

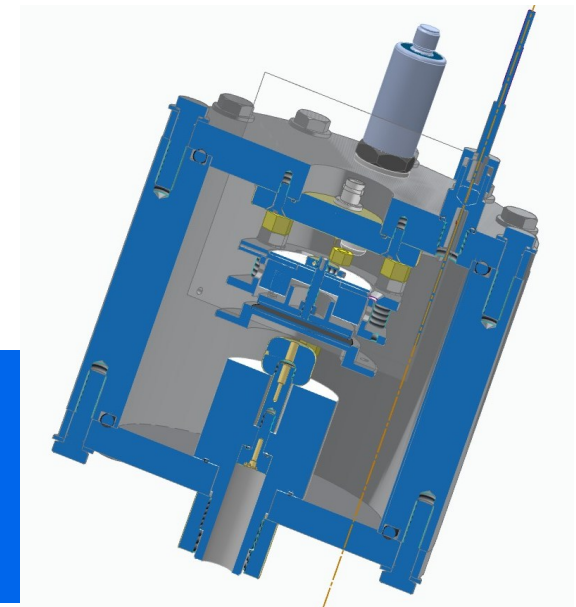
# Communication capteurs I2C Arduino & LabVIEW Projets en cours

Journée AlpesVIEW  
23 septembre 2025  
G2Elab (Grenoble)

Présentation: Sébastien FLURY

# Introduction

- Présentation AlpesVIEW 2024, du logiciel NewAmpere
  - Conclusion & perspective
    - Axes d'améliorations
      - Améliorer qualité les alimentations HT (En cours)
        - Ratio ondulation/signal  $\rightarrow 1.10^{-6}$
      - Améliorer les mesures d'humidité
        - à faibles RH,
        - à haute temp
        - sous pression
- Limitations des sondes : Transmetteurs industriels
  - Humidités :  $T_{\text{max\_électronique}} = 80/100^{\circ}\text{C max}$
  - DewPoint :  $T_{\text{max\_électronique}} = 60^{\circ}\text{C max}$
  - Pression :  $T_{\text{max\_électronique}} = \text{env } 100^{\circ}\text{C max}$
  - Sondes plongées dans un environnement chaud ( $T_{\text{max}} 180^{\circ}\text{C}$ )
- Souhaite
  - Réaliser des mesures à faibles RH (<5%)
  - Monter en température jusqu'à  $180^{\circ}\text{C}$



### Trouvé :

Capteurs électroniques  
Temp utilisation jusqu'à  $125^{\circ}\text{C}$   
Communiquent en I2C

# SOMMAIRE

## Partie théorie

Communication I2C

Théorie mesures humidité

Présentation des capteurs sélectionnés

Exemples de mises en œuvre en cours

Un capteur avec bibliothèque Linux

Plusieurs capteurs en parallèle

Remerciements, Perspective & Conclusion

# SOMMAIRE

## Partie théorie

Communication I2C

Théorie mesures humidité

Présentation des capteurs sélectionnés

Exemples de mises en œuvre en cours

Un capteur avec bibliothèque Linux

Plusieurs capteurs en parallèle

Remerciements, Perspective & Conclusion

# Communication I2C

## Couche physique [modifier | modifier le code]

### Topologie [modifier | modifier le code]

I<sup>2</sup>C est un bus **série synchrone bidirectionnel half-duplex**, où plusieurs équipements, maîtres ou esclaves, peuvent être connectés au bus.

Les échanges ont toujours lieu entre un seul maître et un (ou tous les) esclave(s), toujours à l'initiative du maître (jamais de maître à maître ou d'esclave à esclave). Cependant, rien n'empêche un composant de passer du statut de maître à esclave et réciproquement.

La connexion est réalisée par l'intermédiaire de deux lignes :

- SDA (Serial Data Line) : ligne de données bidirectionnelle,
- SCL (Serial Clock Line) : ligne d'horloge de synchronisation bidirectionnelle.

Il ne faut également pas oublier la masse qui doit être commune aux équipements.

Les 2 lignes sont tirées au niveau de tension  $V_{DD}$  à travers des résistances de **pull-up** ( $R_p$ ).

Extract from <https://fr.wikipedia.org/wiki/I2C>

### - Utilise que 4 fils

- Serial, 8-bit oriented, bidirectional data transfers can be made at up to 100 kbit/s in the Standard-mode, up to 400 kbit/s in the Fast-mode, up to 1 Mbit/s in Fast-mode Plus, or up to 3.4 Mbit/s in the High-speed mode.

