

## MASTER GSI 1<sup>ÈRE</sup> ANNÉE

### CAPTEURS, CHAINES DE MESURE

### TRAVAUX PRATIQUES



PHOTO BOURDON

## **PRESENTATION GENERALE DES MANIPULATIONS**

Les deux manipulations ont pour but de mettre en évidence les performances de deux capteurs de température couramment utilisés dans l'industrie: la sonde PT100 et le thermocouple.

Les expériences mises en oeuvre permettent de caractériser une partie des propriétés de ces capteurs ainsi que les méthodes de mesure associées.

Les relevés expérimentaux se font directement sur ordinateur à l'aide d'une carte E/S et d'un logiciel d'acquisition. L'analyse des mesures ainsi que les tracés graphiques se font sous tableur "Open Office".

L'ensemble du compte-rendu sera synthétisé dans un document texte "Open Office" qu'il est prudent de sauvegarder dans le répertoire réseau qui vous est attribué. Ce compte-rendu sera imprimé en **fin de séance** et remis à l'enseignant.

## **ORGANISATION DES MANIUPULATIONS**

Ces manipulations se déroulent en salle 010/012, avec 8 bancs de travail:

- 4 bancs dédiés à la manipulation n°1
- 4 bancs dédiés à la manipulation n°2.

En conséquence, pour chaque séance, les étudiants doivent se répartir entre la manipulation n°1 **ET** la manipulation n°2.

Bonnes mesures.

## Manipulation n° 1

# ETUDE D'UN CAPTEUR DE TEMPERATURE À SONDE PT100

La sonde PT100 est très couramment utilisée comme capteur de température dans l'industrie, en raison de ses propriétés d'interchangeabilité et de reproductibilité des mesures, notions très appréciées pour la maintenance des installations. Cette manipulation a pour objectif d'analyser les *performances statiques* de ce capteur et de valider les principes de conditionnement usuels.

## I - PRESENTATION DE LA MANIPULATION

La sonde PT utilise comme principe physique la variation de résistance du platine pur en fonction de la température. La sensibilité théorique est de  $398.10^{-3} \Omega^{\circ}C^{-1}$  à 0 °C et sa plage d'utilisation est de -260 °C à 1400 °C. Les valeurs de résistance sont données par la norme DIN43760, reproduite dans le tableau suivant valable de 0°C à 120°C [lecture de °C en °C]:

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	102,73	103,12	103,51
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,28
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	113,99	114,38	114,77	115,15
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,82	118,24	118,62	119,01
50	119,40	119,78	120,16	120,55	120,93	121,32	121,70	122,09	122,47	122,86
60	123,24	123,62	124,01	124,39	124,77	125,16	125,54	125,92	126,31	126,69
70	127,07	127,45	127,84	128,22	128,60	128,98	129,37	129,75	130,13	130,51
80	130,89	131,27	131,66	132,04	132,42	132,80	133,18	133,56	133,94	134,32
90	134,70	135,08	135,46	135,84	136,22	136,60	136,98	137,36	137,74	138,12
100	138,50	138,88	139,26	139,64	140,02	140,39	140,77	141,15	141,53	141,91
110	142,29	142,66	143,04	143,42	143,80	144,17	144,55	144,93	145,31	145,68

Fig 1 - Table des valeurs de la sonde PT100

L'inconvénient de ce capteur est sa *non-linéarité* intrinsèque, particulièrement sensible pour une utilisation dans une large gamme de température.

La sonde utilisée est du type 3 fils, qui est le modèle le plus courant; ce type de câblage offre des possibilités d'élimination de la résistance de câblage dans le montage en pont de mesure. Le constructeur annonce une précision de classe B (Tolérance:  $\pm (0,3 + 0,005 \times T)$  °C [voir annexe pour les détails sur la tolérance]).

La plaquette de manipulation offre plusieurs méthodes de mesure, qui permettront de mettre en évidence les avantages et inconvénients de chaque méthode.

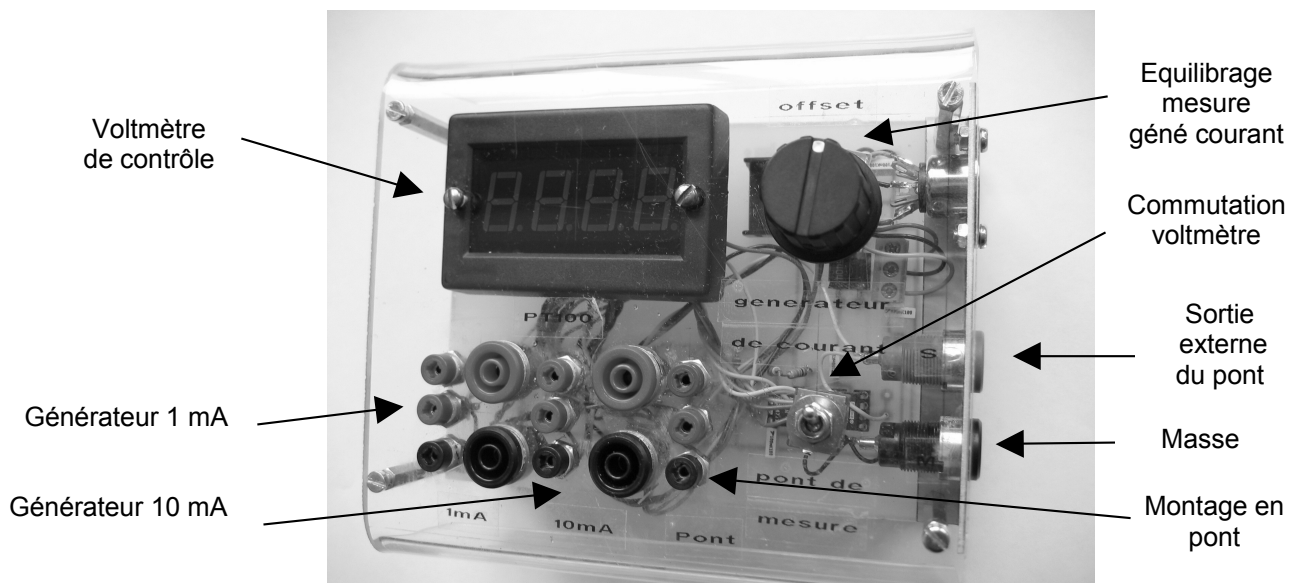


Fig 2 - Plaquette PT100

La plaquette comprend les éléments suivants:

- un générateur de courant de 1 mA.
- un générateur de courant 10 mA.
- un pont de mesure alimenté par une tension de 0,6 V environ
- un amplificateur d'instrumentation commutable sur le pont de mesure ou sur le générateur de courant 10 mA. La sortie de cet amplificateur est visualisée sur le voltmètre et elle reliée à la borne S "sortie externe" pour mesure avec un voltmètre externe ou enregistrement sur PC.

