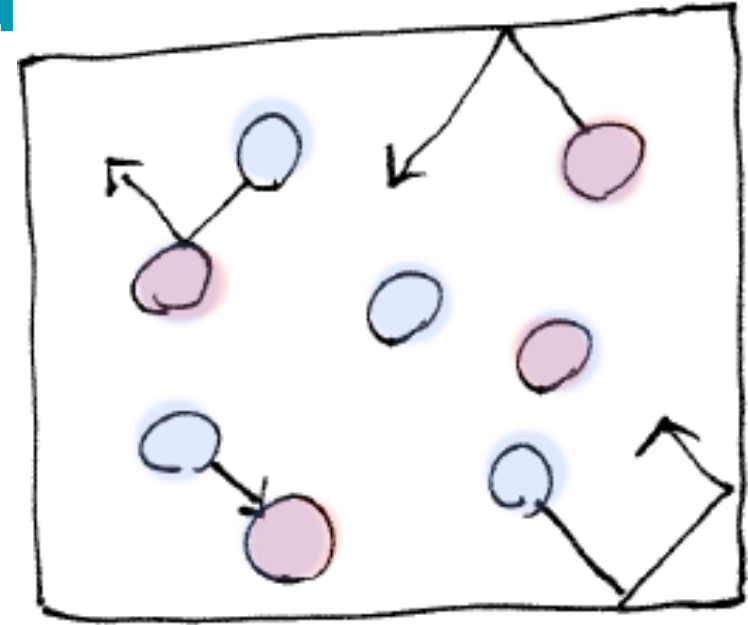


100 hPa



Pression partielle de vapeur d'eau

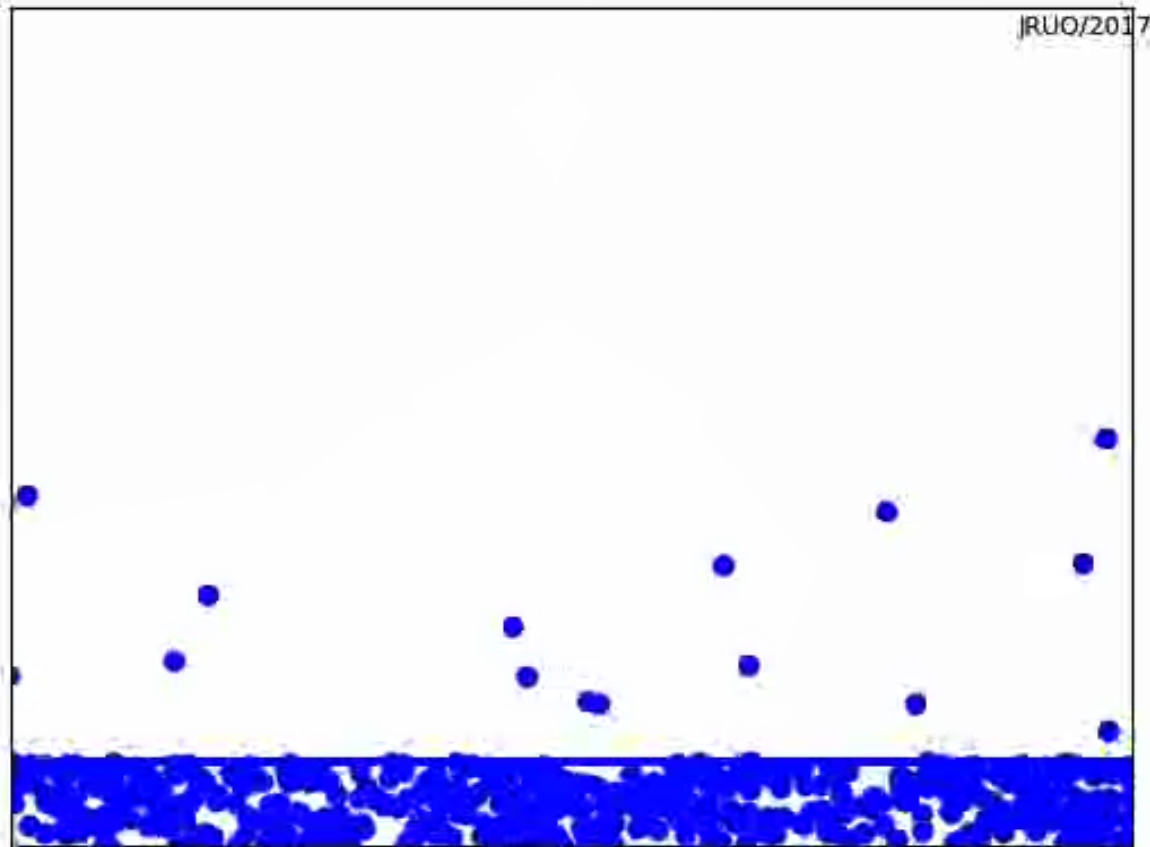
- La pression totale est la somme des pressions partielles des composants du mélange gazeux (Loi de Dalton)
- La pression partielle exercée par la vapeur d'eau est appelée pression de vapeur P_w



500 hPa water
500 hPa Air
= 1000 hPa total

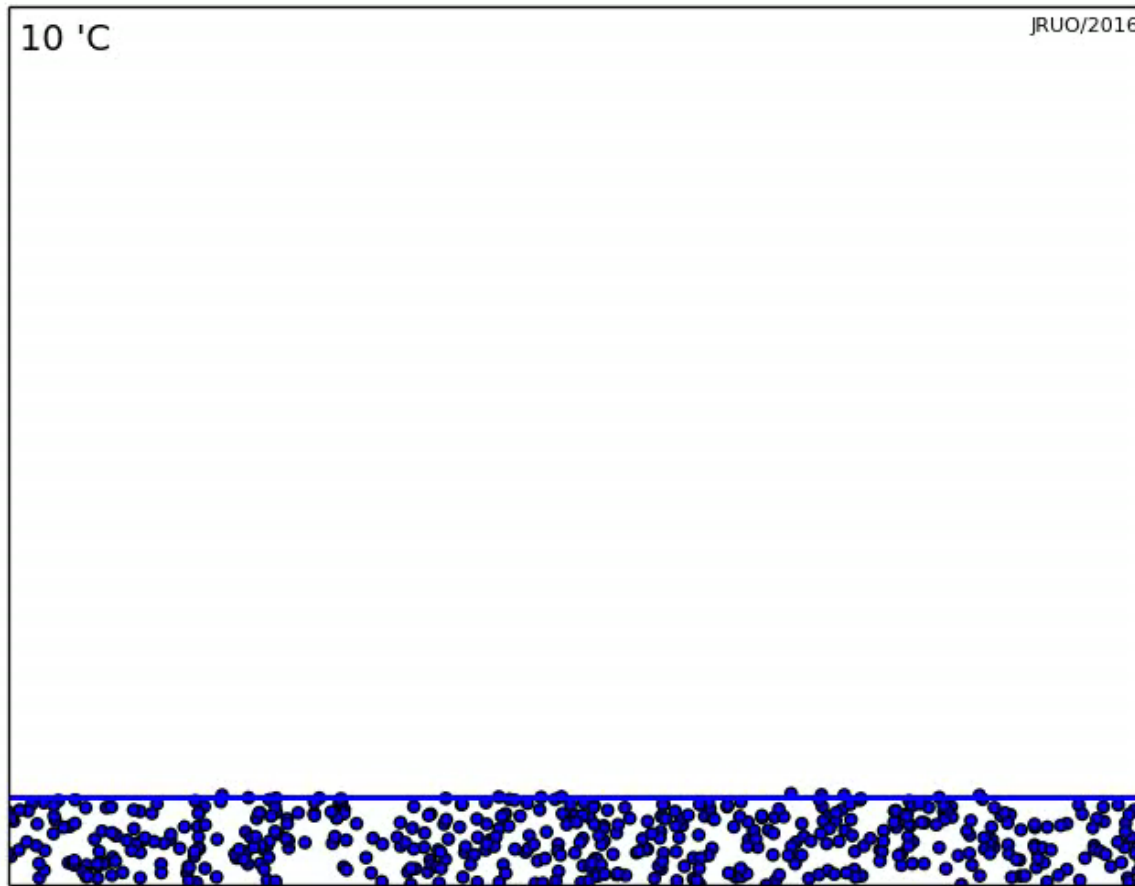
$$P_{\text{tot}} = P_1 + P_2 + P_3 \dots$$
$$= P_{\text{air}} + P_{\text{water}}$$