Extract from NXP\_UM10204.pdf

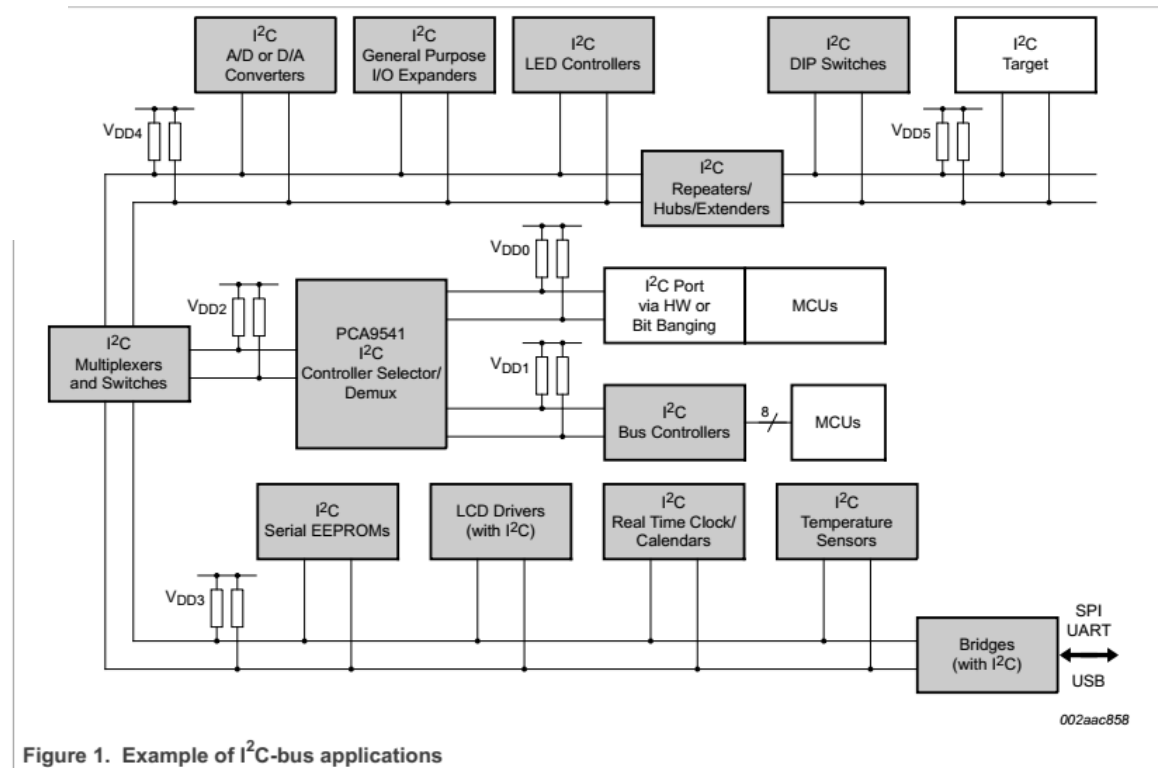


Figure 1. Example of I<sup>2</sup>C-bus applications

Extract from NXP\_UM10204.pdf



# Communication I2C

- Avantages et inconvénients

## Conclusion

Capteurs numériques avec faible encombrement,  
Bus ne nécessitant que 4 fils

Communication lente mais mature  
Vérifier si les capteurs sont adressables

### Avantages et Inconvénients du bus I2C

Avantages	Inconvénients
<b>Simplicité</b> : Seuls 2 fils nécessaires (SDA et SCL), réduisant le câblage et l'encombrement.	<b>Vitesse limitée</b> : Standard (100 kbit/s), Fast Mode (400 kbit/s), High-speed (3.4 Mbit/s) — moins rapide que SPI ou USB.
<b>Économique</b> : Moins de broches et de câbles, donc coût réduit.	<b>Complexité logicielle</b> : Gestion des adresses, des collisions, et des acquittements (ACK/NACK).
<b>Multi-maître/multi-esclave</b> : Plusieurs dispositifs peuvent communiquer sur le même bus.	<b>Adressage limité</b> : 7 bits (128 adresses) ou 10 bits (1024 adresses) — risque de conflits si mal géré.
<b>Flexibilité</b> : Ajout/suppression d'esclaves sans modifier le matériel.	<b>Sensibilité au bruit</b> : Pas de ligne de sélection d'esclave (SS) comme en SPI, donc plus vulnérable aux interférences.
<b>Large adoption</b> : Supporté par de nombreux microcontrôleurs et capteurs.	<b>Pas de synchronisation matérielle</b> : Nécessite des résistances de pull-up pour SDA/SCL.
<b>Faible consommation</b> : Idéal pour les applications embarquées et mobiles.	<b>Protocole demi-duplex</b> : Communication unidirectionnelle à la fois (contrairement au SPI full-duplex).
<b>Standardisé</b> : Protocole mature avec des bibliothèques logicielles disponibles.	<b>Longueur de bus limitée</b> : Généralement quelques mètres (dépend de la capacité du bus et de la vitesse).

# Théorie de la mesure d'humidité

source : NPL<sup>(1)</sup> Guide « Npl-Guide-to-humidity.pdf »

- Types de capacitifs utilisés
  - Capacitifs
  - Dew-point
  - Psychrometres

Table 2. Summary of some of the features of the main types of humidity measurement

Sensor type	Absolute or relative humidity	Typical range (extended range in brackets)		Typical units in which readings are displayed	Contamination tolerance <sup>2</sup> (bracketed ratings after cleaning)	Sampling, configuration	Guideline best humidity uncertainty in use <sup>3</sup> (±)
		Humidity	Temperature <sup>1</sup>				
Mechanical	R	20 %rh to 80 %rh	Near room temperature	%rh	* * *	Whole immersion	5-15 %rh
Wet- and dry-bulb aspirated (Psychrometer)	R	5 %rh to 100 %rh	0 °C to 100 °C (also useable above and below this range)	%rh (often hand-calculated from temperature readings)	* (* *)	Whole immersion (or sample gas flow)	2-5 %rh
Resistive	R	5 %rh to 95 %rh (and up to 99 %rh)	-30 °C to +60 °C (-50 °C to 200 °C)	%rh	* *	Probe (or whole immersion)	2-3 %rh
Capacitive	R	5 %rh to 100 %rh (and down to near 0 %rh)	-30 °C to +60 °C (-40 °C to 200 °C)	%rh	* *	Probe (or whole immersion)	2-3 %rh
Impedance dew-point types	A	Dew points of -85 °C (or below) to +60 °C	Most temperatures up to +60 °C, avoiding saturation	Dew point, vapour pressure	* *	Probe	2-5 °C
Condensation	A	Dew points below -85 °C to +100 °C	-85 °C to +100 °C (main body of instrument at room temperature)	Dew point	* (* *)	Sample gas flow (or probe)	0.2-1.0 °C
Lithium chloride	A	Dew points of -45 °C to +60 °C, gas always over 11 %rh and not saturated	-20 °C to +60 °C (some use -40 °C to +100 °C)	Dew point	*	Probe	2-4 °C
Electrolytic (phosphorous pentoxide)	A	Below 1 ppm <sub>v</sub> to 1000 ppm <sub>v</sub>	Near room temperature	ppm <sub>v</sub> , or vapour pressure	*	Sample gas flow	3-10 percent of reading
Spectroscopic	A	Extremely wide range, depending on type	Very wide range (main body of instrument at room temperature)	ppm <sub>v</sub> (and others)	* * *	Gas sample (line-of-sight sampling at high humidity)	3-10 percent of reading in high range, much more at low end.
Colour change	R	20 %rh to 80 %rh	Near room temperature	%rh	* *	Paper test card (or pump with glass vial)	10-20 %rh

(1) NPL : National Physical Laboratory (London)

# Théorie de la mesure d'humidité

source : NPL<sup>(1)</sup> Guide « Npl-Guide-to-humidity.pdf »

- L'humidité est une pression de vapeur d'eau (Pa)

$$P_{(total)} = P_{(nitrogen)} + P_{(oxygen)} + P_{(water)} + P_{(others)}$$

Avec :

- Formules générales d'après les températures (dry & wet)

- Humidité relative:  $RH(\%) = \frac{e}{e_s} \cdot 100$
- Pression de vapeur:  $e = e' - A \cdot P \cdot (t - t_w)$

-  $e$  (Pa) : pression de vapeur de l'eau  
#Dry\_measure

-  $e_s$  (Pa) : pression de vapeur saturante  
#Wet measure

-  $e'$  (Pa) : pression de vapeur saturante de l'eau à  $t_w$

-  $A$  ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) : coefficient psychrométrique

$A = 6.66 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  for moving air as in the Assmann ventilated psychrometer  
 $A = 8.0 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  in a Stevenson screen as used by the Meteorological Office.

-  $P$  : pression barométrique (en Pa)

-  $t$  : température sèche (en  $^{\circ}\text{C}$  ou K)

-  $t_w$  : température humide (en  $^{\circ}\text{C}$  ou K)



# Théorie de la mesure d'humidité

source : NPL<sup>(1)</sup> Guide « Npl-Guide-to-humidity.pdf »

## ■ Formules d'après mesures de dew point (température)

- Formule de Magnus: (équation simple)

$$\ln(e_w) = \ln(611.2) + \frac{17.62 \cdot t_w}{243.12 + t_w}$$

## ■ Facteur de correction selon la pression

$$e' = e f$$

- Si  $P = [30; 1100]$  mbar :  $f = 1.0016 + 3.15 \times 10^{-6} P - 0.074/P$ .
- Si  $P = [1; 20]$  bars abs :  $f = \exp \left[ \alpha \left( 1 - \frac{e_s}{P} \right) + \beta \left( \frac{P}{e_s} - 1 \right) \right]$

Avec :

- $e_w$  (Pa) : pression de vapeur saturante  
#Wet measure
- $A$  ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) : coefficient psychrométrique
- $t_w$  : température DewPoint (en  $^{\circ}\text{C}$  ou K)
- $P$  : pression barométrique (en Pa)
- Coefs  $\alpha$  et  $\beta$  donnés selon une table

$$\alpha = \sum_{i=1}^4 A_i t^{(i-1)} \quad \text{and} \quad \beta = \exp \sum_{i=1}^4 B_i t^{(i-1)} \quad (16)$$

and values of  $A_i$  and  $B_i$  are given in Table 11.