## II - ANALYSE DES CARACTERISTIQUES THEORIQUES

### Travail de préparation à faire

(Ce travail doit être fait **avant** la séance; tout étudiant ne l'ayant pas fait sera refoulé de la salle de TP)

- A l'aide d'un tableur, tracer la courbe théorique du capteur PT100 de 0 à 100 °C, par pas de 10 °C.
- Evaluer la sensibilité moyenne pour chaque intervalle. La caractéristique théorique est-elle linéaire ?
- Evaluer l'erreur totale de linéarité (ou écart de linéarité) en traçant la droite liant le premier et de dernier point.
- Calculer les coefficients du modèle régression linéaire appliqué aux valeurs théoriques (voir annexe 1).
- Tracer la droite de régression et évaluer l'erreur de non-linéarité en calculant l'écart maximum entre des valeurs théoriques et la droite de régression.
- Laquelle des deux méthodes est-elle plus représentative de l'usage courant du capteur?

### III- MESURES A TEMPERATURE AMBIANTE

La sonde PT100 3 fils est câblée selon le schéma suivant:

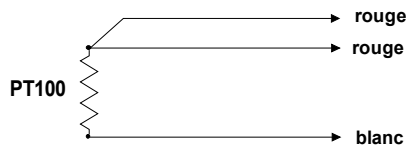


Fig 3 - Sonde PT100 à 3 fils

Les fils sont de même nature, de même longueur et portés à la même température. Ces fils présentent une résistance parasite dont il faudra tenir compte dans les mesures.

#### III.1 - Mesure de la résistance des fils à $T_{amb}$

*Les mesures se font à l'ohmmètre 20000 points, sans changer de calibre pour ne pas introduire d'erreurs liées à la précision de chaque calibre (adapter le calibre aux besoins de la manipulation)*

##### **Travail à faire**

- Vérifier le zéro de l'ohmmètre en court-circuitant les fils. Noter la valeur de la résistance des fils de mesure qui sera à soustraire des mesures sur la sonde.
- Mesurer la résistance de la boucle Rouge-Rouge.
- En déduire la résistance des fils de la sonde.

***La résistance des fils sera à déduire des mesures à chaque fois que cela sera nécessaire.***

#### III.2 - Mesure de la sonde à $T_{amb}$

*Les mesures se font à l'ohmmètre de table 20000 points, avec le calibre choisi. Le capteur de référence est un thermomètre à alcool (attention, objet fragile!)*

##### **Travail à faire**

- Placer la sonde et le thermomètre dans une **boîte isotherme** (boîte de carton ondulé). Attendre l'équilibre thermique (le thermomètre à alcool ne doit plus varier)
- Mesurer la résistance PT100 à l'ohmmètre et relever la température ambiante de l'enceinte à l'aide du thermomètre à alcool.
- Comparer la valeur de la température obtenue à la valeur théorique déduite du tableau DIN par interpolation linéaire.

En déduire l'erreur absolue du capteur à  $T_{amb}$  en supposant les autres sources d'erreur de mesure négligeables. La mesure est-elle conforme aux données constructeur ? Commentez les sources d'erreur possibles dans cette manipulation.

### III.3 - Mesure de la résistance PT100 avec le générateur de courant 1mA

Les mesures se font au multimètre de table 20000 points.

Le schéma de montage sur la plaquette est le suivant :

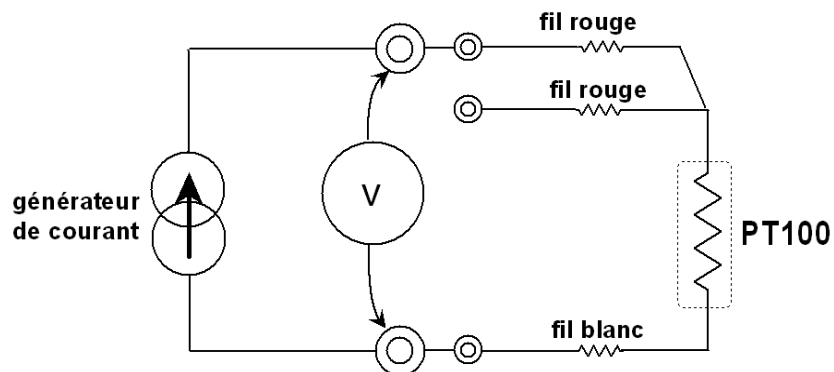


Fig 4 - Mesure de la résistance par générateur de courant

Le voltmètre de mesure ayant une impédance d'entrée de l'ordre de  $100\text{ M}\Omega$ , le courant dérivé par ses bornes est supposé négligeable.

#### Travail à faire

- Mesurer le courant débité par le générateur 1mA en branchant le multimètre en mode ampèremètre sur le calibre **20mA**. La valeur lue sera la valeur utilisée pour la détermination de la résistance.
- Placer la sonde sur la plaquette (bornes "générateur de courant 1 mA") en respectant les couleurs de fils.
- Brancher le multimètre en mode voltmètre aux bornes du générateur et relever la tension en utilisant le calibre 2V.
- Déterminer la tension aux bornes du capteur en soustrayant la chute de tension due aux fils de câblage rouge et blanc.
- En déduire la valeur de la résistance PT100 et comparer au tableau DIN.

### **III.4 - Autoéchauffement du capteur**

Le courant de mesure provoque un échauffement de la résistance, qui nuit à sa précision de mesure. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'erreur commise en usage courant du capteur. La caractérisation du phénomène se fait avec le générateur 10 mA.

#### **Travail à faire**

- On utilise maintenant le générateur 10 mA : brancher en parallèle sur le générateur le multimètre 20000 points en mode voltmètre. Utiliser la gamme du voltmètre donnant un affichage à résolution maximale.
- Laisser la sonde dans l'enceinte isotherme sans la brancher.
- En partant de la température ambiante, brancher la sonde et relever la tension dès le branchement (valeur initiale)
- Attendre la stabilisation et relever la tension (valeur finale). L'augmentation de tension mesurée est liée à l'auto-échauffement de la sonde par le courant de mesure.
- Refaire plusieurs fois l'expérience pour déterminer avec soin la valeur initiale (la technique de mesure peut être améliorée en faisant l'enregistrement graphique de la réponse avec la carte de mesure ).
- Calculer l'élévation  $\Delta \theta_{10}$  de température de la sonde, puis la résistance thermique sonde/ambiante ( $R_{TH} = \frac{\Delta \theta_{10}}{P_{10}}$ ) avec  $P_{10}$  puissance dissipée dans la sonde. Précisez l'unité de mesure pour la résistance thermique.
- En déduire l'auto échauffement  $\Delta \theta_1$  de la sonde pour un courant de 1 mA. Ce courant de mesure est-il acceptable pour une mesure dans l'air (discuter de cette erreur relativement aux autres sources)?