Exemple: De l'eau dans un espace clos

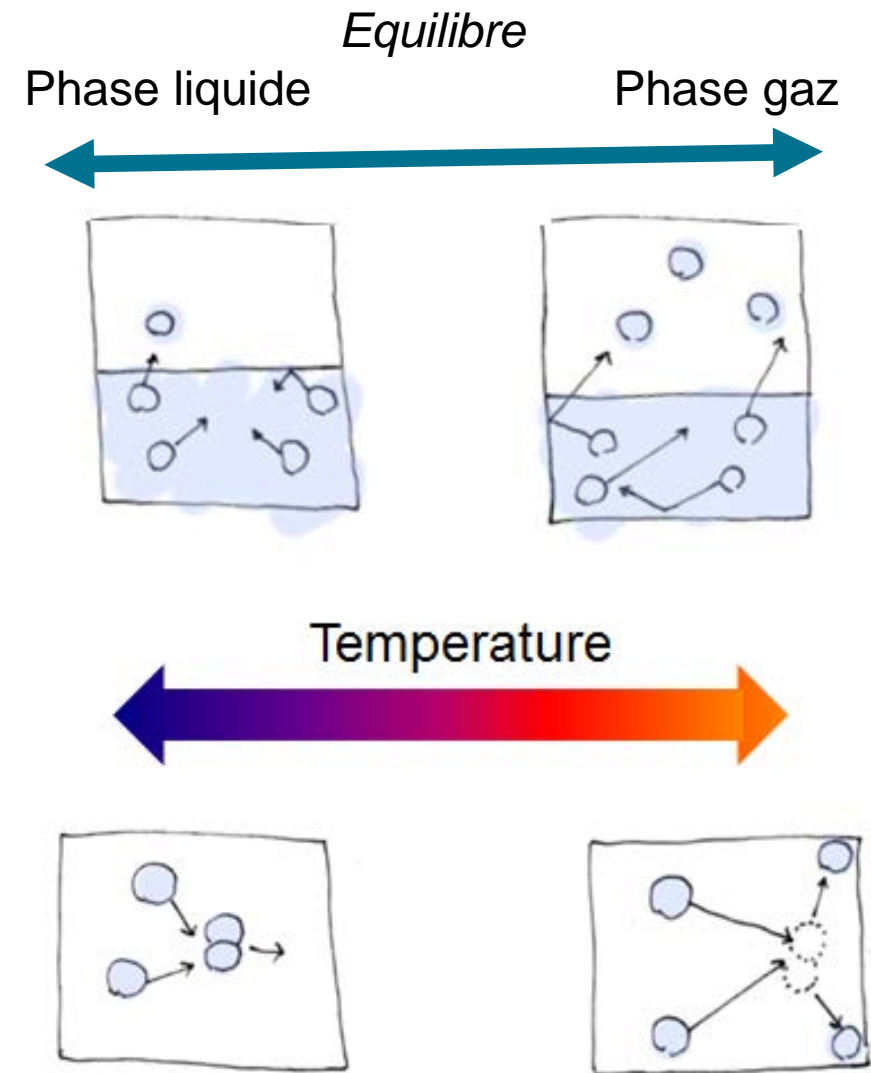


- **Evaporation:** Du fait du mouvement des molécules, certaines ont suffisamment d'énergie pour sortir de la phase liquide
- **Condensation:** Du fait du mouvement des molécules, certaines bougent si peu qu'elle reviennent à l'état liquide.
- **Equilibre:** Avec le temps, le taux d'évaporation est égal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

L'effet de la température



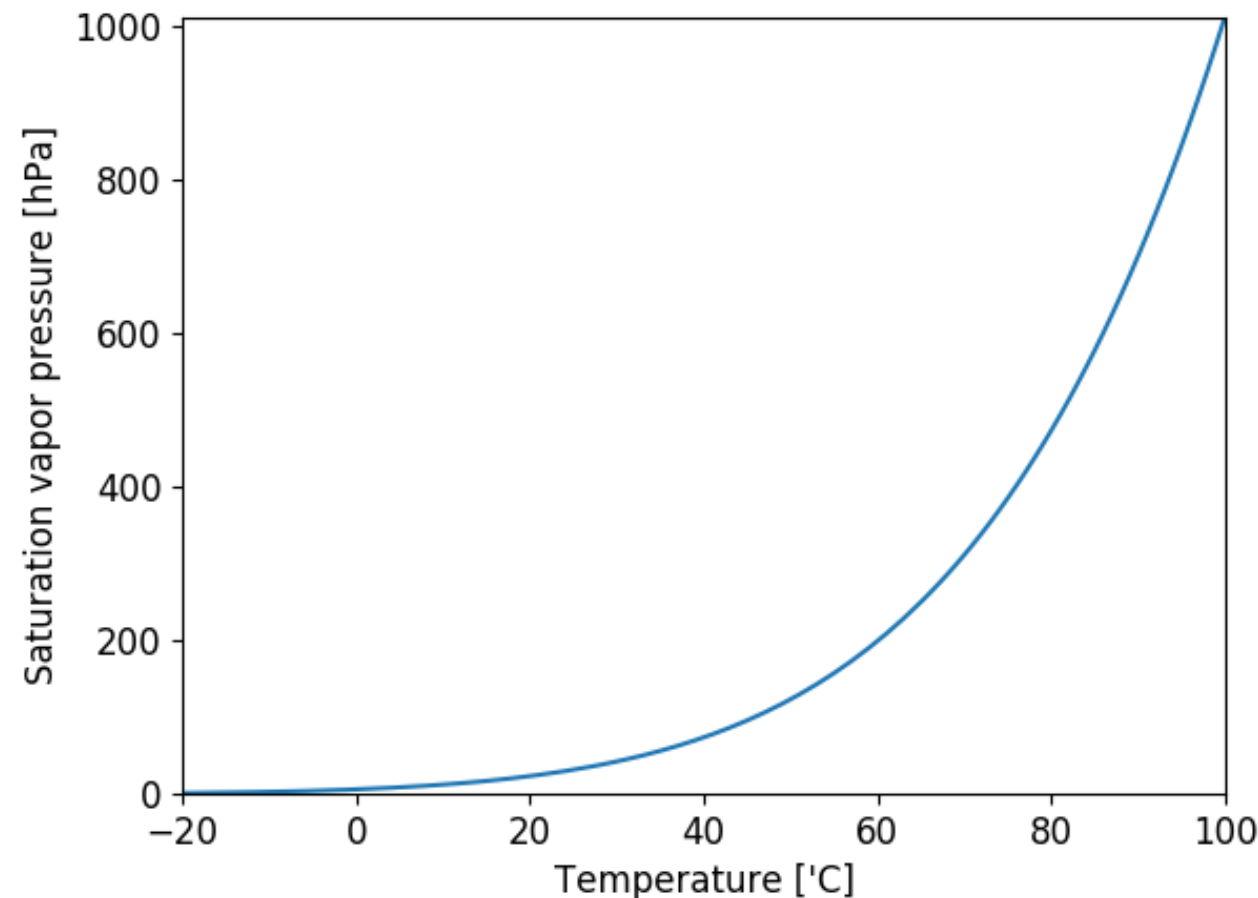
Attention à l'impact de la température sur l'équilibre de la vapeur d'eau!



