

Principes pour l'INSTRUMENTATION

Objectifs : Apporter les connaissances de base sur les techniques d'instrumentation, soit :

Savoir **choisir** les éléments d'une chaîne de mesure en fonction d'un cahier des charges.

Savoir **étalonner** un système de mesure.

Savoir **évaluer** la qualité des mesures réalisées.

Evaluation : Examen de 2h, question de cours + mise en oeuvre/analyse d'une chaîne de mesures // exam Labview + compte rendu de TP.

Plan / Bibliographie

PLAN :

- 1/ INTRODUCTION. Intérêt d'une bonne mesure.
- 2/ STRUCTURE d'une chaîne de mesure.
- 3/ CAHIER DES CHARGES
- 4/ BRUIT définitions
- 5/ CAPTEUR définitions
classification (passif, actif, intelligent)
- 6/ CONDITIONNEMENT du signal
au plus près du capteur
amplification (ampli de base,
ampli d'instrumentation, ampli d'isolation)
- 7/ NUMERISATION du signal
FAR / MUX / E-B / CAN
- 8/ TRANSMISSION du signal
Support
Protocoles
- 9/ Incertitudes de mesures (TD sur chaîne de mesure pyranomètre)
- Ce que l'on ne fera pas ou peu -----
- 10/ Cartes d'acquisition et de commande cf TPs.
- 11/ Rappels sur 1^{er} et 2^{ème} ordre
- 12/ Filtrage

Biblio Web :

Question:
Visite biblio?

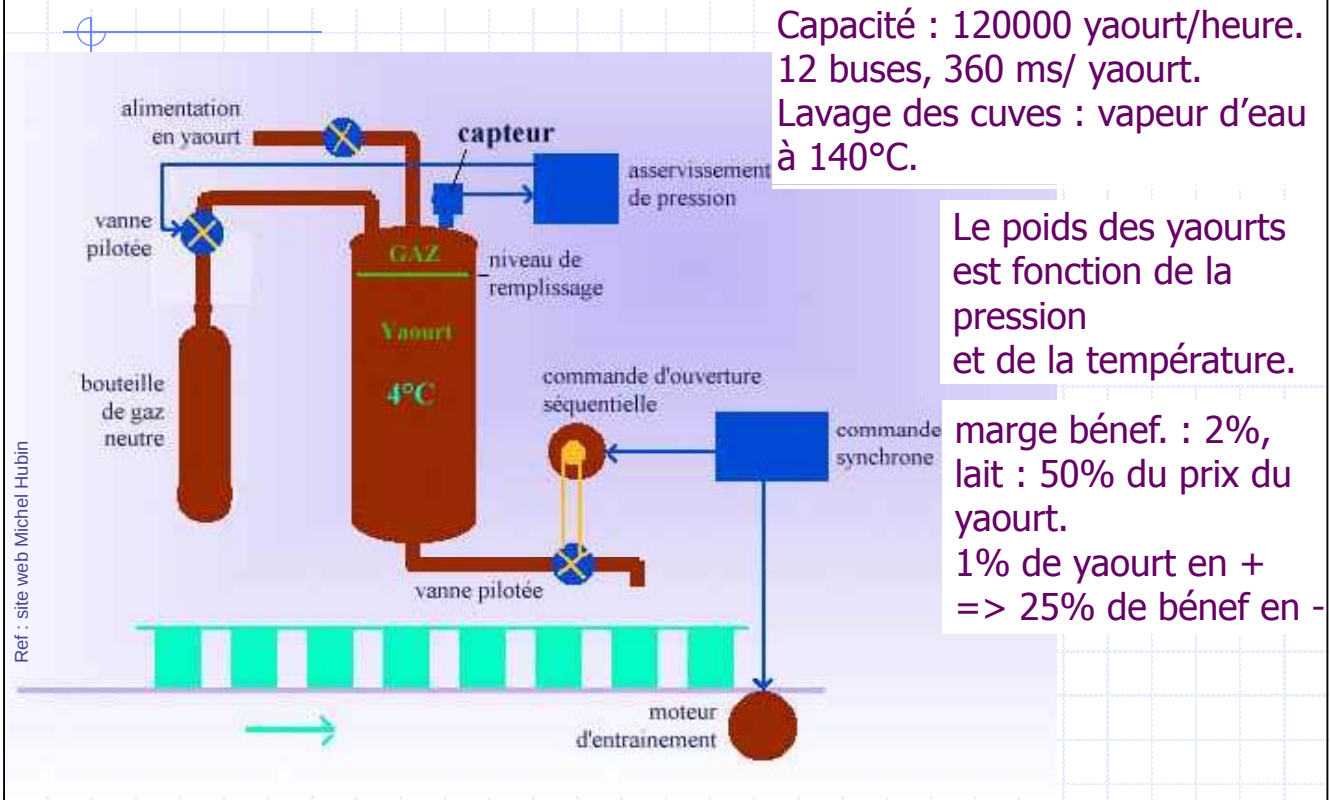
<http://pagesperso-orange.fr/michel.hubin/>
<http://www.sciens-cachan.fr/>
<http://gdumail.free.fr/gfichier/ma/cours/Capteurs.pdf>
<http://www.univ-brest.fr/lpo/instrumentation/index.html>
http://www.esiee.fr/~francois/enseignement/version_pdf/II_capteurs.pdf
<http://www.phytem.ens-cachan.fr/>
<http://www.librecours.org/documents/44/4496.pdf>
http://www.esiee.fr/~francois/enseignement/version_pdf/III_amplidiff.pdf

Biblio Bouquins :

- ++ Acquisition de données du capteur à l'ordinateur,
G. Asch et collaborateurs, Ed Dunod, 2003
- + Les capteurs en instrumentation industrielle,
G. Asch et collaborateurs, Ed Dunod,
- ++ Traitement des signaux et acquisitions de données,
F. Cottet, Ed Dunod, 2002
- Capteurs : principes et utilisations cours et exos,
F. Baudoin, M. Lavabre, Ed Casteilla 2007
- Electronique des systèmes de mesures ,
Tran Tien Lang, Ed Masson 1992
- Les capteurs 50 exercices et problèmes corrigés,
P. Dassonville, Ed Dunod, 2005

1/ Introduction : intérêt d'une bonne mesure!