Table 11. Coefficients for  $f$

	Water -50 °C to 0 °C	Water 0 °C to 100 °C	Ice -100 °C to 0 °C
A1	$3.62183 \times 10^{-4}$	$3.53624 \times 10^{-4}$	$3.64449 \times 10^{-4}$
A2	$2.60553 \times 10^{-5}$	$2.93228 \times 10^{-5}$	$2.93631 \times 10^{-5}$
A3	$3.86501 \times 10^{-7}$	$2.61474 \times 10^{-7}$	$4.88635 \times 10^{-7}$
A4	$3.82449 \times 10^{-9}$	$8.57538 \times 10^{-9}$	$4.36543 \times 10^{-9}$
B1	-10.7604	-10.7588	-10.7271
B2	$6.39725 \times 10^{-2}$	$6.32529 \times 10^{-2}$	$7.61989 \times 10^{-2}$
B3	$-2.63416 \times 10^{-4}$	$-2.53591 \times 10^{-4}$	$-1.74771 \times 10^{-4}$
B4	$1.67254 \times 10^{-6}$	$6.33784 \times 10^{-7}$	$2.46721 \times 10^{-6}$

## Conclusion

Pour mesurer l'humidité dans des cellules de pressions,

Cela nécessite de mesurer en plus:

- la pression
- la température

# SOMMAIRE

## Partie théorie

Communication I2C

Théorie mesures humidité

## Présentation des capteurs sélectionnés

## Exemples de mises en œuvre en cours

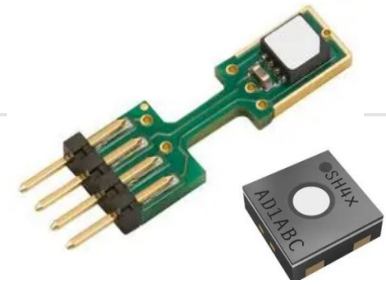
Un capteur avec bibliothèque Linux

Plusieurs capteurs en parallèle

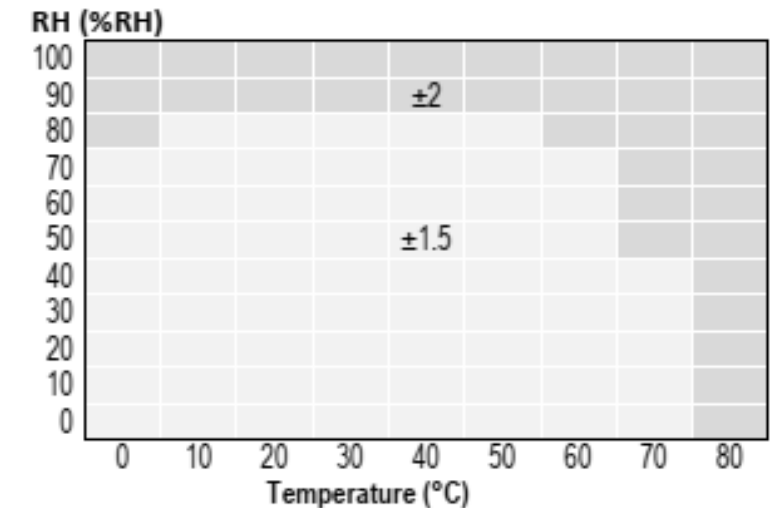
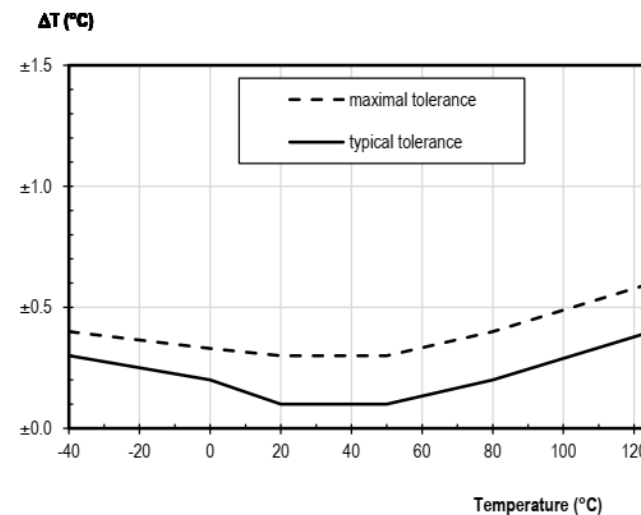
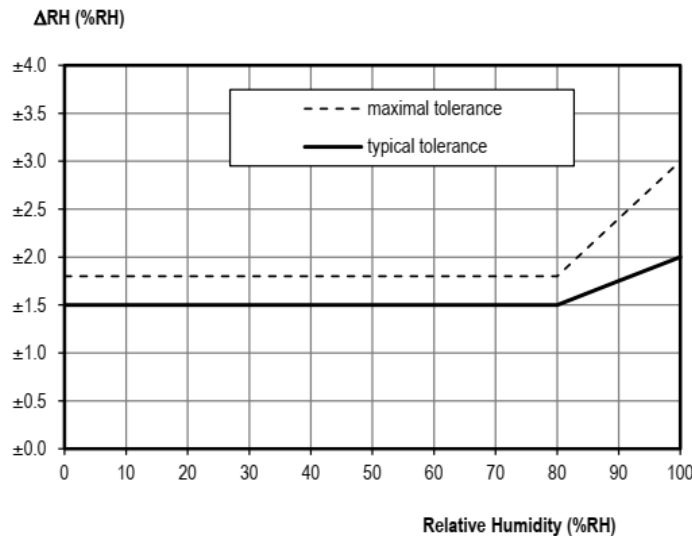
## Remerciements, Perspective & Conclusion

# Nouveaux capteurs d'humidités

- Capteurs numériques Sensirion RH & température SHT85 & SHT45
  - Communication : I2C
  - EM : [0; 100] %RH
  - Précisions :  $\pm 1.5\%RH$  &  $0.1^\circ C$
  - $T_{max}$ :  $105^\circ C$  (intégrés) ou  $125^\circ C$  (CMS)
  - Consommation réduite ( $VDD = [3.3 ; 5] V$ )
  - Renvoient des datas de RH(%) et  $T^\circ$  ( $^\circ C$  ou  $^\circ F$ )

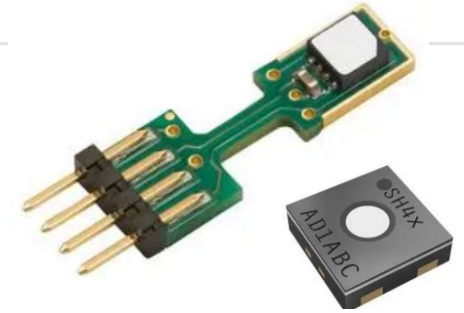


From <https://fr.farnell.com/sensirion>



# Nouveaux capteurs d'humidités

- Mise en œuvre simple
  - 2 résistance de Pull-up & Option : capacité de filtrage
- Taille réduite par rapport à un capteur industriel
  - Environ 5x18x1mm