Pression de vapeur saturante

La pression de vapeur saturante est fortement dépendante de la température

- 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



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 une pression de vapeur de 100 hPa

Avec une température de 100 °C

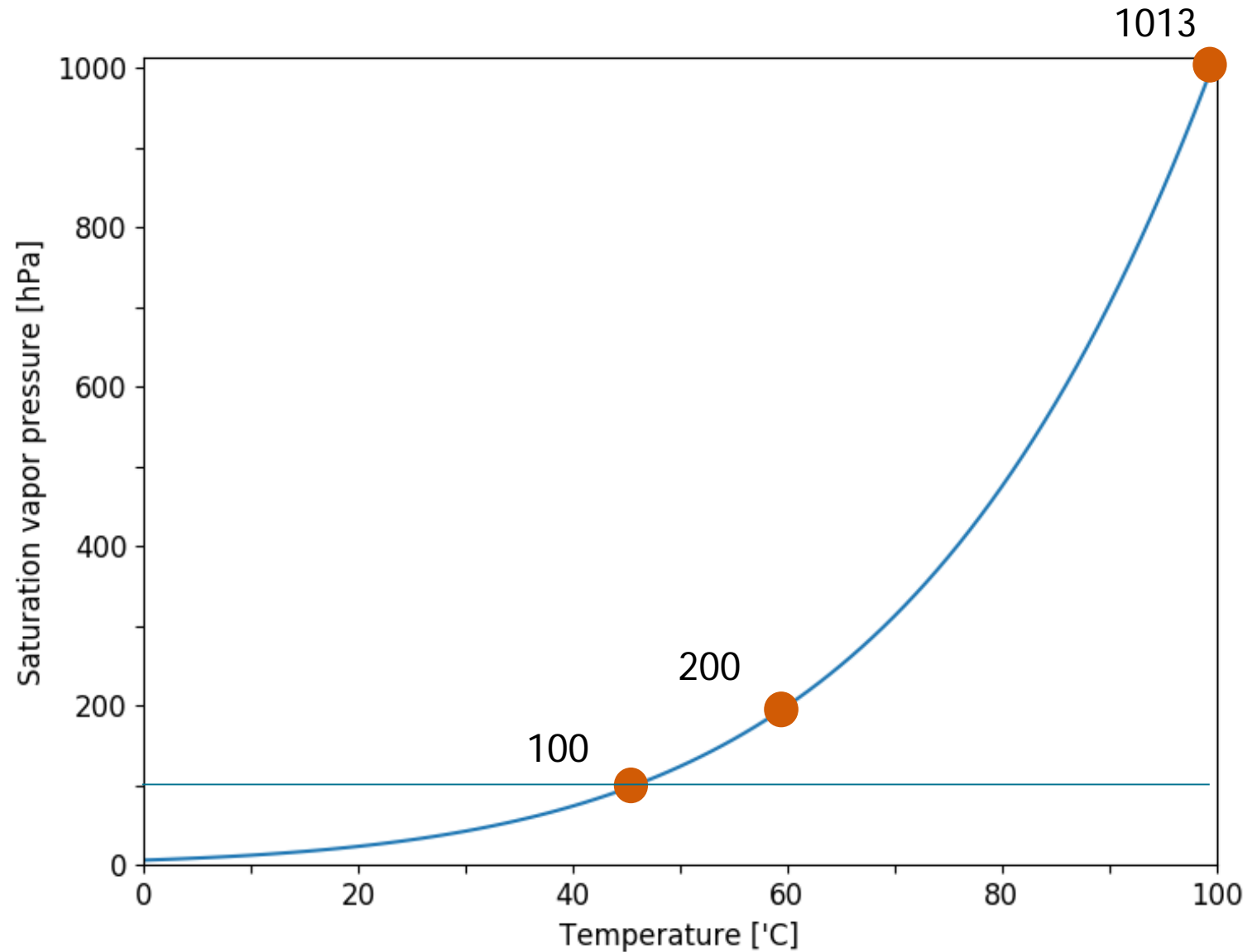
$$RH = \frac{100}{1013} = \sim 10 \%$$

Avec une température de 60 °C

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

Avec une température de 45,8 °C

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



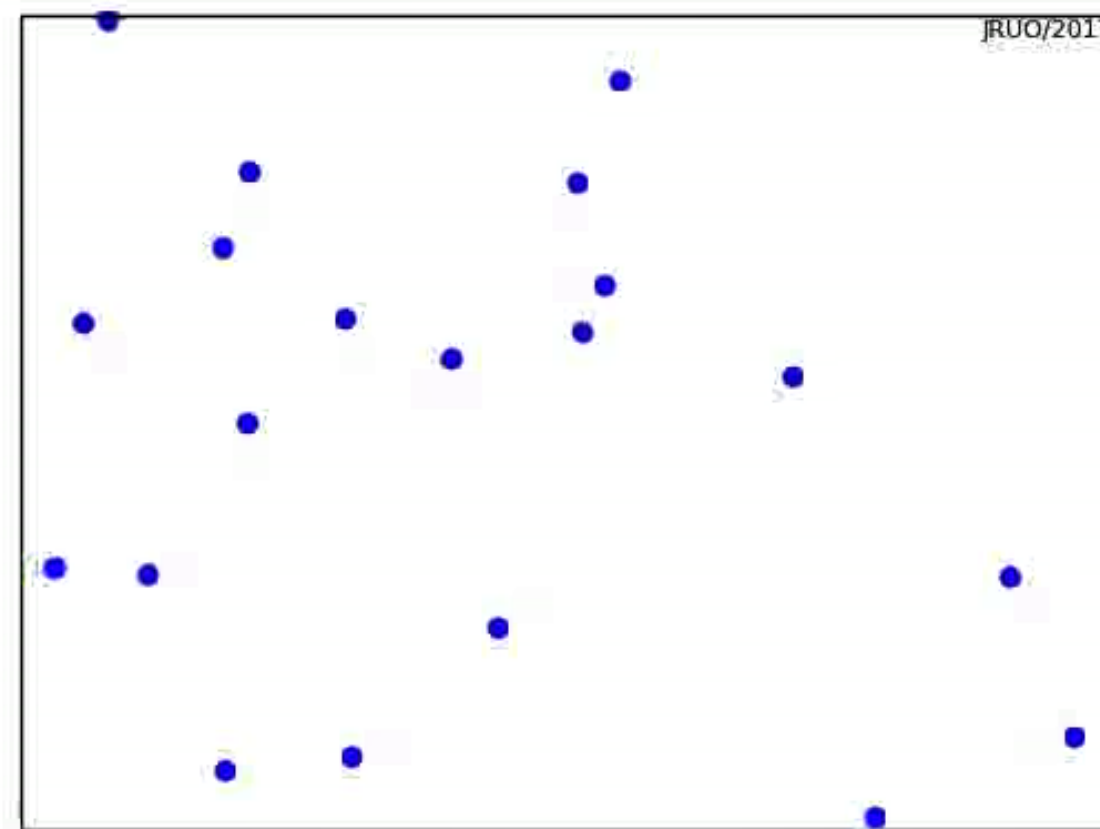
Point de rosée

- La température à laquelle un gaz doit être refroidit 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