Exemple 1 : usine à yaourt.



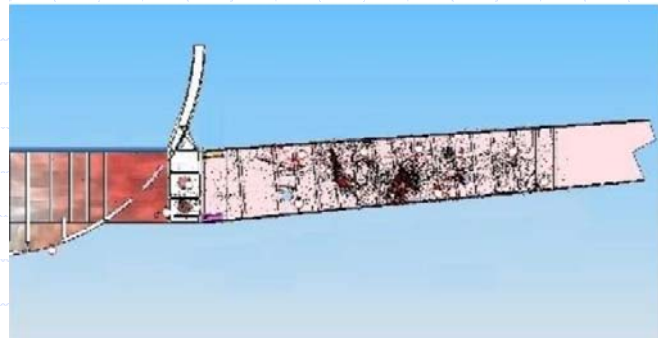
1/ Introduction : intérêt d'une bonne mesure!

Exemple 2 : robot laveur de vitre.

Exemple 3 : fatigue de la structure d'un avion.



Orion P3 - tanker



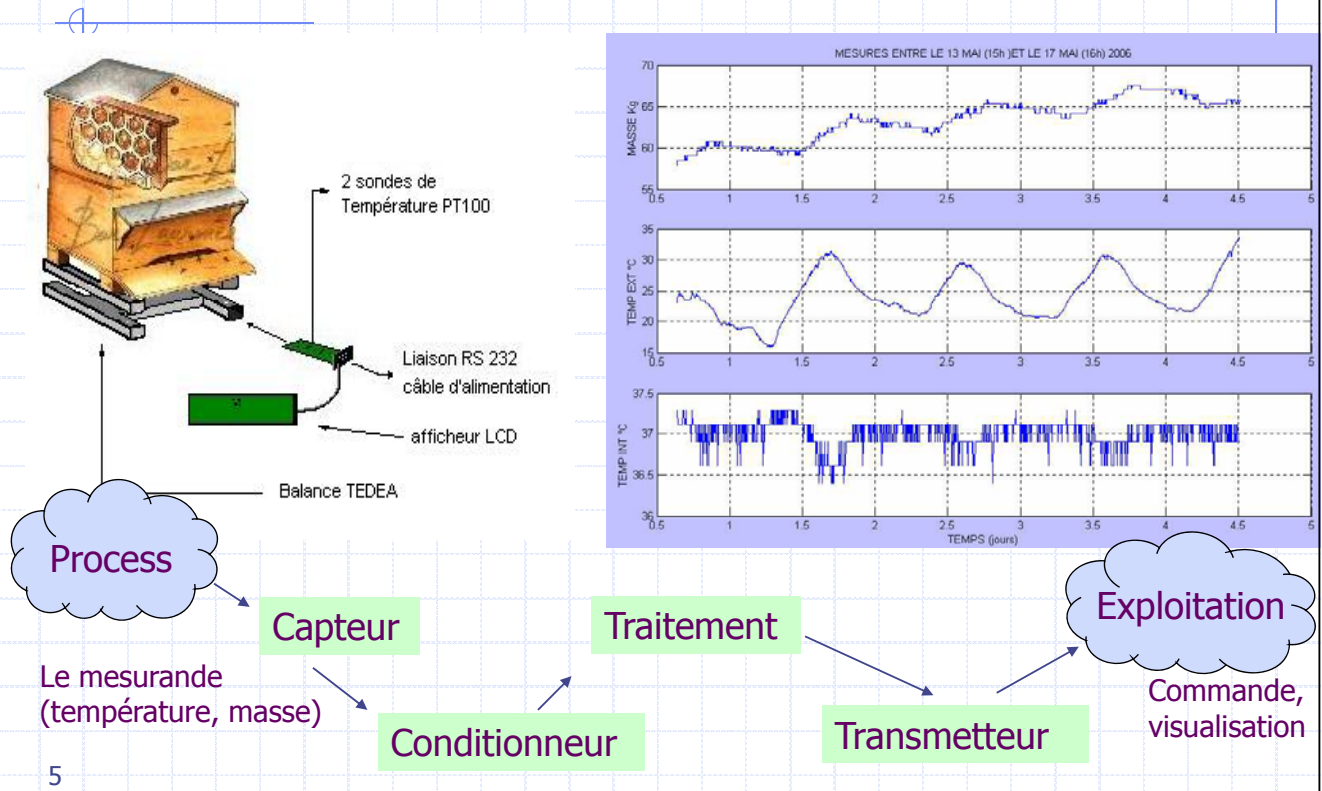
Ref : www.ultra-electronics.com

- 50 kHz - 800 kHz frequency coverage
Transducers Inputs 12/24/36/48 acoustic channels each:
– 4.5 decade-amplitude log compression
– 10 bit A/D conversion
– 90dB dynamic range
16 non-acoustic channels each:
– Bipolar analogue inputs
– ± 10 Volts : 16 bit A/D



2/ Structure d'une chaîne d'instrumentation.