From <https://fr.farnell.com/sensirion>

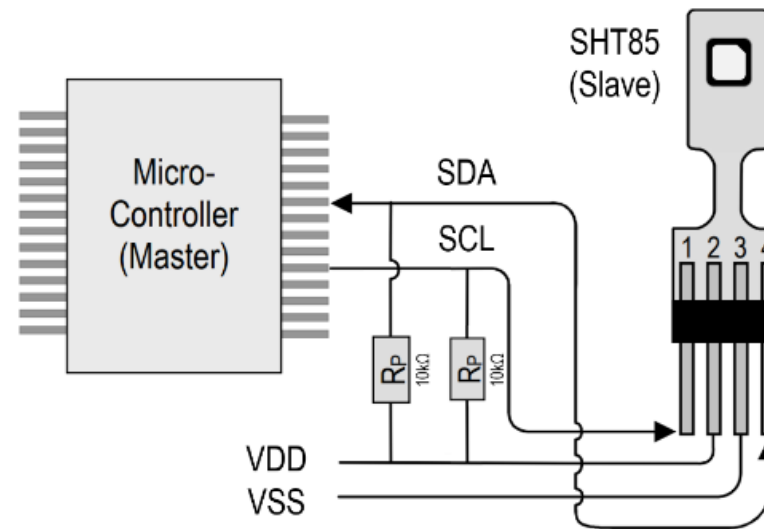
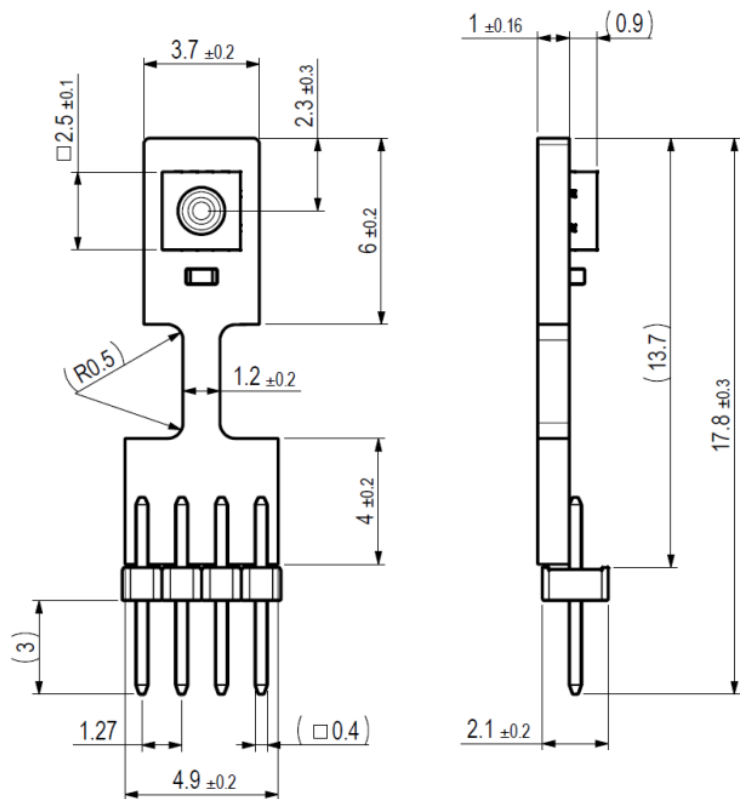
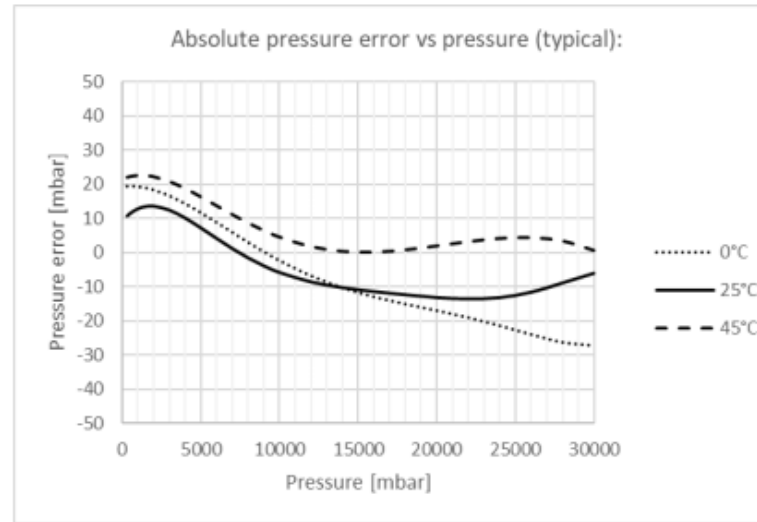


Figure 4: Typical application circuit

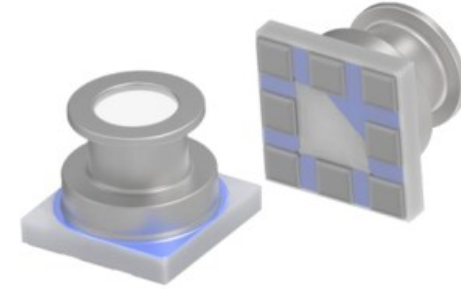
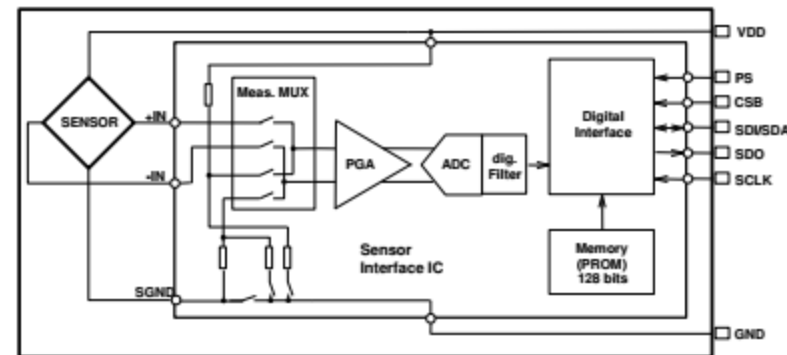
Extract from Sensirion\_SHT85\_SERI-S-A0019369659-1.pdf

# Nouveaux capteurs pressions

- Gammes de capteurs MS58xx de TE connectivity
  - Altimètres (mesures pression absolue),
    - Élément sensible : MEMS
  - EM de pression : [0,3 ; 30] bar abs
  - Précision pression:  $\pm 175$  mbar
  - Précision  $T^\circ$  :  $\pm 0.6^\circ\text{C}$
  - Températures de travail étendue:  $110^\circ\text{C}$
  - Encombrement CMS :  $3.3 \times 3.3 \times 2.65\text{mm}$
  - Interface I2C
  - Renvoient des datas P et  $T^\circ$



## FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



## Features

- High-resolution pressure sensor
- Fast conversion down to 0.37 ms
- Low power down to 0.34  $\mu\text{A}$  (standby < 0.1  $\mu\text{A}$  at  $25^\circ\text{C}$ )
- Ceramic package  $3.3 \times 3.3 \times 2.7\text{ mm}^3$
- Supply voltage 1.5 V to 3.6 V
- Integrated digital pressure sensor (24-bit  $\Delta\Sigma$  ADC)
- Operating range: 300 to 30000 mbar,  $-40^\circ\text{C}/+110^\circ\text{C}$
- SPI and I<sup>2</sup>C interfaces

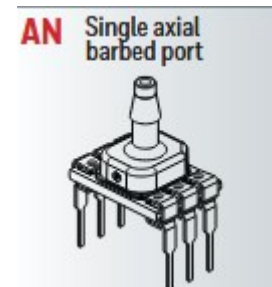
Extract from NG\_DS\_MS5849\_30BA\_10-3398315.pdf



# Nouveaux capteurs CMS : Inconvénients majeurs



- Capteurs CMS: prévoir de la sous-traitance !!
  - Etude électronique approfondie
  - Coût élevé (surtout si unitaire)
  - Délais supplémentaires
- Pour évaluation , utilisation de capteur Honeywell ABP2