## VI - MESURES DANS LA GAMME [0,100°C]

L'objectif de cette partie est d'évaluer la qualité des mesures par la technique du pont de Wheatstone.

Le pont de Wheatstone présente plusieurs avantages:

- élimination de la composante continue  $R_0$
- compensation des erreurs de mesure liées à la résistance des fils

Le montage en pont 3 fils est le suivant:

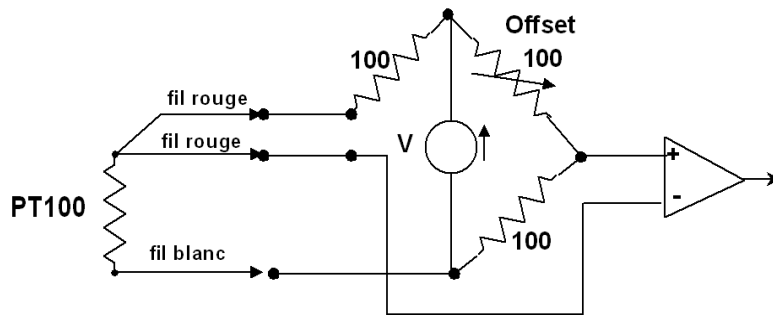


Fig 5 - Montage en pont

La tension d'alimentation  $V$  est d'environ 0,6V (choix fixé pour limiter l'auto échauffement de la sonde). Le gain de l'amplificateur d'instrumentation est fixé pour obtenir un signal dans la gamme [0,10V] .

### Travail à faire

*Note: cette partie de la manipulation est relativement longue si elle est menée avec soin.*

- Quelle est la valeur théorique de la mesure pour  $\theta = 0^\circ C$  ? La résistance des fils est-elle encore une source d'erreur dans le montage 3 fils en pont ?
- Placer la sonde dans un b cher rempli de glace en cours de fusion [si disponible!]. La valeur mesurée correspond-elle à la valeur théorique?.
- Remplir ensuite le b cher de 400 ml d'eau **froide déminéralisée** et le placer sur la plaque chauffante. Plonger la sonde et le thermomètre à alcool.
- Faire le relevé du thermomètre et de la tension de pont par palier jusqu   $\theta = 80^\circ C$  environ (au minimum 6 paliers)
- Tracer la courbe de réponse statique  $V_{pont} = f(\theta)$  à l'aide d'un tableur. Evaluer la sensibilité moyenne du capteur.
- Par les mêmes méthodes que dans l tude faite sur la réponse théorique, évaluer la non-linéarité du capteur associé à une mesure en pont.
- La méthode de mesure par pont de Wheatstone est-elle plutôt avantageuse pour utiliser une sonde PT100 ou plutôt un inconvénient ?



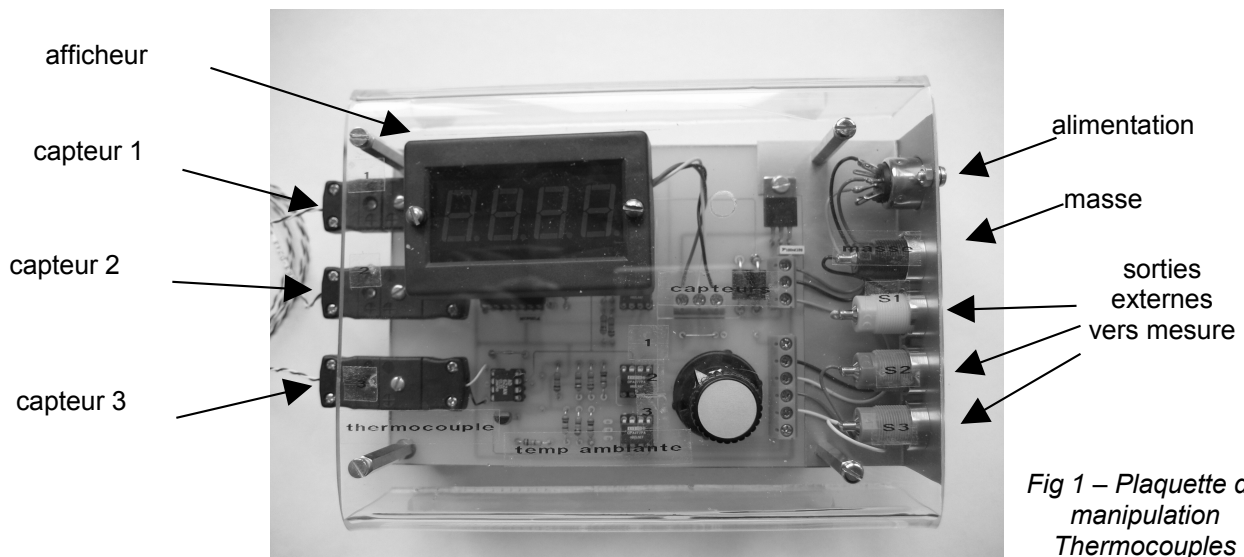
## Manipulation n° 2

## ETUDE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE D'UN CAPTEUR DE TEMPERATURE

Cette manipulation vise à montrer l'influence des performances dynamiques du capteur sur la qualité des mesures, en particulier dans le domaine de la mesure de température.

### I - PRESENTATION DU MATERIEL

La plaquette permet de gérer trois thermocouples en vue de faire des mesures comparatives.



Le schéma de la plaquette est le suivant:

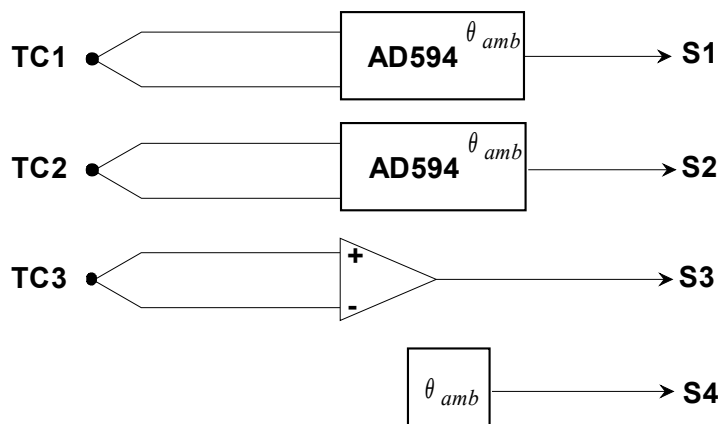


Fig 2 - Schéma de la plaquette

Les thermocouples utilisés sont du type J Fer/Constantan caractérisés par une sensibilité théorique de  $50 \mu V/^{\circ}C$ . Ils sont identiques mais le thermocouple n°2 est intégré à un corps isolant qui a pour effet de créer une forte résistance thermique entre le milieu de mesure et le thermocouple.