Exemple : mesures de températures et de la masse d'une ruche.



5

Ex: mesures de températures et de la masse d'une ruche.

Jauge de contrainte avec son corps d'épreuve.

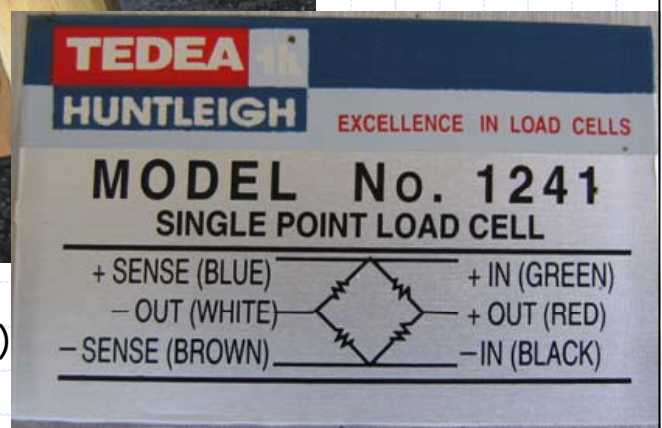


Erreur combiné :
0,02%
charge nominal :
100 kg
rate output:
 $2\text{mV/V} \pm 10\%$

2 fils d'alimentation (Input)
2 fils pour la tension de sortie (Output)
2 fils de compensation (Sense)

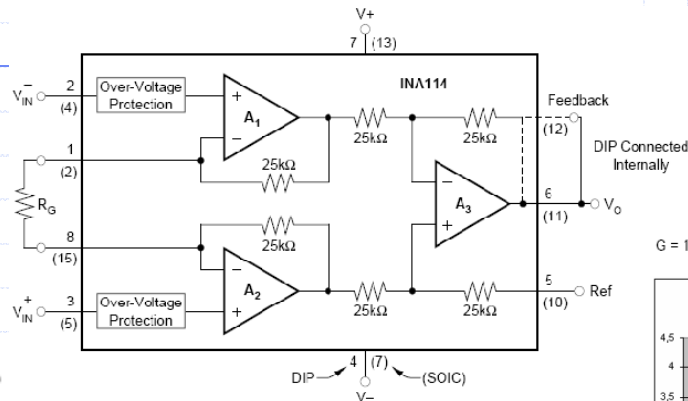
6

www.intertechnology.com



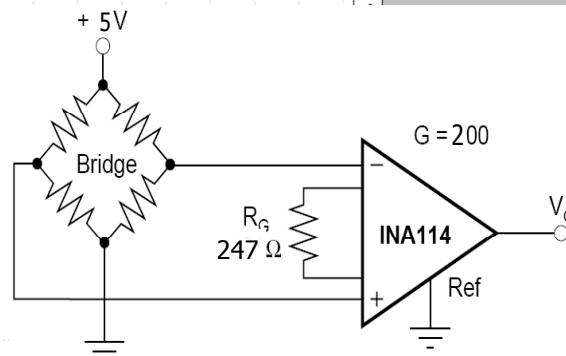
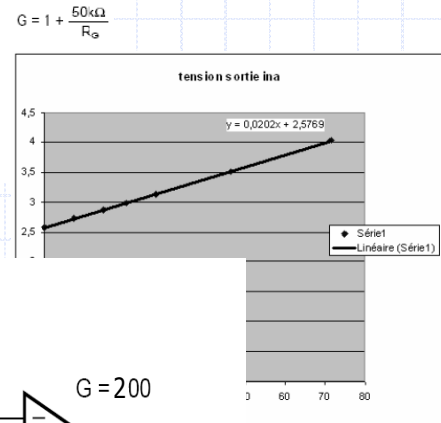
Ex: mesures de températures et de la masse d'une ruche.

Ampli d'instrumentation : INA 114



FEATURES

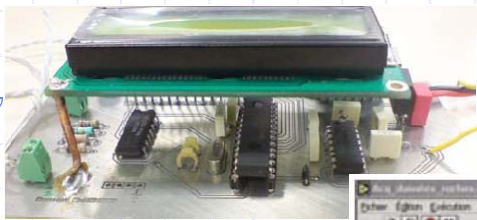
- LOW OFFSET VOLTAGE: 50μV max
- LOW DRIFT: 0.25μV/°C max
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 2nA max
- HIGH COMMON-MODE REJECTION: 115dB min
- INPUT OVER-VOLTAGE PROTECTION: ±40V
- WIDE SUPPLY RANGE: ±2.25 to ±18V
- LOW QUIESCENT CURRENT: 3mA max
- 8-PIN PLASTIC AND SOL-16