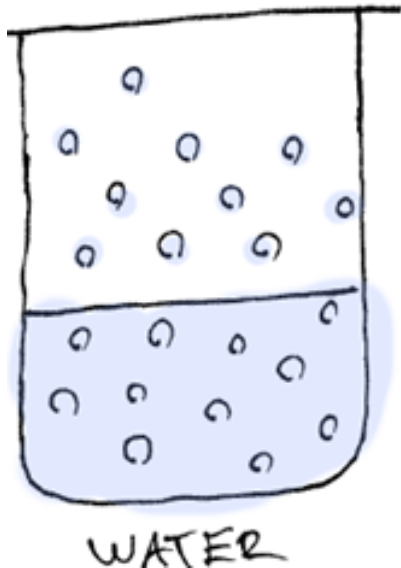
Point de givre (°C)

- La température à laquelle l'air doit être refroidit 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

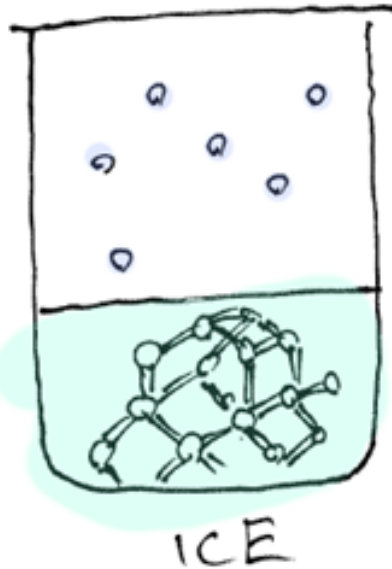


Point de givre (°C)

$P_w = 5.3 \text{ hPa}$



$P_w = 5.1 \text{ hPa}$



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

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

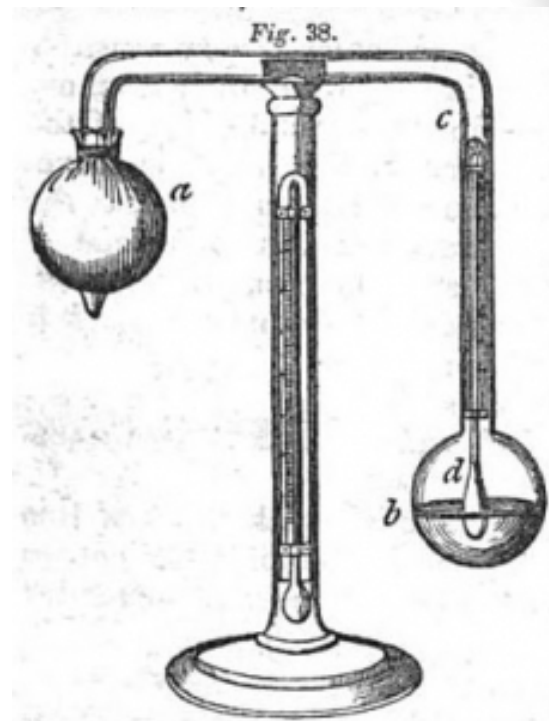
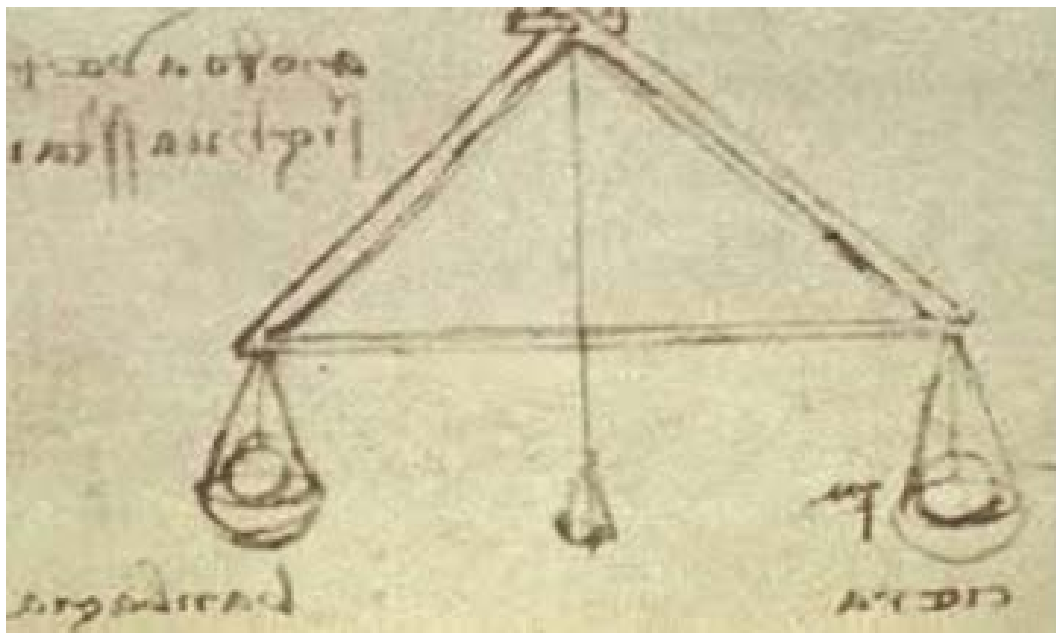




Technologies de mesure de l'humidité

VAISALA

Histoire des hygromètres



Comparaison des différentes technologies

	Mecanique	Psychromètre	Miroir refroidit	Resistif
Gamme minimum	10 %	15 %	-95 .. -20 °C Tf	5 %
Gamme maximum	100 %	100 %	< 100 °C Td	100 %
Précision	+/- 5%	+/-2..5 %	~1 %RH	+/- 5 %
Hysteresis	Très bonne	Aucune	Aucune	Importante
Stabilité	Mauvaise	Mauvaise	Très bonne	Mauvaise
Maintenance	Importante	Importante	Moyenne	Moyenne
Temps de réponse	Lent	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Gamme de température	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 ($\pm 0.1..0.9$ %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