# SOMMAIRE

## Partie théorie

Communication I2C

Théorie mesures humidité

## Présentation des capteurs sélectionnés

## Exemples de mises en œuvre en cours

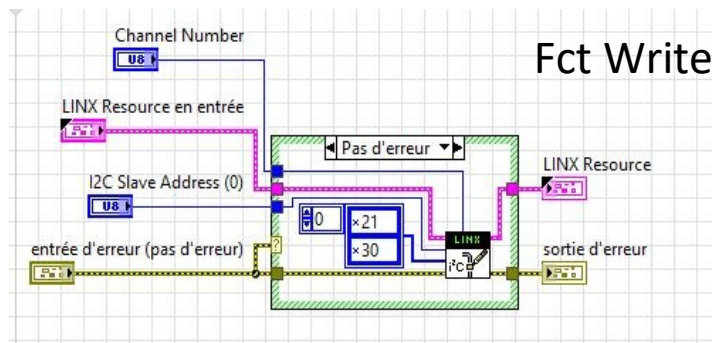
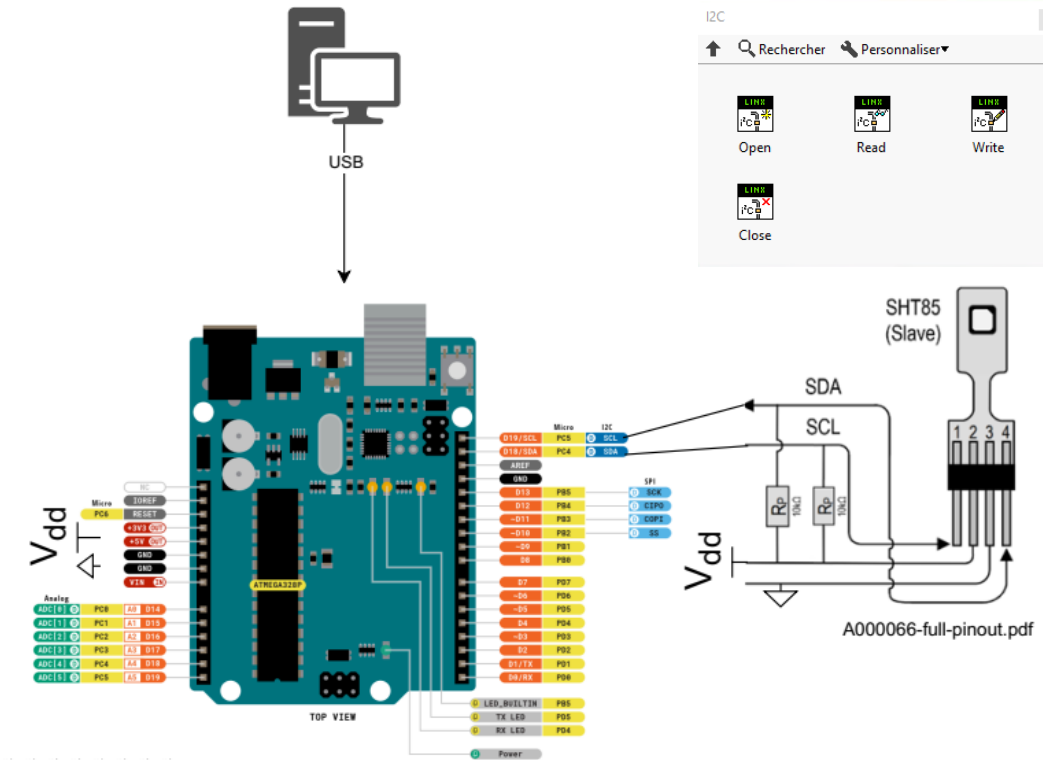
Un capteur avec bibliothèque Linux

Plusieurs capteurs en parallèle

## Remerciements, Perspective & Conclusion

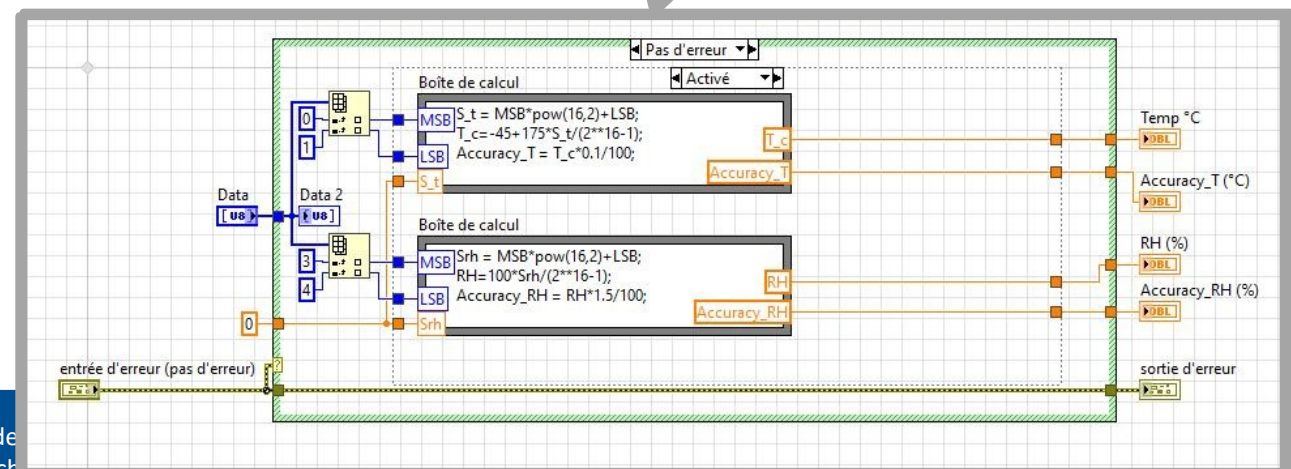
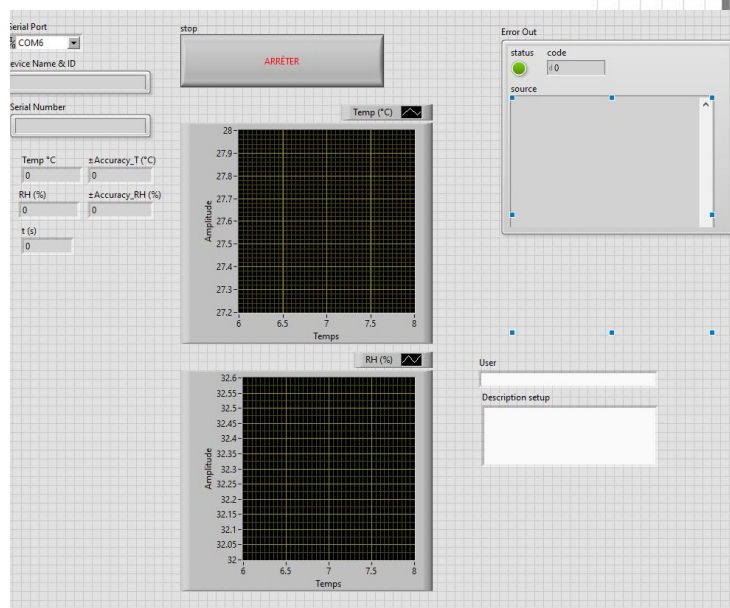
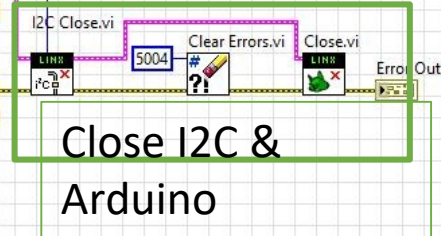
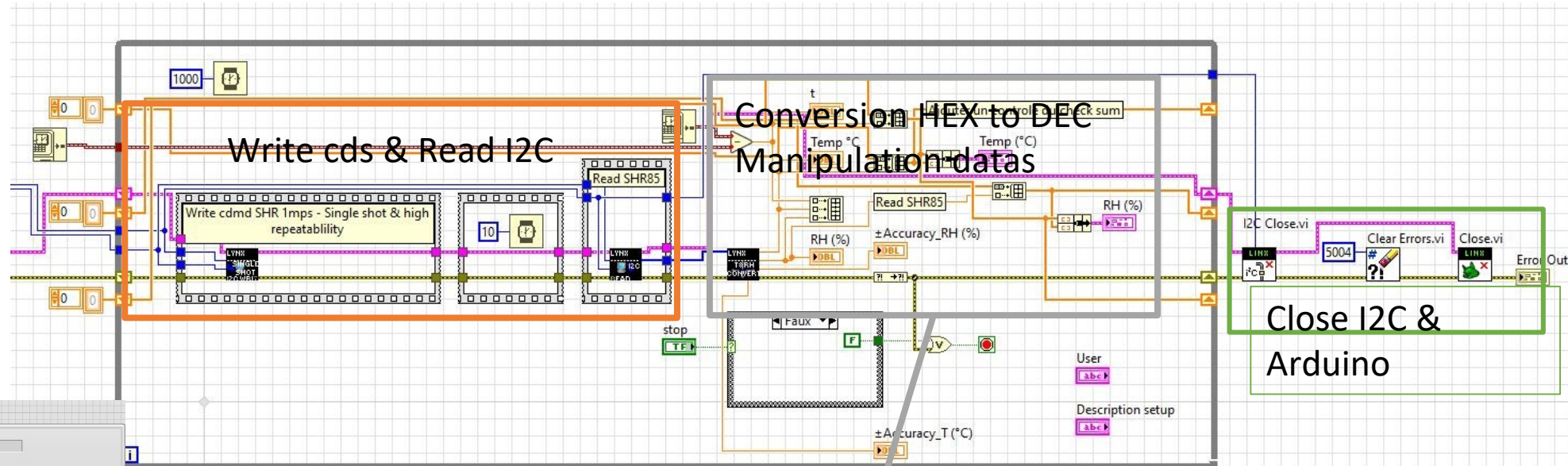
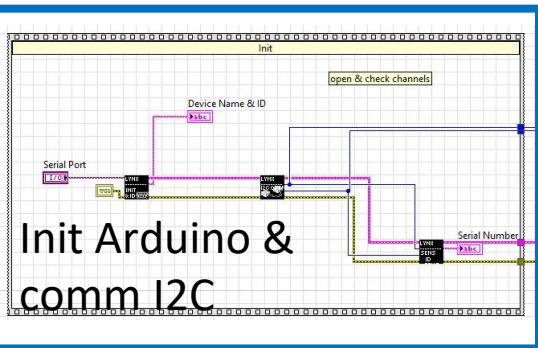
# Communication d'un capteur SHT85 avec bibliothèque MakerHub Linx