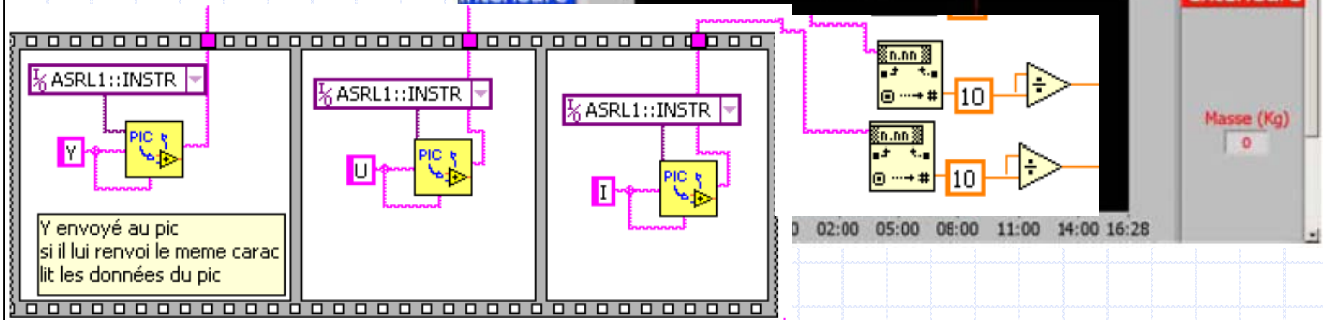
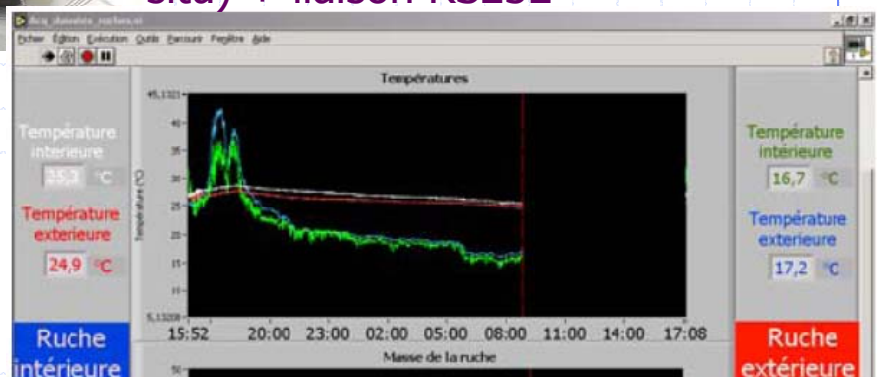
7

Ex: mesures de températures et de la masse d'une ruche.

Traitement, affichage et communication avec le PC via un μ P PIC (programmable in situ) + liaison RS232



Utilisation de Labview pour récupérer et afficher les mesures



3/ Système d'acquisition de données: cahier des charges

1. Commanditaire (contraintes réglementaires)
2. Destinataire/utilisateur
3. Cahier des charges
 - quelles grandeurs doivent être mesurées?
 - quelle sensibilité et quel degré de précision?
 - quelle cadence de mesure?
 - quelles normes ?
 - quelles conditions d'environnement?
 - quelle fiabilité?
 - quels types de capteurs?
 - quels sont les bruits, quel TRMC?
 - quelle architecture matérielle?
 - quelle répartition envisager entre matériel et logiciel?

9

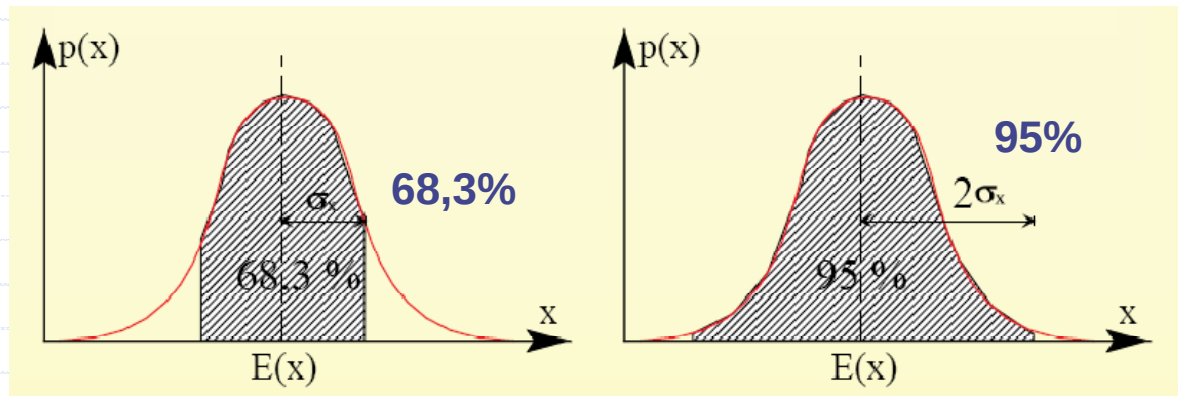
4/ Capteurs. a/définitions

- ↪ mesurande m
- mesure M
- étendue de mesure $[M_{\min}; M_{\max}]$ $FS = M_{\max} - M_{\min}$
- incertitude ΔM
 - $M - \Delta M < m < M + \Delta M$ avec proba associée
- erreur $\varepsilon = m - M$
- erreur relative $\varepsilon_r = (m - M)/M$
- erreur en % de la PE $\varepsilon_r = (m - M)/FS$
- courbe d'étalonnage
- étalon de mesure
- sensibilité V sortie du capteur
 - $S = \Delta V / \Delta M$
- linéarité