Le conditionnement des capteurs n°1 et n°2 fait appel à un circuit spécialisé type AD594 pour les deux premiers et un amplificateur d'instrumentation pour le troisième. Le circuit AD594 est un amplificateur avec compensation de la tension de soudure froide. Ses principales caractéristiques sont les suivantes (données constructeur):

- gain 193.4 ce qui donne un signal de  $0.01\text{V}/^{\circ}\text{C}$  pour l'ensemble thermocouple-amplificateur
- erreur de calibration à  $25^{\circ}\text{C}$  :  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  (la plaquette possède un réglage interne pour annuler cette erreur).
- stabilité thermique :  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$  - erreur de gain :  $\pm 1.5\%$


Le capteur n°3 est relié à un amplificateur d'instrumentation possédant le même gain, soit  $0.01\text{V}/^{\circ}\text{C}$  mais l'ensemble ne possède de compensation de la soudure froide. La température relevée est donc la *différence* entre le thermocouple et le boîtier de l'amplificateur.

Les sorties des 3 amplificateurs de mesure sont amplifiées d'un facteur 10 pour donner des signaux mesurables dans la gamme  $[0,10\text{V}]$ . La mesure de température ambiante, assez peu précise, n'est disponible que sur l'afficheur intégré (pas de sortie vers u voltmètre).

## **II -MESURES STATIQUES A TEMPERATURE AMBIANTE**

*Les mesures se font à l'aide du boîtier ADUSB et du programme d'acquisition "TPCapteurs" (dont le descriptif est donné en annexe) .*

### **Travail à faire**

- Placer les 3 thermocouples (notés 1, 2 et 3) et le thermomètre dans la boîte isotherme (boîte carton).
- Attendre l'équilibre thermique (le thermomètre à alcool ne doit plus varier) et relever la valeur du thermomètre à alcool qui servira de *référence*.
- Relier les sorties des 3 capteurs au boîtier ADUSB (3 entrées consécutives, ne pas oublier la « masse »).
- Lancer le logiciel d'acquisition Matlab/Simulink en cliquant directement sur le symbole sur le bureau  (ceci suppose que ce programme a été déposé sur le bureau ! - si ce n'est pas le cas, demander à l'enseignant ou copier le fichier depuis la page perso de P.Bonnet)
- Relever les 3 mesures (acquisition d'une durée **300 s** avec une période de **10 s** sur les 3 voies (paramétrer le module ADUSB avec 3 voies d'acquisition et l'écran "Simulation Parameters" pour les valeurs stoptime=300 et FixedStepSize=10).
- Reporter le tableau "mesures" sous OpenOffice (bien lire l'annexe pour le "copier/coller").
- Calculer leur moyenne et écart-type en utilisant les fonctions appropriées d'OO (fonctions *moyenne* et *.ecartype*)
- Tracer l'histogramme de ces 3 jeux de données [sur le même graphe] (voir annexe pour calcul de l'histogramme) .
- Evaluer la précision de mesure (justesse et fidélité) des 3 capteurs .

### III - REPONSE TEMPORELLE DES CAPTEURS

La réponse propre d'un capteur influence la mesure du phénomène qu'il évalue. La réponse propre du capteur est caractérisée par sa fonction de transfert.

#### III.1 - Rappels des réponses d'un capteur de température

La mesure de température se fait par transfert de chaleur depuis le corps à mesurer supposé à la température  $\theta_e$  vers la jonction du thermocouple. Bien qu'il soit de faible dimension, le thermocouple présente une capacité calorifique  $C$ . Le transfert se fait par conduction thermique; cette conduction est "freinée" par la résistance thermique entre le corps à mesurer et la jonction. La température  $\theta_c$  de la jonction n'atteint la température  $\theta_e$  qu'au bout d'un certain temps (équilibre thermique).

L'étude de ce système permet de calculer la loi de comportement de  $\theta_c$ . On suppose que le thermocouple présente une capacité calorifique  $C$  et que les pertes par les fils de liaison sont négligeables.

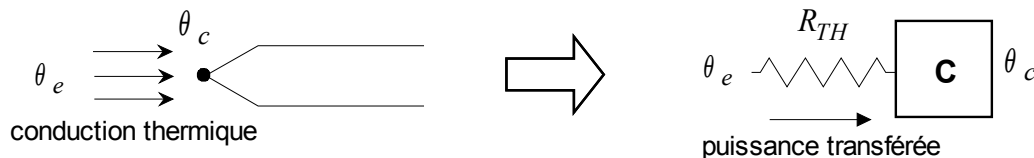


Fig 3 - Equivalent thermique de la mesure par thermocouple

Le bilan thermique du système est:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \frac{\theta_e - \theta_c}{R_{TH}} \text{ avec } Q(t) \text{ quantité de chaleur accumulée dans la jonction.}$$

Or  $Q(t) = C \theta_c(t)$ . Le système est donc régi par l'équation différentielle suivante:

$$R_{TH} C \frac{d\theta_c}{dt} + \theta_c = \theta_e(t)$$

Le comportement du type "système du 1<sup>er</sup> ordre" est mis en évidence lorsque la température à mesurer évolue dans le temps. Les lois d'évolution "échelon" et "rampe" permettent de caractériser la réponse caractéristique du capteur.

#### a) Entrée en Echelon

Pour une **entrée de la forme échelon** d'amplitude  $\theta_{e0}$ , la réponse du système est :

$$\theta_c(t) = \theta_{e0} (1 - e^{-t/\tau}) + \theta_{c0} e^{-t/\tau} \quad \text{avec} \quad \tau = R_{TH} C$$

La réponse comprend deux parties:

- l'extinction des conditions initiales (la température initiale n'est pas nulle dans le cas général)
- la réponse à l'entrée.

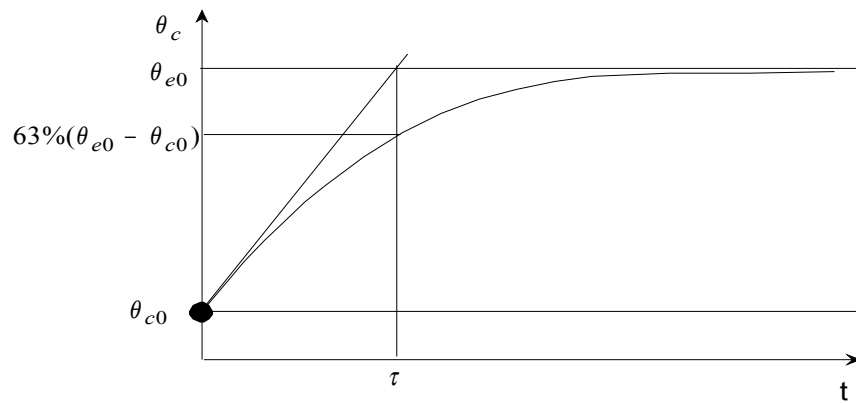


Fig 4 - Réponse à l'échelon

La réponse globale est du type exponentiel; son graphe, typique de la réponse 1<sup>er</sup> ordre, est caractérisé par la constante de temps  $\tau = RC$ .