- But:
  - Evaluer les capteurs d'humidités Sensirions
  - Piloter une sonde SHT85 avec un Arduino Uno
- Communication: USB
- Utilisation de bibliothèque MakerHub Linx / VI I2C
  - Installation via VPIM
- Ecriture des commandes en HEXA (U8)
- Lecture les datas en HEXA (U8)
  - RH (%)
  - T° (°C)



Fct Write

# Communication d'un capteur avec bibliothèque MakerHub Linx



# Communication d'un capteur SHT85 avec bibliothèque MakerHub Linx



- Avantages:
  - Une seule interface
    - LabVIEW
  - Travailler avec plusieurs capteurs
    - Si addresses différentes
  - Capteur intégré
    - Mise en oeuvre simple & rapide
- Inconvénients:
  - Doit ré-écrire des bibliothèques en LV
    - Trouve en open source sous [github.com](https://github.com)
  - Bibliothèque Linx ne marche qu'avec Arduino UNO R3
    - Board nano non compatibles
  - SHT85 : une seule adresse de communication
    - 1 UNO = 1 capteur

Merci à Adeline Richard

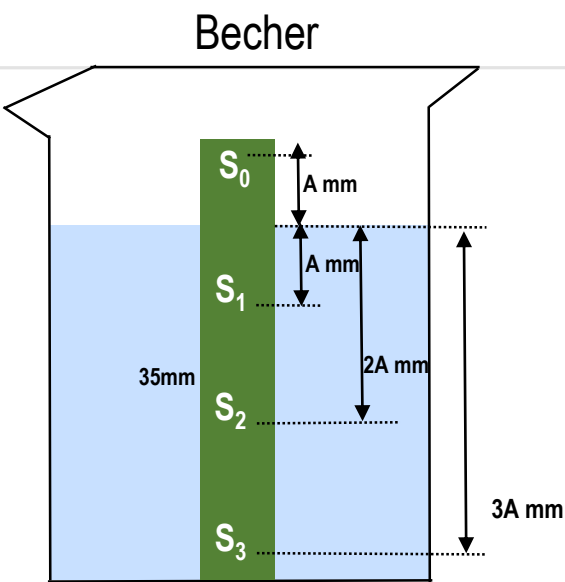
“Pilotage de cycle thermique d'une chambre climatique sous LabVIEW avec l'interface Arduino/LINX”, journée AlpesVIEW 2019





# Communication avec plusieurs capteurs SHT85

- Dans le cadre d'une thèse en co-tutelle avec IRT St Exupéry (Toulouse) et le G2Elab
  - Thème : étude des caractéristiques diélectriques des gels isolants
- Moyens utilisés :
  - Cellules mesures de courants
  - Logiciel NEWAMP
- Pbm: impossible de mesurer l'humidité dans les gels pendant les mesures sous HV.
- En cours : Développement d'une manip' de mesure de pénétration de l'humidité en fonction de la hauteur
  - Utilisation de 4 sondes SHT45 avec un espacement identique & d'une sonde de pression ABP2
  - PCB utilisé : Rogers

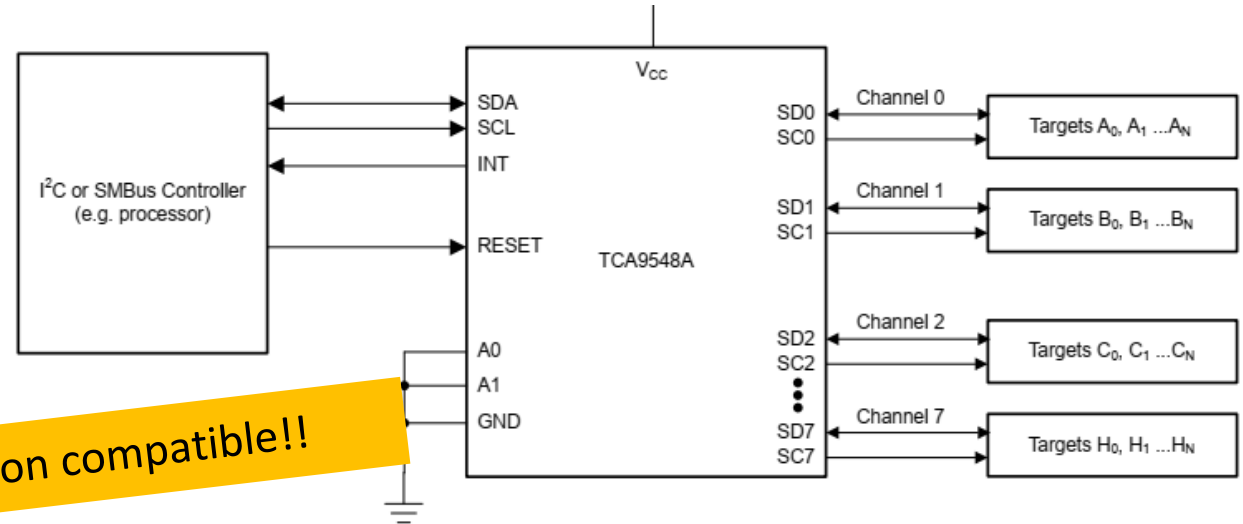


Comparatif PCB FR4 vs ROGERS (incluant absorption d'eau)

Critère	FR4	ROGERS
Matériau de base	Composite de fibre de verre et résine époxy	Céramique chargée (PTFE, hydrocarbures, etc.)
Constante diélectrique (Dk)	~4.2 à 4.8 (variable selon la fréquence)	2.2 à 10 (stable sur une large plage de fréquences)
Facteur de dissipation (Df)	~0.02 à 0.03 (plus élevé)	~0.0009 à 0.003 (très faible)
Stabilité thermique	Bonne jusqu'à ~130°C	Excellente, jusqu'à 280°C (selon le grade)
Coefficient de dilatation thermique (CTE)	~14-18 ppm/°C	~10-16 ppm/°C (meilleure stabilité dimensionnelle)
Performances en haute fréquence	Limitées (pertes plus élevées)	Excellentes (faibles pertes, idéal pour RF/micro-ondes)
Coefficient d'absorption d'eau	~0.1% à 0.5% (peut varier selon le grade et les conditions)	~0.01% à 0.04% (très faible, excellente résistance à l'humidité)

# Communication avec plusieurs capteurs SHT85

- Communiquer avec plusieurs capteurs SHT en //
  - Utiliser un multiplexeur I2C
  - Ref: TCA9548A de Texas Instrument
- Multiplexeur 8 voies (voies 0...7)
- A installer en aval du contrôleur I2C (busI2C)



**Simplified Application Diagram**

Extract from I2C multiplexer tca9548a.pdf

## Sous application Arduino IDE



- Installer les bibliothèques TCA9548A , SHT85...
- Piloter le multiplexeur et les capteurs
- Traitement & formatage des données
  - Dans le µcontrôleur
- Renvoyer les datas au PC par "Serial Print"