10

Rappels (succincts) de probabilités

Intervalle de confiance pour une distribution gaussienne



98% pour un intervalle de 3σ

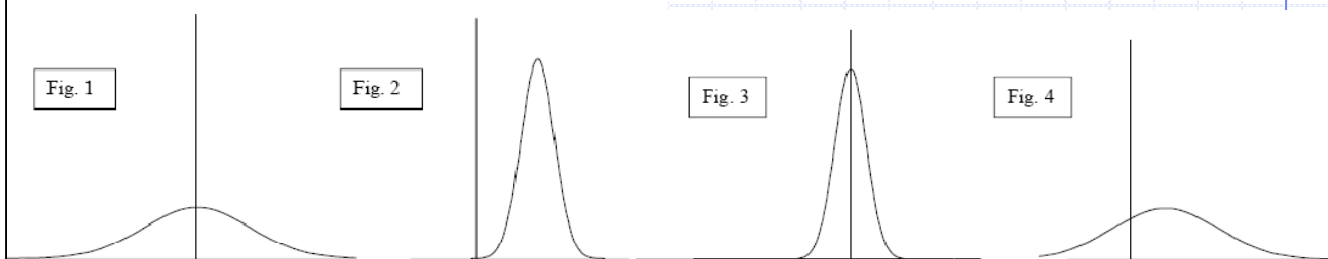
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$p(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-(x - \bar{x})^2 / 2\sigma^2}$$

wikipedia.org

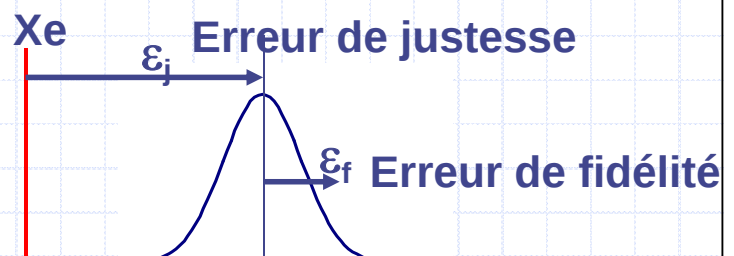
site Web de Pierre Langlois

4/ Capteurs. a/définitions (suite)



justesse
fidélité
précis
rapidité
résolution
« emballage »

erreurs systématiques
erreur aléatoires



4/ Capteurs. b/exemple

Capteur de pression



SCAIME 59 série 5

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES CAPTEURS SÉRIE 5

Modèle	(54) 55	(56) 57	(58) 59
Gammes standard (P.E.) (pression relative)	15-30 70*-100*-210* 350-700	5-10-15-30 70*-100*-210* 350-500-700	
Surpression admissible % P.E.		200 % P.E. ou 850 bars max.	
Pression d'éclatement % P.E.		400 % P.E. ou 1.000 bars max.	
Alimentation	5 V (10 max.)	8 à 20 V non régulé (L) 18 à 28 V non régulé (H)	
Signal Pleine Echelle (version Standard)	1,7 mV/V $\pm$ 15 %	1-5 V (L) 0-10 V (H)	4-20 mA (200 ohms) 4-20 mA (600 ohms)
Décalage initial du zéro	$\pm$ 10 %	0,1 %	
Erreur combinée % P.E. (NL+Hyst.+Repeat.)	0,50	0,50	
Température plage compensée °C	0-60	0-60	0-60
Température opérationnelle °C	-25, +95	-20, +80	-20, +80
Dérive en température (% P.E.) sur plage compensée	0,05 / °C	0,06 / °C	0,06 / °C
Masse (inox)	90 g	160 g	160 g

* Séries portées disponibles en aluminium en option (54, 56, 58)