La mesure de  $\tau$  se fait directement sur le tracé (méthode 63% ou de la tangente à l'origine).

#### **b) Entrée en Rampe**

Pour une **entrée de la forme rampe** de pente  $a$  (montée en température linéaire du corps dont on mesure la température), la réponse est: a pour profil asymptotique une rampe, caractérisée par le **traînage** en régime permanent :

$$\theta_c(t) = a e^{-t/\tau} + a(t - \tau) + \theta_{c0}$$

La réponse a pour profil **asymptotique** une rampe de pente  $a$ ; d'ordonnée à l'origine non nulle.

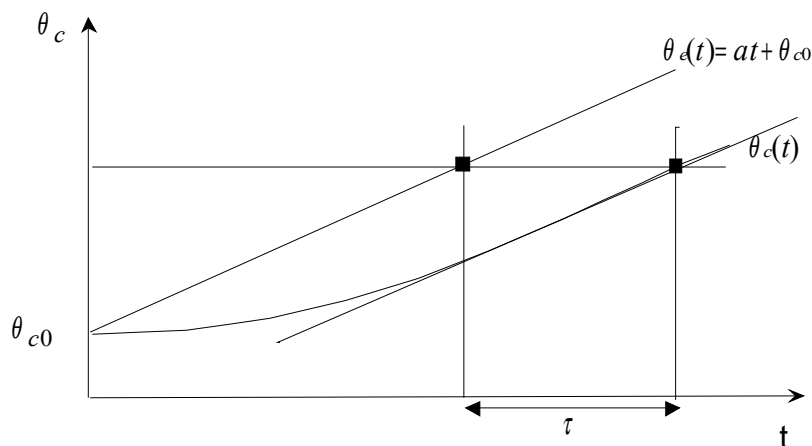


Fig 5 - Réponse à une rampe

Le **traînage** de la réponse s'observe sur le régime "permanent". La mesure de  $\tau$  se fait directement sur le tracé.

Note: l'étude de la rampe est faite **avant** celle de l'échelon pour des raisons de logistique: la partie "rampe" conduit à disposer d'un b cher d'eau chaude, qui sera réutilisé pour la partie " chelon".

**Travail à faire**

*Lire l'ensemble de la manipulation avant de commencer les mesures !*

- Préchauffer sur la position 300 °C (pleine puissance).
- Remplir un bécher de 600 ml d'eau **froide déminéralisée**, y mettre l'agitateur magnétique. Y plonger les 3 sondes et le thermomètre à alcool.
- Poser le bécher sur la plaque et lancer l'acquisition des données des capteurs. Relever **60 points** d'acquisition en **10 minutes** sur les 3 voies , soit une période d'acquisition de **10s** (la température finale est de l'ordre de 65°C).
- **Relever manuellement la température du thermomètre toutes les minutes**
- Arrêter le chauffage dès la fin des mesures (attention : c'est chaud!!!)
- Tracer les courbes représentatives de  $\theta_{th}$  ,  $\theta_{c1}$  ,  $\theta_{c2}$  et  $\theta_{c3}$  en fonction du temps.
- En prenant  $\theta_{c1}$  comme référence, expliquez la courbe  $\theta_{c2}$  . Est-elle représentative d'un traînage? Dans la zone de régime permanent asymptotique du capteur 2, déterminer la valeur de  $\tau$  par plusieurs mesures en prenant comme signal de référence le signal du capteur 1. En donner une moyenne et une précision (écart-type).
- La courbe  $\theta_{c3}$  est -elle représentative d'un décalage ou d'un traînage ?
- La courbe du thermomètre est-elle exploitable?

**III.3 - Réponse du thermocouple à un échelon de température****Travail à faire**

- Sortir les capteurs et attendre l'équilibre thermique avec la température ambiante (affichage constant).
- Plonger le capteur n°2 et faire le relevé de la réponse avec la fonction TPCapteurs.mdl avec une acquisition de **50 points en 1mn** .(démarrer l'acquisition **avant** de plonger le capteur)
- Calculer graphiquement la constante de temps par deux méthodes au moins. Comparer aux résultats précédents.
- Reprendre la même étude avec le capteur n°1 (acquisition de 50 points sur **2s** environ si le matériel le permet).
- La constante de temps de ce capteur est-elle négligeable vis à vis du capteur n°2 ? Peut-on justifier d'avoir étudié le traînage du capteur n°2 par référence au capteur n°1 dans l'étude de la réponse à une rampe?
- Faire le relevé de la réponse du capteur n°2 en le sortant le capteur du bécher. Pourquoi la constante de temps trouvée n'est-elle pas la même que précédemment ?

## ANNEXE 1 : DETERMINATION DES COEFFICIENTS D'UNE REGRESSION POLYNOMIALE

La régression polynomiale permet de déterminer les coefficients d'un modèle de la forme  $f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots$  représentant au mieux un ensemble de mesures  $y_i$ . Le cas exposé ici correspond à la régression linéaire, la plus couramment employée. L'ensemble de la démarche est facilement extensible aux polynômes d'ordre plus élevés, voire à d'autres représentations que la forme polynomiale (voir *courbe de tendance* sur OpenOffice).

### Régression linéaire.

On suppose que la réponse théorique  $f$  du capteur suit le profil d'une fonction affine (droite) d'équation  $f(\theta) = a\theta + b$  avec  $\theta$  température. Pour déterminer avec précision les paramètres  $a$  et  $b$  à partir des  $n$  mesures  $y(\theta_i)$  faites aux températures  $\theta_i$ , on applique le principe des moindres carrés appelé aussi régression linéaire.

Les logiciels "Tableurs" possèdent une fonction de calcul automatique de la droite de régression.

- se placer sur une zone de cellule vide, introduire à l'aide de l'assistant la fonction "DROITEREG" et remplir les 4 champs de la fonction.
- la fonction affiche dans la première ligne la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression (les autres paramètres ne sont explicités que si le paramètre 4 est mis à "1" ; ces paramètres décrits dans l'aide de la fonction).