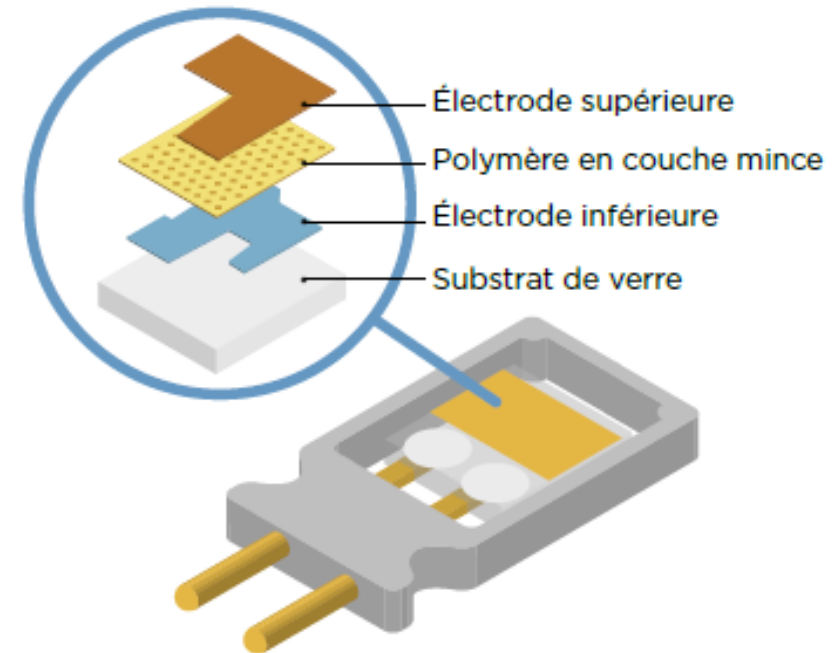
Vaisala HUMICAP®

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

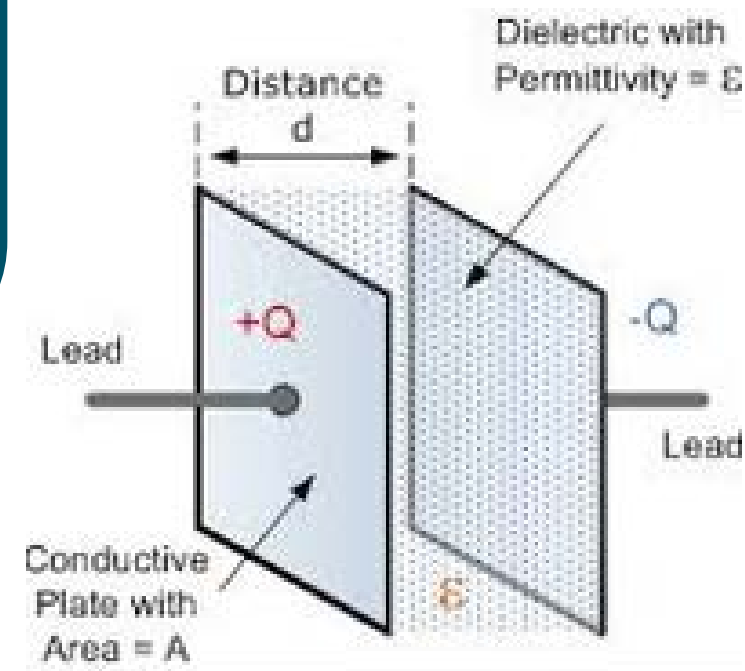
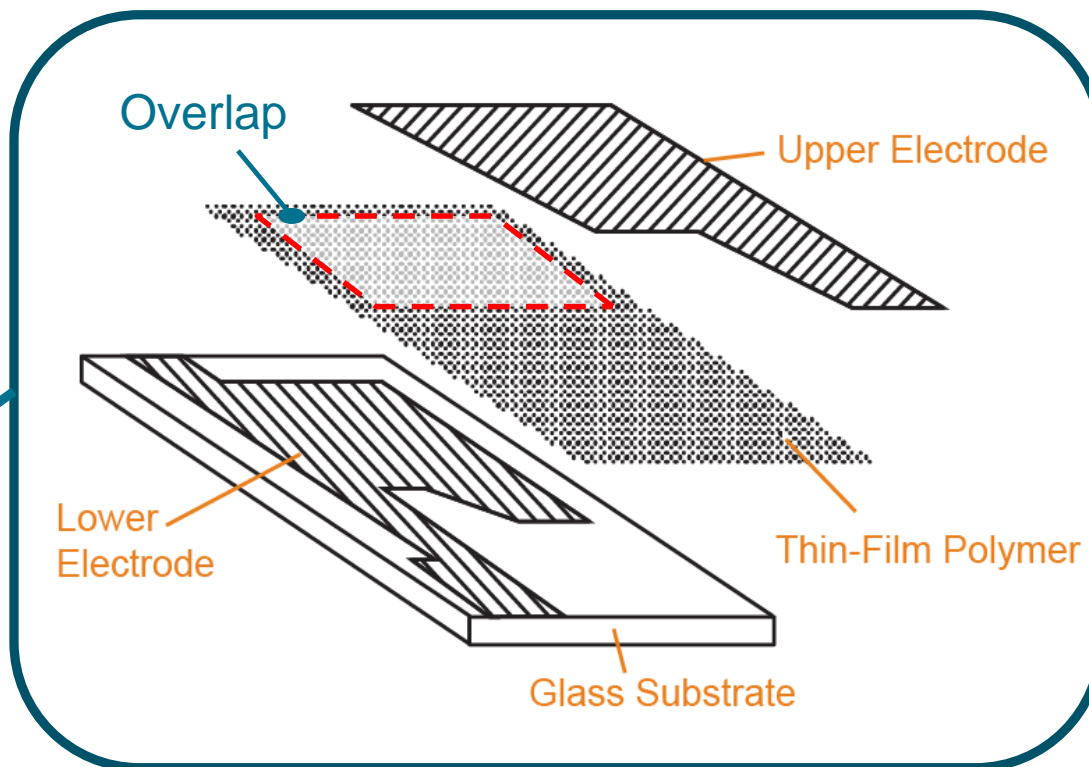
Gamme :