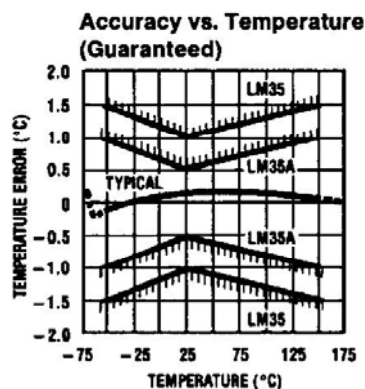
Doc SCAIME

13

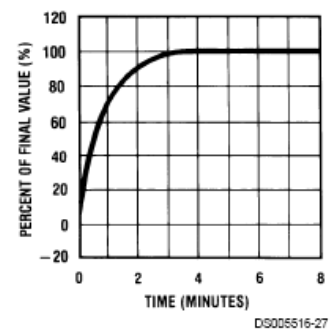
4/ Capteurs. b/exemple

Capteur de température

LM35

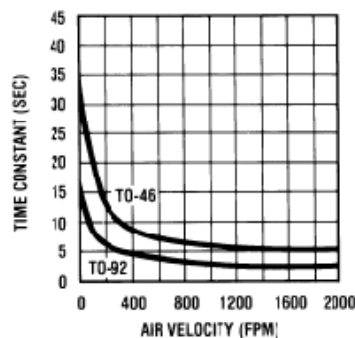


Thermal Response
in Still Air



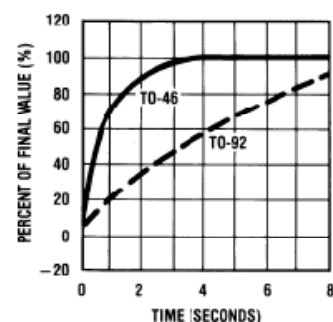
DS005516-27

Thermal Time Constant



DS005516-26

Thermal Response in
Stirred Oil Bath

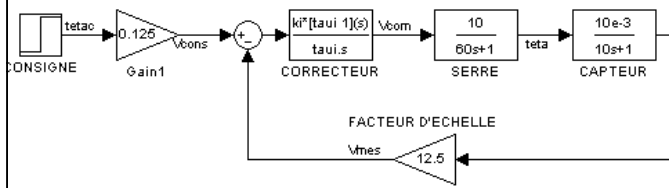


DS005516-28

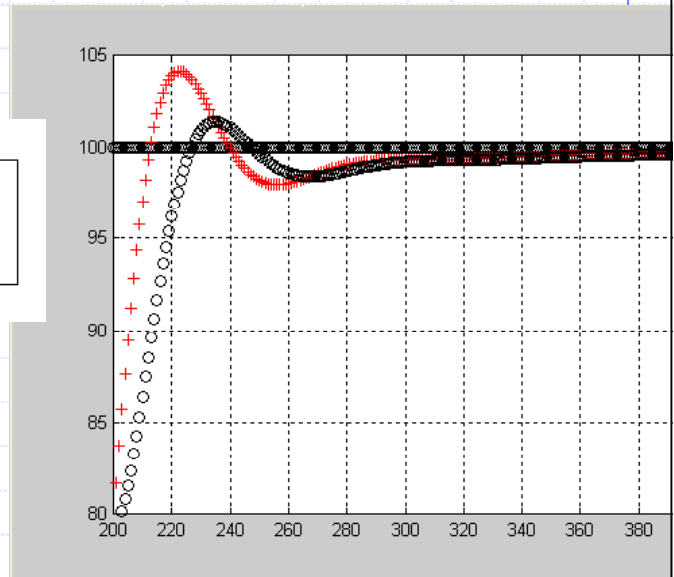
Doc National Semi-conductor

14

4/ Capteurs. b/exemple



Influence de la constante de temps du capteur : serre régulée en température.



4/ Capteurs. c/classifications

Sorties analogiques, numériques (série, parallèles).
Sorties en courant, tension, charge, fréquence, ...

15

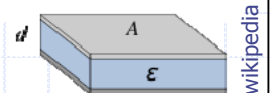
4/ Capteurs. c/classifications / capteur passif

Variation du mesurande $\Rightarrow$ variation de
résistivité (ρ), permittivité électrique (ϵ) ou
perméabilité magnétique (μ).
Mesure indirecte du mesurande.

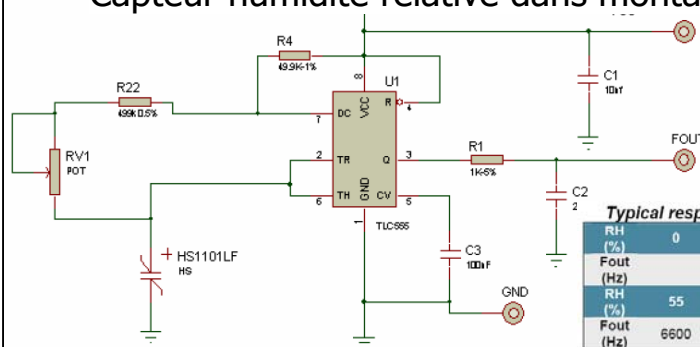


Ex1 : $\Delta T \Rightarrow$ sur métal ou semi-conducteur $\Delta \rho$ or $R = \rho L/S \Rightarrow \Delta R \Rightarrow \Delta V$
Sonde PT100 dans montage potentiométrique.

Ex2 : %RH $\Rightarrow$ sur diélectrique $\Delta \epsilon \Rightarrow \Delta C \Rightarrow \Delta f$
Capteur humidité relative dans montage astable.



$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$



Typical response look-up table

RH (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Fout (Hz)	7155	7080	7010	6945	6880	6820	6760	6705	6650		
RH (%)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
Fout (Hz)	6600	6550	6500	6450	6400	6355	6305	6260	6210		

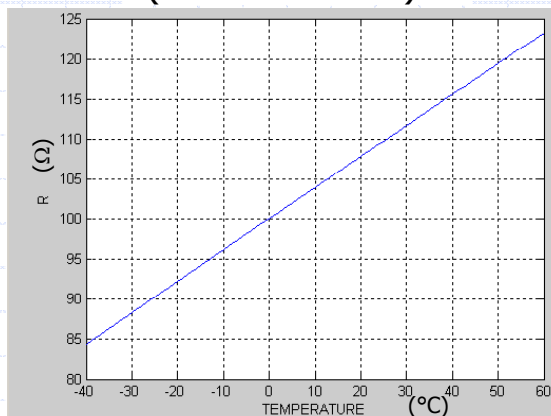
4/ Capteurs. c/classifications / capteur **passif**

Ex1 : $\Delta T \Rightarrow$ sur métal ou semi-conducteur $\Delta \rho$ or $R = \rho L/S \Rightarrow \Delta R \Rightarrow \Delta V$
Sonde PT100 dans montage potentiométrique.

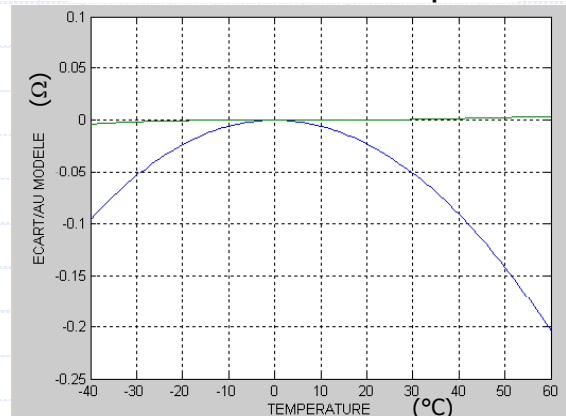


Station Nivose : mesure
hauteur de neige et
température.

R(TEMPERATURE)



Rmodèle-Rmodèle simplifié



travail demandé

Le courant qui traverse la sonde de température est de 0,5 mA.

Q A24) Pour quelles raisons cette sonde de température est nommée PT100 ? Quelles sont les propriétés essentielles du platine ?

Q A25) Pourquoi faut-il choisir un faible courant pour ce capteur résistif ?