La méthode employée par le logiciel est la suivante:

Les coefficients optimaux de la régression linéaire satisfont la minimisation de l'écart quadratique moyen  $J$  entre les mesures et la droite de régression.

$$J(a,b) = \sum_{i=1}^n (y(\theta_i) - a\theta_i - b)^2$$

Par dérivation de  $J$  par rapport à  $a$  et  $b$ , on détermine les coefficients  $\hat{a}$  et  $\hat{b}$ .

$$\begin{aligned} \hat{a} \sum_{i=1}^n \theta_i^2 + \hat{b} \sum_{i=1}^n \theta_i &= \sum_{i=1}^n \theta_i y(\theta_i) \\ \hat{a} \sum_{i=1}^n \theta_i + \hat{b} \sum_{i=1}^n 1 &= \sum_{i=1}^n y(\theta_i) \end{aligned}$$

La résolution de ce système à deux équations donne:

$$\hat{a} = \frac{n \sum \theta_i y_i - \sum \theta_i \sum y_i}{n \sum \theta_i^2 - (\sum \theta_i)^2} \quad \hat{b} = \frac{\sum y_i \sum \theta_i^2 - \sum \theta_i y_i \sum \theta_i}{n \sum \theta_i^2 - (\sum \theta_i)^2}$$

### Mise en application sur tableur

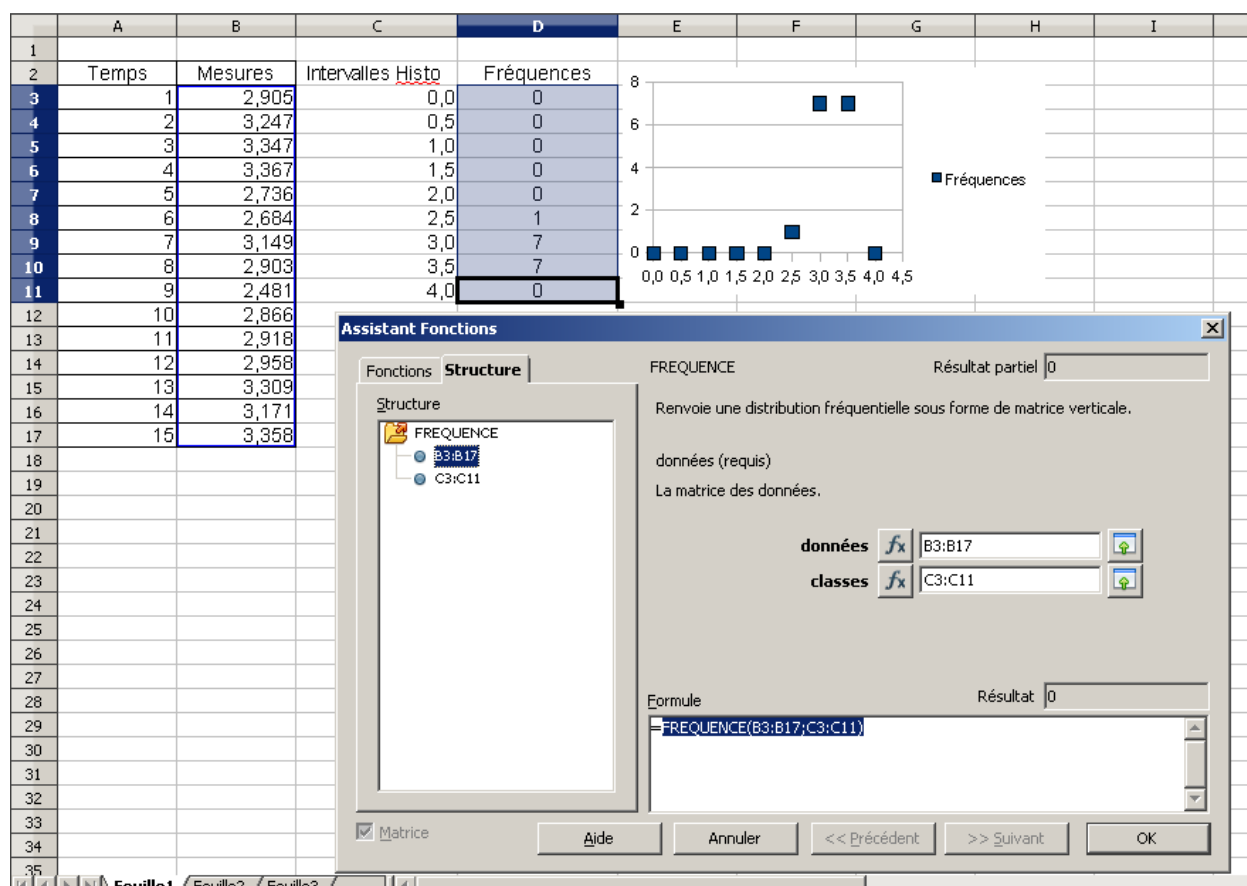
- à partir du tableau des mesures, créer les colonnes  $\theta_i^2$  et  $\theta_i y_i$ .
- déterminer les sommes de chaque colonne en utilisant la fonction *somme*
- définir la formule les coefficients  $\hat{a}$  et  $\hat{b}$
- calculer dans une colonne les valeurs de  $f(\theta_i)$  et représenter graphiquement la droite de régression.

## ANNEXE 2 : HISTOGRAMME D'UN JEU DE DONNEES

Les tableurs ne présentent pas directement la fonction de tracé d'un histogramme sur un jeu de données (liste ou table). Il faut préalablement calculer la fréquence d'apparition des valeurs dans le jeu de données, en précisant les intervalles d'observation.

La démarche à suivre est :