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

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



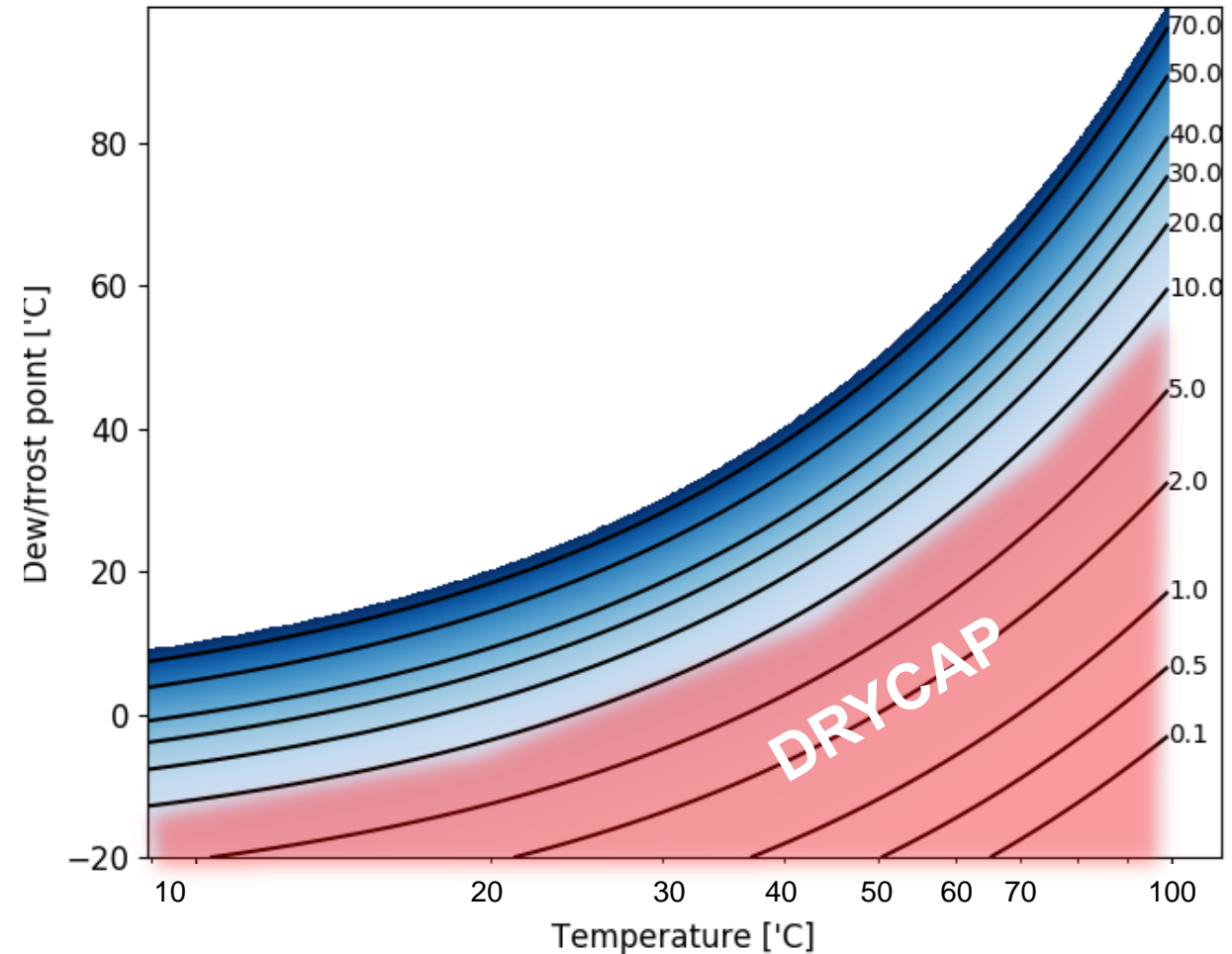
Fonctionnement



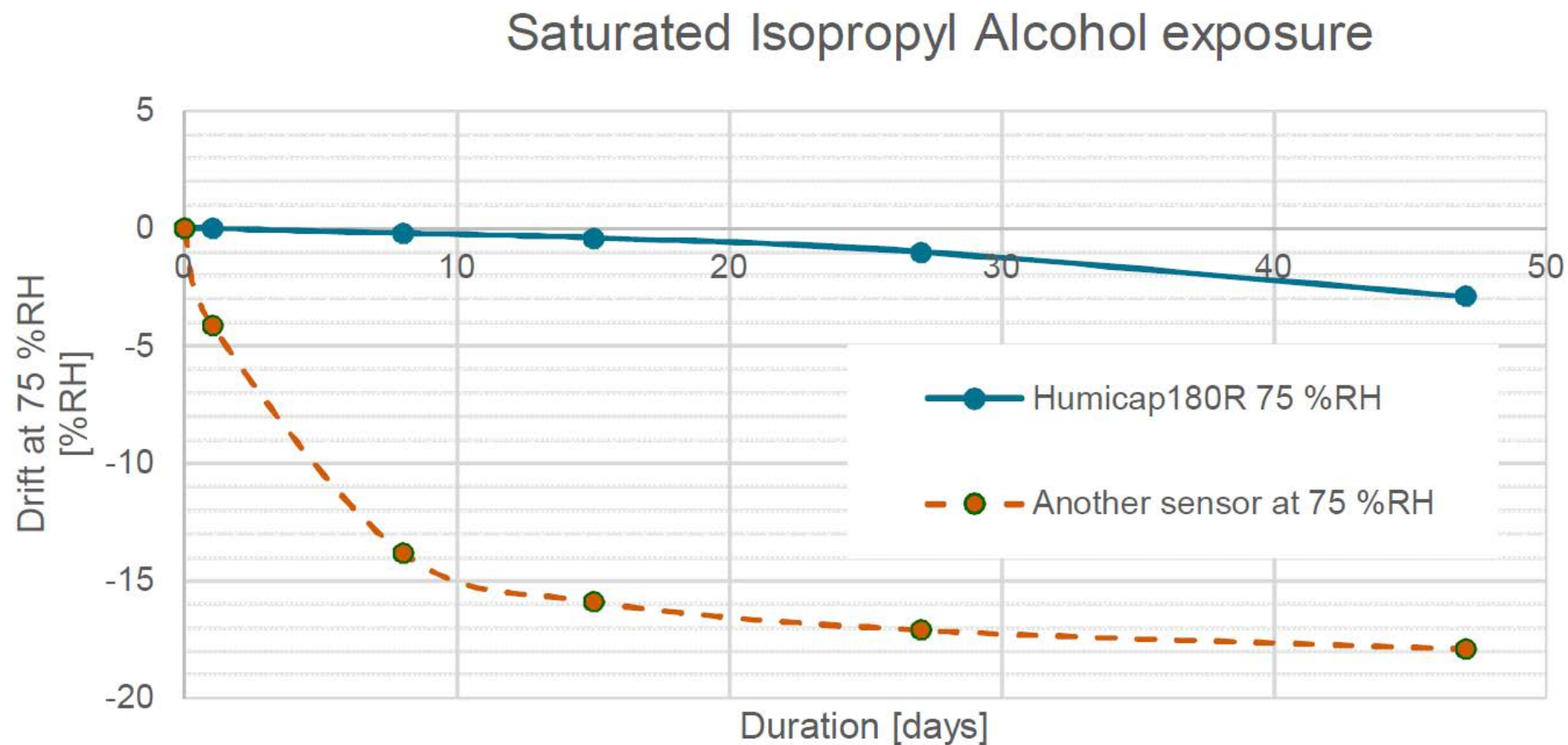
HUMICAP® vs DRYCAP®

- 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

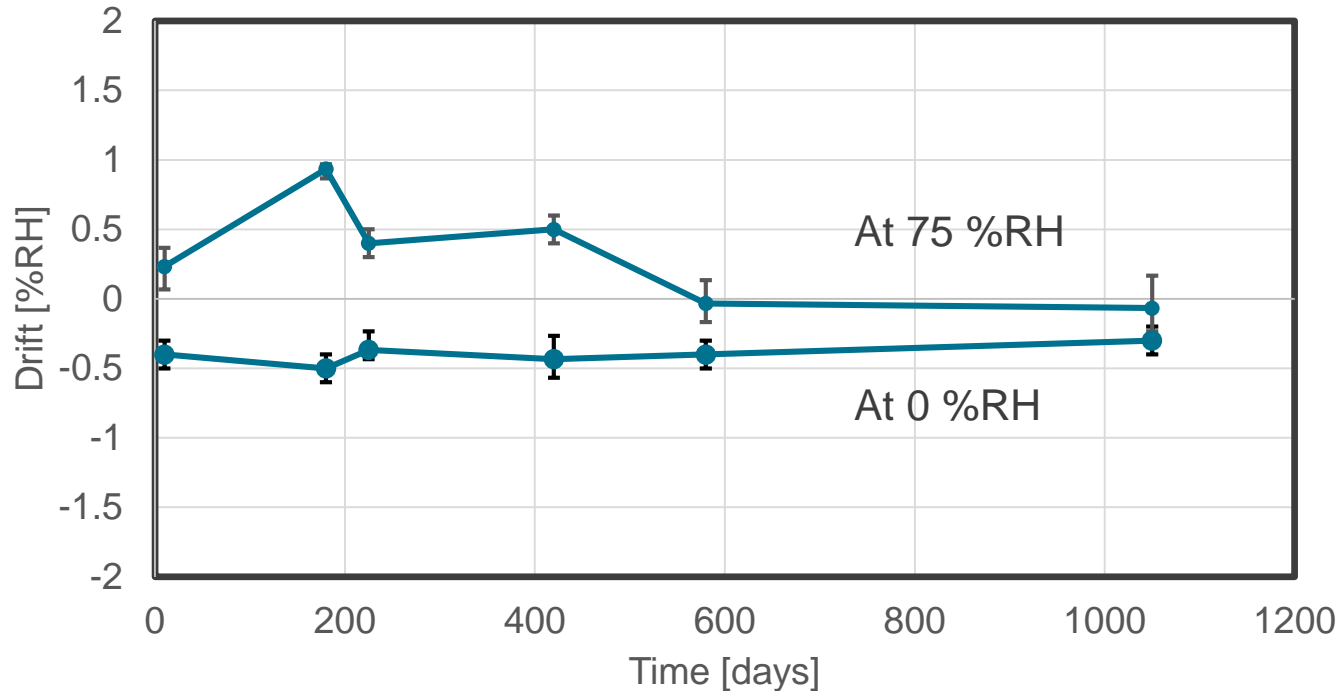
Relative Humidity as a function of T and Td