On considère que dans la gamme de température, la loi qui régit la valeur de la résistance R_t est une fonction affine du type $R_t = R_0 (1 + \alpha \theta)$.

Q A26) Quelle erreur maximale est commise lors de cette approximation ? Cette erreur est-elle acceptable dans le contexte de la fonction étudiée ?

Q A27) Compte tenu de la plage de températures et du contexte fonctionnel, déterminer le coefficient (α) qui minimise l'erreur d'approximation.

Q A28) Placer la sonde et la résistance R_a sur le schéma précédent. Exprimer la différence de potentiel V_d caractéristique de la variation de température. Déterminer R_a de telle sorte que V_d soit nulle pour la température minimale d'utilisation de la station (-40°C). Donner la relation numérique liant V_d à la température.

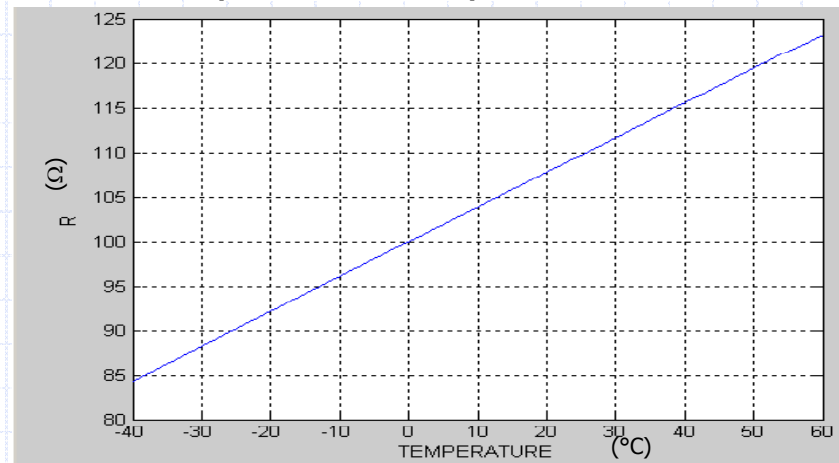
Q A29) Caractériser totalement R_a .

La sonde de température est prévue pour un montage trois fils.

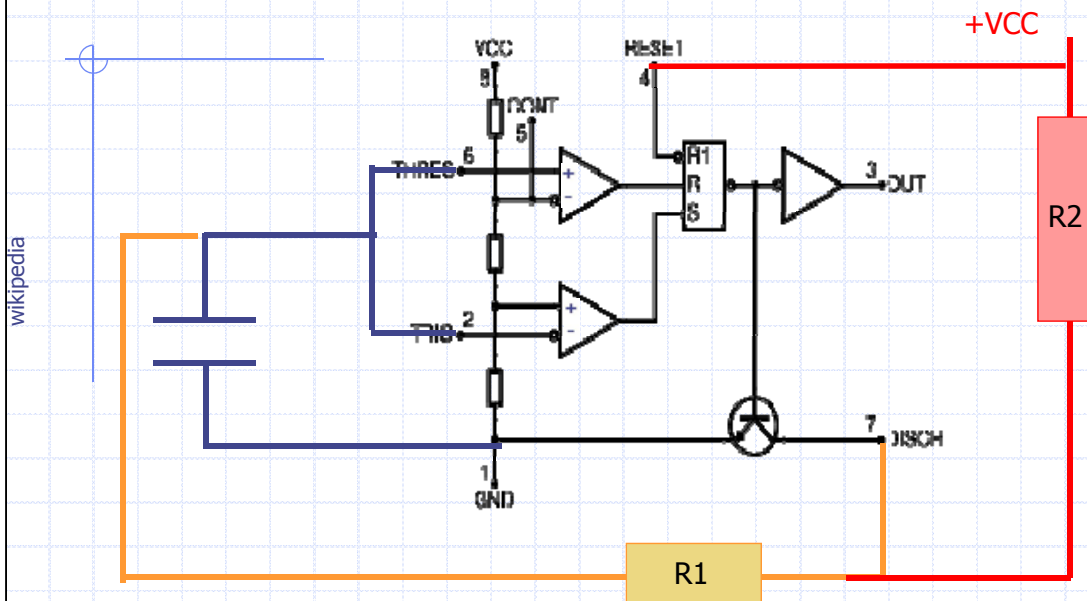
Q A30) Quel est le rôle du montage trois fils ? Démontrer vos affirmations.

Il est malléable et ductile, se dilate faiblement sous la chaleur et possède une grande résistance électrique. Il est inerte chimiquement : il n'est pas attaqué par l'air.

R(TEMPERATURE)



4/ Capteurs. c/classifications / capteur passif



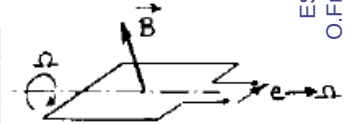
Typical response look-up table (Polynomial Reference curve) "10KHz/1V"

RH (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Cp (pF)	161.6	163.6	165.4	167.2	169.0	170.7	172.3	173.9	175.5	177.0	178.5
RH (%)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
Cp (pF)	180	181.4	182.9	184.3	185.7	187.2	188.6	190.1	191.6	193.1	

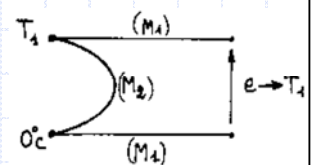
4/ Capteurs. c/classifications / capteur **actif**

La sortie du capteur est équivalente à un générateur. C'est un dipôle actif qui peut être du type courant, tension ou charge.