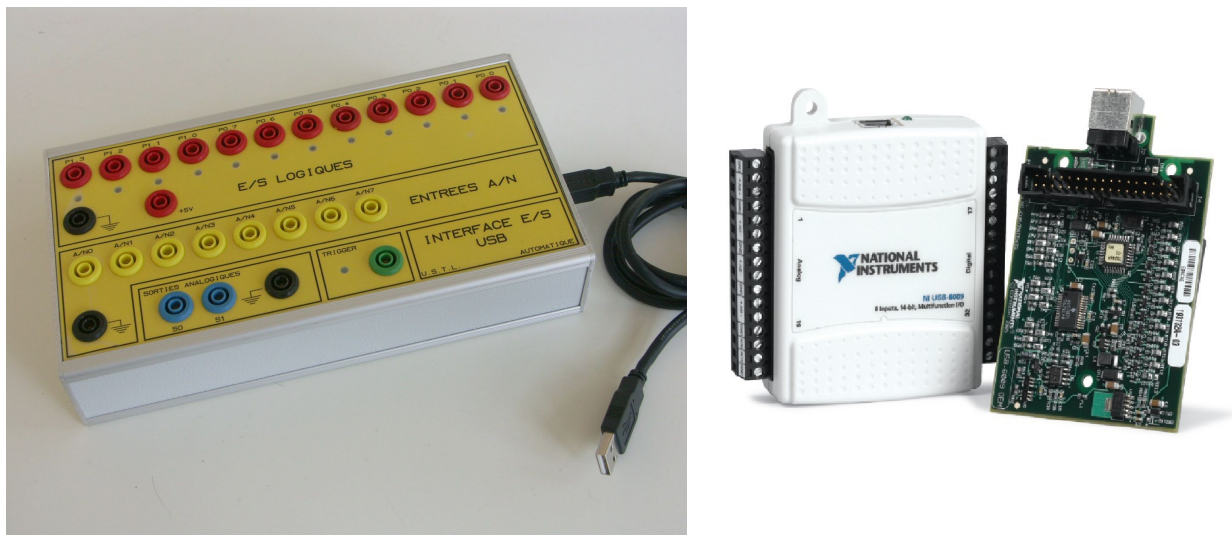
- 1) Reporter les données à analyser dans une colonne
- 2) Construire une colonne des intervalles d'observation des valeurs des données. Par exemple, commencer par 0, puis 0,5 et étendre automatiquement la série à la souris.
- 3) Calcul des fréquences:
  - dans une cellule, insérer la fonction "FREQUENCE" dont le premier paramètre est la plage de données et le deuxième la plage d'intervalle.
  - étendre le calcul à un nombre de cellule égal à celui du nombre d'intervalle
  - sélectionner la plage de calcul des fréquences, éditer la fonction et cocher la case matrice. Le calcul est appliqué sans erreur.
- 4) Faire un tracé graphique adapté (*nuage de points* sur MS ou *XY Dispersion* sur OO)



## ANNEXE 3 : LOGICIEL DE MESURE DE SIGNAUX

### I - LE MATERIEL DE MESURE

Le boîtier d'entrées-sorties ADUSB est un ensemble construit autour du module NI USB6008/9 de National Instruments. Ce module à fonctions multiples permet de coupler un processus analogique ou logique à un PC, avec une mise en place très simple (branchement sur le port USB de l'ordinateur et installation des logiciels). Son emploi est adapté à des travaux de laboratoire; pour un usage industriel, il faudrait compléter la structure par des interfaces électroniques appropriés (amplification et isolation des signaux).



*Fig 1 – Le boîtier Entrées-Sorties basé sur le module NI-6009*

La carte possède 8 entrées analogiques multiplexées, d'impédance d'entrée  $144\text{ K}\Omega$ . La gamme de tension des entrées est  $[-10\text{V}, +10\text{V}]$ . La protection des entrées permet d'appliquer jusque  $35\text{V}$  sans destruction. Le signal amplifié est appliqué à un échantillonneur-bloqueur pour le maintenir constant pendant la conversion analogique-numérique puis au convertisseur. Ce dernier est un modèle 12-14 bits; l'erreur totale annoncée le constructeur est de  $15\text{mV}$  à  $25^\circ\text{C}$ .

La vitesse de conversion est bridée par le Bus USB. En effet, la cadence des requêtes USB (demande+réponse) ne dépasse pas  $8\text{KHz}$ , chaque requête pouvant demander les 8 voies. La vitesse globale est limitée à  $48\text{KHz}$  au maximum.

Le constructeur du module propose un ensemble de logiciels qui permet de piloter les différentes fonctions sous le logiciel Labview (apprentissage de la programmation graphique obligatoire).

Pour les TP de premier semestre, il est proposé un applicatif simple réalisé sous Matlab/Simulink, qui ne demande aucune connaissance de ce logiciel.



## II - LE LOGICIEL D'ACQUISITION

L'objectif du logiciel est de faire les mesures par simple paramétrage d'écrans puis de passer le tableau des mesures sous tableur (Excel, OpenOffice) par simple copier/coller

### a) L'acquisition des mesures

Le programme est enregistré sous forme d'un fichier *Simulink* , sous le nom *TPCapteurs.mdl* .



Ce fichier peut se trouver n'importe où dans la machine, par exemple sur le bureau . Par *double-clic* sur l'icone, le démarrage de Matlab puis de Simulink sont entièrement automatiques, pour aboutir à l'écran suivant :

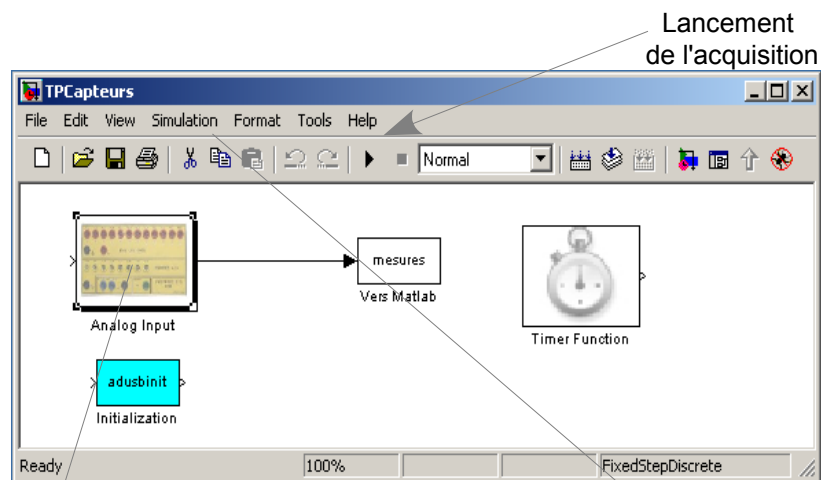
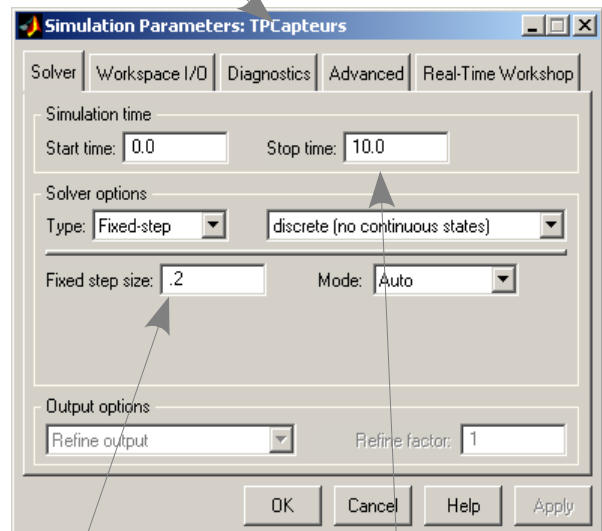
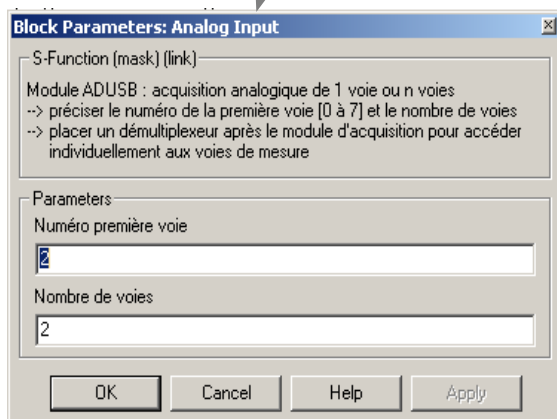


Fig 2 – L'écran Simulink



Période  
d'acquisition

Durée totale de  
l'acquisition

Fig 3 – Les écrans de paramétrage sous Simulink

La sélection des voies de mesure (de 0 à 7) se fait par *double-clic* sur le module *Analog Input* . Les paramètres temporels sont définis dans l'écran du menu *Simulation Parameters*

Ne touchez à aucun autre paramètre !