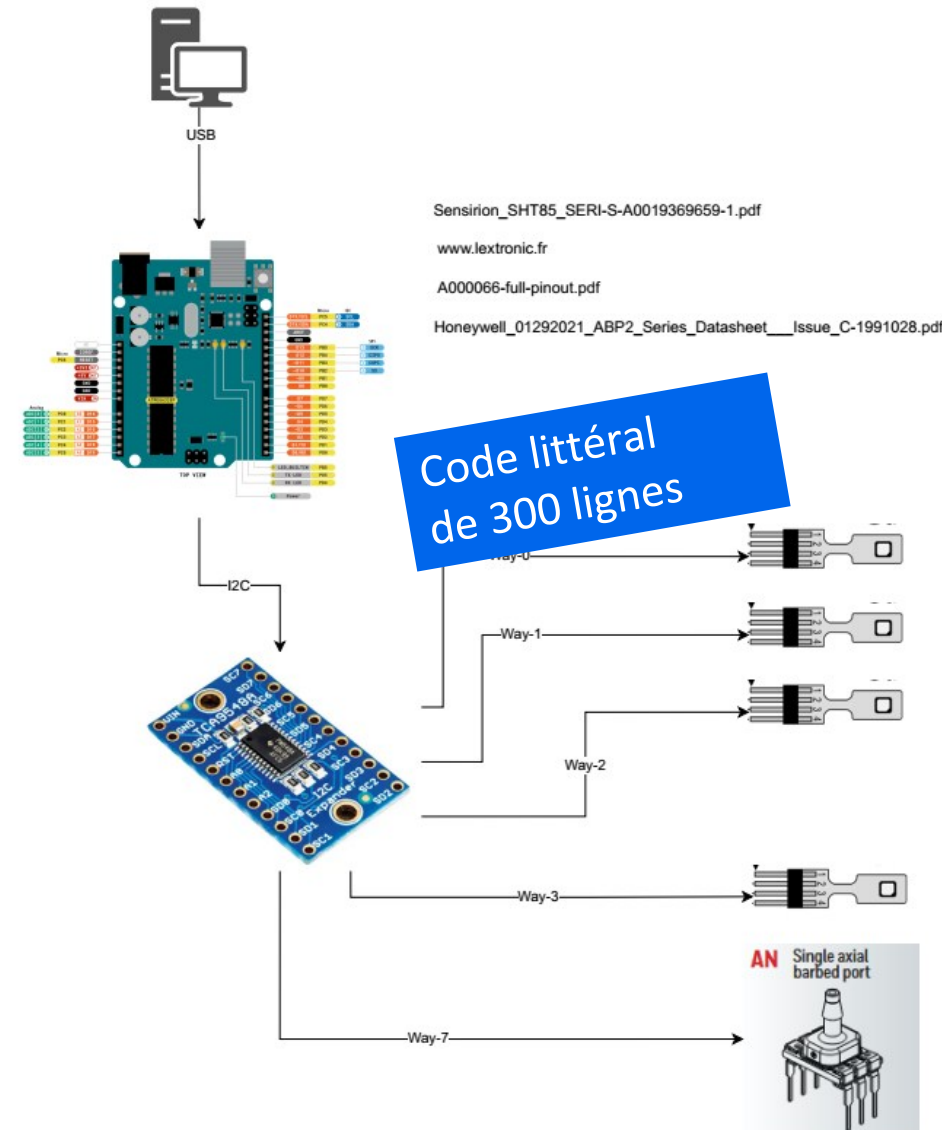
## Sous LabVIEW



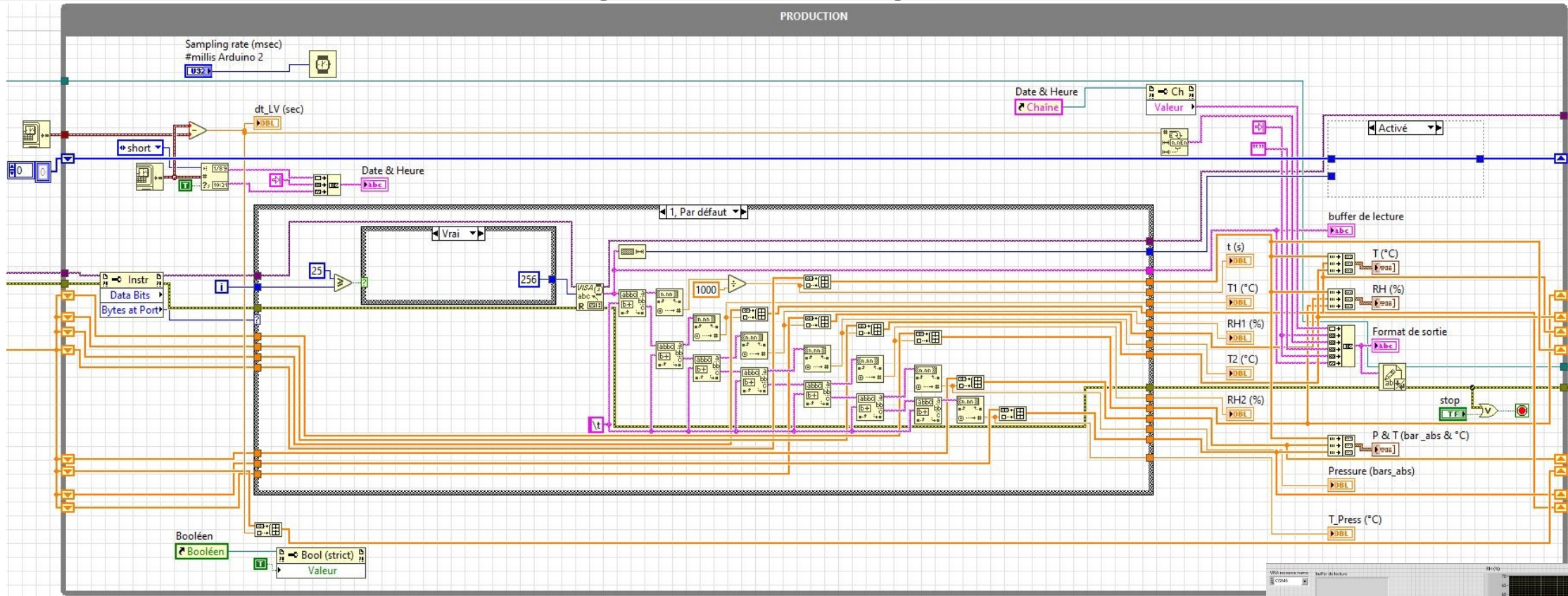
- Surveillance du port com
  - Datas sous forme de "Char"
- Traitement minimaliste
- Affichage en FA les datas
- Enregistrement sous fichier .txt

# Communication avec plusieurs capteurs SHT85

- Synoptique du setup électronique :
- Code Arduino /TCA9548A
  - github  
« tca9548\_demo»(<https://github.com/RobTillaart/TCA9548>)
    - Problème : scan toutes les voies une à une...
      - Voie 7 non détectée
  - Utilisation d'un code plus « manuel »  
(<https://passionelectronique.fr/tutorial-tca9548a>)
    - Configurer les voies utilisées
- Code SHT85 et ABP2
  - github « SHT85 demo » (<https://github.com/RobTillaart/SHT85>)
    - Communiquer et convertir directement les trames HEXA en CHAR
  - Code ABP2 <https://forum.arduino.cc/t/honeywell-abp2-series-pressure-sensor-code-from-datasheet-not-working/1156348>