Résistance de l'HUMICAP®



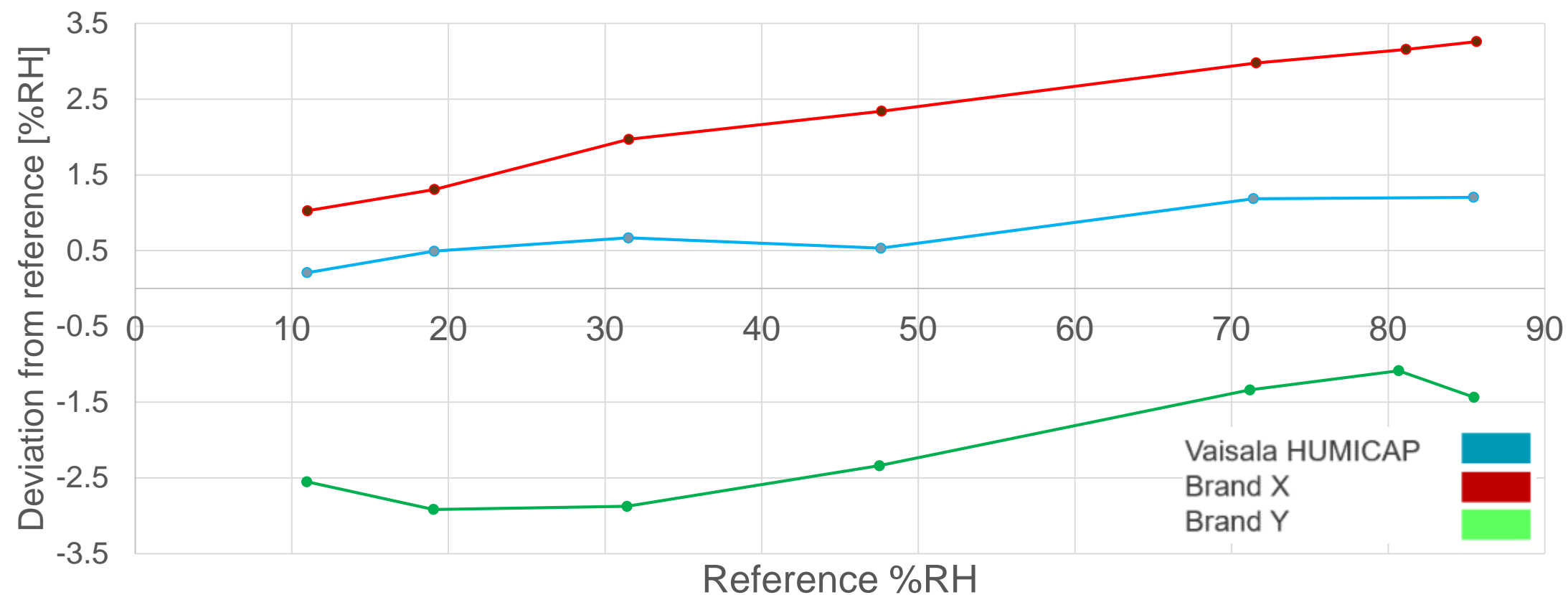
Stabilité de l'HUMICAP®



- Trois Humicap180R installés en extérieur
- Dérive inférieure à 1 %HR sur la gamme de mesure
 - Essai sur 1000 jours