### **b) Passage des mesures vers le presse-papier**

Les mesures se trouvent dans l'environnement *Matlab* (qui a été démarré automatiquement), sous forme d'un ensemble dénommé *mesures*. Cliquer sur *mesures* pour faire apparaître la table des mesures.

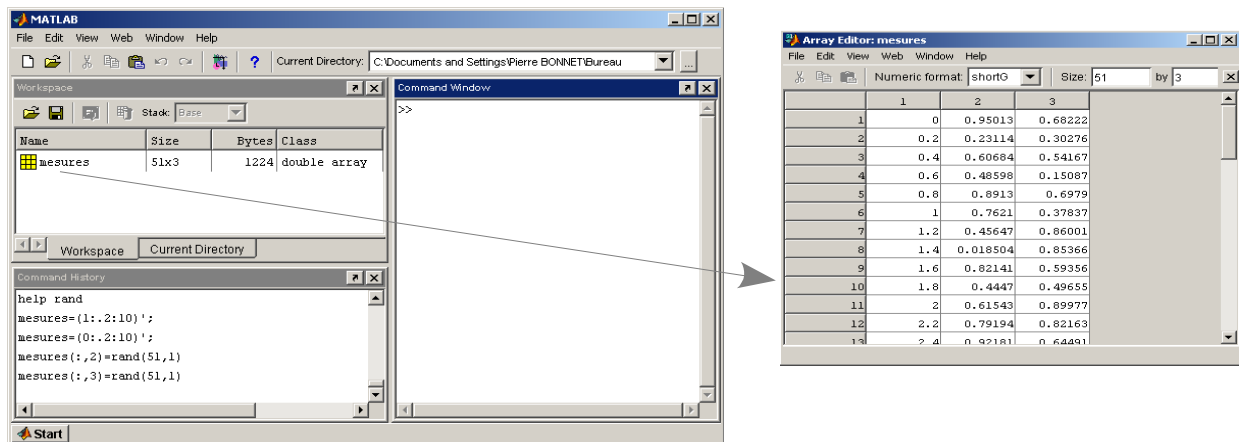


Fig 4 – Les mesures dans l'environnement Matlab

Sélectionner les mesures que vous souhaitez transférer vers le tableur puis les *copier* dans le presse-papier.

### **c) Collage dans le tableur**

Il ne reste plus qu'à les *coller* dans le tableur. Attention: Matlab adapte la notation américaine avec le *point* comme séparateur décimal, alors que le tableur est généralement en français avec la *virgule* comme séparateur. Le collage risque donc d'être erroné !

Sous OpenOffice, un écran de dialogue est proposé lors du collage. Il suffit de choisir le format US pour les colonnes et que le *collage* soit fait sans erreur.

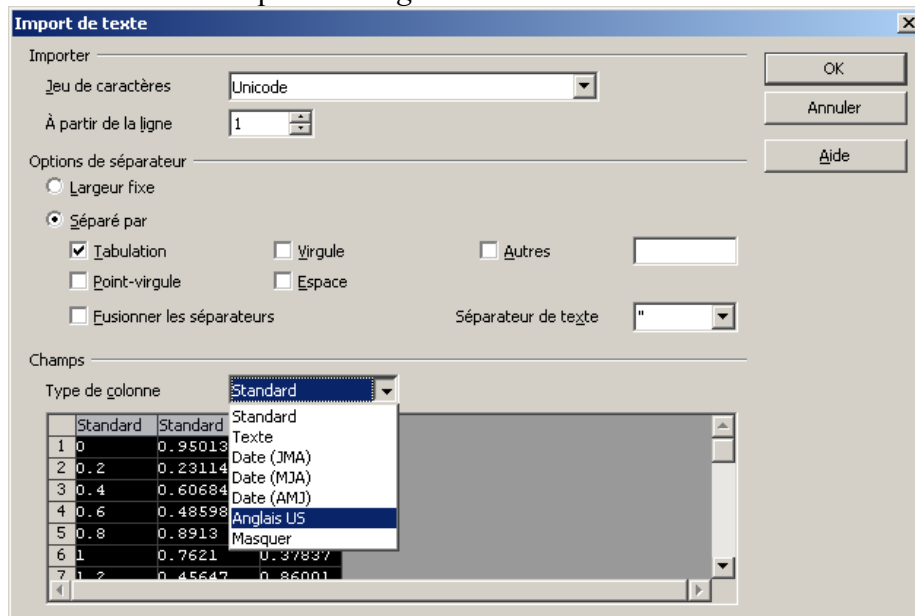


Fig 5 – Ecran de contrôle du collage OpenOffice

Il ne vous reste plus qu'à utiliser les données pour faire un graphe ou des calculs.

**Note :** si vous ne disposez pas de cette fonctionnalité sur le tableur, il suffit de *coller* les *mesures* dans une feuille de texte (OpenOffice ou autre) et de remplacer (menu "Edition") les "." par des "," (remplacement automatique). Sélectionner les données corrigées puis les *coller* dans le tableur.

## ANNEXE 4 : TABLEAU DES TOLÉRANCES EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE DE LA SONDE PT100.

### Tolérance

IEC 751 :1983 (NFC 43-330, DIN 43760, BS 1904)

	Classe A		Classe B	
Température	± °C	± Ohms	± °C	± Ohms
<b>- 200</b>	0,55	0,24	1,3	0,56
<b>- 100</b>	0,35	0,14	0,3	0,32
<b>0</b>	0,15	0,06	0,3	0,12
<b>100</b>	0,35	0,13	0,8	0,3
<b>200</b>	0,55	0,2	1,3	0,48
<b>300</b>	0,75	0,27	1,8	0,64
<b>400</b>	0,95	0,33	2,3	0,79
<b>500</b>	1,15	0,38	2,8	0,93
<b>600</b>	1,35	0,43	3,3	1,06
<b>650</b>	1,45	0,46	3,6	1,13
<b>700</b>	-	-	3,8	1,17
<b>750</b>	-	-	4,3	1,28
<b>800</b>	-	-	4,6	1,34