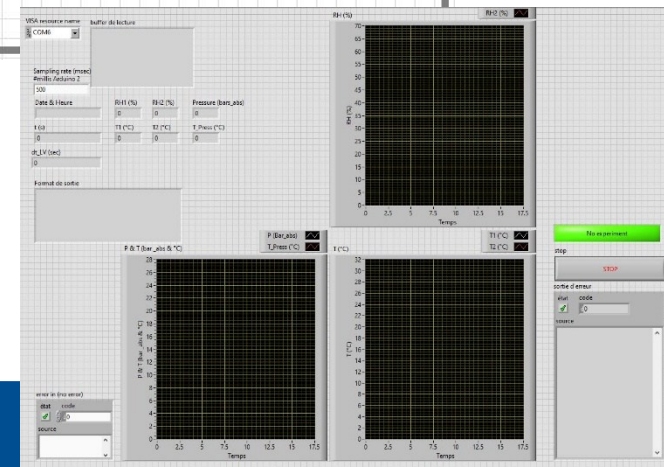


# Communication avec plusieurs capteurs SHT85 - LabVIEW



## Code LabVIEW « simplifié »

- Utilisation de bibliothèque VISA SERIE
- Fonction découpage chaines
- Affichage de grandeurs



# SOMMAIRE

## Partie théorie

Communication I2C

Théorie mesures humidité

Présentation des capteurs sélectionnés

Exemples de mises en œuvre en cours

Un capteur avec bibliothèque Linux

Plusieurs capteurs en parallèle

Remerciements, Perspective & Conclusion



# Remerciement

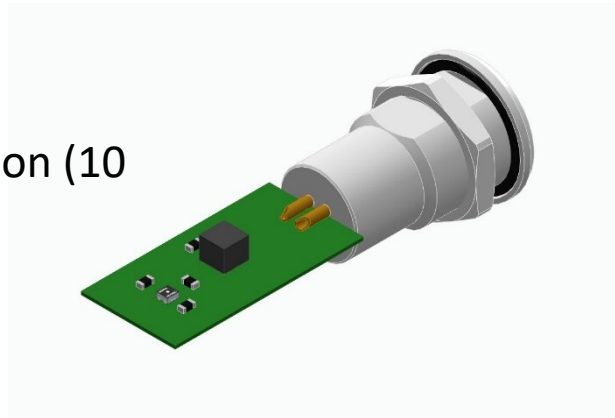
- Collègues du G2Elab
  - Daniele Dargaud
  - Enzo Cuilla
  - Alys Grimonet
  - Jérôme Ferrari



# Remerciements, Perspectives & Conclusions

## ■ Perspectives:

- Développer une sonde de mesure RH et de pression sous haute température
  - Capteurs SHT45 et MS58xx
  - Étanche au vide et à la pression (10 bars)
  - Temp max : 110/125°C
  - PCB Roger
- Finaliser les mesures de RH projet SiCRET
  - Intégrer une horloge I2C (DS3231 -?)
- Evaluer précisément les capteurs SHT
  - Précision selon température et pression
  - Mesures comparatives avec sondes de références
- Mettre en oeuvre un système d'humidification de cellule sous pression



## ■ Conclusion:

- Découvrir
  - un nouveau protocole de communication
  - instrumentation low-cost
    - précisions correcte
- Mise en place de setups de mesures réutilisables
- Remettre à l'électronique
- Travailler en équipe
- Réconcilié avec les Arduino...
- Compris comment « sniffer » un port com!!
- Intérêt pour les mesures d'humidité



Merci de votre attention

*Avez-vous des questions?*

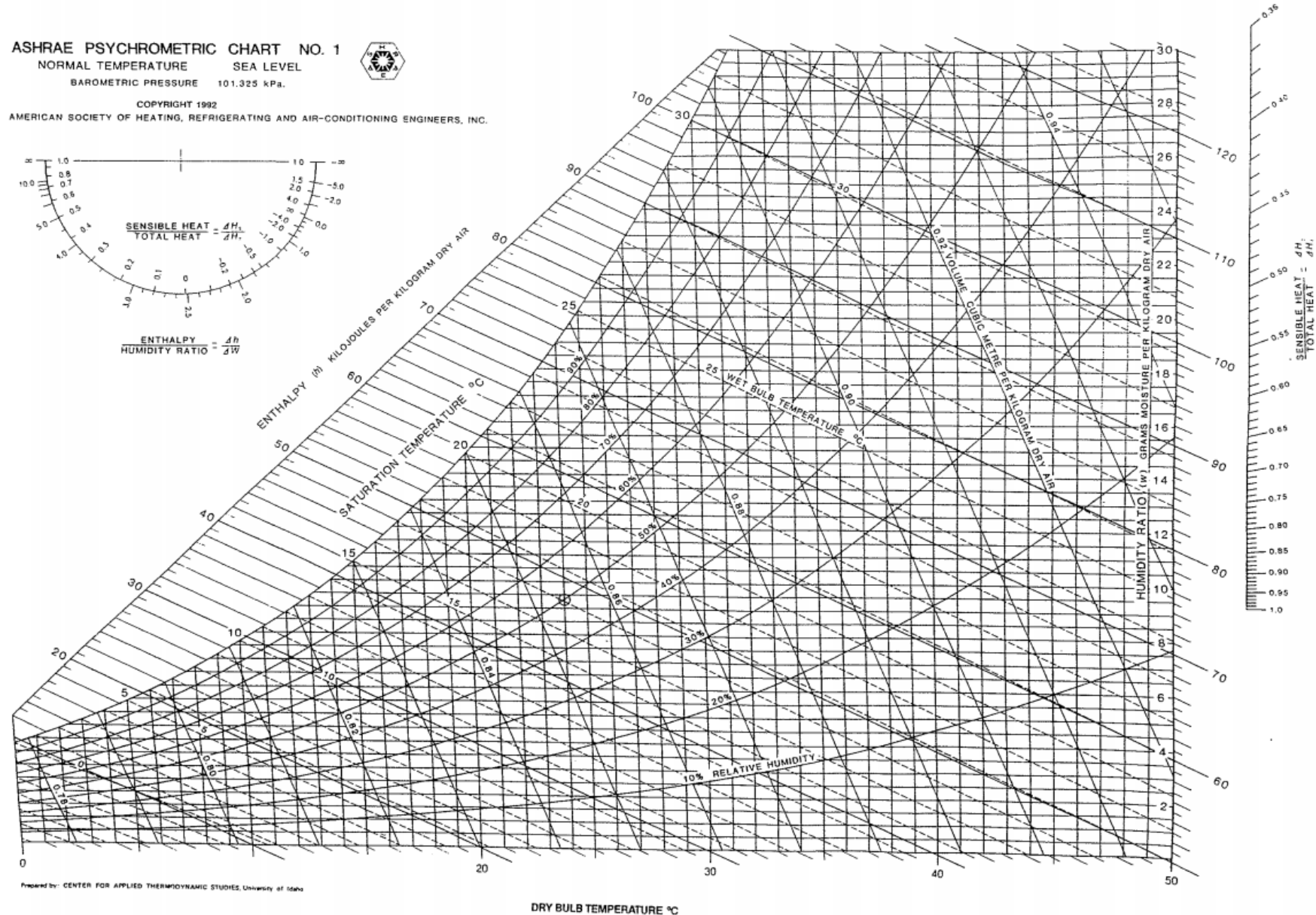
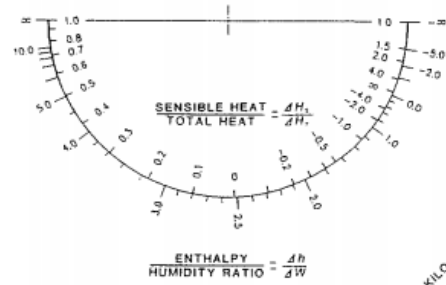
# Annexe: Psychrometric Chart

source : « Npl-Guide-to-humidity.pdf »

ASHRAE PSYCHROMETRIC CHART NO. 1  
NORMAL TEMPERATURE SEA LEVEL  
BAROMETRIC PRESSURE 101.325 kPa.



COPYRIGHT 1992  
AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC.



Psychrometric chart

A guide to the measurement of humidity