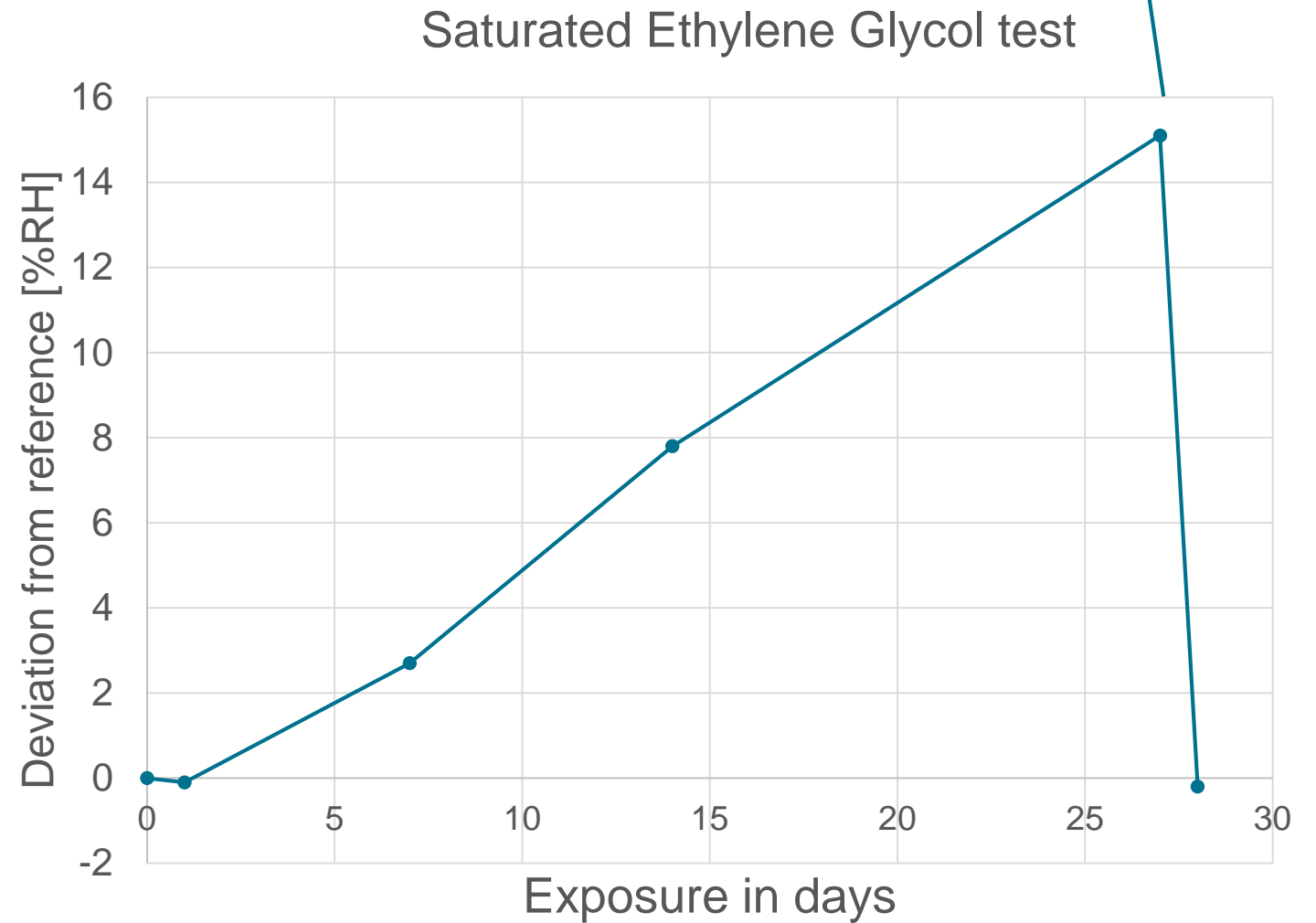
Linéarité en fonction de la température

Calibration à 70 °C



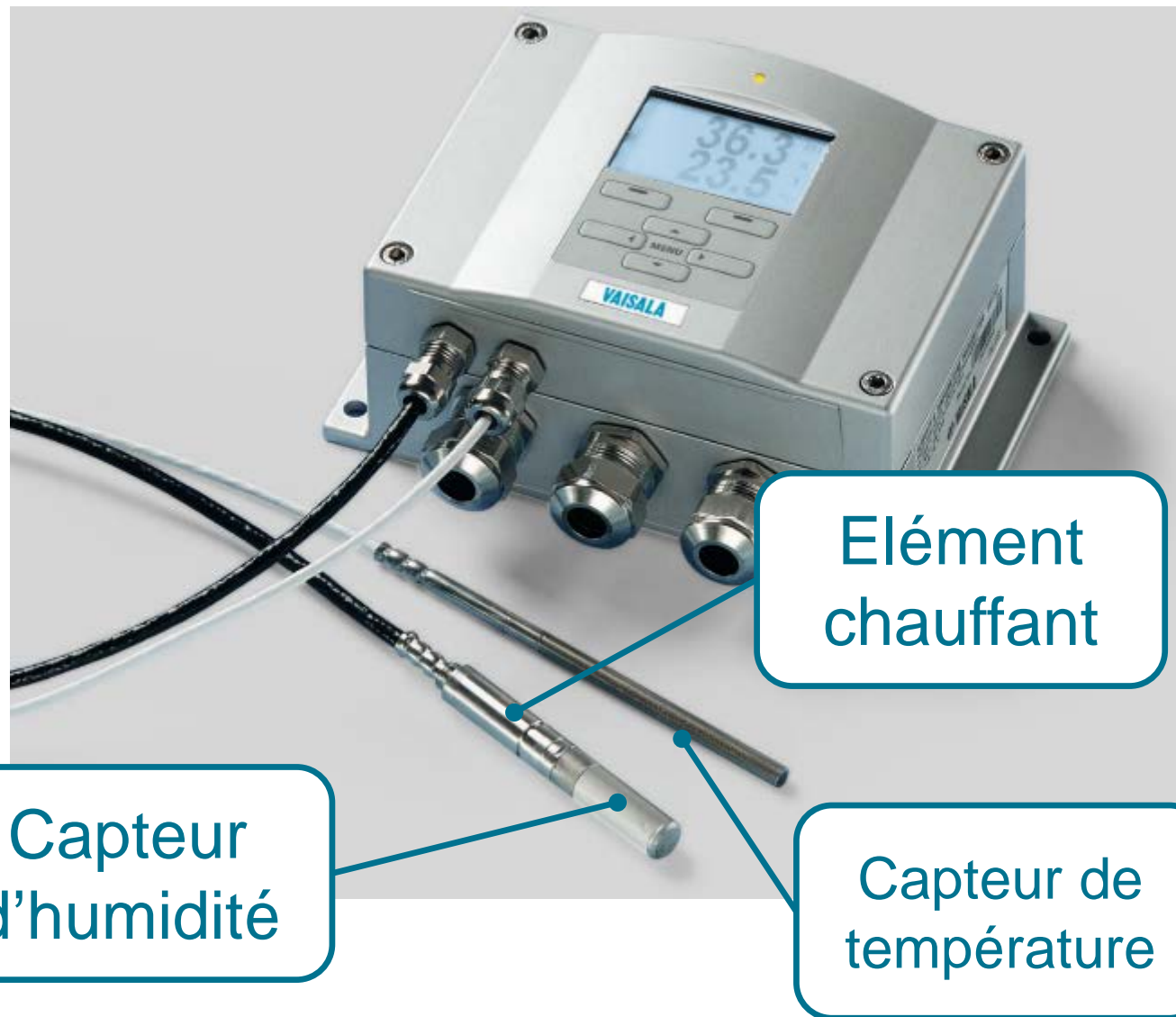
Purge chimique du capteur

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



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





Choix de la technologie de mesure

VAISALA

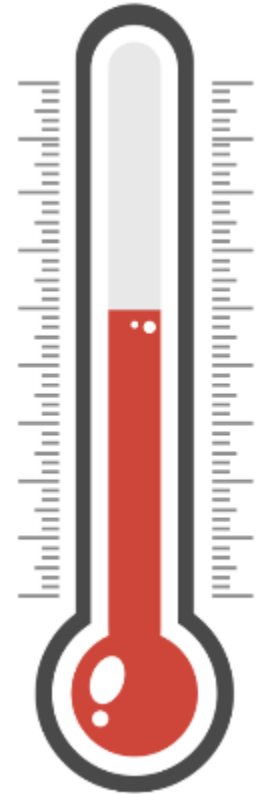
Quelle est mon exigence sur la précision ?

- 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/m³]

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

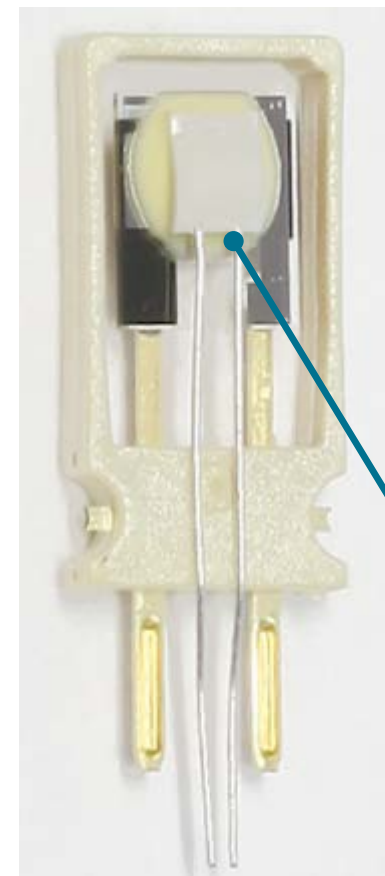
*Le temps de diffusion est multiplié par ~2 tous les paliers de 10 °C en température.
L'Humicap180 est un peu plus rapide pour la diffusion que l'Humicap180R*



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
Humiacp180C

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 élevées, _____ est recommandée