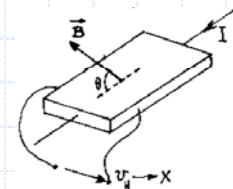
Ex1 : $\omega \Rightarrow$ f.e.m. E induite (loi de Faraday) :
dynamo tachymétrique



Ex2 : $\Delta T \Rightarrow$ f.e.m. induite par effet Thermoélectrique (effet Seebeck) : thermocouple.



Ex3 : mesurande $B \Rightarrow$ tension induite par effet Hall :
sonde de courant à effet Hall.

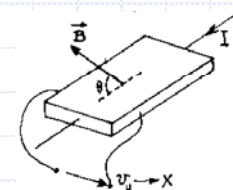


21

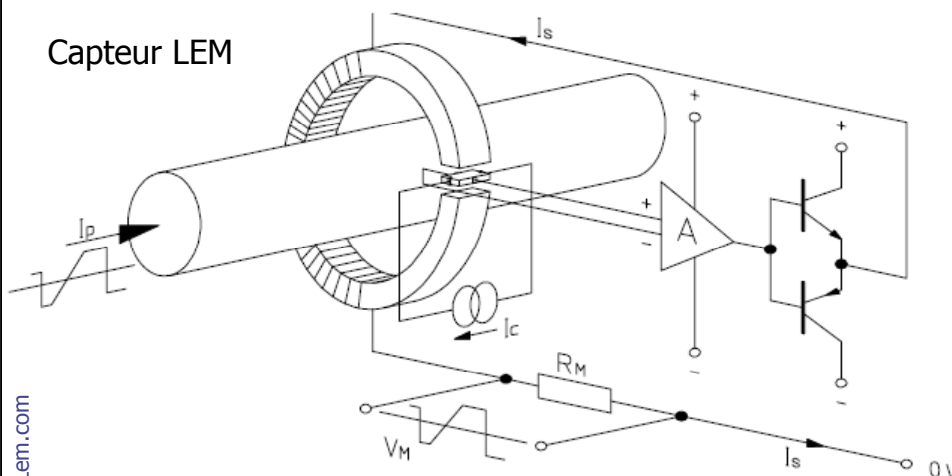
4/ Capteurs. c/classifications / capteur **actif**

Ex3 : mesurande $B \Rightarrow$ tension induite par effet Hall :
sonde de courant à effet Hall.

$$U_H = K_H \cdot I \cdot B \cdot \sin \theta$$

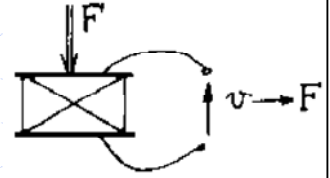


Capteur LEM

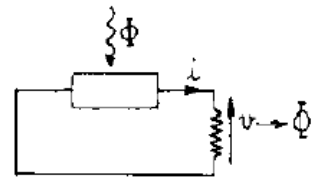


4/ Capteurs. c/classifications / capteur **actif**

Ex4 : F (traction, compression, cisaillement) $\Rightarrow$ variation de charge par effet piezoélectrique : dynamomètre, accéléromètre.

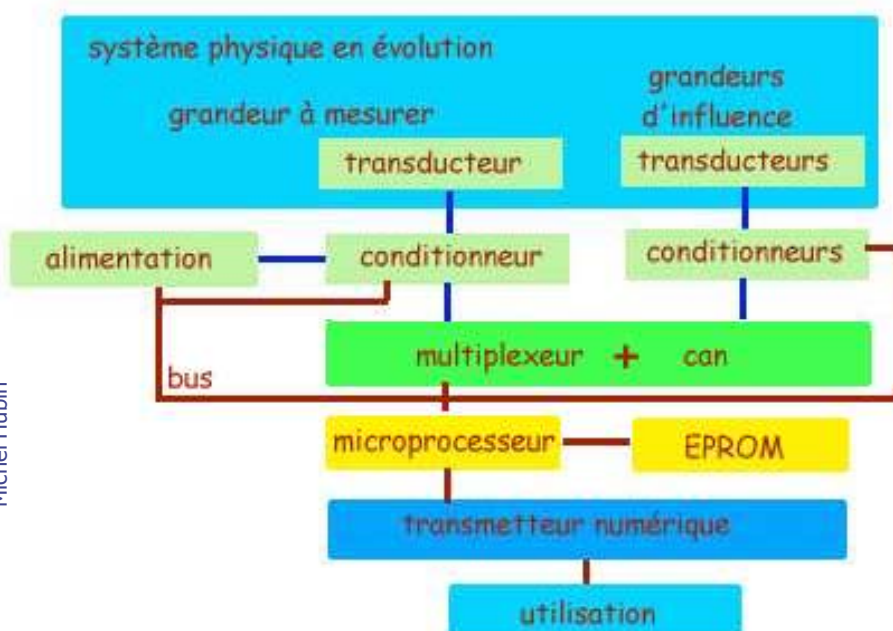


Ex5 : lumière $\Rightarrow$ tension et courant par effet photovoltaïque : luxmètre.

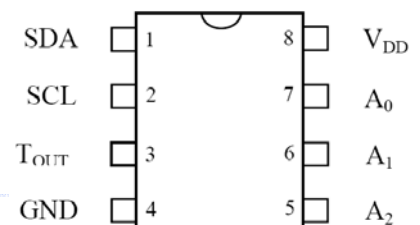


23

4/ Capteurs. c/classifications / capteur **intelligent**



Ex: capteur de température DS1621



Michel Hubin

24